

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Avaliação do Desempenho das Estações de Tratamento de Água de Porto Alegre
referente aos Parâmetros de Potabilidade da Portaria Nacional GM/MS nº 888 e da
Portaria Estadual nº 320/2014

Autora: Laura Seben Campana
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Liliana Amaral Féris
Coorientadora: Dr^a. Keila Guerra Pacheco
Nunes

PORTO ALEGRE, MAIO DE 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

*Trabalho de Conclusão de Curso
desenvolvido como requisito para a
graduação em Engenharia Química na
Universidade Federal do Rio Grande do
Sul.*

PORTO ALEGRE, MAIO DE 2022

AGRADECIMENTOS

À Prof.^a Dr.^a Liliana Amaral Feris, pela orientação, apoio e confiança na ideia do projeto. À Dr.^a Keila Guerra Pacheco Nunes, pela coorientação e acompanhamento durante o processo de construção do trabalho. Ao Departamento Municipal de Água e Esgotos, pela disponibilidade e pelo envio dos arquivos das análises e à minha família e amigas/os, que sempre me apoiaram desde o primeiro dia de aula até a finalização desse trabalho.

RESUMO

A água é essencial para sustentar as diversas formas de vida no planeta, sendo um direito humano básico. Garantir o acesso da população à água tratada é de grande relevância para a manutenção da saúde pública, sendo necessário esforços para assegurar que a água potável tenha a qualidade necessária para seu consumo. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho das estações de tratamento de água (ETAs) do Departamento Municipal de Água e Esgotos do município de Porto Alegre (DMAE) em relação à Portaria Nacional GM/MS nº 888 e à Portaria Estadual nº 320/2014, legislações que garantem a potabilidade da água tratada. Foram obtidos, por meio do DMAE, os dados referentes às análises dos parâmetros de potabilidade relativos às Portarias Estadual e Nacional, do período entre o 2015 e 2021. Os dados foram estratificados a fim de comparar a qualidade final da água tratada com os parâmetros constantes na legislação. A partir da avaliação dos dados no período estipulado e, entre as 15 amostras analisadas, foi identificado a existência de 12 substâncias (ácidos haloacéticos, alumínio, amônia, antimônio, cádmio, chumbo, cromo, ferro, manganês, nitrato, nitrito e trihalometanos) com valores acima do limite de detecção (LD), limite de quantificação (LQ) e com valores iguais ou acima ao valor máximo permitido (VMP) na água tratada. A ETA que apresentou maior número de análises com presença de substâncias acima do VMP foi a ETA Moinhos de Vento, com 5 amostras, seguida da ETA Belém Novo, com 4 amostras. As ETAs Ilha da Pintada e Menino Deus apresentaram 2 amostras e as ETAs São João e Tristeza apresentaram somente 1 amostra com valores acima ou próximos ao VMP. Do total de 10.374 análises, apenas em 15 análises foram detectadas substâncias com concentração acima do LD e LQ iguais ou maiores que o VMP pela legislação. Esse valor representa 0,14% do total de análises, indicando que o DMAE atende a população com água segura para o consumo. Nesse quesito, a avaliação realizada pôde contribuir na identificação das estações que apresentaram maiores quantidades de substâncias com teores acima do permitido pela legislação na água tratada, auxiliando em possíveis estudos de melhoria do tratamento e da eficiência do processo nas estações de tratamento de água.

Palavras-chave: tratamento de água, parâmetros de potabilidade, estação de tratamento de água, contaminantes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Quantidade de água na superfície terrestre	3
Figura 2: Usos da água no Brasil e suas demandas em 2019	5
Figura 3: Maiores retiradas de água, em m ³ /s, para cada finalidade em cada região hidrográfica no ano de 2019.....	6
Figura 4: Localização das ETAs e EBABs do Departamento Municipal de Água e Esgotos	13
Figura 5: Regiões Hidrográficas e suas respectivas Bacias no Rio Grande do Sul .	15
Figura 6: Classificação dos corpos hídricos da Região Hidrográfica do Guaíba; (a) Bacia do Alto Jacuí; (b) Bacia do Baixo Jacuí; (c) Bacia do Caí.	17
Figura 7: Classificação dos corpos hídricos da Região Hidrográfica do Guaíba; (a) Bacia do Gravataí; (b) Bacia do Lago Guaíba; (c) Bacia do Pardo.	18
Figura 8: Classificação dos corpos hídricos da Região Hidrográfica do Guaíba; (a) Bacia do Sinos; (b) Bacia Taquari-Antas e (c) Bacia Vacacaí-Vacacaí Mirim.....	19
Figura 9: Identificação de substâncias nas ETAs de Porto Alegre; (a) alumínio; (b) amônia; (c) antimônio.....	25
Figura 10: Identificação de substâncias nas ETAs de Porto Alegre; (a) cádmio; (b) cromo; (c) ferro.....	27
Figura 11: Identificação de manganês nas ETAs de Porto Alegre	28
Figura 12: Identificação de trihalometanos nas ETAs de Porto Alegre	29
Figura 13: Identificação de ácidos haloacéticos nas ETAs de Porto Alegre.....	31
Figura 14: Identificação de chumbo nas ETAs de Porto Alegre	32
Figura 15: Identificação de nitrato nas ETAs de Porto Alegre	33
Figura 16: Identificação de nitrito nas ETAs de Porto Alegre	34

LISTA DE SIGLAS

Ca (OCl)₂ - Hipoclorito de cálcio

Cl₂ - Cloro gasoso

ClO₂ - Dióxido de cloro

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DMAE - Departamento Municipal de Água e Esgotos

EBAB - Estação de Bombeamento de Água Bruta

ETA - Estação de Tratamento de Água

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler

GM/MS - Gabinete do Ministro/Ministério da Saúde

LD - Limite de Detecção

LQ - Limite de Quantificação

NaOCl - Hipoclorito de sódio

pH - Potencial de hidrogênio

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

RS - Rio Grande do Sul

SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente

SISÁGUA - Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano

SNRH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

VMPs - valores máximos permitidos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo geral	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 Água para consumo humano.....	3
3.2 Legislação	7
3.2.1 Legislação ambiental	7
3.2.2 Legislação sobre potabilidade da água no Brasil	8
3.3 Tratamento de água	9
3.3.1 Processo de tratamento	9
3.3.2 Tratamento físico-químico.....	10
3.3.3 Parâmetros de qualidade	12
3.4 Estações de tratamento de água de Porto Alegre	12
3.4.1 Caracterização da região de captação de água bruta	14
3.4.2 Qualidade da água bruta na Região Hidrográfica do Guaíba	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1 Obtenção do conjunto de análises das estações de tratamento de Porto Alegre.....	21
4.2 Tratamento dos dados.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1 Análise das substâncias encontradas em água tratada e comparação com os valores máximos permitidos nos Anexos 9 e 11 da Portaria Nacional GM/MS nº 888/2021	23
5.2 Comparação do tratamento de água entre as ETAs de Porto Alegre em relação aos parâmetros da Portaria Nacional GM/MS nº 888/2021	35
6. CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	39
ANEXO A	46

1. INTRODUÇÃO

A água é considerada um dos maiores bens da humanidade, sendo essencial para sustentar as diversas formas de vidas no planeta. A superfície da Terra é, em sua grande maioria, coberta por água salgada, sendo que apenas 2% do total da água presente no planeta pode ser utilizada para consumo humano. O Brasil detém grande parte da água doce mundial, sendo considerado um dos países mais privilegiados em relação a recursos hídricos.

No país, diversos são os usos da água: abastecimento público, fins industriais, irrigação, mineração, aquicultura, turismo, lazer, navegação, entre outros. As atividades antrópicas, como descarte de efluentes domésticos e industriais, uso e ocupação do solo na agricultura, impactam diretamente na qualidade da água dos corpos hídricos.

Para que a água seja adequada, acessível e segura para ser consumida, a Portaria Nacional GM/MS Nº 888 e a Portaria Estadual nº 320 estabelecem critérios para garantir o controle de qualidade da água potável. A Portaria Nacional dispõe sobre procedimentos de controle e de vigilância da água para consumo e determina seu padrão de potabilidade. Já a Portaria Estadual estabelece parâmetros adicionais de agrotóxicos ao padrão de potabilidade para substâncias químicas, como forma de controle e vigilância sanitária.

Como forma de verificar os parâmetros de qualidade da água tratada, o Departamento Municipal de Água e Esgotos, responsável pelo tratamento na cidade de Porto Alegre (RS), realiza semestralmente análises de qualidade. Como cumprimento da legislação, os dados são enviados ao governo federal e ao governo estadual e disponibilizados ao setor público e privado.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho das estações de tratamento de água no município de Porto Alegre no que se refere aos parâmetros das portarias Nacional e Estadual vigentes. A análise pôde contribuir na identificação das estações de tratamento que apresentam substâncias em água fora do limite estipulado pela legislação e com qual frequência essas substâncias são identificadas nas mesmas. Ainda, pode contribuir com a construção de ideias para melhorar o tratamento e a eficiência do processo nas estações de tratamento de água.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho das estações de tratamento de água do Departamento Municipal de Água e Esgotos do município de Porto Alegre em relação à Portaria Nacional GM/MS nº 888 e à Portaria Estadual nº 320/2014.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar se os parâmetros que garantem a qualidade da água potável atendem os valores máximos permitidos referentes aos Anexos 9 e 11 da Portaria Nacional GM/MS nº 888/2021 e ao Anexo I da Portaria Estadual nº 320/2014;
- Avaliar comparativamente os resultados de análises de controle de qualidade da água entre as estações de tratamento de água de Porto Alegre.

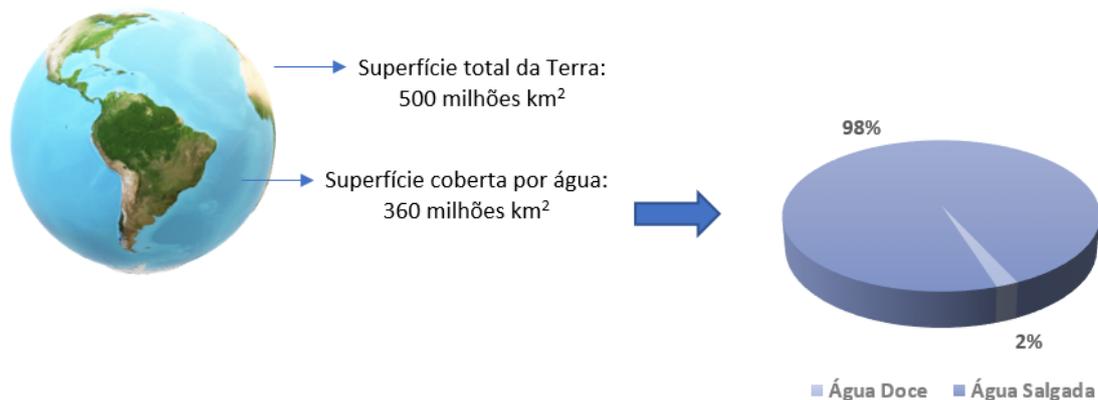
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão descritos os fundamentos teóricos que embasaram o trabalho de conclusão de curso. Serão abordados temas como a disponibilidade de água para consumo no país, as legislações acerca da potabilidade e qualidade da água no Brasil, o processo de tratamento de água e a caracterização dos locais de coleta de água bruta no município de Porto Alegre.

3.1 Água para consumo humano

O planeta Terra possui cerca de 72% da sua área total coberta por água e, apesar da grande disponibilidade, 98% dessa água é salgada, considerada imprópria para o consumo humano, e apenas 2% pode ser utilizada para o abastecimento doméstico, industrial e para a agricultura (MARENGO, 2008), conforme indica a Figura 1.

Figura 1: Quantidade de água na superfície terrestre



Fonte: Adaptado de MARENGO, 2008.

Apesar da pequena disponibilidade de água doce no mundo, o Brasil é um país privilegiado, possuindo grandes reservas de água, o que representa 13% do total de água disponível para consumo no planeta (WORLD BANK, 2021). Para que essa água seja própria para o consumo humano, ela deve ser adequada, segura e acessível.

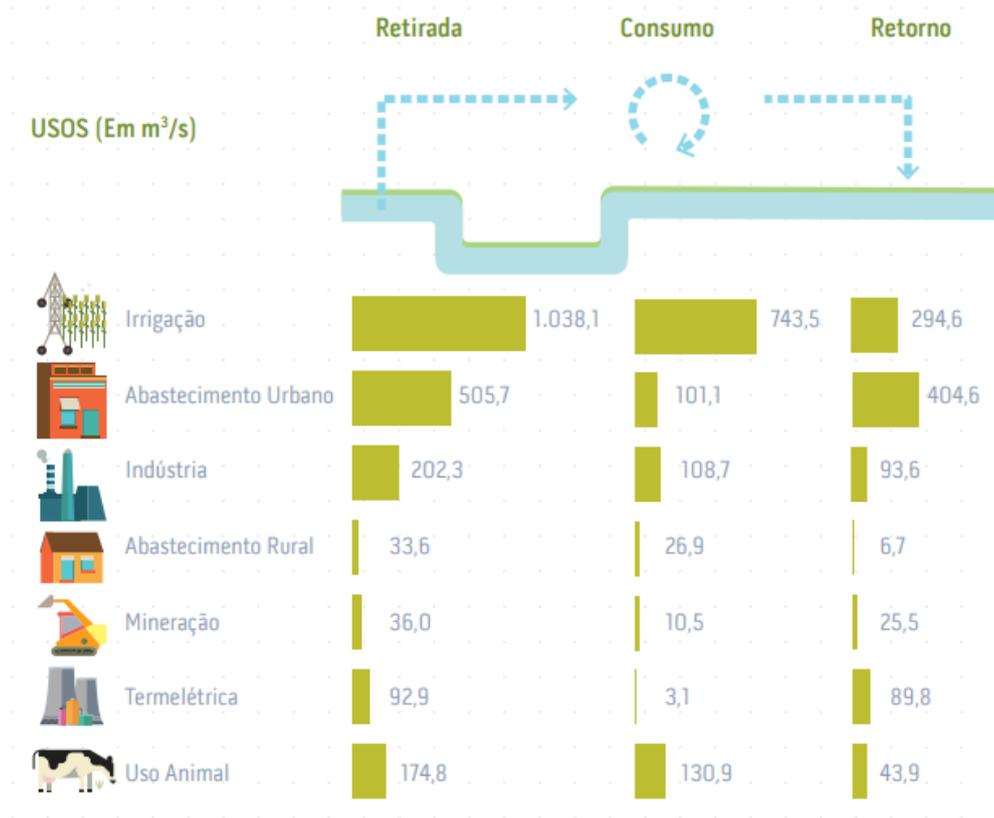
A qualidade da água depende diretamente de fenômenos naturais e da atuação do homem. As condições naturais como o escoamento superficial das águas, a infiltração no solo, as precipitações, influenciam diretamente na qualidade da água,

pois interagem com partículas sólidas que acabam arrastadas para os corpos hídricos. Já a atuação do homem frente à natureza, no uso e na ocupação do solo nas bacias hidrográficas, na geração de efluentes domésticos ou industriais, no uso de agrotóxicos em plantações, também impacta de maneira direta na qualidade da água (VON SPERLING, 2011).

O uso da água e a qualidade requerida são dois fatores que andam conjuntamente. Para o abastecimento doméstico, deseja-se uma água de uso mais nobre, diferentemente da utilização de águas para diluição de despejos, que podem ser de qualidade menos nobre (VON SPERLING, 2011).

No Brasil, a água é utilizada para abastecimento público, para fins industriais, irrigação, geração de energia, mineração, aquicultura, turismo, lazer, navegação, entre outros. Existem 3 classificações as quais a utilização da água se encaixa: água retirada, água consumida e água de retorno. A água retirada de um corpo hídrico é considerada a água total captada para o uso. A água de retorno refere-se à parte da água que é retirada e que retorna de forma direta para o corpo hídrico. A água consumida representa a parte da água retirada que não retorna para o corpo hídrico de maneira direta (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020). A Figura 2 exemplifica a quantidade de água retirada, consumida e de retorno aos corpos hídricos para cada uso no Brasil, indicando os maiores setores que retiram água dos corpos hídricos, que são a irrigação, o abastecimento urbano e a indústria.

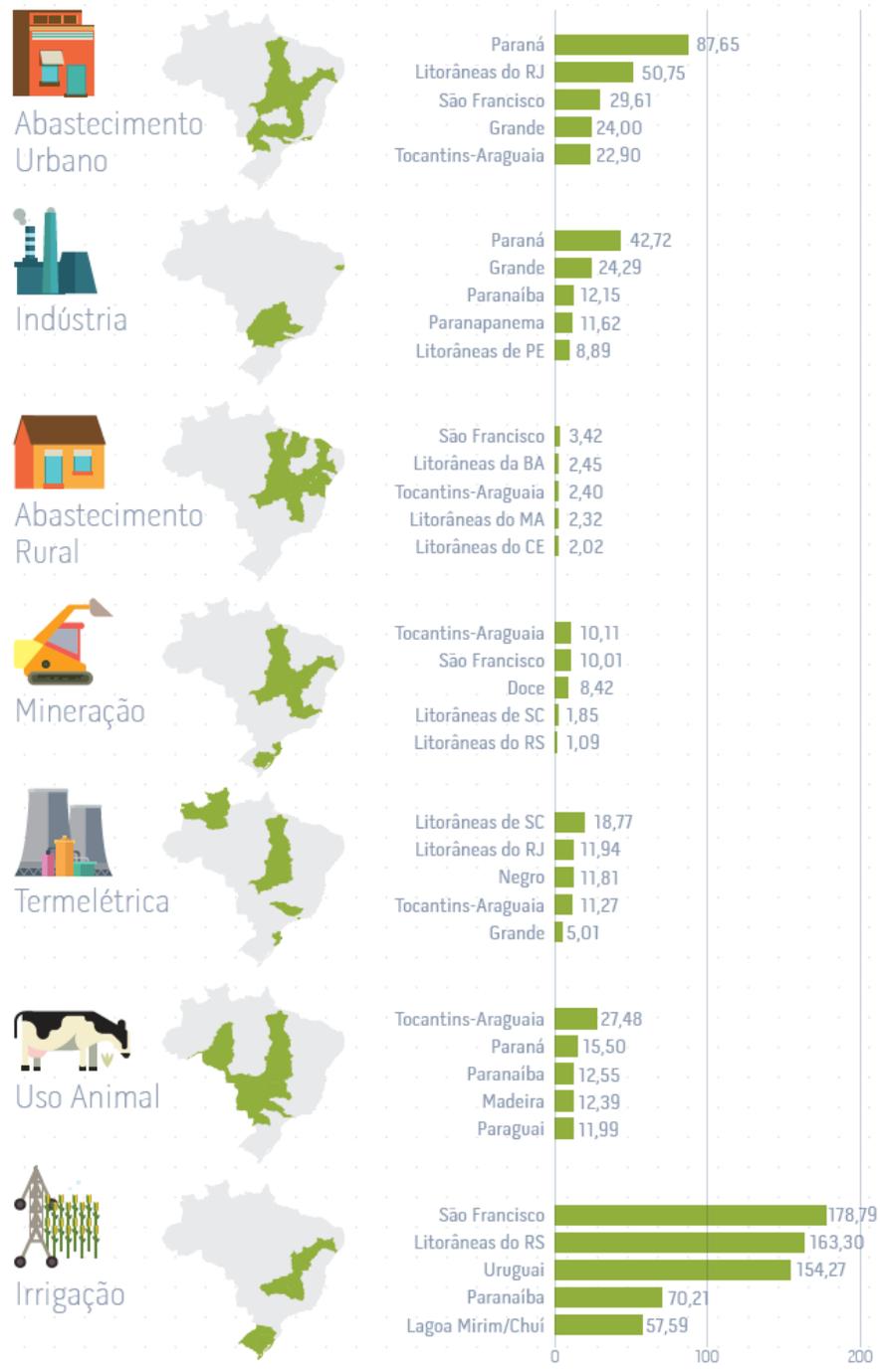
Figura 2: Usos da água no Brasil e suas demandas em 2019



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020

Pela Figura 3, pode ser observado as maiores demandas de consumo de água para cada região hidrográfica, especificando a sua finalidade. As regiões com grande consumo de irrigação são aquelas que têm maior retirada de água dos corpos hídricos.

Figura 3: Maiores retiradas de água, em m³/s, para cada finalidade em cada região hidrográfica no ano de 2019



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020

De acordo com as diferentes vazões dos rios e com a geografia de cada bacia hidrográfica, a água é distribuída de forma desigual no país, fazendo com que as regiões tenham diferentes disponibilidades de água e diferentes consumos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2021).

Do ano de 2000 até 2020, houve um aumento de aproximadamente 80% na quantidade total de água retirada das bacias hidrográficas, e a previsão é de que, até 2030, essa retirada aumente em torno de 23%. O aumento do consumo da água está relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020).

Com o aumento da demanda por consumo de água, faz-se necessário investimentos que priorizem a segurança e a qualidade da água. Requisitos básicos como infraestrutura adequada para o tratamento, rigoroso monitoramento da qualidade da água, planejamento e gestão de projetos eficazes e transparência de dados à população são premissas da garantia de acesso à água de forma segura e justa (WHO, 2017).

3.2 Legislação

3.2.1 Legislação ambiental

A legislação ambiental no Brasil teve o seu início em 1º de janeiro de 1916, quando foi promulgado o primeiro Código Civil do país. Em seu artigo 584, o código vedava a realização de construções que fossem capazes de poluir ou inutilizar água de poço ou de fontes naturais e artificiais. Apesar do Código apresentar leis que regiam as relações privadas, foi consentida a importância da água como um recurso natural (FREIRIA, 2015).

Na década de 1930, surgiram as primeiras leis que regulamentavam a utilização dos recursos naturais, como o Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934, sobre o Código Florestal e o Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, com o Código das Águas. Desde então, a legislação ambiental foi se desenvolvendo cada vez mais, surgindo o Código de Pesca (1938), Código de Minas (1940), Código Florestal (1965), a Política de Saneamento Básico (1967), Plano Nacional de Desenvolvimento (1971) e, em 1981, surgiu a primeira Política Nacional do Meio Ambiente. Esse novo conjunto de leis possibilitou o desenvolvimento de políticas públicas e de estruturas administrativas para a gestão ambiental (FREIRIA, 2015), com o objetivo de preservar, melhorar e recuperar o meio ambiente.

Em 23 de janeiro de 1986 surgiu a primeira Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e em 1988, com a Constituição Federal Brasileira, veio um conjunto de legislações referentes ao meio ambiente. No ano de 1997, na data de 01 de janeiro, foi publicada a Lei nº 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de

Recursos Hídricos (PNRH), também conhecida como Lei das Águas, e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNRH). A Política Nacional de Recursos Hídricos forneceu condições para identificar e reparar conflitos pelo uso das águas, através dos planos de recursos hídricos de cada bacia hidrográfica. Conhecida por ter um caráter descentralizador e participativo, criou um sistema nacional integrando a federação e os estados. Ainda, instalou os comitês de bacias hidrográficas, unindo os três poderes (executivo, legislativo e judiciário), usuários e a sociedade na gestão de recursos hídricos. (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2022).

Dentre os instrumentos da PNRH, segundo o art. 9º da Lei nº 9.433/97, está o enquadramento dos corpos de água em classes em relação aos usos predominantes da água. Além da PNRH, a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, também dispõe sobre o enquadramento e a classificação dos corpos de água, porém, diferentemente da PNRH, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005).

A classificação das águas doces, salinas e salobras é feita por meio da qualidade requerida para seus usos majoritários. A definição de água doce são águas com salinidade igual ou inferior a 0,5%, sendo separadas em 5 classes, água salobra são as águas com salinidade superior a 0,5% e inferior a 30% e são classificadas em 4 classes, e as águas salinas são águas com salinidade igual ou superior a 30% e também são classificadas em 4 classes (BRASIL, 2005). O Anexo A.1 traz o enquadramento e a classificação das águas, especificando as suas destinações.

Além do enquadramento e a classificação, a Resolução CONAMA nº 357 traz as condições e padrões de qualidade das águas, estabelecendo os limites individuais para cada substância em cada classe. A Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e complementa e altera a Resolução nº 357, de 2005.

3.2.2 Legislação sobre potabilidade da água no Brasil

Os primeiros registros sobre o interesse das autoridades públicas em relação à qualidade da água para consumo humano datam da década de 1920. Nesse período, houve a implementação do Decreto-Lei nº 3.987, que criou o Departamento Nacional de Saúde Pública (FORMAGGIA, 2007).

Em 1961, o Governo Federal promulgou o Código Nacional de Saúde, através do Decreto nº 49.974. Esse código regulamentou normas gerais de defesa e proteção da saúde válidas em todo o território nacional, incorporando o que se denomina hoje como vigilância sanitária, saneamento e proteção ambiental (FORMAGGIA, 2007).

Posteriormente, no ano de 1977, através do Decreto Federal nº 79.367, o Ministério da Saúde tornou-se a instituição encarregada pela elaboração de normas e definição de padrões de potabilidade da água para o consumo humano. Esse decreto determinava que órgãos e entidades dos Estados, Municípios, Distrito Federal e Territórios, responsáveis pelo abastecimento público, deveriam seguir as normas e padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde (FORTES *et al.*, 2019).

Em 2007 foi aprovada a Lei Federal 11.445, que estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico e trouxe como princípio o valor universal de acesso à água, sendo o Estado e as empresas de abastecimento público responsáveis pelo atendimento adequado de água à população (BRASIL, 2007).

Atualmente, a Portaria Gabinete do Ministro/Ministério da Saúde (GM/MS) Nº 888, de 4 de maio de 2021, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, assegura que os procedimentos que garantem a qualidade da água sejam cumpridos. Essa portaria dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, assim como estabelece o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua), que é responsável pelas ações de controle e vigilância da qualidade da água (FORTES *et al.*, 2019).

3.3 Tratamento de água

3.3.1 Processo de tratamento

O abastecimento de água potável é caracterizado por todas as atividades, infraestruturas e instalações que tem como objetivo o abastecimento público, envolvendo processos desde a captação da água bruta até as ligações prediais e instrumentos de medição (FORTALEZA, 2015).

A primeira etapa do processo de tratamento é a captação da água bruta, onde a mesma é retirada de um corpo hídrico por meio de estruturas e equipamentos, sendo a captação feita de maneira superficial ou submersa. Em muitas ETAs, nesse momento é realizado o tratamento preliminar através do gradeamento, que consiste

em telas de aço ou grades que permitem a passagem da água e impedem a passagem de resíduos sólidos grosseiros, evitando que equipamentos possam ser obstruídos ou danificados (MENEZES, 2017).

Posteriormente, a água passa por uma estação elevatória, onde bombas, motores e tubulações irão transportar essa água até um reservatório inicial ou diretamente para o tratamento físico-químico (FORTALEZA, 2015).

A etapa do tratamento físico-químico é composta por diversos processos que tornarão a água própria para o consumo humano, e envolve os processos de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção de pH (FERREIRA FILHO, 2017). Após o tratamento, a água é direcionada para reservatórios e, posteriormente, para a rede distribuidora, que irá fornecer água potável para a população.

3.3.2 Tratamento físico-químico

O tratamento físico-químico e biológico torna a água própria para o consumo humano, sendo realizado em uma estação de tratamento de água (ETA). Essas estações normalmente são de ciclo completo, ou seja, a água passa pelos processos de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção de pH, com o objetivo de clarificar, remover cor, turbidez e patógenos da água (FERREIRA FILHO, 2017).

Um fator importante que deve ser observado é a qualidade da água bruta captada. Coliformes fecais, cor verdadeira, concentração de cianobactérias e turbidez são considerados os parâmetros mais importantes quando se trata de corpos hídricos com baixas concentrações de pesticidas e metais (OLIVEIRA et al., 2021).

Após a captação, a água passa por um processo de coagulação, sendo a primeira operação unitária do tratamento. O coagulante tem como objetivo desestabilizar quimicamente as partículas em suspensão na água, garantindo a sua clarificação e, posteriormente, a sua floculação (FORTALEZA, 2015). O processo ocorre de maneira rápida, onde os reagentes (sais de ferro e de alumínio) são adicionados em uma velocidade suficientemente alta que propicie a mistura homogênea com a água (FERREIRA FILHO, 2017).

A segunda operação unitária de uma estação de tratamento de água é a floculação. Após a coagulação e em agitação lenta, as partículas desestabilizadas acabam colidindo, e com a ajuda de um floculante, ocorre a fixação entre partículas e

o aumento da sua superfície, iniciando a formação dos flocos. O objetivo é a formação de flocos grandes e pesados capazes de decantar por gravidade e clarificar a água (SENEDA *et al.*, 2021).

O tratamento segue, então, para a etapa de decantação, processo físico onde os flocos formados na floculação são removidos por meio de sedimentação gravitacional. Os flocos devem adquirir um diâmetro de partícula grande o suficiente para que a velocidade de sedimentação seja elevada, e assim, serem removidos do meio (FORTALEZA, 2015). Em condições reais, fatores como a densidade das partículas, ação do vento e ressuspensão de lodo podem afetar negativamente a taxa de sedimentação (FERREIRA FILHO, 2017).

Após a decantação, a água segue para a filtração. O processo tem como objetivo reter as partículas menores e mais leves que não foram removidas nas etapas anteriores, sendo utilizado como meio filtrante materiais como areia e o carvão, garantindo a potabilidade e características estéticas adequadas para o consumo da água (GARBELINI, 2017).

A última parte do processo de tratamento de água é a desinfecção, fluoretação e correção do potencial de hidrogênio (pH). A desinfecção tem como objetivo eliminar patógenos, tornando a água segura para seu consumo. O agente mais comumente utilizado para desinfecção é o cloro, em forma de cloro gasoso (Cl_2), o hipoclorito de sódio (NaOCl) e de cálcio (Ca(OCl)_2) e o dióxido de cloro (ClO_2). Apesar dos benefícios do cloro como agente de desinfecção, estudos indicam a produção de subprodutos a partir do cloro, como orgânicos halogenados e trihalometanos, que são classificados por agências internacionais como substâncias potencialmente carcinogênicas (FRANCO *et al.*, 2019). Essas substâncias são formadas principalmente em águas com alta carga de matéria orgânica.

A fluoretação da água para o consumo humano é uma diretriz da Política Nacional de Saúde Bucal, estabelecida no ano de 2004, e tem como finalidade a prevenção da cárie dentária. O método é conhecido por ser seguro, eficiente, de baixo custo, de grande abrangência, sendo uma medida de saúde coletiva e socialmente justa de acesso ao flúor (MOIMAZ *et al.*, 2020).

A correção do pH da água é feita de maneira a aumentar o pH, evitando que a acidez da água cause corrosão de estruturas metálicas do sistema de distribuição (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2004).

Após a finalização do tratamento da água, a mesma é enviada para a rede de água potável, chegando até a população. Em muitos casos, essa água também é enviada para reservatórios, como forma de garantir o acesso à água em ocasiões diversas.

3.3.3 Parâmetros de qualidade

Os parâmetros de qualidade da água potável no Brasil são determinados pela Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, que dispõe sobre procedimentos de controle e de vigilância da água para consumo e determina seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2021). A Portaria define que a água disponível para consumo humano deve estar em conformidade com padrões e limites estabelecidos pela mesma, assim como estabelece planos para procedimentos de amostragem.

Os padrões de potabilidade da água estão dispostos em Anexos na Portaria (conforme mostra o Anexo A.2), onde são estipuladas quais as condições e quais os valores máximos permitidos (VMPs) de substâncias em água própria para o consumo humano. O presente trabalho irá abordar os Anexos 9 e 11. O Anexo 9 traz os padrões de potabilidade para substâncias químicas que podem trazer risco à saúde e é dividido em substâncias inorgânicas, substâncias orgânicas, agrotóxicos e metabólitos, subprodutos da desinfecção e radioatividade (Anexo A.3). O Anexo 11 da Portaria traz o padrão de substâncias que alterem organolepticamente a água, como cor, gosto e odor (conforme mostra o Anexo A.4).

Além dos parâmetros estipulados pela Portaria Nacional, a Portaria Estadual nº 320/2014 no Rio Grande do Sul estabelece parâmetros adicionais de agrotóxicos ao padrão de potabilidade para substâncias químicas, como forma de controle e vigilância sanitária (RIO GRANDE DO SUL, 2014). O Anexo 1 da Portaria determina quais são as substâncias orgânicas e seus valores máximos permitidos em água potável (Anexo A.5).

3.4 Estações de tratamento de água de Porto Alegre

As estações de tratamento de água em Porto Alegre são administradas e geridas pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE). O órgão é responsável pela captação, tratamento e distribuição de água, pela coleta e tratamento do esgoto sanitário (cloacal), pela manutenção do sistema pluvial e pelos projetos e obras de drenagem (DMAE, 2022a).

O Departamento conta com seis estações de tratamento de água (ETAs) distribuídas pela cidade: ETA Belém Novo, ETA Francisco de Lemos Pinto (Ilha da Pintada), ETA José Loureiro da Silva (Menino Deus), ETA Moinhos de Vento, ETA São João e ETA Tristeza. Cada ETA possui uma estação de bombeamento de água bruta (EBAB) associada, porém nos casos da Moinhos de Vento e da São João, a EBAB é a mesma (DMAE, 2022b).

A Figura 4 mostra o mapa de Porto Alegre e as respectivas localizações das ETAs e das EBABs, assim como a abrangência da distribuição de água tratada de cada estação. Em função das demandas variáveis, as vazões máximas das estações são diferentes, variando de 100 L/s até 4000 L/s, conforme mostra o Anexo A.6.

Figura 4: Localização das ETAs e EBABs do Departamento Municipal de Água e Esgotos



Fonte: DMAE, 2022b.

3.4.1 Caracterização da região de captação de água bruta

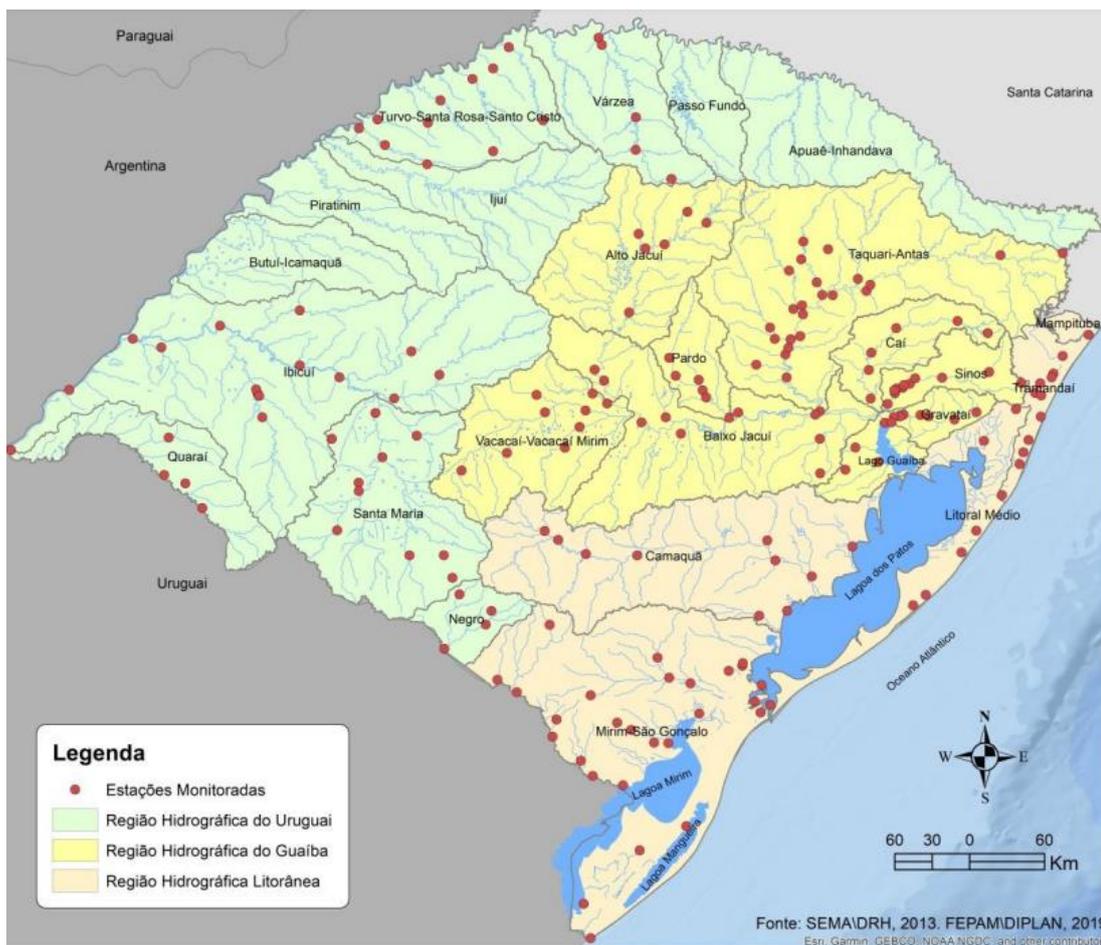
As captações de água bruta das estações de Porto Alegre são feitas no lago Guaíba, pelas ETAs Belém Novo, José Loureiro da Silva, Moinhos de Vento, São João e Tristeza, e no rio Jacuí, pela ETA Francisco de Lemos Pinto (DMAE, 2022b).

O lago Guaíba está localizado na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul (RS), e é identificado como principal corpo hídrico de abastecimento da cidade desde o século XVIII. Além do abastecimento público, o lago é utilizado para descarte de efluentes, transporte e navegação, pesca, turismo e lazer. Conforme a poluição no lago foi modificando ao longo dos anos, muitas atividades acabaram sendo vedadas de serem realizadas (ANDRADE *et al.*, 2019). A vazão de entrada do lago Guaíba tem como média histórica o valor de 780 m³/s e é alimentado principalmente pelo rio Jacuí (84,6%), além do rio dos Sinos (7,5%), rio Caí (5,2%) e rio Gravataí (2,7%) (ANDRADE *et al.*, 2019).

O rio Jacuí desemboca no Delta do Jacuí, arquipélago composto por 29 ilhas, áreas continentais, canais, pântanos e charcos do estado, tendo sua formação a partir do encontro dos rios Gravataí, Sinos, Caí e Jacuí. A área totaliza cerca de 14 mil hectares e é protegida por duas unidades de conservação, o Parque Estadual Delta do Jacuí e a Área de Proteção Ambiental Delta do Jacuí (MUNHOZ *et al.*, 2017).

O lago Guaíba e o rio Jacuí pertencem à Região Hidrográfica do Guaíba, que compreende as bacias Alto Jacuí, Baixo Jacuí, Caí, Gravataí, Lago Guaíba, Pardo, Sinos, Taquari-Antas e Vacacaí-Vacacaí Mirim, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5: Regiões Hidrográficas e suas respectivas Bacias no Rio Grande do Sul



Fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2020

A bacia do Alto Jacuí contribui com cerca de 85 % das águas formadoras do Lago Guaíba e tem como economia da região o uso do solo para agricultura e pecuária. A bacia do Pardo tem como principal fonte econômica as lavouras de arroz irrigado e a produção de tabaco na região. A bacia Vacacaí-Vacacaí Mirim tem sua ocupação do solo por latifúndios, utilizados para agricultura e pecuária extensiva, assim como o cultivo de arroz irrigado. Na região da bacia do Baixo Jacuí há intensa extração de carvão, causando impacto ambiental significativo, polos industriais (químico, plástico, metalúrgico, siderúrgico, borracheiro e de produtos alimentares) e uso do solo para pecuária e agricultura (RIO GRANDE DO SUL, 2022b).

Na bacia Taquari-Antas, encontra-se intenso uso de agrotóxicos no cultivo de macieiras, assim como grandes emissões derivadas de parques industriais nas regiões de Bento Gonçalves e Caxias do Sul. A bacia do Caí traz como maior impacto ambiental a disposição de esgoto doméstico em seus rios, e por apresentar um relevo acidentado, com pouca deposição de água da chuva, a diluição dos resíduos fica

impedida. Também há a presença de um polo petroquímico na região e intensa cultura de morango, resultando em efluentes e agrotóxicos, respectivamente, despejados nos corpos hídricos (RIO GRANDE DO SUL, 2022b).

A bacia dos Sinos tem como principal economia local os parques industriais, do ramo coureiro-calçadista, petroquímico e metalúrgico. A bacia do Gravataí, onde se localiza o rio mais sensível da região, rio Gravataí, é impactada significativamente pelas lavouras de arroz irrigado, que reduzem a capacidade de acumulação de água do seu principal rio. Na região se encontram também indústrias do setor automobilístico, mecânico, alimentício e de bebidas. Por último, a bacia do Lago Guaíba tem como principais agentes impactantes dos seus corpos hídricos o lançamento de esgotos da capital Porto Alegre, as indústrias de metalurgia, celulose e produtos alimentícios, além dos próprios rios Gravataí e Sinos, que desembocam no Delta do Jacuí e trazem consigo alta carga de poluentes (RIO GRANDE DO SUL, 2022b).

A Região Hidrográfica do Guaíba abrange 251 municípios e estimadamente 5,9 milhões de pessoas, correspondendo a 60% da população do Rio Grande do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 2020).

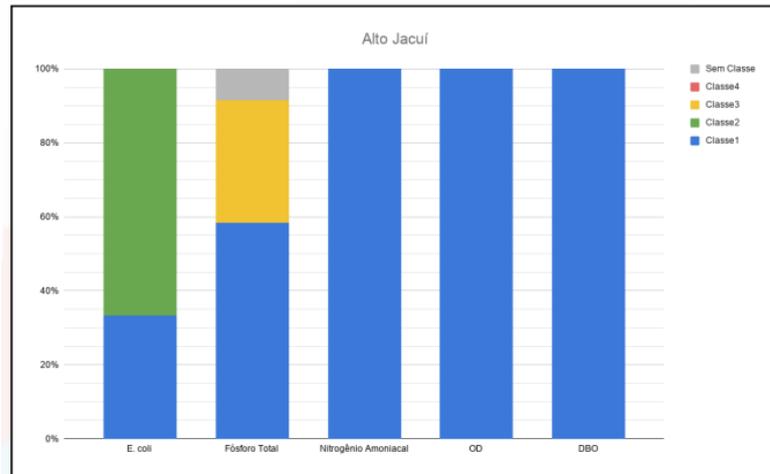
3.4.2 Qualidade da água bruta na Região Hidrográfica do Guaíba

As análises que indicam a qualidade da água bruta nas Regiões Hidrográficas do Rio Grande do Sul são realizadas pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM). A FEPAM é uma instituição vinculada à Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA), sendo responsável pelo licenciamento ambiental no Estado. A Fundação origina da antiga Coordenadoria do Controle do Equilíbrio Ecológico do Rio Grande do Sul (década de 1970) e do antigo Departamento de Meio Ambiente da Secretaria de Saúde e Meio Ambiente (RIO GRANDE DO SUL, 2022a).

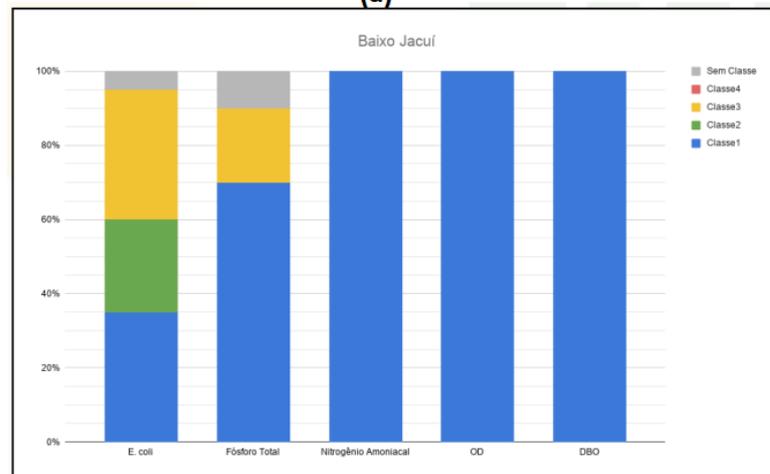
A caracterização da qualidade da água das Regiões Hidrográficas é feita separadamente para cada bacia. As análises são realizadas durante o ano inteiro, sendo avaliados mais de 20 parâmetros de qualidade em 187 estações de monitoramento espalhadas pelo estado. Em função dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados e das principais cargas poluidoras em zona rural e urbana, 5 parâmetros principais são utilizados como referência para avaliação da qualidade da água: *Escherichia coli*, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal, Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio (RIO GRANDE DO SUL, 2020).

Na Região Hidrográfica do Guaíba, a bacia do Alto Jacuí (Figura 6a) apresenta água de boa qualidade, a bacia do Baixo Jacuí apresenta água de qualidade boa a regular (Figura 6b) e a bacia do Caí apresenta água de qualidade boa (Figura 6c).

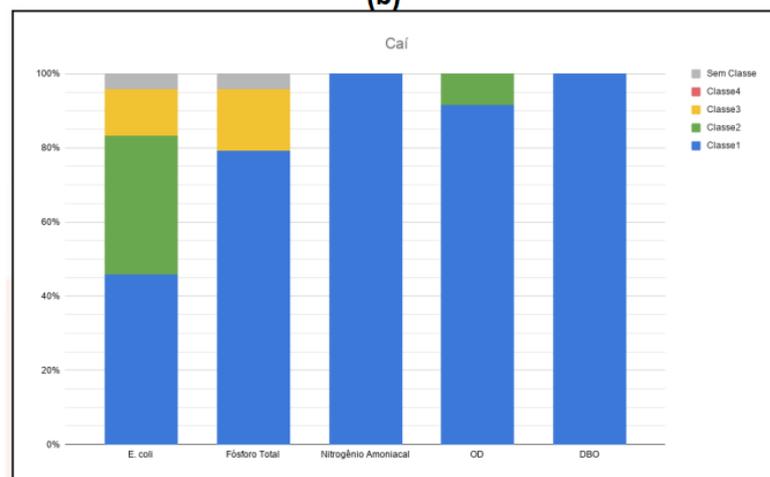
Figura 6: Classificação dos corpos hídricos da Região Hidrográfica do Guaíba; (a) Bacia do Alto Jacuí; (b) Bacia do Baixo Jacuí; (c) Bacia do Caí.



(a)



(b)

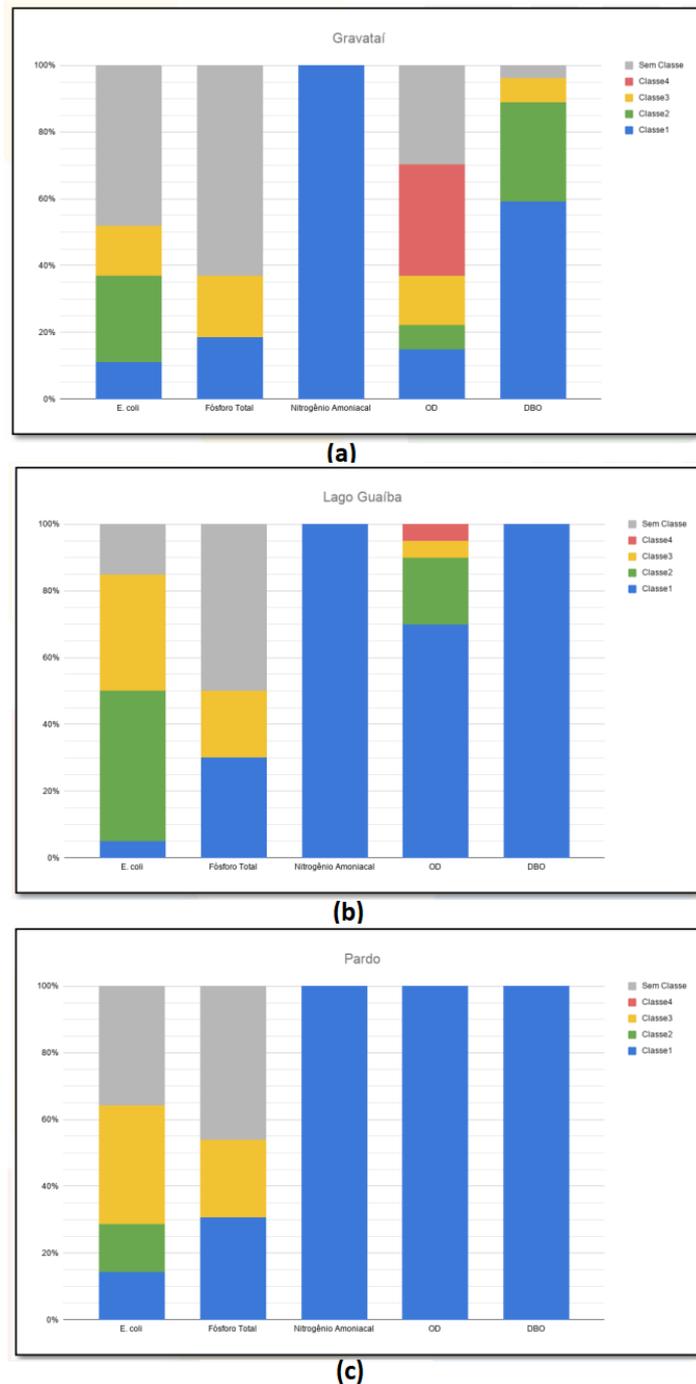


(c)

Fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2020

A bacia do Gravataí apresenta água de qualidade péssima (Figura 7a), a do lago Guaíba apresenta água de qualidade ruim (Figura 7b), sendo os teores de Fósforo Total e *E. coli* os parâmetros comprometedores, e a Bacia do Pardo possui águas de qualidade ruim (Figura 7c).

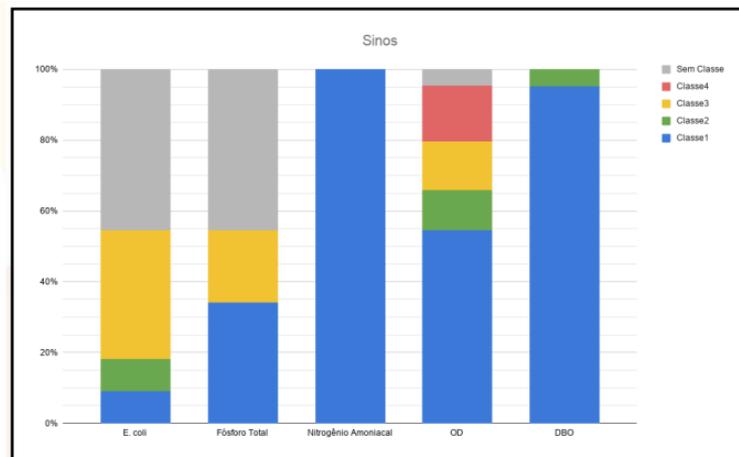
Figura 7: Classificação dos corpos hídricos da Região Hidrográfica do Guaíba; (a) Bacia do Gravataí; (b) Bacia do Lago Guaíba; (c) Bacia do Pardo.



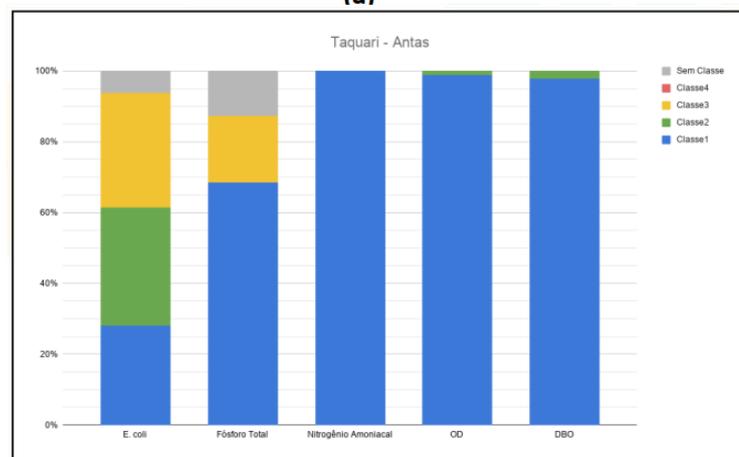
Fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2020.

A Bacia do Sinos apresenta águas de qualidade ruim ou péssimas (Figura 8a), a Bacia Taquari-Antas apresenta água de qualidade boa a regular (Figura 8b) e a Bacia Vacacaí-Vacacaí Mirim apresenta água de qualidade regular (Figura 8c).

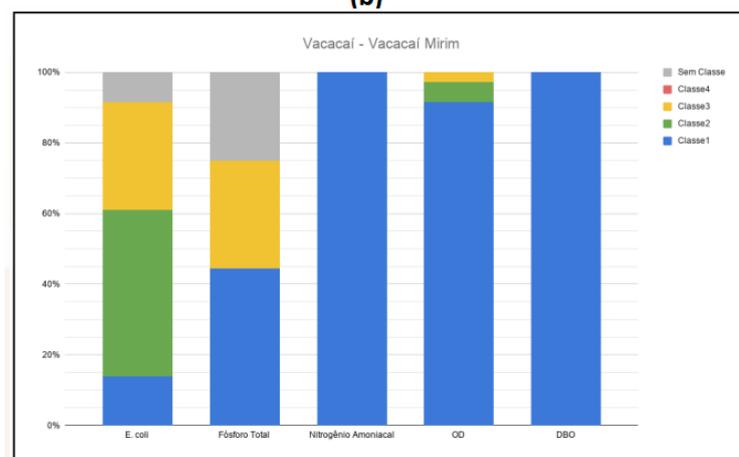
Figura 8: Classificação dos corpos hídricos da Região Hidrográfica do Guaíba; (a) Bacia do Sinos; (b) Bacia Taquari-Antas e (c) Bacia Vacacaí-Vacacaí Mirim.



(a)



(b)



(c)

Fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2020.

Os principais problemas de contaminação ambiental que a região sofre são as grandes quantidades de efluentes industriais e domésticos não tratados despejados nos rios, a erosão do solo e a contaminação causada pelo cultivo agrícola, que utilizam agrotóxicos e resíduos orgânicos (RIO GRANDE DO SUL, 2020). Esses fatores influenciam diretamente na qualidade da água, fazendo com que maiores investimentos sejam necessários para o tratamento da água para consumo humano. (TEBALDI, 2015).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo apresenta a metodologia utilizada para a realização do trabalho, de forma a contribuir para a avaliação de desempenho das estações de tratamento de água do Departamento Municipal de Água e Esgotos do município de Porto Alegre relativo aos parâmetros da Portaria Nacional GM/MS nº 888.

4.1 Obtenção do conjunto de análises das estações de tratamento de Porto Alegre

O Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) realiza semestralmente análises exigidas pela Portaria Estadual nº 320, de 24 de abril de 2014, referente à presença de agrotóxicos na água, e pela Portaria Nacional GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, relativa à potabilidade da água para consumo humano. Os resultados das análises são enviados para o SISÁGUA - Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano, pertencente à Vigilância Sanitária. Esse sistema tem como objetivo gerenciar os dados obtidos pelos profissionais do setor da saúde e do setor de abastecimento de água, planejando, decidindo e executando ações que estão associadas ao consumo de água potável (BRASÍLIA, 2022). A obtenção dos dados referentes à Portaria Nacional pode ser obtida por meio do site *Portal Brasileiro de Dados Abertos* (BRASIL, 2022), e os dados referentes à Portaria Estadual podem ser obtidos diretamente com o DMAE, uma vez que os resultados são arquivados no servidor da rede interna do departamento e disponibilizados por solicitação pública (órgãos do governo) ou privada.

Para esse trabalho, as análises dos parâmetros da Portaria Nacional (Anexos A.3 e A.4) e da Portaria Estadual (Anexo A.5) foram fornecidos em arquivos no formato PDF. Os arquivos continham análises do período entre o primeiro semestre de 2015 até o primeiro semestre de 2021. Todos os dados recolhidos foram utilizados no trabalho, e foram separados por semestres e por estação de tratamento de água. Dados anteriores ao ano de 2015 eram encontrados apenas em arquivos físicos, que foram desconsiderados. O modelo de dados fornecido pela Portaria Nacional e pela Portaria Estadual se encontra no Anexo A.7.

4.2 Tratamento dos dados

O arquivo de dados em formato PDF fornecido pelo DMAE foi planilhado utilizando o software Microsoft Excel, de forma a facilitar a análise dos resultados. Foram elaboradas duas planilhas, uma contendo as análises exigidas pela Portaria Estadual e outra contendo as análises da Portaria Nacional. Os parâmetros da Portaria Nacional se dividiam em substâncias inorgânicas, orgânicas, agrotóxicos, produtos secundários de desinfecção, radioatividade e parâmetros organolépticos. Já a Portaria Estadual mencionava somente o grupo de agrotóxicos.

Durante o período de 2015 a 2021 foram acompanhados 84 parâmetros da Portaria Nacional e 46 parâmetros da Portaria Estadual. Do total desses 130 parâmetros, ácidos haloacéticos, alumínio, amônia, antimônio, cádmio, chumbo, cromo, ferro, manganês, nitrato, nitrito e trihalometanos resultaram valores, em pelo menos 1 análise, acima do limite de detecção (LD), do limite de quantificação (LQ) e próximos ou acima dos VMPs pela legislação. As análises relativas à Portaria Estadual foram realizadas no mesmo período de 6 anos. A comparação dos parâmetros e a construção de gráficos não pôde ser realizada pois os dados de 2015, 2019, 2020 e 2021 resultaram em “não detectado” e os valores dos anos de 2016, 2017 e 2018 indicaram abaixo do limite de detecção ou abaixo do limite de quantificação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo apresenta os principais resultados obtidos no trabalho. Primeiramente, são avaliados os parâmetros obtidos em água tratada no município de Porto Alegre, comparando os valores com os limites estipulados pela Portaria Nacional GM/MS nº 888/2021 e pela Portaria Estadual nº 320. Por fim, é realizada a comparação da eficiência entre as ETAs no tratamento da água potável, observando os parâmetros e seus limites estabelecidos pela Portaria Nacional GM/MS nº 888/2021. Como os resultados da Portaria Estadual nº 320 demonstraram a inexistência de agrotóxicos em água tratada para todas as ETAs, não foi possível realizar a comparação das mesmas.

5.1 Análise das substâncias encontradas em água tratada e comparação com os valores máximos permitidos nos Anexos 9 e 11 da Portaria Nacional GM/MS nº 888/2021

Nesta etapa do trabalho, identificou-se as substâncias analisadas pós-tratamento nas estações de tratamento de Porto Alegre e as concentrações em que se encontravam em relação ao valor máximo permitido pelas legislações brasileiras.

Em relação aos parâmetros dos Anexos 9 e 11 da Portaria Nacional GM/MS nº 888/2021, foram identificadas, entre 2015 e 2021, 12 substâncias em água tratada que se encontravam com valores acima do LD, LQ e próximos dos VMPs, sendo elas: ácidos haloacéticos, alumínio, amônia, antimônio, cádmio, chumbo, cromo, ferro, manganês, nitrato, nitrito e trihalometanos. Todas as outras substâncias monitoradas, conforme exigência do Anexo I da Portaria Estadual nº 320, resultaram em valores com concentração abaixo do limite de detecção/quantificação ou não foram detectadas.

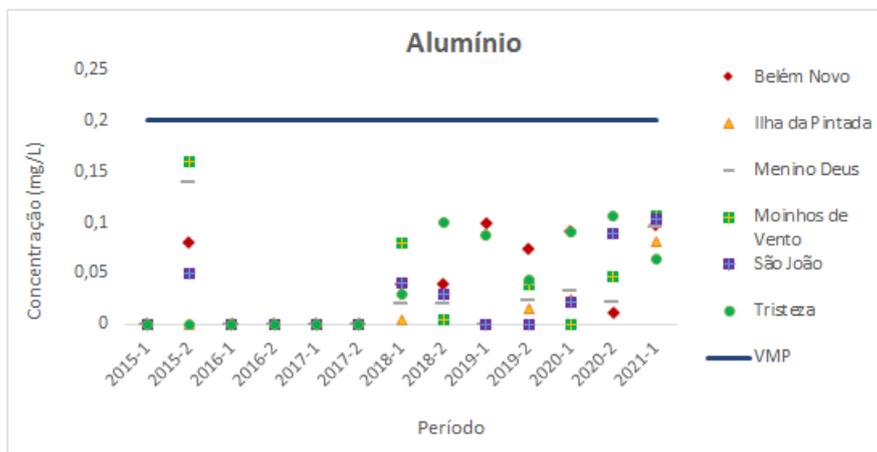
O parâmetro alumínio foi identificado, em todas as análises e em todas as ETAs, em concentrações abaixo do VMP. No segundo semestre do ano de 2015, nas estações Moinhos de Vento e José Loureiro da Silva - Menino Deus, as concentrações de alumínio resultaram em 0,14 e 0,15 mg/L, valores próximos do VMP (Figura 9a). Coagulantes à base de alumínio são muito utilizados para remover a turbidez e a matéria orgânica da água, entretanto esses coagulantes podem resultar em altas concentrações de alumínio na água potável. Partículas de alumínio na rede de

distribuição de água tratada podem diminuir o efeito dos agentes de desinfecção, aderir às paredes dos tubos e aumentar a turbidez da água (HE *et al.*, 2021).

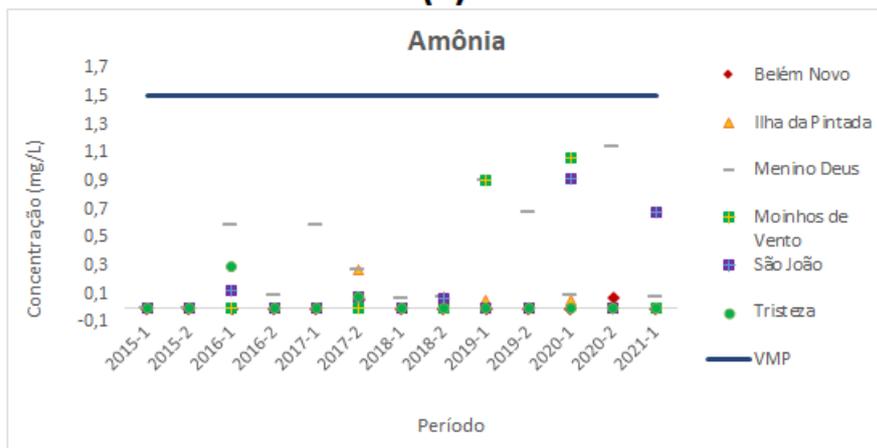
Amônia foi identificada em valores de concentração abaixo do VMP em todos os semestres e em todas as ETAs, conforme indica a Figura 9b. Descartes irregulares de esgoto sanitário e de resíduos nitrogenados derivados de animais e escoamento de água de terras agrícolas podem contaminar os corpos hídricos com amônia (JOSEPH *et al.*, 2021). Em processos de desinfecção onde se utiliza o sistema de cloração, a amônia pode reagir com cloro e formar subprodutos, introduzindo outros poluentes em água tratada (HAN, 2013).

O parâmetro antimônio foi identificado muito próximo de seu VMP somente em dois semestres, na estação Moinhos de Vento. Os valores encontrados foram 0,005 mg/L no segundo semestre de 2019 e 0,0048 mg/L no primeiro semestre de 2020 (conforme Figura 9c). A liberação de antimônio no meio ambiente é dada por meio de processos naturais e por atividades antrópicas como mineração, fundição, descarte irregular de esgotos e combustão de combustíveis fósseis. Antimônio pode ser encontrado na água, no solo, em sedimentos e em aerossóis atmosféricos (TAO *et al.*, 2021). Estudos indicam alta toxicidade do antimônio em ambientes aquáticos, impactando algas, invertebrados e peixes (DÍAZ *et al.*, 2013; STEVENSON *et al.*, 2017).

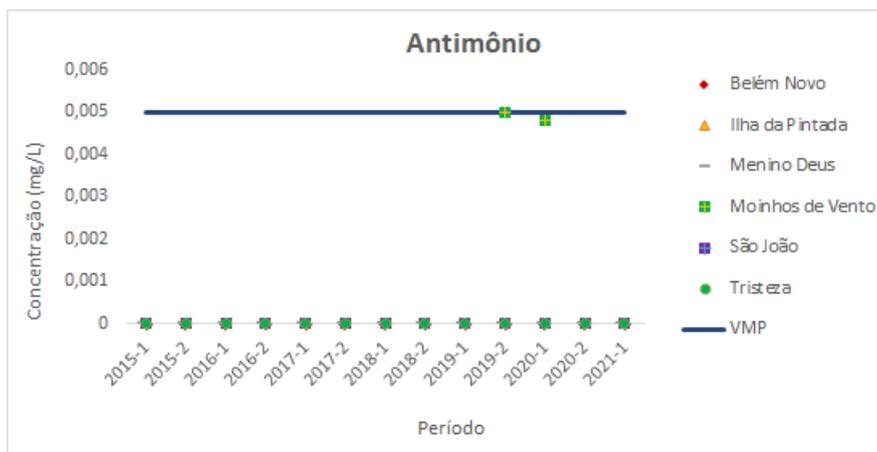
Figura 9: Identificação de substâncias nas ETAs de Porto Alegre; (a) alumínio; (b) amônia; (c) antimônio.



(a)



(b)



(c)

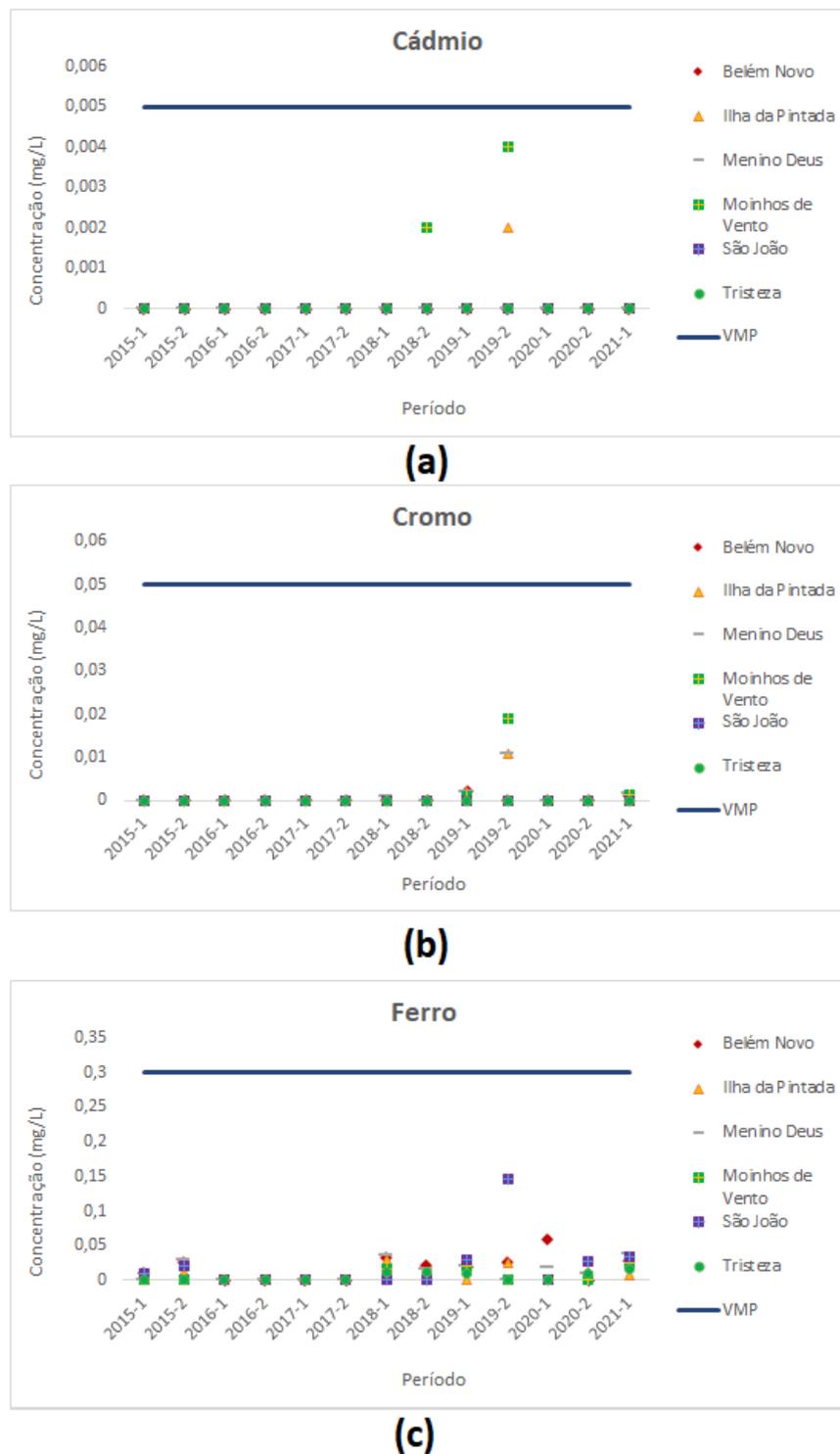
Fonte: Adaptado dos arquivos de dados do DMAE

Os resultados para as concentrações de cádmio ficaram abaixo do VMP e somente um único valor próximo do VMP, indicando 0,004 mg/L (Figura 10a). O cádmio é utilizado principalmente na fabricação de plásticos, pigmentos e baterias, na indústria cerâmica e têxtil e na fabricação de metais (SISWOYO *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2021). O cádmio é um metal tóxico até em baixas concentrações, e pode permanecer por longos períodos de tempo dentro de organismos (SISWOYO *et al.*, 2019).

O parâmetro de cromo resultou em valores abaixo do VMP estabelecido pela legislação e indicou presença em água tratada em 3 ETAs no segundo semestre de 2019 (Figura 10b). Os íons de cromo podem ser carregados para o solo e águas subterrâneas por meio do intemperismo de rochas, evapotranspiração, deposições causadas pelo vento, lixiviação do solo e escoamento devido à fatores hidrológicos (KAZEMI *et al.*, 2022). O cromo, especialmente de valência Cr(VI), é considerado um dos poluentes mais perigosos e onipresentes em águas e a sua presença é facilmente detectada em áreas altamente industrializadas e seus compostos são utilizados em curtumes, em indústrias metalúrgicas, de fertilizantes e de produção de cimento (MADDALONI *et al.*, 2022).

Foi indicada a presença de ferro na água tratada pelas ETAs de Porto Alegre, porém nenhum valor ultrapassou o VMP, conforme indica a Figura 10c. Sendo o quarto elemento mais abundante da Terra, o ferro é o contaminante mais comum presente em água potável, pois é facilmente lixiviado das rochas e minerais e acaba dissolvido nas águas subterrâneas. Os íons Fe(III) e Fe(II) são as formas predominantes encontradas nos corpos hídricos (HALDAR *et al.*, 2020).

Figura 10: Identificação de substâncias nas ETAs de Porto Alegre; (a) cádmio; (b) cromo; (c) ferro.

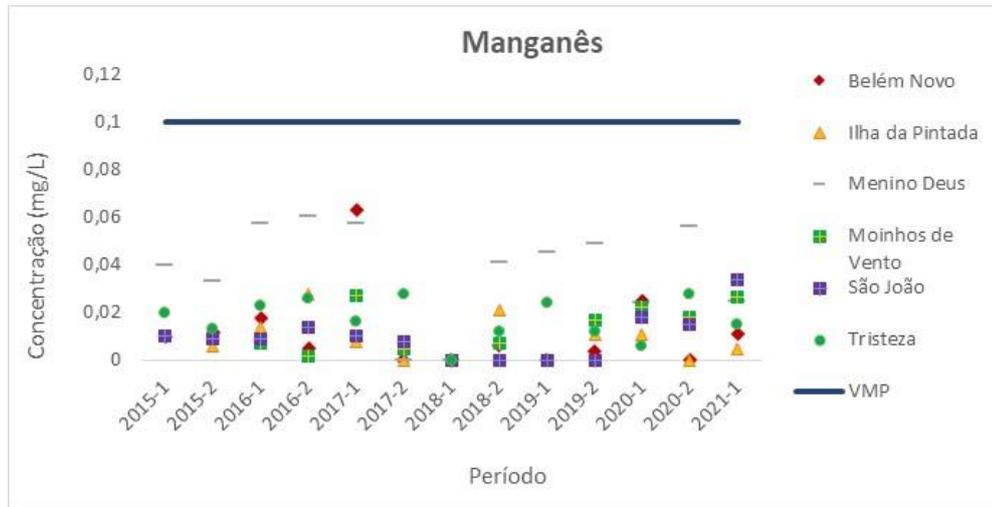


Fonte: Adaptado dos arquivos de dados do DMAE

O parâmetro de manganês apresentou os valores abaixo do VMP, porém indicou presença em todas as ETAs de Porto Alegre, conforme mostra a Figura 11. A presença de manganês em água potável pode ajudar na corrosão de tubos de ferro e pode ser responsável pela coloração da água, manchas e sujeira nos sistemas de

distribuição de água tratada (IYARE, 2019).

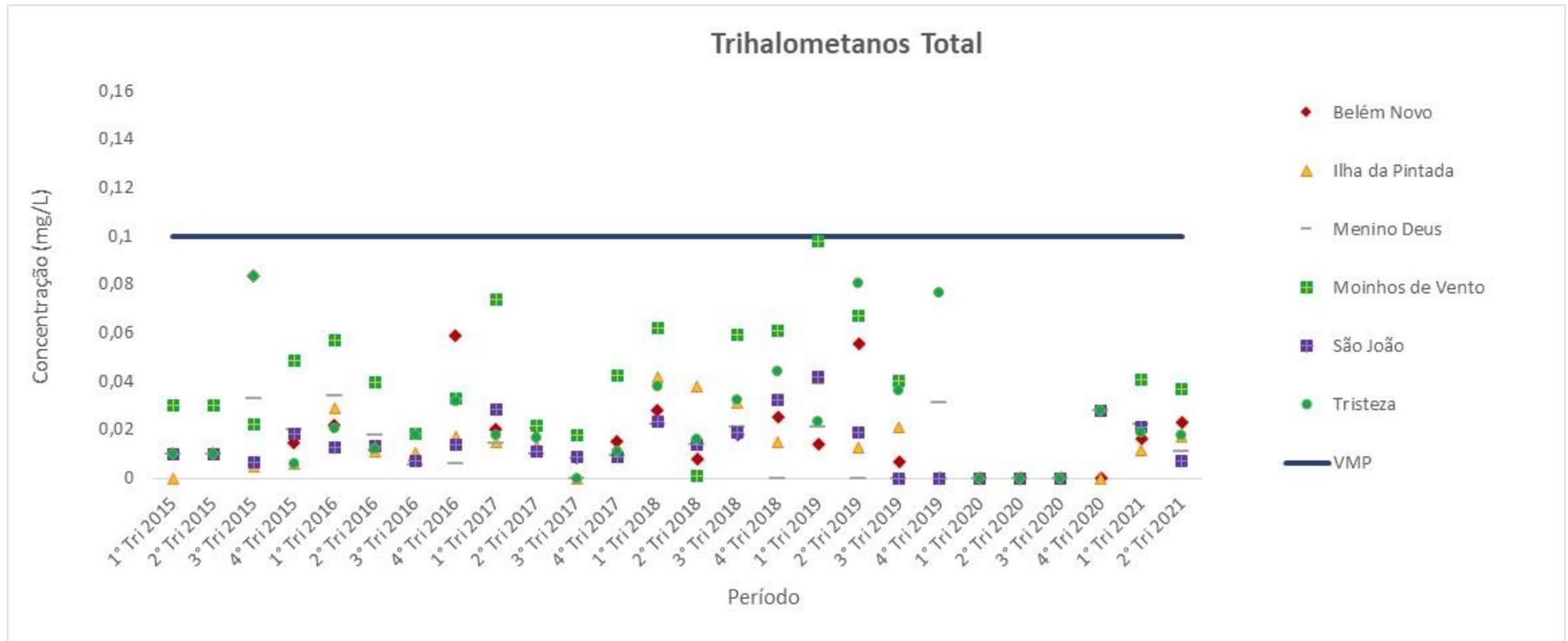
Figura 11: Identificação de manganês nas ETAs de Porto Alegre



Fonte: Adaptado dos arquivos de dados do DMAE

O parâmetro trihalometanos foi identificado em todas as ETAs de Porto Alegre (Figura 12), e somente em uma análise a concentração resultou em 0,098 mg/L, valor próximo ao VMP de 0,1 mg/L. Trihalometanos são produtos secundários da desinfecção, e são originados principalmente da reação do cloro residual livre com a matéria orgânica natural presente na água. A presença desse composto em água merece atenção, pois é considerado potencialmente cancerígeno e associado a problemas mutagênicos (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

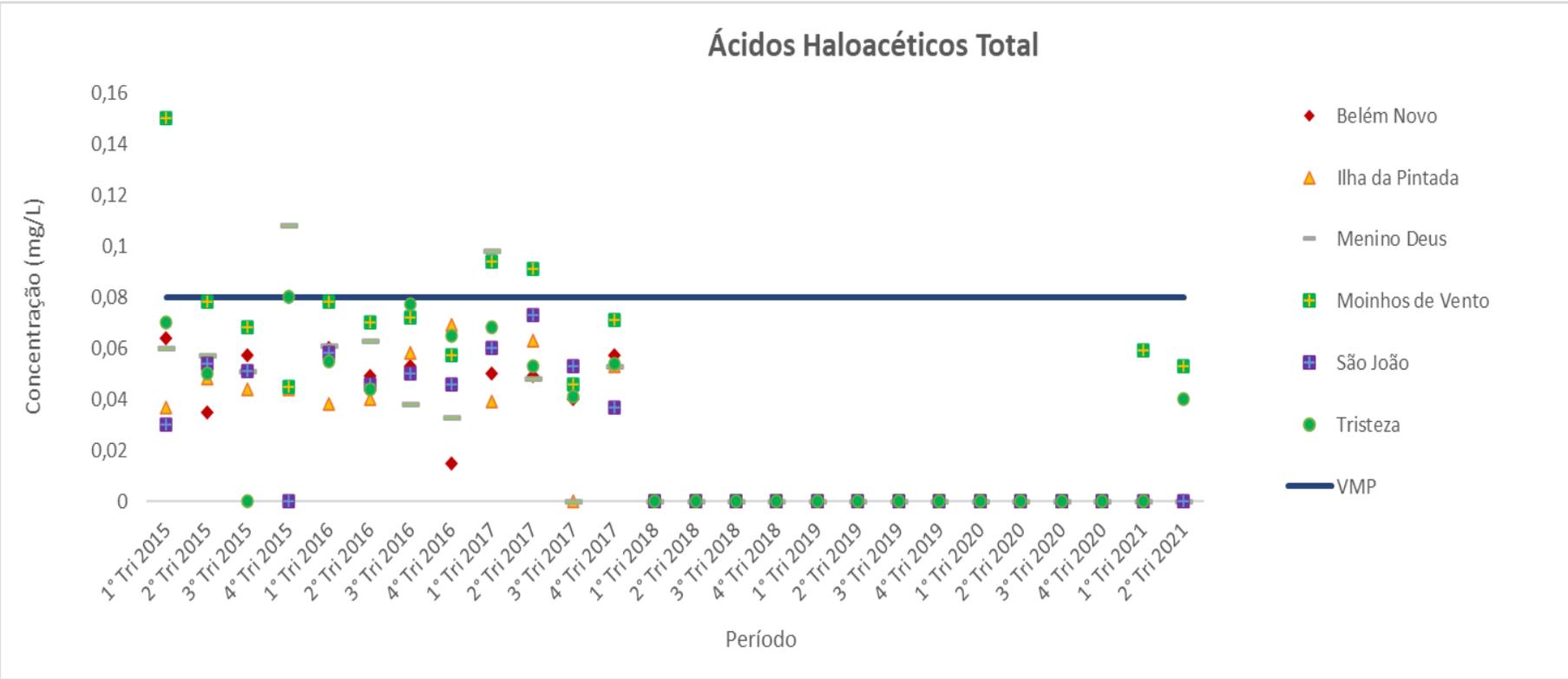
Figura 12: Identificação de trihalometanos nas ETAs de Porto Alegre



Fonte: Adaptado dos arquivos de dados do DMAE.

Ácidos haloacéticos foram detectados com valores próximos ao VMP em sua maioria nos anos de 2015, 2016 e 2017, sendo 5 valores detectados acima do VMP pela legislação. A partir do ano de 2018, a maioria dos valores resultaram abaixo do LD ou LQ, conforme mostra a Figura 13. Assim como trihalometanos, ácidos haloacéticos também são produtos secundários da desinfecção da água, e são associados, segundo estudos epidemiológicos, ao potencial risco de câncer de bexiga e efeitos no sistema reprodutivo (LOU *et al.*, 2021).

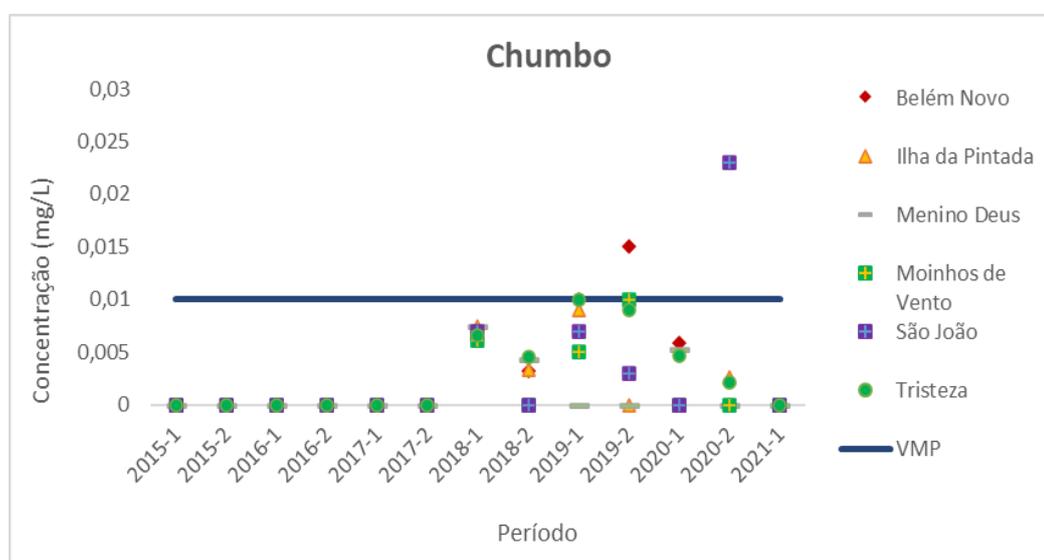
Figura 13: Identificação de ácidos haloacéticos nas ETAs de Porto Alegre



Fonte: Adaptado dos arquivos de dados do DMAE.

Em praticamente todas as estações de tratamento foi indicada a presença significativa de chumbo em água tratada. Três valores resultaram iguais ao VMP (0,01 mg/L) e 2 valores resultaram acima do VMP (0,015 e 0,023 mg/L), conforme mostra a Figura 14.

Figura 14: Identificação de Chumbo nas ETAs de Porto Alegre



Fonte: Adaptado dos arquivos de dados do DMAE.

No meio ambiente, a poluição por chumbo é dada por meio de descargas de águas residuais provenientes de indústrias e esgotos, atividades de mineração, agricultura e plantas de incineração (OBIRI-YEBOAH *et al.*, 2021). As atividades econômicas em torno da Bacia Hidrográfica do Guaíba e a alta produção industrial na região podem ser causadores da contaminação por chumbo nos corpos hídricos (ANDRADE *et al.*, 2019).

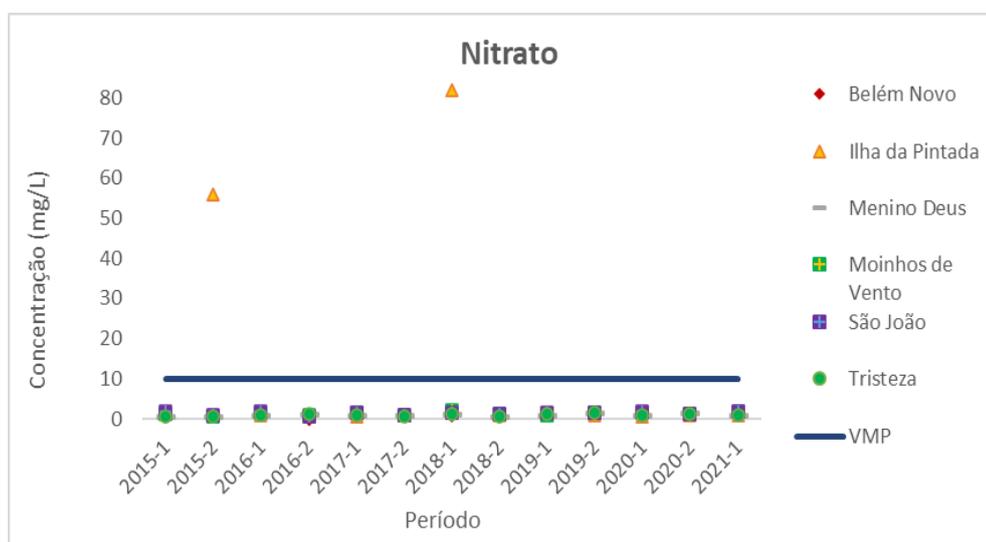
Mesmo havendo um tratamento de efluente dentro das indústrias e que a concentração de substâncias descartadas em corpos hídricos esteja dentro dos limites estabelecidos pela legislação, o somatório final de todos os resíduos descartados por todas as indústrias pode sobrecarregar os rios e lagos e ultrapassar os limites permitidos pela legislação.

Além do caráter tóxico para o meio ambiente, o chumbo pode entrar em contato com o corpo por meio do consumo de água e de alimentos contaminados, por meio da respiração e do contato com a pele, e pode causar lesões internas, danificar o sistema nervoso e digestivo, podendo afetar o desenvolvimento mental de crianças

(YU et al., 2020).

O parâmetro nitrato foi identificado em água tratada de todas as ETAs, em sua grande maioria apresentando valores abaixo do VMP pela legislação. Dois valores resultaram em 56 mg/L e 82 mg/L, acima do VMP de 10 mg/L, em uma mesma ETA, em diferentes períodos (Figura 15).

Figura 15: Identificação de Nitrato nas ETAs de Porto Alegre



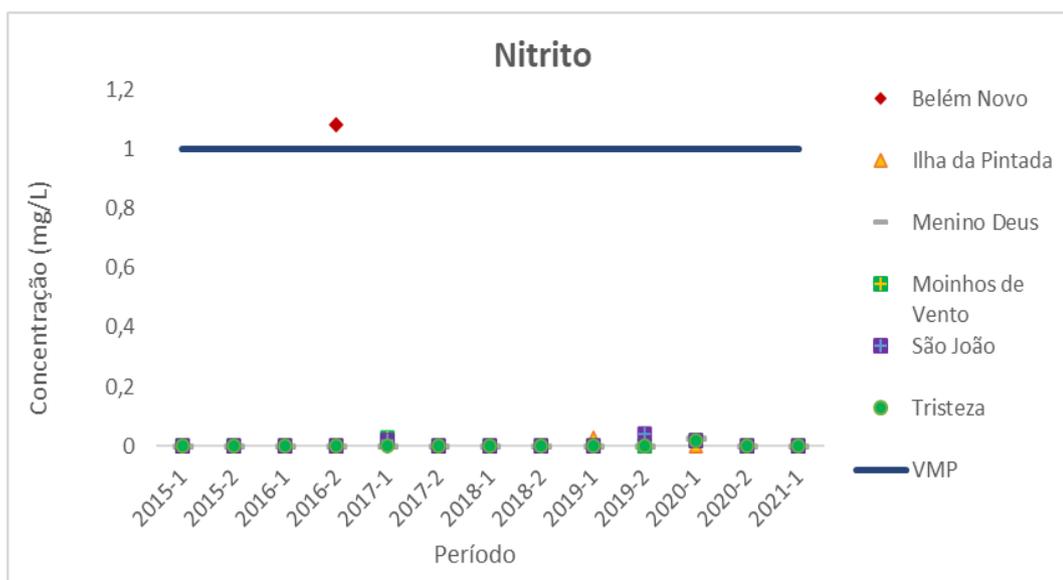
Fonte: Adaptado dos arquivos de dados do DMAE.

Um dos principais contaminantes contendo nitrato que poluem os corpos hídricos é o fertilizante químico. Cada dia mais crescente, a utilização de fertilizantes na agricultura acaba impactando negativamente os recursos hídricos, pois os produtos que se encontram no solo acabam sendo transportados por escoamento superficial para rios e águas subterrâneas. Além da agricultura, resíduos humanos, animais e industriais também são fontes de contaminação por nitrato em águas. Estudos indicam que diferentes níveis de nitrato em água potável podem estar associados a patologias humanas, incluindo câncer (PICETTI *et al.*, 2022; JONES *et al.*, 2016; IARC, 2010; BRUNING-FANNJOHN; KANEENE, 1994).

A presença de nitrato em água também pode ser um indicativo da presença de moléculas sintéticas derivadas de agrotóxicos que possam se comportar de maneira semelhante ao nitrato (RESENDE, 2002).

O parâmetro nitrito foi identificado na concentração de 1,08 mg/L, acima do VMP em água, que é 1,0 mg/L, em uma ETA no segundo semestre de 2016 (Figura 16).

Figura 16: Identificação de nitrito nas ETAs de Porto Alegre



Fonte: Adaptado dos arquivos de dados do DMAE.

Compostos de nitrito, assim como de nitrato, são encontrados em fertilizantes utilizados na agricultura e também são carregados por escoamento superficial para rios e lagos.

Outra possibilidade de contaminação da água por nitrito é a presença de bactérias e outros microrganismos em água, já que o nitrito é produto da decomposição biológica dos mesmos.

Nitritos podem afetar no desenvolvimento de crianças e valores superiores a 1-3 mg/L podem representar risco de desenvolvimento de doenças em seres humanos (AWAN *et al.*, 2022), podendo reagir com aminas e formar nitrosaminas cancerígenas. Um dos efeitos mais conhecidos pela ingestão de nitritos é a metemoglobinemia (Síndrome do Bebê Azul), onde o nitrato interage com a hemoglobina no sangue e a mesma perde a função de transporte e liberação do oxigênio (SHI *et al.*, 2022).

Altas concentrações de nitrito não apenas prejudicam diretamente os seres humanos, mas também reduzem a resistência dos organismos aquáticos, sendo uma fonte patogênica para os mesmos. Isso se dá pelo fato de o nitrito causar a invasão de bactérias patogênicas devido ao seu acúmulo a longo prazo nos corpos hídricos (CAO *et al.*, 2020).

5.2 Comparação do tratamento de água entre as ETAs de Porto Alegre em relação aos parâmetros da Portaria Nacional GM/MS nº 888/2021

Esta etapa do trabalho apresenta a análise dos parâmetros acima ou iguais aos VMPs mencionados no tópico 5.1 e que foram encontrados nas estações de tratamento de água, a fim de identificar quais ETAs apresentaram substâncias no tratamento da água em relação aos parâmetros da Política Nacional. A Tabela 1 mostra todas as substâncias encontradas em água tratada nas estações de tratamento de Porto Alegre.

Tabela 1: Concentrações das substâncias encontradas na ETAs

ETA	Parâmetro	VMP (mg/L)	Valor encontrado (mg/L)	Período
São João	Chumbo	0,01	0,023	2º Semestre 2020
Tristeza	Chumbo	0,01	0,01	1º Semestre 2019
Moinhos de Vento	Ácidos		0,15	1º Trimestre 2015
	Haloacéticos	0,08	0,094	1º Trimestre 2017
	Total		0,091	2º Trimestre 2017
	Antimônio	0,005	0,005	2º Semestre 2019
	Chumbo	0,01	0,01	2º Semestre 2019
Belém Novo	Ácidos			
	Haloacéticos	0,08	0,08	4º Trimestre 2015
	Total		0,01	1º Semestre 2019
	Chumbo	0,01	0,015	2º Semestre 2019
Francisco de Lemos Pinto - Ilha da Pintada	Nitrito	1	1,08	2º Semestre 2016
	Nitrato		56	2º Semestre 2015
			10	82
José Loureiro da Silva - Menino Deus	Ácidos		0,108	4º Trimestre 2015
	Haloacéticos	0,08		
	Total		0,098	1º Trimestre 2017

Fonte: Elaboração própria.

A ETA Moinhos de Vento identificou em 5 amostras componentes com concentrações iguais ou acima do valor máximo permitido. Em seguida, a ETA Belém

Novo apresentou em 4 amostras contaminantes com valores iguais ou acima do VMP. As ETAs Francisco de Lemos Pinto - Ilha da Pintada e José Loureiro da Silva - Menino Deus apresentaram o mesmo número de análises com valores iguais ou acima do VMP, sendo 2 amostras de nitrato e 2 amostras de ácidos haloacéticos, respectivamente. As ETAs São João e Tristeza apresentaram somente 1 amostra com valores acima ou igual ao VMP, relacionadas ao parâmetro de chumbo em ambas. A Tabela 2 sintetiza o número de análises iguais ou acima do VMP em cada ETA.

Tabela 2: Valor total de análises iguais ou acima do VMP pela legislação em cada ETA

Estação de Tratamento de Água	Total de parâmetros iguais ou acima do VMP pela legislação em água tratada
Moinhos de Vento	5
Belém Novo	4
Francisco de Lemos Pinto - Ilha da Pintada	2
José Loureiro da Silva - Menino Deus	2
São João	1
Tristeza	1

Fonte: Elaboração própria.

A captação de água bruta da ETA Moinhos de Vento e da ETA São João se encontra na mesma localização, e ambas apresentaram chumbo em água tratada, o que pode ser um indicativo de contaminação da água do lago Guaíba com metais pesados que podem originar das indústrias da região. Juntamente com chumbo, antimônio foi identificado no mesmo período na ETA Moinhos de Vento, podendo estar associado também à contaminação da água.

A presença de ácidos haloacéticos com valores iguais ou maiores ao VMP em três estações pode estar associada ao aumento de dosagem de cloro e ao aumento do tempo de reação do cloro com a matéria orgânica (ZHENG *et al.*, 2020).

A presença de nitrato e nitrito nas ETAs pode estar associado ao arraste de fertilizantes nitrogenados inorgânicos presentes no solo das plantações para os corpos hídricos (PACHECO *et al.*, 2016). A estação Francisco de Lemos Pinto - Ilha da Pintada, a qual indicou em dois momentos a presença de altas concentrações de nitrato, capta água bruta direto do rio Jacuí, que percorre regiões com alta produção

agrícola e pecuária.

A estação Belém Novo, que detectou presença de nitrito em água, fica localizada na região sul da capital e sua captação é feita diretamente no lago Guaíba. Como o lago é receptor de rios como o Jacuí, Caí e dos Sinos, que possuem alta produção agrícola em suas regiões, nitrito pode ser carregado para o corpo hídrico e indicar presença em água tratada.

Do total de aproximadamente 10.374 análises realizadas no período do primeiro semestre de 2015 até o primeiro semestre de 2021, 15 amostras resultaram acima do LD, LQ e iguais ou maiores que o VMP pela legislação. O valor de 15 análises representa 0,14% do total de parâmetros avaliados em todas as estações de tratamento de água de Porto Alegre. Esse resultado demonstra que a porcentagem de substâncias encontradas em água tratada é baixa, e esses desvios podem derivar de problemas de amostragem ou de despejos irregulares pontuais e não dimensionados, e indica que a água tratada pelo DMAE é segura para o consumo humano.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar o desempenho das ETAs do município de Porto Alegre em relação ao cumprimento dos Anexos 9 e 11 da Portaria Nacional GM/MS nº 888 e do Anexo I Portaria Estadual nº 320/2014, que garantem a potabilidade da água. Foram avaliados resultados de análises que se encontram no sistema de dados abertos SISAGUA, referente à Portaria Nacional, e que foram disponibilizados pelo DMAE, referente à Portaria Estadual, do primeiro semestre de 2015 até o primeiro semestre de 2021.

Os resultados indicaram 12 substâncias, referentes à Portaria Nacional, com valores de concentração acima do LQ, LD e próximos ao VMP, e nenhuma substância que se encontra na Portaria Estadual foi detectada ou estava abaixo do limite de detecção/quantificação nas ETAs de Porto Alegre. Um total de 15 amostras relativas à 5 substâncias (ácidos haloacéticos, chumbo, nitrato, nitrito e trihalometanos) indicaram valores iguais ou acima dos valores máximos permitidos pela legislação.

Também foram avaliadas quais ETAs atenderam integralmente aos parâmetros da Portaria Nacional e Portaria Estadual. Como os valores da Portaria Estadual resultaram em não detectado, não foi possível realizar a avaliação. Relativo à Portaria Nacional, as ETAs que apresentaram menos substâncias em água tratada foram as ETAs São João e Tristeza, cada uma com 1 amostra contendo substância com concentração igual ou acima do VMP. A ETA que apresentou o maior número de substâncias em água foi a ETA Moinhos de Vento, com 5 amostras resultando em concentrações iguais ou acima do VMP.

Frente ao número de análises realizadas pelo DMAE em todas as estações de tratamento de água, os valores iguais ou acima dos VMPs representaram uma pequena parcela de 0,14% do total de análises, indicando que a água tratada pelo DMAE é segura para o consumo humano. A avaliação realizada contribuiu na identificação das estações de tratamento que apresentaram maior quantidade de substâncias presentes em água e na sua frequência de detecção/quantificação no período de 2015 a 2021. O projeto poderá auxiliar futuramente em possíveis estudos de melhoria do tratamento e da eficiência do processo nas estações de tratamento de água, contribuindo com o desenvolvimento do serviço prestado pelo DMAE à população na cidade de Porto Alegre.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, DF. 2020. Ministério do Desenvolvimento Regional. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes>. Acesso em: 4 jan. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, DF. 2022. Ministério do Desenvolvimento Regional. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 11 jan. 2022.

ANDRADE, Leonardo Capeleto de; RODRIGUES, Lucia Ribeiro; ANDREAZZA, Robson; CAMARGO, Flávio Anastácio de Oliveira. Lago Guaíba: uma análise histórico-cultural da poluição hídrica em Porto Alegre, RS, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 229-237, abr. 2019.

AWAN, F.; ALI, M. M.; AFRIDI, I. Q.; KALSOOM, S.; FIRYAL, S.; NAWAZ, S.; AKHTAR, R.; IQBAL, A.; SAEED, S.; NASEER, R.; MEHMOOD, T.; LUQMAN, N.; AHMAD, H. M.; SADIA, H.; TASEER, M. S. A.; KHAN, A. R.; RAFIQUE, N. Drinking water quality of various sources in Peshawar, Mardan, Kohat and Swat districts of Khyber Pakhtunkhwa province, Pakistan. **Brazilian Journal Of Biology**, [S.L.], v. 84, n. 0, p. 1-6, jan. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005**. 2005.

BRASIL. Casa Civil. Subchefia Para Assuntos Jurídicos. **LEI Nº 11.445**. 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021**. 2021.

BRASIL. Brasil. Governo Federal. **PORTAL BRASILEIRO DE DADOS ABERTOS**. 2022. Disponível em: <https://dados.gov.br/>

BRASÍLIA. Sisagua. Ministério da Saúde. **Programa Vigiagua**. 2022.

BRUNING-FANNJOHN, Colleen S; KANEENE, John B. The effects of nitrate, nitrite and N-nitroso compounds on human health: A review. **Veterinary And Human Toxicology**, [S.I.], v. 35, n. 5, p. 521-538, jan. 1994.

CAO, Liping; KANG, Ze-Wen; DING, Qi; ZHANG, Xiaohui; LIN, Hetong; LIN, Mengshi; YANG, Da-Peng. Rapid pyrolysis of Cu²⁺-polluted eggshell membrane into a

functional Cu²⁺-Cu⁺/biochar for ultrasensitive electrochemical detection of nitrite in water. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 723, p. 1-9, jun. 2020.

COSTA, Darleila Damasceno; KEMPKA, Anieli Pinto; SKORONSKI, Everton. A CONTAMINAÇÃO DE MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO PELO NITRATO: O PANORAMA DO PROBLEMA NO BRASIL, SUAS CONSEQUÊNCIAS E AS SOLUÇÕES POTENCIAIS. **Revista Eletrônica do Prodepa**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 49-61, jul. 2016.

DÍAZ, Santiago; VILLARES, Rubén; VÁZQUEZ, María D., CARBALLEIRA, Alejo. Physiological Effects of Exposure to Arsenic, Mercury, Antimony and Selenium in the Aquatic Moss *Fontinalis antipyretica* Hedw. **Water, Air, & Soil Pollution**, [S.L.], v. 224, n. 8, p. 1-14, 31 jul. 2013.

DMAE. **Apresentação**. 2022a. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/dmae/apresentacao>.

DMAE. **Informações Água**. 2022b. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/dmae/informacoes-agua>.

FERREIRA FILHO, Sidney Seckler. **Tratamento de água**: concepção, projeto e operação de estações de tratamento. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FORMAGGIA, Denise Maria Elisabeth. **Uma breve história do Programa de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano do Estado de São Paulo**. 2007. Disponível em: http://www.cvs.saude.sp.gov.br/pdf/artigo_sevisa_01.pdf.

FORTALEZA. Adriana Guimarães Costa. Ministério do Meio Ambiente - Agência Nacional das Águas. **Curso de Especialização a Distância em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos**: sistemas de abastecimento de água. Sistemas de abastecimento de água. 2015. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Disponível em: <http://dspace.agencia.gov.br:8080/conhecerhana/2102>. Acesso em: 08 jan. 2022.

FORTES, Ana Carolina Chave; BARROCAS, Paulo Rubens Guimarães; KLIGERMAN, Débora Cynamon. A vigilância da qualidade da água e o papel da informação na garantia do acesso. **Saúde Debate**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 20-34, dez. 2019.

FRANCO, Elton Santos; FERREIRA, Ana Flávia de Assis; SILVA, Diego Francis; CAMARGO, Júlia Araújo; PÁDUA, Valter Lúcio de; RODRIGUES, Jairo Lisboa; RODRÍGUEZ, Mariandry del Valle; GIANI, Alessandra. Validação de método analítico

por ELL-CG-EM para detecção de trihalometanos decorrentes da cloração de águas contendo *Microcystis*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 5, p. 1003-1012, out. 2019.

FREIRIA, Rafael Costa. ASPECTOS HISTÓRICOS DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL: DA OCUPAÇÃO E EXPLORAÇÃO TERRITORIAL AO DESAFIO DA SUSTENTABILIDADE. **História e Cultura**, Franca, v. 4, n. 3, p. 157-179, 16 dez. 2015.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual Prático de Análise de Água**. Brasília: Ministério da Saúde, 2004. 146 p.

GARBELINI, Ellery Regina. **AVALIAÇÃO DA FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS EM PROCESSOS DE CLORAÇÃO DA ÁGUA. EFEITO DA NATUREZA DA MATÉRIA ORGÂNICA E DE PROCESSOS AUXILIARES DE DESINFECÇÃO**. 2017. 122 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

HALDAR, Dibyajyoti; DUARAH, Prangan; PURKAIT, Mihir Kumar. MOFs for the treatment of arsenic, fluoride and iron contaminated drinking water: a review. **Chemosphere**, [S.L.], v. 251, p. 3-22, jul. 2020

HAN, Mei; ZHAO, Zhi-wei; GAO, Wei; CUI, Fu-yi. Study on the factors affecting simultaneous removal of ammonia and manganese by pilot-scale biological aerated filter (BAF) for drinking water pre-treatment. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 145, p. 17-24, out. 2013.

HE, Yitian; PAN, Linlin; CHEN, Ruya; SHI, Baoyou. Field studies of aluminum release and deposition in drinking water distribution systems. **Chemosphere**, [S.L.], v. 275, p. 1-8, jul. 2021.

IARC. **Ingested nitrate and nitrite, and cyanobacterial peptide toxins**. V. 94. Lyon, France: IARC Working Group On The Evaluation Of Carcinogenic Risks To Humans, 2010. 464 p.

IYARE, P.U. The effects of manganese exposure from drinking water on school-age children: a systematic review. **Neurotoxicology**, [S.L.], v. 73, p. 1-7, jul. 2019.

JONES, Rena R.; WEYER, Peter J; DELLAVALLE, Curt T; CHOI, Maki Inoue-; ANDERSON, Kristin E; CANTOR, Kenneth P; KRASNER, Stuart; ROBIEN, Kim; FREEMAN, Laura E Beane; SILVERMAN, Debra T; WARD, Mary H. Nitrate from Drinking Water and Diet and Bladder Cancer Among Postmenopausal Women in Iowa. **Environmental Health Perspectives**, [S.L.], v. 124, n. 11, p. 1751-1758, nov. 2016.

JOSEPH, J. Determination of ammonia content in various drinking water sources in Malappuram District, Kerala and its removal by adsorption using agricultural waste materials. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 45, p. 811-819, 2021.

KAZEMI, Ali; ESMAEILBEIGI, Milad; SAHEBI, Zahra; ANSARI, Amir. Health risk assessment of total chromium in the qanat as historical drinking water supplying system. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 807, p. 1-12, fev. 2022.

LOU, Jinxiu; WANG, Wei; ZHU, Lizhong. Transformation of emerging disinfection byproducts Halobenzoquinones to haloacetic acids during chlorination of drinking water. **Chemical Engineering Journal**, [S.L.], v. 418, p. 1-9, ago. 2021.

MADDALONI, Marina; ALESSANDRI, Ivano; VASSALINI, Irene. Food-waste enables carboxylated gold nanoparticles to completely abate hexavalent chromium in drinking water. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, [S.L.], v. 18, p. 1-7, dez. 2022.

MARENGO, José Antônio. Água e mudanças climáticas. **Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 22, p. 83-96, jul. 2008.

MENEZES, Itamires Santos de; MENDONÇA, Luciana Côelho. Avaliação do tratamento preliminar da estação de tratamento de efluentes do campus de São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe. **Scientia Plena**, [S.L.], v. 13, n. 10, p. 1-7, 30 nov. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Água**. Brasília, DF. 2021. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/agua.html>

MOIMAZ, Suzely Adas Saliba; SANTOS, Luis Felipe Pupim dos; SALIBA, Tânia Adas; SALIBA, Nemre Adas; SALIBA, Orlando. Vigilância em saúde: fluoretação das águas de abastecimento público em 40 municípios do estado de São Paulo, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 7, p. 2653-2662, 2020.

MUNHOZ, Eliezer Silveira; CHRISTMANN, Jeissiquele Conter; LIMA, Júlia Bolognesi de; LIMBERGER, Daniela Cristina. Serviços ambientais e o Delta do Jacuí. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 704-710, dez. 2017.

OBIRI-YEBOAH, Abena; NYANTAKYI, Emmanuel Kwesi; MOHAMMED, Abdul Rahim; YEBOAH, Saeed Ibn Idris Kofi; DOMFEH, Martin Kyereh; ABOKYI, Ebenezer.

Assessing potential health effect of lead and mercury and the impact of illegal mining activities in the Bonga river, Tarkwa Nsuaem, Ghana. **Scientific African**, [S.L.], v. 13, p. 1-8, set. 2021.

OLIVEIRA, Rafaela Ribeiro de; ARAÚJO, André Luis Calado; DUARTE, Marco Antonio Calazans. Estudo do potencial de formação de trihalometanos na lagoa de Extremoz (RN). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 315-322, mar. 2020.

OLIVEIRA, Mariângela Dutra de; BIANCHI, Dejanyne Paiva Zamprogno; FONSECA, Juliana Freitas Ramos da; JÚNIOR, Nestor Alcides Gorza; LIBÂNIO, Marcelo. Avaliação de fatores intervenientes no desempenho de estações de tratamento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 613-625, ago. 2021.

PACHECO, F.A.L.; FERNANDES, L.F. Sanches. Environmental land use conflicts in catchments: a major cause of amplified nitrate in river water. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 548-549, p. 173-188, abr. 2016.

PICETTI, Roberto; DEENEY, Megan; PASTORINO, Silvia; MILLER, Mark R.; SHAH, Anoop; LEON, David A.; DANGOUR, Alan D.; GREEN, Rosemary. Nitrate and nitrite contamination in drinking water and cancer risk: a systematic review with meta-analysis. **Environmental Research**, [S.L.], v. 210, p. 1-22, jul. 2022.

RESENDE, Álvaro Vilela de. **Agricultura e Qualidade da Água**: contaminação da água por nitrato. Planaltina, Df: Embrapa Cerrados, 2002. 28 p.

RIO GRANDE DO SUL. Sandra Fagundes. Secretaria da Saúde do Estado. **PORTARIA Nº 320/2014**. 2014.

RIO GRANDE DO SUL. Departamento de Qualidade Ambiental. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - Fepam. **RELATÓRIO DA**

QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.

Porto Alegre: Fepam, 2020. 87 p.

RIO GRANDE DO SUL. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - Fepam. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **INSTITUCIONAL**. 2022a.

RIO GRANDE DO SUL. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - Fepam. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **QUALIDADE AMBIENTAL**: região hidrográfica do guaíba. REGIÃO HIDROGRÁFICA DO GUAÍBA. 2022b. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>.

SENEDA, Roberta Mitani; GARCIA, Geane Fagundes; REIS, Adriano Gonçalves dos. Cinética da floculação: um estudo comparativo no uso do cloreto de polialumínio com alta e baixa basicidade e o sulfato de alumínio. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 2, p. 283-290, abr. 2021.

SHI, Haobing; FU, Li; CHEN, Fei; ZHAO, Shichao; LAI, Guosong. Preparation of highly sensitive electrochemical sensor for detection of nitrite in drinking water samples. **Environmental Research**, [S.L.], v. 209, p. 1-6, jun. 2022.

SISWOYO, Eko; QONIAH, Imroatul; LESTARI, Puji; FAJRI, Joni Aldila; SANI, Rizki Amalia; SARI, Della Gita; BOVING, Thomas. Development of a floating adsorbent for cadmium derived from modified drinking water treatment plant sludge. **Environmental Technology & Innovation**, [S.L.], v. 14, p. 1-9, maio 2019.

STEVENSON, Louise M.; KRATTENMAKER, Katherine E.; JOHNSON, Erica; BOWERS, Alexandra J; ADELEYE, Adegemisi S; MCCAULEY, Edward; NISBET, Roger M. Standardized toxicity testing may underestimate ecotoxicity: environmentally relevant food rations increase the toxicity of silver nanoparticles to daphnia. **Environmental Toxicology And Chemistry**, [S.L.], v. 36, n. 11, p. 3008-3018, 10 jul. 2017.

TAO, Yanru; SU, Hailei; ZHU, Yuanrong; SHI, Di; WU, Fengchang; SUN, Fuhong. Ecological and human health risk assessment of antimony (Sb) in surface and drinking water in China. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 318, p. 2-10, out. 2021.

TEBALDI, Charles. **Relação entre parâmetros de qualidade de água e dados do sensor OLI, Landsat 8, no Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011. 452 p.

WANG, Gaobo; WU, Minghui; CHU, Lok Ting; CHEN, Ting-Hsuan. Portable microfluidic device with thermometer-like display for real-time visual quantitation of Cadmium(II) contamination in drinking water. **Analytica Chimica Acta**, [S.L.], v. 1160, p. 1-8, maio 2021.

WORLD BANK. Databank. Washington, DC. 2021. Disponível em: <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&series=ER.H2O.INTR.K3#>.

WHO, World Health Organization. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 4. ed. Genebra: WHO Library, 2017. 631 p.

YU, Chuang; SHAO, JiCheng; SUN, WenJing; YU, XiaoNiu. Treatment of lead contaminated water using synthesized nano-iron supported with bentonite/graphene oxide. **Arabian Journal Of Chemistry**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 3474-3483, jan. 2020.

ZHENG, Lili; SUN, Hongjie; WU, Chouye; WANG, Yibo; ZHANG, Yuanyuan; MA, Guangcai; LIN, Hongjun; CHEN, Jianrong; HONG, Huachang. Precursors for brominated haloacetic acids during chlorination and a new useful indicator for bromine substitution factor. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 698, jan. 2020.

ANEXO A

A.1: Enquadramento e classificação de águas doces, salobras e salinas

Águas doces				
Classe Especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
<p>Destinada ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.</p>	<p>Destinada ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas</p>	<p>Destinada ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aqüicultura e à atividade de pesca.</p>	<p>Destinada ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; à dessedentação de animais.</p>	<p>Destinada à navegação e à harmonia paisagística.</p>
Águas salobras				
Classe Especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3	
<p>Destinada à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.</p>	<p>Destinada à recreação de contato primário; à proteção das comunidades aquáticas; à aqüicultura e à atividade de pesca; ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.</p>	<p>Destinada à pesca amadora e à recreação de contato secundário.</p>	<p>Destinada à navegação e à harmonia paisagística.</p>	
Águas salinas				
Classe Especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3	
<p>Destinada à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.</p>	<p>Destinada à recreação de contato primário; à proteção das comunidades aquáticas; à aqüicultura e à atividade de pesca.</p>	<p>Destinada à pesca amadora e à recreação de contato secundário.</p>	<p>Destinada à navegação e à harmonia paisagística.</p>	

Fonte: Adaptado de BRASÍLIA, 2005.

A.2: Anexos da Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021

Anexo	Tabela
1	Padrão bacteriológico da água para consumo humano
2	Padrão de turbidez para água pós-desinfecção (para águas subterrâneas) ou pós-filtração
3	Tempo de contato mínimo (minutos) a ser observado para a desinfecção em sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água com captação em mananciais superficiais, de acordo com concentração de cloro residual livre, com a temperatura e o ph da água
4	Tempo de contato mínimo (minutos) a ser observado para a desinfecção em sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água com captação em mananciais superficiais, de acordo com concentração de cloro residual combinado (cloraminas) e com a temperatura da água, para valores de ph da água entre 6,0 e 9,0
5	Contato mínimo (minutos) a ser observado para a desinfecção em sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água com captação em mananciais superficiais, de acordo com concentração de dióxido de cloro e com a temperatura da água
6	Tempo de contato mínimo (minutos) a ser observado para a desinfecção em sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água com captação em mananciais subterrâneos, de acordo com concentração de cloro residual livre, com a temperatura e o ph da água
7	Tempo de contato mínimo (minutos) a ser observado para a desinfecção em sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água com captação em mananciais subterrâneos, de acordo com concentração de cloro residual combinado (cloraminas) e com a temperatura
8	Tempo de contato mínimo (minutos) a ser observado para a desinfecção em sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água com captação em mananciais subterrâneos, de acordo com concentração de dióxido de cloro e com a temperatura da água
9	Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde
10	Padrão de cianotoxinas da água para consumo humano
11	Padrão organoléptico de potabilidade
12	Frequência de monitoramento de cianobactérias em mananciais superficiais de abastecimento de água
13	Número mínimo de amostras e frequência para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas e químicas, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial
14	Tabela de número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises bacteriológicas, em função da população abastecida
15	Tabela de número mínimo de amostras e frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de solução alternativa coletiva, para fins de análises físicas, químicas e microbiológicas, em função do tipo de manancial e do ponto de amostragem

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2021.

A.3: Anexo 9 da Portaria Nacional - Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde

Substâncias Inorgânicas	Concentração	Valor Máximo Permitido (VMP)
Antimônio	mg/L	0,005
Arsênio	mg/L	0,01
Bário	mg/L	0,7
Cádmio	mg/L	0,005
Chumbo	mg/L	0,01
Cianeto	mg/L	0,07
Cobre	mg/L	2
Cromo	mg/L	0,05
Mercúrio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,07
Nitrato (como N)	mg/L	10
Nitrito (como N)	mg/L	1
Selênio	mg/L	0,01
Urânio	mg/L	0,03
Substâncias Orgânicas	Concentração	Valor Máximo Permitido (VMP)
Acrilamida	µg/L	0,5
Benzeno	µg/L	5
Benzo[a]pireno	µg/L	0,7
Cloreto de Vinila	µg/L	2
1,2 Dicloroetano	µg/L	10
1,1 Dicloroetano	µg/L	30
1,2 Dicloroetano (cis+trans)	µg/L	50
Diclorometano	µg/L	20
Di (2-etilhexil) ftalato	µg/L	8
Estireno	µg/L	20
Pentaclorofenol	µg/L	9
Tetracloreto de Carbono	µg/L	4
Tetracloroetano	µg/L	40
Triclorobenzenos	µg/L	20
Tricloroetano	µg/L	20
Agrotóxicos e Metabólitos	Concentração	Valor Máximo Permitido (VMP)
2,4 D + 2,4,5 T	µg/L	30
Alaclor	µg/L	20
Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido	µg/L	10
Aldrin + Dieldrin	µg/L	0,03
Atrazina	µg/L	2
Carbendazim + Benomil	µg/L	120
Carbofurano	µg/L	7

Clordano	µg/L	0,2
Clorpirifós + clorpirifós-oxon	µg/L	30
DDT + DDD + DDE	µg/L	1
Diuron	µg/L	90
Endossulfan (a, beta e sais)	µg/L	20
Endrin	µg/L	0,6
Glifosato + AMPA	µg/L	500
Lindano (gama HCH)	µg/L	2
Mancozebe	µg/L	180
Metamidofós	µg/L	12
Metolacloro	µg/L	10
Molinato	µg/L	6
Parationa Metílica	µg/L	9
Pendimentalina	µg/L	20
Permetrina	µg/L	20
Profenofós	µg/L	60
Simazina	µg/L	2
Tebuconazol	µg/L	180
Terbufós	µg/L	1,2
Trifluralina	µg/L	20
Produtos Secundários de Desinfecção	Concentração	Valor Máximo Permitido (VMP)
Ácidos Haloacéticos Total	mg/L	0,08
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,2
Trihalometanos Total	mg/L	0,1
Clorito	mg/L	1
Radioatividade	Concentração	Valor Máximo Permitido (VMP)
Atividade Alfa Total	Bq/L	0,5
Atividade Beta Total	Bq/L	1
Rádio-226	Bq/L	0,1
Rádio-228	Bq/L	0,1

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2021.

A.4: Anexo 11 da Portaria Nacional - Padrões organolépticos de potabilidade

Parâmetros Organolépticos	Concentração	Valor Máximo Permitido (VMP)
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	µH	15
1,2-Diclorobenzeno	mg/L	0,01
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,03
Dureza Total	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Gosto e Odor	Intensidade	6
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Sódio	mg/L	200
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,1
Surfactantes (como LAS)	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Zinco	mg/L	5
Xilenos	mg/L	0,3

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2021.

A.5: Anexo 1 da Portaria Estadual - Padrões de agrotóxicos

Substância	Concentração	Valor Máximo Permitido (VMP)
Abamectina	µg/L	12
Acefato + Metamidofós	µg/L	4,8
Bifentrina	µg/L	120
Carbaril	µg/L	18
Cianamida	µg/L	12
Cipermetrina 1,2,3,4	µg/L	300
Ciproconazol	µg/L	60
Cletodim	µg/L	60
Clorimurómetílico	µg/L	120
Clorotalonil	µg/L	180
Cresoxim metílico	µg/L	2400
Diazinona	µg/L	12
Difenoconazole	µg/L	60
Diflubenzuron	µg/L	120
Dimetoato	µg/L	12

Ditianona	µg/L	60
Epoxiconazol	µg/L	18
Etoxisulfuron	µg/L	240
Fenitrotiona	µg/L	30
Fenoxaprop-p-etílico	µg/L	15
Fentiona	µg/L	42
Fipronil	µg/L	1,2
Flutriafol	µg/L	60
Folpet	µg/L	600
Fomezafem	µg/L	18
Gama-cialotrina	µg/L	6
Hidrazina-maleica	µg/L	1800
Imazetapir	µg/L	1500
Imidacloprido	µg/L	300
Indoxacarbe	µg/L	60
Iodosulfurom metílico	µg/L	180
loxinil octanoato	µg/L	30
Lambda cialotrina	µg/L	30
Mesotriona	µg/L	30
Metalaxil-M	µg/L	480
Metamitrona	µg/L	150
Metidation	µg/L	6
Metiram + Mancozebe (Ditiocarbamato em CS2)	µg/L	180
Metsulfuron metílico	µg/L	60
Picoxistrobina	µg/L	258
Tembotriona	µg/L	2,4
Tetraconazol	µg/L	30
Tiametoxam	µg/L	120
Tiodicarb	µg/L	180
Tiofanato - metílico + Carbendazim + Benomil	µg/L	120
Triciclazol	µg/L	180

Fonte: Adaptado de RIO GRANDE DO SUL, 2014

A.6: Vazões máximas das estações de tratamento de água

Estação de Tratamento de Água	Capacidade máxima de projeto (L/s)
Belém Novo	1000
Francisco de Lemos Pinto - Ilha da Pintada	100
José Loureiro da Silva - Menino Deus	3000
Moinhos de Vento	2000
São João	4000
Tristeza	450

Fonte: Adaptado de DMAE, 2022b.

A.7: Dados fornecidos pela Portaria Nacional Brasileira e pela Portaria Estadual do Rio Grande do Sul

Portaria Nacional Brasileira	Portaria Estadual
Nome da substância	Nome da substância
Concentração (mg/L ou u/L)	Concentração (mg/L ou u/L)
Valor Máximo Permitido (mg/L ou u/L) - VMP	Valor Máximo Permitido (mg/L ou u/L) - VMP
Limite de Quantificação (mg/L ou u/L) - LQ	Limite de Quantificação (mg/L ou u/L) - LQ
Limite de Detecção (mg/L ou u/L) - LD	Limite de Detecção (mg/L ou u/L) - LD
Resultado Água Bruta (mg/L ou u/L)	Resultado Água Tratada (mg/L ou u/L)
Resultado Água Tratada (mg/L ou u/L)	

Fonte: Elaboração própria.