

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

**MARIO JORGE DOS SANTOS**

**LEGISLAÇÕES E TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA:  
PROPOSTAS DE MELHORIAS COM BASE NAS LEGISLAÇÕES INTERNACIONAIS**

**ERECHIM  
2025**

**MARIO JORGE DOS SANTOS**

**LEGISLAÇÕES E TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA:  
PROPOSTAS DE MELHORIAS COM BASE NAS LEGISLAÇÕES INTERNACIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Clarissa Dalla Rosa

**ERECHIM  
2025**

**Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Santos, Mario Jorge dos  
LEGISLAÇÕES E TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA:  
PROPOSTAS DE MELHORIAS COM BASE NAS LEGISLAÇÕES  
INTERNACIONAIS / Mario Jorge dos Santos. -- 2025.  
69 f.:il.

Orientadora: Doutora Clarissa Dalla Rosa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária,  
Erechim,RS, 2025.

1. Abastecimento de água. 2. Tratamento de água. 3.  
Fármacos. 4. Potabilidade. 5. Legislações. I. Rosa,  
Clarissa Dalla, orient. II. Universidade Federal da  
Fronteira Sul. III. Título.

**MARIO JORGE DOS SANTOS**

**LEGISLAÇÕES E TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA:**

PROPOSTAS DE MELHORIAS COM BASE NAS LEGISLAÇÕES INTERNACIONAIS

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

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 23/06/2025

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Clarissa Dalla Rosa – UFFS  
Orientadora

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gean Delise Leal Pasquali - UFFS  
Avaliadora

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Helen Treichel – UFFS  
Avaliadora

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho de conclusão de curso foi feito com muito esforço e dedicação, para alcançar os objetivos definidos.

Sou grato ao meu pai e minha mãe pelos abraços, carinhos, por todo amor incondicional que recebi e por terem me proporcionado as melhores experiências que já tive, devido ao apoio psicológico e estrutural. Eu nunca seria a pessoa que sou hoje sem vocês ao meu lado, amo vocês.

A todos meu irmãos e restante da família, por sempre terem me apoiado nas minhas decisões.

Agradeço também aos meus queridos amigos e amigas, em especial ao Alisson e Luís, e a Briane, Carol, Laura e Laura Helena, que sempre souberam dos meus defeitos, e ainda assim, escolheram caminhar ao meu lado. Não sei o que seria sem vocês, minha vida é muito mais alegre com vocês.

Sou grato a minha orientadora Clarissa Dalla Rosa por me auxiliar durante todo este processo, estando sempre à disposição quando necessário, compartilhando conhecimentos preciosos.

Aos meus colegas durante todo o curso, pelas risadas, fofocas e choros. Em especial à Gabi, à Bruna e ao Gabriel, por estarem do meu lado em grande parte do curso, sabendo de todas minhas dificuldades e pensamentos. Nunca vou me esquecer dos nossos momentos na salinha da EngeTech.

Sou muito grato aos membros da banca por aceitarem avaliarem meu trabalho de conclusão de curso e também pelo interesse no estudo.

Por fim, agradeço a todo corpo docente da UFFS Erechim, por me proporcionarem aprendizados que jamais serão esquecidos, e contribuir com minha jornada pessoal e profissional.

## RESUMO

A água é um recurso escasso, e com o grande aumento populacional, a demanda por água potável cresceu, exigindo métodos de tratamento e legislações mais rígidas quanto aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Este trabalho tem o objetivo de fazer uma análise comparativa entre as legislações nacionais brasileiras e as internacionais (Estados Unidos e Suíça), com a proposta de apontar melhorias na legislação vigente, com foco principal na presença de contaminantes de origem farmacêutica, e posteriormente indicar as melhores formas de tratamentos para tais compostos químicos. A Portaria Brasileira nº 888 do ministério da Saúde se destaca quanto a parâmetros “cotidianos” como os físico-químicos e microbiológicos, além de ser de fácil entendimento devido a forma como ela é organizada e escrita. Entretanto no quesito novos contaminantes, métodos de comunicação ao cliente e monitoramento, ela possui diversas lacunas que podem ser melhoradas, principalmente quando se trata de compostos emergentes, como os fármacos. Estes componentes não são eliminados durante os tratamentos de água do tipo convencionais, que é o mais utilizado no país, então, serão apontadas propostas de tratamentos que possibilitem a remoção também destes microcontaminantes. Portanto, foi indicado a criação de legislações específicas para controle de fármacos, relatórios de transparência quanto a qualidade de água fornecidos mensalmente, além da revisão periódicas dos valores limites estabelecidos. Quanto aos métodos mais eficientes para remoção de compostos farmacêuticos, se destacam a ozonização, a filtração por carbono ativado e a filtração por membranas. Todos eles se mostram eficientes na remoção de diversos fármacos estudados, entretanto a nanofiltração se destaca pela possibilidade de maior número de fármacos removíveis. É importante destacar, porém, que devem ser feitos estudos de viabilidade na região de coleta de água, levando em conta fatores como sua qualidade e a escala do tratamento. Para o Brasil evoluir nesta questão, se faz necessário uma maior rigidez em termos de comunicação ao cliente e ao monitoramento de fármacos, bem como, melhoras nos tratamentos.

Palavras-chave: Abastecimento de água, Tratamento de água, Fármacos, Potabilidade, Legislações.

## ABSTRACT

Water is a scarce resource, and with the significant increase in population, the demand for drinking water has grown, requiring stricter treatment methods and regulations regarding physicochemical and microbiological parameters. In this context, this work aims to conduct a comparative analysis between Brazilian national legislation and international legislation (United States and Switzerland), with the purpose of suggesting improvements to the current regulations, focusing mainly on pharmaceutical products, and subsequently indicating the best treatment methods for such components. The Brazilian ordinance stands out for its strong foundation regarding "everyday" parameters such as physicochemical and microbiological ones, and for being easy to understand due to its clear organization and language. However, in terms of new contaminants, communication methods with consumers, and monitoring, it has several gaps that could be improved, especially when it comes to emerging compounds such as pharmaceuticals. These components are not removed during conventional water treatment processes, which are the most commonly used in the country. Therefore, adjustments to these techniques are necessary in order to inactivate these micropollutants. It is thus recommended to create specific regulations for the control of pharmaceuticals, or to include them in the Brazilian ordinance, along with monthly transparency reports on water quality and periodic reviews of the established limit values. Regarding the most effective methods for removing pharmaceutical compounds, ozonation, activated carbon filtration, and membrane filtration stand out. All of them have proven to be effective in removing various studied pharmaceuticals; however, nanofiltration stands out due to the higher number of removable pharmaceutical compounds. It is important to emphasize, however, that feasibility studies should be conducted in the region, taking into account factors such as water quality and treatment scale. For Brazil to make progress, stricter communication with customers and pharmaceutical monitoring are necessary, as well as improvements in treatment methods

Keywords: Water supply, Water treatment, Pharmaceuticals, Potability, Laws.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.1 EMBASAMENTO LEGAL.....	15
2.1.1.....Potabilidade no Brasil	16
2.1.2 Potabilidade nos Estados Unidos .....	19
2.1.3 Potabilidade na Suíça .....	20
2.2 FÁRMACOS.....	21
2.2.1 Fármacos no Brasil .....	22
2.2.2 Fármacos nos Estados Unidos .....	23
2.2.3 Fármacos na Suíça e Europa .....	25
2.3 TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO	27
2.4 DIFERENTES TECNOLOGIAS APLICADAS AO MÉTODO	
CONVENCIONAL PARA REMOÇÃO DE FÁRMACOS .....	29
2.4.1 Ozonização .....	29
2.4.2 Filtração por membrana.....	32
2.4.3 Carvão ativado.....	34
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>36</b>
3.1 OBJETIVO GERAL .....	36
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	36
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>37</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
5.1 LEGISLAÇÕES A RESPEITO DA POTABILIDADE DE ÁGUA.....	39
5.2 LEGISLAÇÕES A RESPEITO DE FÁRMACOS .....	51
5.3 VANTAGENS, DESVANTAGENS E POSSÍVEIS MELHORIAS .....	55
5.3.1 Vantagens.....	56
5.3.2 Desvantagens.....	56
5.4 ANÁLISE DOS TRATAMENTOS DE FÁRMACOS PROPOSTOS .....	58

5.4.1 Carvão ativado.....	58
5.4.2 Ozonização.....	59
5.4.3 Membranas.....	60
5.4.4 Síntese dos métodos.....	61
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Processos do tratamento convencional .....	27
Figura 2 - Síntese das possíveis ressonâncias do ozônio.....	30
Figura 3 - Síntese das especificidades das membranas .....	33
Figura 4 – Mapa de estudos utilizando o Site Open Knowledge Maps. ....	38
Figura 5 – Breve histórico das regulamentações brasileiras quanto a potabilidade de água .....	39
Figura 6 – Breve histórico das regulamentações do Estados Unidos quanto a potabilidade de água .....	40
Figura 7 - Breve histórico das regulamentações Suíça quanto a potabilidade de água .....	40
Figura 8 - Breve histórico dos marcos legais a respeito dos fármacos no Brasil, Suíça e Estados unidos.....	52

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Embasamentos legais que estabelecem diretrizes para o abastecimento de água no Brasil .....	16
Quadro 2 - Parâmetros para potabilidade de água segundo Portaria GM/MS nº 888/2021 .....	17
Quadro 3 - Parâmetros de qualidade de água potável segundo o Safe Drinking Water Act (SDWA) .....	19
Quadro 4 - Parâmetros para potabilidade de água segundo a Diretiva (EU) 2020/2184, do Manual de Processamentos Reconhecidos para Água Potável e da Ordenança sobre Água Potável e Água de Piscinas Públicas .....	21
Quadro 5 - Fármacos presentes na Drinking Water Contaminat Candidate List (2022).....	24
Quadro 6 - Fármacos presentes na Lista de vigilância de Poluentes Emergentes .....	25
Quadro 7 - Análise comparativa via diferentes critérios estabelecidos .....	42
Quadro 8 - Análise comparativa do monitoramento para cada legislação .....	47
Quadro 9 - Comparação dos parâmetros estabelecidos para potabilidade de água em diferentes nromativas .....	50
Quadro 10 - Comparação das leis que dizem respeito ao controle de fármacos .....	54
Quadro 11 – Síntese dos tratamentos estudados .....	61

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Potencial de oxidação de oxidantes em água .....	30
Tabela 2 - Remoção de fármacos utilizando carvão ativado .....	58
Tabela 3 - Remoção de fármacos por ozonização .....	59
Tabela 4 - Remoção de fármacos por membranas .....	60

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a vida e o desenvolvimento da sociedade humana. Segundo Cantele, Lima e Borges (2018), se um valor econômico for agregado a este bem, ela pode vir a ser denominado como recurso hídrico, que está intrinsecamente ligada ao crescimento populacional, que, em conjunto com a acelerada urbanização, aumenta significativamente a sua demanda.

Sua escassez provoca, socialmente, uma desigual distribuição.

“...seus usos estão aquém das necessidades da expansão capitalista, conferindo o atributo de bem econômico e valioso e um patrimônio raro, deixando de atender às necessidades humanas básicas” (Oliveira, 2017).

Portanto, populações sem acesso a este bem essencial buscam de outras formas e em outros lugares, que muito provavelmente, não está em um grau de qualidade suficiente para consumo humano. No Brasil, a Portaria GM/MS nº 888/2021, estabelece os valores máximos e mínimos de determinados compostos em corpos de água. Segundo a ONU (2023), aproximadamente 26% da população global não possui acesso à água potável, que equivale a 2 bilhões de pessoas. Assim, tem-se observado um aumento nas preocupações com a escassez deste recurso, exigindo melhorias contínuas nos processos de tratamento, causando uma urgência em novas tecnologias para a purificação destes mananciais.

O substancial aumento na população está diretamente relacionado com a produção de resíduos sólidos e líquidos, segundo a ONU (2024) de 1994 a 2024, houve um aumento de 2,5 bilhões no número de habitantes ao redor do mundo, totalizando 8,1 bilhões de pessoas. O aumento na produção destes resíduos, ocasiona acréscimo de descargas indevidas de contaminantes em corpos hídricos, afetando de forma direta e indireta, a saúde humana e dos ambientes onde são despejados (Garcia, 2024).

Segundo Freitas e Freitas (2005), a qualidade de água, bem como seu tratamento, só veio a ser um assunto de interesse público, no final do século 19, sendo anteriormente, ligada apenas ao fator visual e sensorial. A água, quando contaminada, pode estar diretamente ligada a doenças diarreicas agudas (DDA), hepatite A e F, poliomielite, entre outras (EMBRAPA, 2007). Diante disso, o tratamento de água destinado ao abastecimento público assume papel crucial, ao garantir que a água captada em fontes naturais seja tratada de forma a atender os padrões de potabilidade estabelecidos por órgãos reguladores, como a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a legislação nacional.

Segundo Ismail e Pires (2022), o método de ciclo completo, utilizados em Estações de Tratamento de Água (ETA), é uma das tecnologias mais utilizadas para tratamento de água bruta no Brasil, contando com: Coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. Porém diversas outras tecnologias vêm surgindo com intuito de auxiliar nestes processos.

Os métodos convencionais para tratamento de água não são suficientes para a remoção dos chamados Contaminantes de Preocupação Emergente (CPEs), em específico os fármacos, e as Estações de Tratamento de Água (ETAs) não são normalmente projetadas para a remoção destes compostos, dificultando sua retirada, afetando a qualidade da água potável (Alves, 2017).

Outro grande problema com relação aos fármacos na água potável, é a falta de legislações Brasileiras que controlem os contaminantes em corpos hídricos pré-tratados via ETAs. Existem diversos estudos como os realizados por Alves (2023) e Santos (2023), comprovando a presença destes compostos em níveis que podem ser prejudiciais à saúde humana, entretanto, não existem nem mesmo listas de observação estabelecidas oficialmente com intuito de monitoramento.

Neste contexto, a legislação brasileira está desatualizada, diante da importância do estudo dos fármacos e do impacto que eles trazem na saúde pública estando introduzido na água, eles precisam de um olhar mais crítico e é por este motivo que a atualização das regulamentações nacionais para controle destes contaminantes, e dos tratamentos convencionais para sua remoção, são

de suma importância. Assim, este estudo irá apontar atualizações legais com base nas legislações internacionais, além de sugerir técnicas de tratamento efetivas para a remoção dos compostos farmacêuticos.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 EMBASAMENTO LEGAL**

As legislações que abordam a potabilidade da água desempenham um papel fundamental na proteção da saúde pública, garantindo que a água destinada ao consumo humano atenda a padrões mínimos de qualidade. Esses regulamentos estabelecem limites seguros para a presença de substâncias químicas, microbiológicas, físicas. Em alguns países já existem regulamentações quanto aos compostos não convencionais, como o microcontaminantes, prevenindo doenças e promovendo o bem-estar da população. Ao definir parâmetros claros e obrigatórios para o tratamento, distribuição e monitoramento da água potável, elas proporcionam um ambiente de segurança sanitária, especialmente em contextos urbanos.

Além da proteção direta à saúde, as legislações sobre potabilidade também são essenciais para orientar políticas públicas, investimentos em infraestrutura e práticas de fiscalização. Elas fornecem diretrizes técnicas e jurídicas para órgãos reguladores, prestadores de serviços de saneamento e gestores ambientais, promovendo a uniformização de critérios e a responsabilização em casos de descumprimento. Dessa forma, tais normas não apenas asseguram o acesso à água de qualidade, mas também contribuem para o desenvolvimento sustentável.

A partir disso, irá ser referenciado as principais diretrizes de potabilidade da água adotadas no Brasil, na Suíça e nos Estados Unidos, evidenciando os parâmetros estabelecidos por cada legislação nacional e suas implicações práticas e teóricas.

Os Estados Unidos representam um modelo regulatório consolidado, com forte embasamento técnico e científico, por meio da Environmental Protection Agency (EPA) e do Safe Drinking Water Act. A legislação americana é utilizada

frequentemente como referência internacional, incluindo abordagens robustas para controle de contaminantes químicos e biológicos (AVELINO, 2017). Já a Suíça se destaca por suas políticas ambientais rigorosas e práticas avançadas de monitoramento da qualidade da água, baseadas em risco, sendo um exemplo entre os países europeus em relação ao tratamento e regulamento de micropcontaminantes (WFW, 2025; Europa,2020).

Já o estudo sobre as legislações Brasileiras, permite compreender como países emergentes estão incorporando critérios de potabilidade e lidando com contaminantes emergentes.

### 2.1.1 Potabilidade no Brasil

O artigo nº 225 da Constituição Federal Brasileira, assegura o direito à saúde e ao meio ambiente equilibrado aos seres humanos. Entre esses direitos, está incluída a qualidade dos recursos hídricos, e conseqüentemente, o seu tratamento e abastecimento para a população (Brasil, 1998).

Este controle de qualidade se utiliza de diversas ferramentas legais para sua garantia. O Quadro 1 apresenta algumas destas que estão em vigor em nível nacional.

Quadro 1 - Embasamentos legais que estabelecem diretrizes para o abastecimento de água no Brasil

<b>Decretos/Leis</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referencial</b>
Lei nº 9.433/1997	Institui o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e estabelece diretrizes para a gestão sustentável e integrada das águas, reconhecendo seu uso múltiplo	(BRASIL, 1997)
Lei nº 11.445/2007	Estabelece as diretrizes nacionais para saneamento básico	(BRASIL, 2007)

<b>Decretos/Leis</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referencial</b>
Decreto nº 7.217/2010	Regulamenta a Lei do Saneamento Básico e define normas para o tratamento de água, incluindo a obrigação de garantir segurança e qualidade no abastecimento público	(BRASIL, 2010)
Lei nº 14.026/2020	Reformulou a Lei nº 11.445/2007, visando universalizar o acesso ao saneamento até 2033, e alterou a Lei nº 9.433/1997, atribuindo a Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA) competência para instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico	(BRASIL, 2020)

Fonte: Autoria Própria (2025).

Quanto à potabilidade de água, a Portaria GM/MS nº 888/2021 dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano, assegurando a segurança da água oferecida para a população (Brasil, 2021). O Quadro 2 mostra alguns dos principais aspectos e parâmetros físico, químicos e microbiológicos para a potabilidade que a Portaria institui.

Quadro 2 - Parâmetros para potabilidade de água segundo Portaria GM/MS nº 888/2021

<b>Parâmetros Microbiológicos</b>	Coliformes totais	Ausência em 100 mL
	Escherichia Coli	Ausência em 100 mL
<b>Parâmetros Físico-Químicos</b>	Turbidez	0,5 UNT
	Cloro Residual	Entre 0,2 e 5 mg/L

	Fluoreto	1,5 mg/L, para evitar cáries
--	----------	------------------------------

Fonte: Adaptada de Brasil (2021).

Para a garantia de obtenção de uma água com qualidade, dentro dos parâmetros estabelecidos pela lei, é de suma importância um tratamento adequado, sendo assim, deve-se adequar modelos levando em conta sua eficiência e custo, a fim de assegurar recursos de qualidade para a população.

As escolhas dos métodos de tratamento utilizados também devem levar em conta a qualidade da água bruta. Esta qualidade é classificada conforme a Resolução CONAMA 357/05 que define a classificação das águas em diferentes classes (I a V), com base nos usos preconizados para os corpos hídricos, como abastecimento público, lazer, navegação e irrigação. Essas classes determinam os limites de poluição que podem ser tolerados (Brasil, 2005).

- Classe I: Águas para abastecimento público potável;
- Classe II: Águas para recreação de contato primário (natação, esportes aquáticos);
- Classe III: Águas para navegação, irrigação, criação de peixes, entre outros usos;
- Classe IV: Águas para uso industrial, mas sem contato com a saúde pública;
- Classe V: Águas com baixos valores de qualidade, com uso restrito, ou onde a água é imprópria para a maioria dos usos.

A Resolução ainda define os padrões de lançamento de efluentes de diferentes fontes (indústrias, tratamento de esgoto e esgoto sanitário), estipulando os limites de parâmetros como:

- Temperatura;
- Oxigênio dissolvido;
- pH;

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);
- Sólidos totais e coloidais;
- Nitrogênio e fósforo;
- Metais pesados.

### 2.1.2 Potabilidade nos Estados Unidos

Nos Estados Unidos da América (EUA), o órgão responsável pelo controle de potabilidade da água é a Environmental Protection Agency (EPA), a qual, em sua fundamentação legal inclui a Safe Drinking Water Act (SDWA) (FNU, 2024).

A SDWA é um dos pilares para o gerenciamento de recursos hídricos para consumo humano desde 1974. O decreto estabelece padrões mínimos para a potabilidade de água, e os divide entre parâmetros primários (National Primary Drinking Water Regulations), que são obrigatórios, e os secundários (National Secondary Drinking Water Regulations), que servem apenas como auxílio. (Estados Unidos, 2024). Segundo Sowby (2023), o êxito da Lei se dá por três principais motivos: A expectativa norte-americana por água de ótima qualidade, maturidade tecnológica e transparência dos órgãos governamentais quanto aos problemas e melhorias encontradas. O referencial para qualidade da água potável dos EUA está presente no Quadro 3.

Quadro 3 - Parâmetros de qualidade de água potável segundo o Safe Drinking Water Act (SDWA)

<b>Tipo de parâmetro</b>	<b>Contaminante</b>	<b>Valor alvo</b>	<b>Valor limite</b>
<b>Parâmetros Microbiológicos</b>	Coliformes totais	Ausência	5%
	Escherichia Coli	Ausência	5%
<b>Parâmetros Físico-Químicos</b>	Turbidez	Ausência	TT
	Cloro Residual	---	4 mg/L
	Fluoreto	---	4 mg/L

Fonte: Adaptada de SDWA (2024).

### **2.1.3 Potabilidade na Suíça**

A Suíça é umas das líderes quando o assunto é gerenciamento e qualidade dos recursos hídricos presentes. No país não existe algo como a Política Nacional das águas, já que, a gestão destes recursos vai de acordo com cada cantão suíço, que são similares aos estados brasileiros (FNU, 2024).

Segundo Miranda (2020), legalmente a gestão e controle mínimo dos recursos hídricos e da qualidade da água está presente nas seguintes Leis: Lei Federal Sobre a Proteção das Águas N°814.20/1991, que tem por principal objetivo a proteção das águas contra possíveis efeitos nocivos, a Lei Federal Sobre o Ornamento dos Corpos D'água N° 721.100/1991, visando proteger a população contra possíveis erosões e inundações, e a Lei Federal Contra Pesca N° 929.00/1991, que tem como ênfase a proteção da fauna aquática (União Européia, 1991).

Existem ainda o Anerkannte Aufbereitungsverfahren für Trinkwasser (Manual de Processamentos Reconhecidos para Água Potável) e a Lei Federal Sobre Alimentos e Artigos de Utilidade n° 817.0/2014, estes documentos possuem parâmetros quanto ao controle de processos de tratamento de água, e de proteção alimentar, que auxiliam na qualidade da água potável (Suíça, 2010; Suíça, 2014).

Os parâmetros mínimos para qualidade da água potável no país seguem as diretrizes Europeias e os Regulamentos de Água Potável Nacionais. Na Europa a Diretiva Do Conselho 98/83/CE de 1998 sobre a qualidade da água para consumo humano ditava a qualidade da água (Europa, 1998). Esta Diretiva foi primeiramente alterada pela Diretiva (EU) 2015/1787 e após isso substituída pela Diretiva (EU) 2020/2184, que a deixaram mais rígida quanto aos possíveis contaminantes, bem como aos seus monitoramentos.

A Suíça possui a Ordenança sobre Água Potável e Água de Piscinas Públicas, que é o documento Nacional base que estabelece os valores permitidos para diferentes parâmetros (Federação Suíça, 2024). Entretanto, no quesito potabilidade, ela segue as diretrizes europeias, mesmo não fazendo

parte da união, portanto a Diretiva Europeia será avaliada em conjunto com os documentos suíços.

Os parâmetros presentes na Diretiva europeia e nos documentos suíços está presente no Quadro 4.

Quadro 4 - Parâmetros para potabilidade de água segundo a Diretiva (EU) 2020/2184, do Manual de Processamentos Reconhecidos para Água Potável e da Ordenança sobre Água Potável e Água de Piscinas Públicas

<b>Tipo de parâmetro</b>	<b>Contaminante</b>	<b>Valor limite</b>	<b>Valor alvo</b>
<b>Parâmetros Microbiológicos</b>	Coliformes totais	Ausência em 100 ml	Ausência em 250 ml
	Escherichia Coli	Ausência em 100 ml	Ausência em 250 ml
<b>Parâmetros Físico-Químicos</b>	Turbidez	1 UNT	0,3 UNT em 95% das amostras
	Cloro Residual	0,5 mg/l	---
	Fluoreto	---	1,5 mg/L

Fonte: Adaptada de União Européia (2020) e Federação Suíça (2024, 2010).

## 2.2 FÁRMACOS

Um dos maiores problemas ambientais e de saúde pública deste século, é a contaminação dos compartimentos ambientais, inclusive dos recursos hídricos, pelos contaminante de preocupação emergente (CPEs). Podendo ser tanto de origem natural (como os microrganismos e toxinas produzidas por algas), como antropogênica (de forma doméstica, hospitalar e até mesmo industrial), eles são não legislados no Brasil, não possuindo então, programas de monitoramento rotineiros, dificultando sua detecção (Farto, 2021).

Entre estes CPEs estão os fármacos, princípios ativos de diferentes medicamentos. A contaminação dos corpos hídricos por estes compostos, pode ocorrer de diferentes maneiras: Por contaminação direta, a partir do despejo de

esgoto bruto em leitos de água, geralmente ocorrente em locais aonde as leis de saneamento são precárias, a partir do descarte incorreto de medicamentos nos esgotos ou lixos comuns, por desinformação de como o fazer corretamente, e pela excreção, após consumo de qualquer maneira, sendo que aproximadamente, 50% a 90% do fármaco são excretados pelo corpo humano sem alterações significativas (Oliveira, 2023; Carvalho, 2021; Bila, 2003).

Segundo Yang et al. (2017), os fármacos são geralmente divididos em antibióticos, hormônios, analgésicos, reguladores lipídicos, anti-inflamatórios, reguladores de sangue, bloqueadores  $\beta$  e medicamentos citostáticos, e eles podem se tornar prejudiciais à saúde humana, pois, mesmo que não consumidos diretamente a partir da água potável, podem estar presentes na alimentação devido a bioacumulação durante toda cadeia alimentar, e por serem capazes de atingir facilmente células e tecidos, sua presença em corpos hídricos, mesmo que em concentrações muito baixas, se torna indesejável, já que podem alterar a fisiologia humana e animal (Carvalho, 2021; Oliveira, 2023).

A complexibilidade química de muitos destes fármacos é grande, possuindo em sua maioria, pequena biodegradabilidade no meio em que se encontram, tornando inviável a sua remoção a partir de métodos convencionais de tratamento de água, pois como citado anteriormente, não há legislações para monitoramento regular destes compostos no Brasil. As Estações de Tratamento de Água (ETAs) não são geralmente projetadas para sua eliminação, assim, estes microcontaminantes são muitas vezes encontrados em amostras de água pós tratamento (Alves, 2017; Lima, 2017).

Os fármacos mais encontrados em corpos hídricos são o sulfametoxazol e o diclofenaco, devido ao seu uso extensivo no Brasil e em diversos outros países. Os estrógenos também assumem grande relevância na presença de mananciais de abastecimento, como o  $17\beta$ -estradiol, ingrediente de anticoncepcionais e outros farmacêuticos (Souza, 2020).

### **2.2.1 Fármacos no Brasil**

No Brasil não existem regulamentos nacionais específicos a respeito de fármacos, existem a Portaria GM/MS nº888/2021, que estabelece os padrões de

potabilidade de água, e a Resolução CONAMA nº357/2005 que define os padrões de qualidade para corpos hídricos, porém ambas tratam de parâmetros microbiológicos, físicos e químicos usuais, não estipulando limite nem monitoramento algum para os compostos emergentes citados (Brasil, 2021; Brasil, 2005).

Porém, o Brasil possui a Lei Federal nº12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e estabelece diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. Ela prevê a implementação obrigatória do Sistema de Logística Reversa para produtos que, após uso, podem gerar resíduos perigosos (Brasil, 2010).

Anteriormente a Lei não citava de forma explícita os farmacêuticos, porém em 2020, o Governo Federal regulamentou a logística reversa para medicamentos domiciliares vencidos ou em desuso, obrigando fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes a implementar sistemas que permitam aos consumidores devolver esses medicamentos e suas embalagens nos pontos de venda ou em locais definidos para esse fim, com o objetivo de reduzir os impactos causados à saúde humana e ao meio ambiente pelo descarte inadequado desses produtos (Brasil, 2020).

### **2.2.2 Fármacos nos Estados Unidos**

O Estados Unidos não possui Regulamentações e limites para os fármacos, porém há normativas para outros Contaminantes de Preocupação Emergente, como é o caso dos Polifluoralquilados (PFAS), aonde no ano de 2023, foram impostos parâmetros mais rigorosos para tais contaminantes (Estados Unidos, 2023).

O país possui a Drinking Water Contaminat Candidate List (CCL), organizada pela Environmental Protection Agency (EPA), que é uma lista de contaminantes que não estão regulamentados a nível nacional pelo Safe Drinking Water Act (SDWA), porém que tem ocorrência conhecida em água potável, e que podem trazer risco significativo à saúde dos seres humanos. A EPA utiliza desta lista para identificar os contaminantes prioritários, e assim, tomar as devidas medidas

provisórias, sendo obrigatória a publicação destas listas a cada 5 anos (Estados Unidos, 1998).

A última atualização desta lista foi feita no ano de 2022, e é dividida entre contaminantes químicos e microbianos (Estados Unidos, 2022). O Quadro 5 a seguir, mostra os fármacos que estão listados, mostrando uma emergente preocupação com a contaminação por estes compostos no país.

Quadro 5 - Fármacos presentes na Drinking Water Contaminat Candidate List (2022)

<b>FÁRMACO</b>	<b>FUNÇÃO</b>
17-alfa etinilestradiol	Estrogênio Sintético usado em anticoncepcionais
Desvenlafaxina	Antidepressivo inibidor de serotonina e noradrenalina
Fluconazol	Antifúngico com intuito de tratar infecções

Fonte: Adaptada de Estados Unidos (2022).

O país ainda possui o Unregulated Contaminant Rule (UCMR), que tem função de coletar dados de contaminantes suspeitos de estarem presentes em água para abastecimento, e que não estão regulamentados pelo SDWA. Estes monitoramentos são feitos a partir de campanhas que duram de 2 a 4 anos, com um total de 5 delas completas, a última sendo finalizada no ano de 2025 (Estados Unidos, 2023).

A única campanha que abordou fármacos, foi a terceira, que ocorreu do ano de 2013 até o de 2015, nela foram monitorados 4 fármacos e hormônios, sendo eles: 17-alfa etinilestradiol, 17-beta etinilestradiol, estrona e testosterona, sendo que o diclofenaco, um anti-inflamatório, estava na lista de interesse, porém não foi avaliado (Estados Unidos, 2015).

### 2.2.3 Fármacos na Suíça e Europa

A Europa possuía primeiramente a Diretiva 98/83/CE que estipulava os parâmetros mínimos para potabilidade da água. Ela foi atualizada no ano de 2020 via a Diretiva (EU) 2020/2184, que além da mudança de diversos parâmetros comuns, houve a adição dos compostos beta-estradiol e nonilfenol, que tem efeitos hormonais, à lista de monitoramento (União Européia, 2020).

Para tais composto, a Diretiva adotou recomendações sugeridas pela Organização Mundial de Saúde (OMS), estipulando um máximo de 0,3 µg/l para o nonilfenol e de 1 ng/l para o beta-estradiol, além de recomendar que sempre que a utilização de águas de superfície para abastecimento for feita, sejam obrigatoriamente monitorados os compostos anteriormente citados (União Européia, 2020).

A Diretiva Quadro da Água (2000/60/CE) estabelece a proteção e gestão da água na União Europeia, e criou a Lista de Vigilância de Poluentes Emergentes, que tem sido atualizada regularmente. A primeira versão desta lista foi implantada em 2015 com a Decisão de Implementação (EU) 2015/495, e nela, já estavam incluídos diversos fármacos como o Diclofenaco (União Européia, 2000; União Européia, 2015).

A lista de poluente teve 5 principais versões: 2015, 2018, 2020,2022 e a mais recente, 2025, estabelecida pela Decisão de Implementação (EU) 2025/439 (União Européia, 2025). O Quadro 6 a seguir, lista os fármacos presentes na lista.

Quadro 6 - Fármacos presentes na Lista de vigilância de Poluentes Emergentes

<b>FÁRMACO</b>	<b>FUNÇÃO</b>
Clindamicina	Antibiótico usado no tratamento de infecções bacterianas.

<b>FÁRMACO</b>	<b>FUNÇÃO</b>
Ofloxacina	Antibiótico da classe das fluoroquinolonas, usado para infecções urinárias e respiratórias.
Metformina	Medicamento usado para tratar diabetes tipo 2.
Propranolol	Antidepressivo inibidor seletivo da receptação de serotonina (ISRS), usado no tratamento da depressão e ansiedade.
Fluoxetina	Betabloqueador usado no tratamento de hipertensão, ansiedade e enxaquecas.
Oxitetraciclina e Tetraciclina	Antibióticos da classe das tetraciclinas, usados para tratar infecções bacterianas diversas.

Fonte: Adaptada de União Europeia (2025).

A Suíça segue as normas europeias, e além delas, o país introduziu a Emenda de 2016 à Lei de Proteção das Águas Nacional que apresenta medidas significativas para reduzir a presença de microcontaminantes, como resíduos de medicamentos, nas águas residuais. Essa emenda estabeleceu a obrigatoriedade de modernizar aproximadamente 130 estações de tratamento de águas residuais (ETARs) com tecnologias avançadas, visando remover pelo menos 80% de 12 microcontaminantes específicos. Para financiar esses investimentos, estimados em cerca de 1,4 bilhão de francos suíços, foi instituída

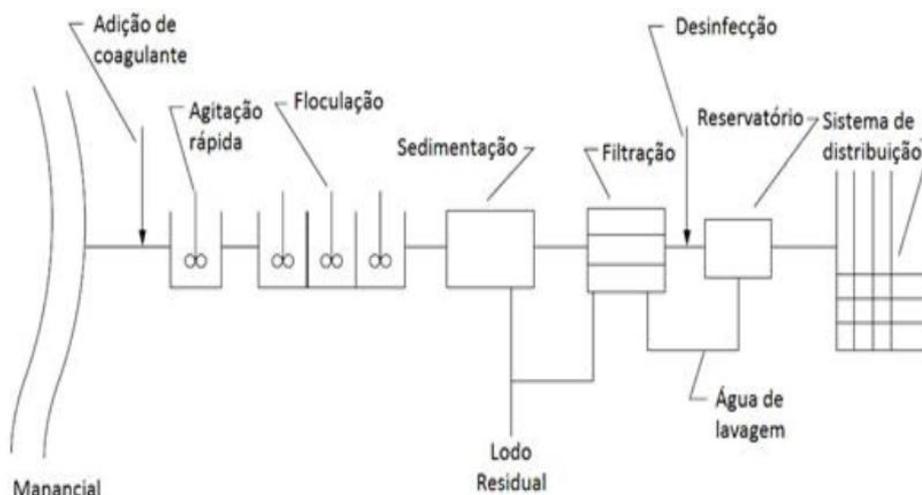
uma taxa federal aplicada a todas as ETARs do país, cobrindo 75% dos custos elegíveis para as atualizações necessárias (Viegas, 2020; Suíça, 2016).

Ainda na federação Suíça, a Ordenança de Proteção das Águas foi revisada para incluir critérios de qualidade baseados em efeitos para diversos microcontaminantes. Em 1º de abril de 2020, limites legalmente vinculativos foram estabelecidos para 19 pesticidas e três produtos farmacêuticos, entre estes três produtos farmacêuticos estão a Azitromicina, a Claritromicina e o Diclofenaco (Suíça 2020).

### 2.3 TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO

O método de tratamento convencional e utilizado é o de Ciclo Completo, que conta com: Coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção, cada etapa com suas particularidades (ISMAIL e PIRES, 2022). Segundo pesquisa realizada pelo IBGE (2020), esta tecnologia é a mais aplicada no Brasil, correspondendo a 50,5 % dos municípios que possuem tratamento de água. A Figura 1 exemplifica este processo.

Figura 1 - Processos do tratamento convencional



Fonte: Velosa, 2015.

A primeira das etapas é chamada de clarificação. Ela é composta pela: Coagulação, floculação e decantação/flotação, e sua principal função é a retirada dos sólidos suspensos e de uma parte dos sólidos dissolvidos, porém é

considerada ineficiente para a remoção de fármacos como mostra estudo realizado por Lima (2017), que apresenta menos que 50% de remoção para diversos compostos como diclofenaco (10%) e bisfenol (28%).

A coagulação consiste na adição de coagulantes na água para promover a formação de flocos. É um método indispensável para qualquer estação de tratamento de água, auxiliando na remoção de partículas de tamanho microscópicas associadas a patógenos, e se não for feito da maneira correta, pode afetar as operações seguintes. Os coagulantes mais utilizados são os sais de ferro ou alumínio, porém segundo Lima (2014) e Rigobello (2020), eles são ineficientes na remoção de fármacos. (Kamiwada *et al.*, 2020; Libânio, 2010).

A floculação tem por objetivo a formação de flocos para posterior decantação, aonde os flocos são depositados no fundo do decantador (LIBÂNIO, 2016). Ela ocorre antes mesmo de chegar no floculador (LIBÂNIO, 2010) e os tipos de floculador mais utilizados são os hidráulicos de chicanas horizontais, pois permitem maior capacidade de atendimento populacional (Heller; Padua, 2016).

A remoção da parcela de alguns fármacos, através da floculação não está ligada diretamente a este processo ou de decantação, mas sim ao coagulante usado, que faz com o os compostos se adsorvam aos flocos formados, sendo retirados durante o seu processo de limpeza (Lima, 2017).

A filtração é uma operação responsável pela remoção de partículas responsáveis pela cor e turbidez da água, que reduziriam a eficácia da desinfecção, sendo a do tipo rápida a mais comum nas ETAs. Nela os mecanismos de transporte aproxima os contaminantes do meio filtrante, sendo que os mecanismos de aderência, auxiliam na retenção dos flocos a este meio. (Heller, Pádua, 2016; Libânio, 2016).

A filtração rápida convencional é eficaz na retirada de matéria particulada da água, flocos e sólidos suspensos, não de composto dissolvidos em água, como é o caso de muitos fármacos. Os compostos não adsorvem bem nos meios filtrantes utilizados cotidianamente pois eles possuem baixa superfície específica

e não possuem força de interações eletrostáticas, dificultando a aderência dos compostos farmacêuticos ao meio filtrante (Heller; Pádua, 2016).

A desinfecção é considerada a última etapa do ciclo completo, e tem por objetivo remover os patógenos da água a partir de agentes químicos ou físicos, bem como, deve ser mantida uma determinada quantidade de desinfetante na água fornecida para prevenir alguma possível infecção. Os agentes químicos mais utilizados são: Os oxidantes cloro, bromo, iodo, ozônio, permanganato de potássio e peróxido de hidrogênio e os íons metálicos, prata e cobre, sendo que o mais utilizado de todos é o cloro (Heller, Pádua, 2016; Libânio, 2016).

A desinfecção utilizando cloro não se mostra tão eficiente na remoção de fármacos como o diclofenaco (em média 70%), sulfametoxazo (67%) e o 17 $\beta$ -estradiol (54%). Por mais que as concentrações encontradas não afetem de forma imediata o ser humano, o contato contínuo com alguns deles pode causar mudanças hormonais e até mesmo a degradação de determinados órgãos (Rigobello, 2020; Souza, 2022).

## 2.4 DIFERENTES TECNOLOGIAS APLICADAS AO MÉTODO CONVENCIONAL PARA REMOÇÃO DE FÁRMACOS

Assim, para a remoção eficiente de fármacos, o tratamento por ciclo completo não demonstra ser eficiente. Por este motivo, são necessárias diferentes técnicas aplicadas ao método do ciclo completo, para que os níveis destes compostos em água não tragam riscos à saúde pública. A seguir, estão técnicas, que na literatura, tem eficiência comprovada para remoção dos compostos farmacêuticos. Elas serão melhor discutidas durante o Item 5.4, na aba de Resultados e Discussão.

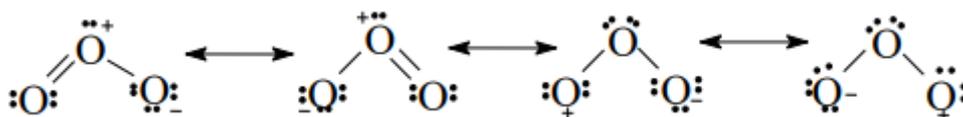
### 2.4.1 Ozonização

A reação de oxidação química envolve a transferência de elétrons como princípio de funcionamento aonde um elemento perde elétron e o outro ganha (oxida e reduz). Inúmeros oxidantes são utilizados para desinfecção de água como é o caso do cloro citado anteriormente, entretanto muitas substâncias tóxicas são persistentes, sendo mais difíceis de oxidar, necessitando um

potencial de oxidação maior que o do cloro. Portanto uma das alternativas possíveis quanto as tecnologias já existentes é a ozonização (Paula, 2014).

O ozônio é obtido a partir do oxigênio gasoso e é constituído por 3 átomos de oxigênio (O<sub>3</sub>). Ele é triatômico, não possuindo comportamento de radical livre e possui ressonância híbrida, sendo caracterizadas por conter um átomo de oxigênio com seis elétrons na última camada, que o confere sua característica eletrofílica (Rosado, 2014). A Figura 2 a seguir demonstra as possíveis ressonâncias do ozônio.

Figura 2 - Síntese das possíveis ressonâncias do ozônio



Fonte: ROSADO,2014.

A ozonização se baseia na destruição da matéria orgânica pelo radical hidroxila (\*OH) e, ou, pelo ozônio. As reações que envolvem as moléculas citadas são de cinética rápida, devido aos seus grandes potenciais de oxidação. (Paula, 2014). A Tabela 1 a seguir lista o potencial de oxidantes na água.

Tabela 1 - Potencial de oxidação de oxidantes em água

OXIDANTE	POTENCIAL DE OXIDAÇÃO (eV)
Radical hidroxila	2,80
Oxigênio atômico	2,42
Ozônio	2,07
Peróxido de hidrogênio	1,77
Radical peridóxido	1,70

Cloro	1,36
Oxigênio	1,23

Fonte: Paula, 2014.

O ozônio é produzido de forma natural na estratosfera a partir da ação de raios ultravioletas, que possuem  $\lambda < 200$  nm, ou de descargas elétricas, que dissocia a molécula de oxigênio ( $O_2$ ) transformando em oxigênio atômico (O), que se juntam a outra molécula de oxigênio, formando o ozônio. Em laboratório ele é formado diante de descargas elétricas controladas, que acelera elétrons o suficiente para que existe essa ligação O/ $O_2$  (Chaves, 2016).

Em água, o ozônio pode se decompor, formando radicais hidroxila (OH), que são mais reativos (2,80 uv) que a molécula de ozônio (2,07 uv), aumentando sua reatividade com os compostos fármacos, auxiliando na sua remoção via ozonização indireta (quando ocorre via radical hidroxila, geralmente em meios básicos). Este é um processo oxidativo avançado (POA), e consegue quebrar vários tipos de moléculas orgânicas, como anéis aromáticos, aminas e ésteres (Costa, 2024; Silva, 2023, Paula, 2014).

Por mais que a utilização de ozônio para tratamento de água devido ao seu alto potencial de oxidação, ele é de alta reatividade e muito instável, diferente do oxigênio é que é altamente estável, causando o processo de dissociação da molécula de ozônio com o tempo, resultando na formação do oxigênio inicial. Suas reações são também de alta especificidade e seletividade, além de não poder ser transportado nem armazenado no local da aplicação, o que dificulta seu uso (Rosado, 2014).

A aplicação da etapa de ozonização pode ocorrer antes do início do tratamento convencional (pré-ozonização), o que auxilia na diminuição do floculante e coagulante utilizados, já que ele ajuda na redução da turbidez e, conseqüentemente, da cor da água, ou de forma intermediária, servindo como

polimento, sendo responsável pela remoção de compostos específicos, como os fármacos (Costa, 2024; Oneby *et al.*, 2010).

É comum encontrar em estudos, a utilização de Radiação UV em conjunto com a ozonização para remoção de fármacos, aumentando de forma significativa sua redução, como é documentado por Costa e Féris (2023) e Álvarez-Gomez e Delgado (2022), o que sugere bom funcionamento conjunto dos dois modelos.

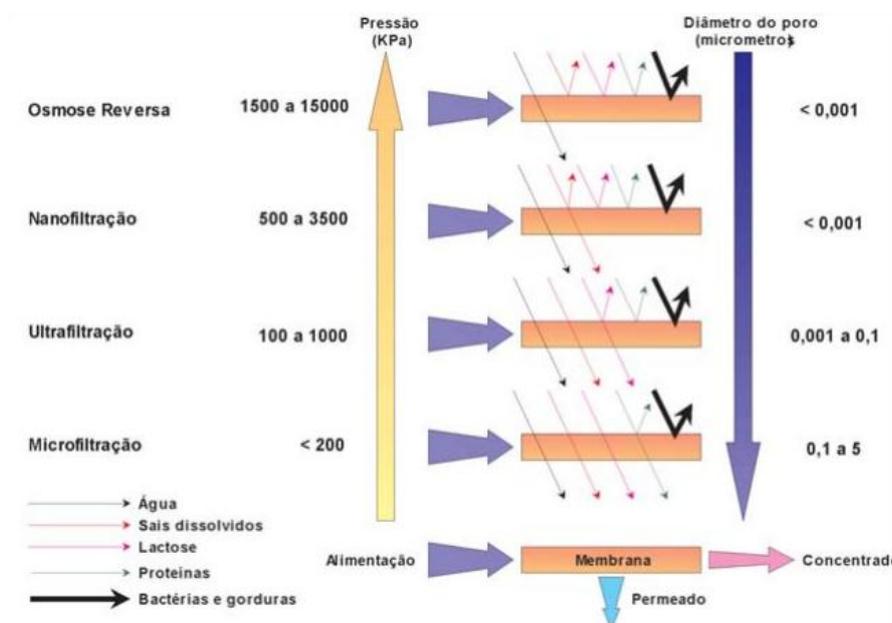
Apesar dos benefícios que a ozonização trás, sua aplicação pode resultar na formação de subprodutos de oxidação nocivos ao ser humano (por exemplo, N-nitrosodimetilamina e bromato), que não são removidos facilmente por modelos convencionais de tratamento de água, sendo indicado o pós-tratamento de polimento com um biofiltro de areia ou de carvão ativado com atividade biológica (BAC) para controle da matéria orgânica biodegradável formada no processo. A formação destes compostos está ligada a descarga de efluentes municipais ou industriais mau tratados, em leitos destinados a produção de água potável (Viegas, 2020; Costa, 2024).

#### **2.4.2 Filtração por membrana**

“Uma membrana sintética pode ser definida como filme fino sólido semipermeável, que separa duas soluções e que atua como barreira seletiva para o transporte de componentes destas soluções, quando aplicado algum tipo de força externa” (Libânio, 2010).

Oliveira (2010) diz que os métodos de separação por membrana mais conhecidos e utilizados são os de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa, que utilizam como principal mecanismo a pressão hidráulica para separar a água das possíveis partículas e microrganismos contaminantes, dependendo da porosidade da membrana. A Figura 3 sintetiza diâmetros, pressões e o permeado de cada tipo de membrana.

Figura 3 - Síntese das especificidades das membranas



Fonte: Mierzwa *et al.* (2008).

O tipo de membrana está diretamente vinculado ao tamanho dos seus poros e seu gradiente de pressão, retendo partículas, microrganismos e sais dissolvidos maiores que estes. As de maior utilização são as membranas de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa (Libânio, 2010; Carvalho, 2021).

A filtração por membranas pode ser inserida como etapa única para tratamento, ou implantada em conjunto com outros sistemas de clarificação e desinfecção. A magnitude de pressão aplicada, chamada de pressão de filtração ou pressão de alimentação, está ligada única e apenas ao diâmetro dos poros da membrana. Quando realizada como etapa única, ela não exige aplicação de coagulante, reduzindo a toxicidade e o volume de lodo (Libânio, 2010).

Segundo Oliveira (2010) no tratamento de água doce de mananciais superficiais, a micro e ultrafiltração se destacam como possibilidades, pelos seus custos menores quando comparado aos outros métodos de separação por membrana, e pela sua eficácia em remover sólidos suspensos, microrganismos e fármacos.

As membranas de micro e ultrafiltração geralmente não são suficientes para remoção de fármacos comuns encontrados em águas, como a cafeína e cabamazepina, diferente da osmose inversa, que remove completamente estes compostos (CARAVALHO, 2021).

Segundo Lima (2016), membranas de nanofiltração ou osmose reversa podem ter remoção superior a 70% para diferentes microcontaminantes, incluindo fármacos. Isso se dá pois elas funcionam como “peneiras moleculares”, separando de forma física as moléculas menores que elas. Os fármacos também podem aderir a membrana a partir da carga elétrica e da afinidade hídrica.

Entretanto a osmose para tratamento de água para abastecimento não se faz viável, pois ela remova íons e sais dissolvidos que são essenciais ao corpo humano, como cálcio (Ca), magnésio (Mg) e Potássio (K) (Libânio, 2010).

Em um estudo realizado por Kawata (2019), comparando o método de ciclo completo, microfiltração, filtração e ultrafiltração para remoção de diclofenaco e diuron, foi afirmado que o único processo capaz de remover os fármacos de forma satisfatório foi o por osmose inversa, indicando também, o uso de nanofiltração.

Libânio (2010) ainda destaca o aumento no consumo de energia elétrica para manter o funcionamento das membranas, devido as pressões aplicadas em cada uma. A vida útil das membranas varia de 5 a 8 anos, dependendo da qualidade do afluente tratado, e da qualidade de manutenção.

### **2.4.3 Carvão ativado**

Carvão ativado é principalmente usado como sólido adsorvente para a retirada de possíveis contaminantes em águas para abastecimento, “O carvão ativado, carvão ativo ou carbono ativado é uma forma amorfa do carbono tratada para aumentar suas propriedades de adsorção” (Haro, 2011).

O uso da tecnologia de filtragem utilizando de filtros de carvão ativado e biofilme é promissora, e tem como principal função a remoção de compostos que são biodegradáveis a partir de microrganismos (Bundy, 2007).

Segundo Westphalen *et al.* (2016) este tratamento biológico se baseia em reações de oxidação-redução, e utiliza dos microrganismos para as catalisar, biodegradando matéria orgânica e compostos reduzidos, utilizando da energia obtida para alimento e reprodução. Para isso, eles precisam de um doador de elétrons que podem ser os compostos reduzidos ou a matéria orgânica presente na água.

Este processo pode ser chamado de biofiltração, e quando o carvão é utilizado como base para o crescimento biológico, o processo passa a ser chamado de “carvão ativado biologicamente ativo” (CAB) (Wespthalen *et al.*, 2016). Ainda, segundo Flemming e Wingender (2010), não é apenas a atividade microbiana que remove contaminantes neste caso, a adsorção e a filtração contribuem de forma significativa para o resultado.

O método de filtração mais aplicado em ETA's usando do carvão ativado é utilizando carvão ativado granular (CAG), já que ele é tão eficaz quanto ao CAB em relação à remoção, porém, são necessárias trocas constantes do meio filtrante por causa da sua capacidade limitada de adsorção (Canevaroli *et al.*, 2021).

O carvão ativado ainda pode ser modificado com intuito de atingir de forma mais efetiva a porcentagem de redução necessária para um determinado composto. Haro (2011) modificou este componente utilizando de KCl e CaCl<sub>2</sub> e MgCl<sub>2</sub> com intuito de reduzir o íons nitrato em diferentes amostras, atingindo resultado satisfatório.

Devido a superfície hidrofóbicas do carvão ativado e a sua alta área superficial, combinada ao seu comportamento hidrofóbico e a estrutura aromática dos fármacos, ele interage com as superfícies gráficas do carvão por meio de forças  $\pi$ - $\pi$ . Outro fator relevante são as interações eletrostáticas: dependendo do pH da água e das características químicas do fármaco, pode ocorrer atração entre cargas opostas presentes no carvão e no contaminante (Décima, 2021; Haro, 2017; Stjepanović, 2023).

Essas características tornam o carvão ativado especialmente eficaz na remoção de uma ampla gama de fármacos, principalmente aqueles com maior peso molecular e baixa solubilidade em água.

Com o tempo, o carvão ativado perde eficiência, devida a saturação, diminuindo sua capacidade de adsorção (SDWA, 2025). Segundo Borges *et al.* (2016), a vida útil do carvão ativado granular (CAG) em ETA's varia entre 6 e 12 meses, sendo necessário sua troca para manter o sistema funcional da forma esperada. Ele pode ainda ser regenerado, com o objetivo de conferir uma nova capacidade de sorção, mesmo não sendo comparada a original (Franco, 2018).

O carvão ativado é geralmente utilizado como uma etapa de polimento, quando tem como objetivo a remoção de fármacos, e, nestes casos, pode estar localizado após a filtração rápida convencional, ou até mesmo a substituindo parcialmente ou totalmente, quando o intuito não é apenas polimento (EPA, 2020).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Propor melhorias na legislação Brasileira à cerca da remoção de fármacos no tratamento de água para abastecimento público, a partir de uma análise comparativa das regulamentações Brasileiras e internacionais.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Buscar artigos, normas e legislações para analisar de forma comparativa as legislações Brasileiras e Internacionais sobre potabilidade, com intuito de identificar diferenças;
- Levantar possíveis melhorias quanto as legislações Brasileiras sobre potabilidade;
- Indicar melhorias no tratamento de água Brasileiro, visando a remoção de fármacos.

#### 4. METODOLOGIA

A Revisão bibliográfica é utilizada para analisar, sintetizar e discutir a literatura existente sobre um determinado tema. O objetivo é identificar o estado atual do conhecimento, as lacunas e as oportunidades de pesquisa.

Para este trabalho, foram utilizados como fontes de pesquisa sites de procura de artigos e estudos, entre eles: Open Knowledge, connect papers, Concensus e Google Acadêmico, além da pesquisa direta em revistas e periódicos, como Scielo, Science, Scopus, BDTD, entre outras.

Os critérios utilizados para seleção de artigos e estudos sobre o tema, levou em consideração as datas de publicação, autores, grupos de estudos e as categorias as quais se enquadravam e foram realizadas as leituras e avaliação dos documentos.

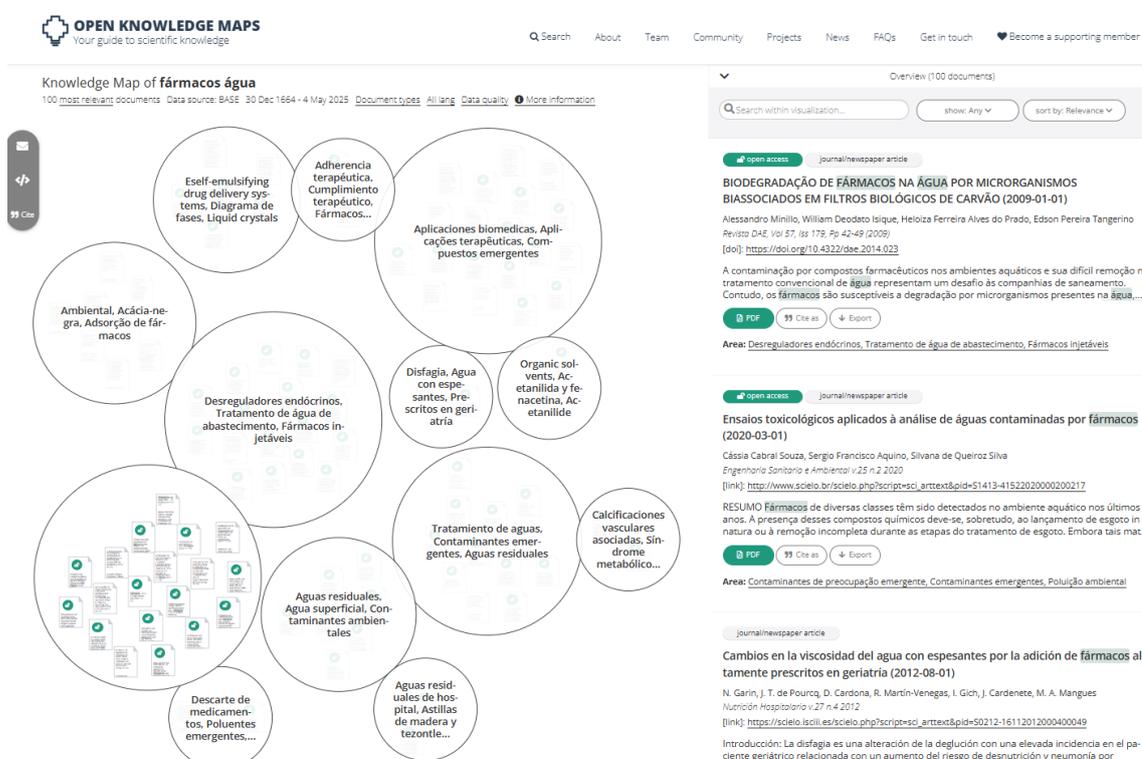
Inicialmente foram feitas buscas a partir de palavras chaves como: Tratamento de água, potabilidade, novas tecnologias, corpos hídricos, ciclo completo, reutilização hídrica, estação de tratamento de água, efluentes, Suíça, Estados Unidos, União Europeia, Leis federais, legislações, microcontaminantes, contaminantes de preocupação emergente e remoção de fármacos. A fim de realizar uma nova seleção ainda mais específica sobre o tema, foram realizadas novas buscas e seleções utilizando termos ainda mais específicos, tanto para o tratamento quanto para a legislação, tais como: Separação por membranas, ultrafiltração, nanofiltração, osmose reversa, Radiação ultravioleta, adsorção, carvão ativado, carvão ativado granular, carvão ativado modificado, ozonização e fotocatalise, geralmente ligadas aos termos: Remoção de fármacos, remoção de microcontaminantes, eficiência, custo e viabilidade.

A pesquisa também se baseou em análise documental das legislações Brasileira e internacionais como da Portaria GM/MS nº 888/2021, do Safe Drinking Water Act (EUA) e da Diretiva (UE) 2020/2184. Foram examinados tópicos como abrangência normativa, monitoramento, gestão de risco, regulamentação de fármacos e possíveis melhorias futuras. A análise considerou ainda documentos complementares: Lista de contaminantes emergentes norte

americana (CCL), Lista de contaminantes não regulamentados (UCR), Diretiva Quadro da Água (2000/60/CE), Lista de Vigilância de Poluentes Emergentes Europeia, Decisão de Implementação (EU) 2015/495, Decisão de Implementação (EU) 2025/439, além das emendas publicadas para as Leis vigentes.

A Figura 4, mostra um dos métodos de pesquisa bibliográfica utilizando o Site Open Knowledge Maps.

Figura 4 – Mapa de estudos utilizando o Site Open Knowledge Maps.



Fonte: Autoria própria (2025).

Desta forma, o presente trabalho foi realizado dando ênfase na parte legislativa brasileira e internacional, com intuito de encontrar lacunas as quais pudessem ser melhoradas, e nos possíveis métodos de tratamento de fármacos encontrados na literatura.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

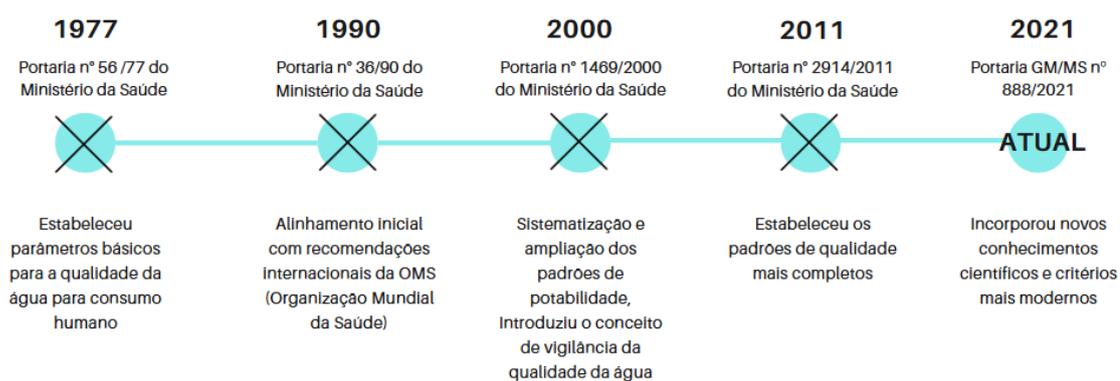
Neste item serão apresentadas as legislações a respeito da potabilidade da água, bem como as regulamentações a respeito de fármacos, utilizando do método de análise comparativa e procurando identificar as principais diferenças entre as regulamentações brasileiras e internacionais, apontando as vantagens e desvantagens, e por fim, as sugestões de melhorias, tanto nas leis, quanto nos tratamentos convencionais.

### 5.1 LEGISLAÇÕES A RESPEITO DA POTABILIDADE DE ÁGUA

As principais leis sobre a qualidade de água para consumo humano utilizadas durante essa revisão bibliográfica são as seguintes: Portaria GM/MS nº888/2021, Save Drinking Water Act (SDWA) e a Diretiva (EU) 2020/2184, que será representativa da Suíça, já que, como citado anteriormente, o país segue à risca estas diretrizes e também facilita as comparações.

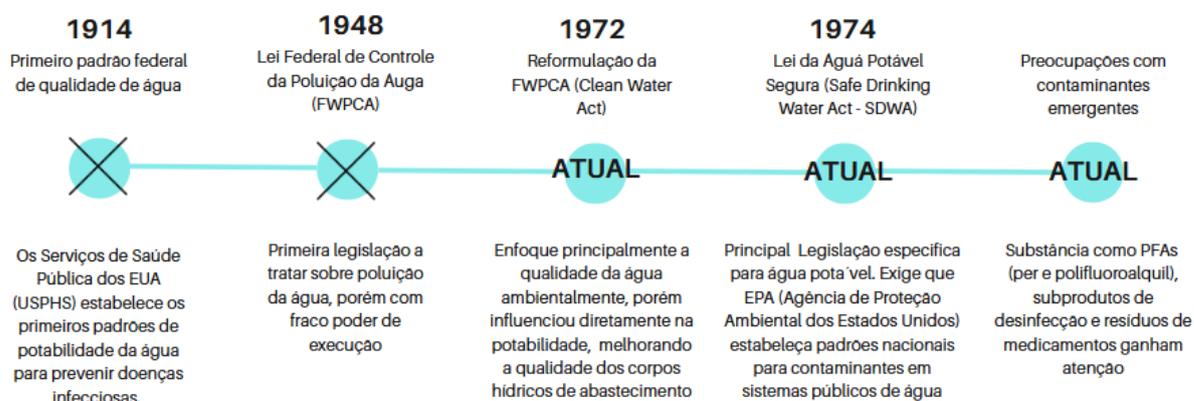
As Figura 5, 6 e 7 apresentam uma linha do tempo das legislações responsáveis pela potabilidade de água no Brasil, do Estados Unidos, e da Suíça respectivamente.

Figura 5 – Breve histórico das regulamentações brasileiras quanto a potabilidade de água



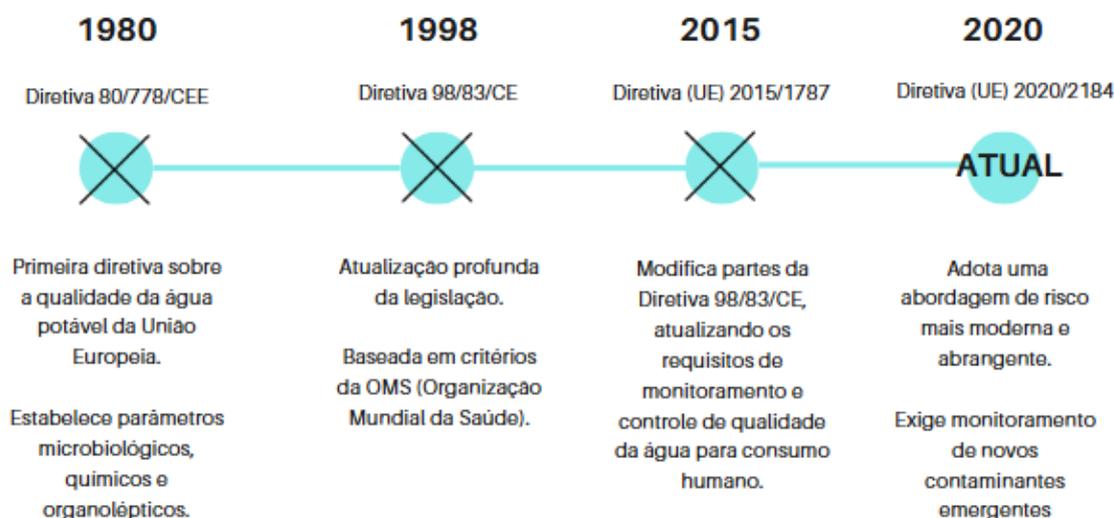
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 6 – Breve histórico das regulamentações do Estados Unidos quanto a potabilidade de água



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 7 - Breve histórico das regulamentações Suíça quanto a potabilidade de água



Fonte: Autoria própria (2025).

Pode-se observar que o pioneirismo quanto a regulamentações para potabilidade da água acontece nos Estados Unidos com a Lei da Água Limpa (Clean Water Act) (1972), tendo como base a Lei Federal de Controle da Poluição da água (FWPCA) em 1948. Ela não traz a potabilidade como questão, porém a melhora da qualidade dos corpos hídricos, que influencia diretamente na água para abastecimento público (Estados Unidos, 1972).

Cabe ressaltar que as promulgações, tanto do Clean Water Act (CWA) quanto do Safe Drinking Water Act (SDWA), foram realizadas após a criação da Environmental Protection Agency (EPA) em 1970, que tem como foco assegurar leis ambientais rigorosas com objetivo de garantir água, ar e solo limpos. Portanto sua criação, foi de grande impacto para as legislações regionais.

No Brasil, a regulamentação da água potável começou em 1977 com a Portaria nº 56/77 do Ministério da Saúde, que estabeleceu os primeiros parâmetros básicos para garantir a qualidade da água destinada ao consumo humano, sendo criada antes mesmo da Diretiva 80/77/CEE do bloco Europeu.

Porém, devido a estruturação geopolítica da Europa, diversos países compartilham dos mesmos recursos hídricos. Portanto os Estados-membros em conjunto com o Parlamento Europeu estabelecem medidas de qualidade de água que devem ser minimamente seguidas pelos Estados-membros, não restringindo legislações mais rigorosas, nem emendas sobre as diretivas já existentes, bem como não impede a criação de legislações anteriores a Diretiva 80/778/CEE (Cunha, 2016). A primeira versão da Ordenança sobre água potável e água de piscinas públicas da Suíça entrou em vigor apenas no ano de 2017.

O Brasil apresenta uma evolução gradual, com melhorias na legislação aproximadamente a cada década com controle centralizado. Os Estados Unidos possui uma evolução normativa contínua, com base em crises e reformas ambientais, já a Suíça segue à risca a regulamentação Europeia, que possui uma base Legislativa forte, com progresso contínuo, seguindo as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) e os avanços tecnológicos e de preocupação emergente.

A análise comparativa das leis sobre potabilidade de água foi realizada seguindo os seguintes critérios: Objetivos, temas centrais, flexibilidades e medidas que irão ser implementadas. O Quadro 7, demonstra essa comparação.

Quadro 7 - Análise comparativa via diferentes critérios estabelecidos

	<b>OBJETIVO</b>
<b>Portaria GM/MS n°888/2021</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabelecer os procedimentos de controle e de qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.</li> </ul>
<b>Save Drinking Water Act</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteger a saúde pública garantindo que a água potável nos Estados Unidos seja segura para consumo humano.</li> </ul>
<b>Diretiva (EU) 2020/2184</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteger a saúde humana garantindo que a água destinada ao consumo humano seja salubre, limpa e disponível de forma ampla, contribuindo para a implementação do direito humano à água e ao saneamento</li> </ul>
	<b>PRINCIPAIS TEMAS</b>
<b>Portaria GM/MS n°888/2021</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Padrão de potabilidade da água;</li> <li>• Monitoramento e controle da qualidade da água;</li> <li>• Responsabilidades dos sistemas de abastecimento;</li> <li>• Gestão de risco;</li> <li>• Controle de subprodutos da desinfecção;</li> <li>• Parâmetros radioativos;</li> <li>• Planos de amostragem;</li> <li>• Transparência e informação ao consumidor.</li> </ul>
<b>Save Drinking Water Act</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabelecimento de padrões nacionais de qualidade da água potável;</li> <li>• Regulação dos sistemas públicos de abastecimento;</li> <li>• Proteção das fontes de água potável;</li> <li>• Monitoramento de contaminantes emergentes;</li> <li>• Delegação de autoridade;</li> <li>• Transparência e participação pública;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planos de resposta a emergência.</li> </ul>
<b>Diretiva (EU) 2020/2184</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atualização dos parâmetros de qualidade da água potável;</li> <li>• Abordagem baseada em risco;</li> <li>• Transparência e acesso à informação;</li> <li>• Melhoria do acesso à água potável;</li> <li>• Eficiência e sustentabilidade;</li> <li>• Controle de substâncias emergentes;</li> <li>• Governança e fiscalização.</li> </ul>
	<b>FLEXIBILIDADE QUANTO AO CUMPRIMENTO</b>
<b>Portaria GM/MS nº888/2021</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumprimento obrigatório para todos os sistemas de abastecimento do país com envio de relatórios periódicos às devidas autoridades;</li> <li>• Os valores de ferro e manganês podem ser maiores que os permitidos caso estejam complexados com produtos químicos de baixo risco.</li> </ul>
<b>Save Drinking Water Act</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumprimento obrigatório da National Primary Drinking Water Regulations (NPDWRs)</li> <li>• A National Secondary Drinking Water Regulations (NCDWRs) são diretrizes para auxiliar quanto ao sabor, odor e cor da água, mas que não apresentam risco à saúde, portanto eles não são controlados pelo Governo Federal, e, portanto, não obrigatórios</li> </ul>
<b>Diretiva (EU) 2020/2184</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os Estados membro são obrigados a seguir a Diretiva, tomando todas as medidas necessárias, se baseando no princípio da precaução.</li> <li>• Cumprimento descentralizado, porém, nunca menos rígido que a Norma base;</li> <li>• Os Países membros podem solicitar a derrogação da Diretiva por no máximo 3 anos, em alguns casos.</li> </ul>

	<b>IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS FUTURAS*</b>
<b>Portaria GM/MS n°888/2021</b>	Não aborda futuras datas limites de implementação
<b>Save Drinking Water Act</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substituição das tubulações de chumbo, com intuito de diminuir os níveis de chumbo na água;</li> <li>• Monitoramento inicial de PFAs.</li> </ul>
<b>Diretiva (EU) 2020/2184</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estados membros devem enviar relatórios dos níveis de perda de água;</li> <li>• Documento de avaliação do risco e a gestão do risco das bacias de drenagem para pontos de captação de água destinada ao consumo humano;</li> <li>• Documento de avaliação do risco e a gestão do risco do sistema de abastecimento;</li> <li>• Documento de avaliação do risco do sistema de distribuição doméstica;</li> <li>• Conjunto de dados que contenha informações sobre as medidas adotadas para melhorar o acesso à água destinada ao consumo humano, bem como a percentagem da população com acesso à água destinada ao consumo humano e que não inclua a água em garrafas ou noutros recipientes;</li> <li>• Relatório sobre a ameaça potencial que a presença de microplásticos, de produtos farmacêuticos e, se necessário, de outros contaminantes que têm vindo a suscitar preocupação e sobre os riscos potenciais para a saúde relevantes decorrentes.</li> </ul>
<b>*Medidas presentes na legislação, que serão implementadas pós ano de 2025.</b>	

Fonte: Autoria própria (2025).

A Portaria GM/MS nº 888/2021 tem como objetivo principal estabelecer os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água destinada ao

consumo humano, garantindo o cumprimento dos padrões de potabilidade. Trata-se de um instrumento normativo de caráter técnico e sanitário, com foco na proteção da saúde da população por meio de diretrizes centralizadas e obrigatórias.

Nos Estados Unidos, o Safe Drinking Water Act (SDWA) também visa proteger a saúde pública, mas com foco na segurança da água potável através da regulação dos sistemas públicos de abastecimento, da proteção das fontes e da imposição de padrões nacionais de qualidade. Seu escopo é mais descentralizado, permitindo que estados e agências locais tenham um papel ativo no cumprimento e na fiscalização.

Por sua vez, a Diretiva (UE) 2020/2184 tem uma abordagem ainda mais ampla, incorporando explicitamente o direito humano à água e ao saneamento. A norma busca garantir que a água seja salubre, limpa, amplamente disponível e sustentável, vinculando a gestão da água ao bem-estar social e ambiental.

A Portaria brasileira trata de elementos clássicos da vigilância sanitária, como os padrões de potabilidade, o controle de parâmetros químicos, físicos e microbiológicos, a gestão de risco, os subprodutos da desinfecção e parâmetros radioativos. Também inclui planos de amostragem e orientações sobre transparência e informação ao consumidor, porém eles não são padronizados nem complexos.

O SDWA norte-americano expande a regulação ao estabelecer distinções entre normas obrigatórias (National Primary Drinking Water Regulations (NPDWRs) e diretrizes secundárias (National Secondary Drinking Water Regulations (NSDWRs), que não são obrigatórias por não implicarem riscos à saúde. O ato legal também exige o monitoramento de contaminantes emergentes, como os PFAs, estabelece planos de resposta a emergências e garante a participação pública no processo decisório.

A Diretiva europeia representa um modelo de regulação mais moderno e preventivo. Atualiza os parâmetros de qualidade, adota uma abordagem baseada em risco, promove a transparência total por meio de acesso público aos

dados, reforça a eficiência e sustentabilidade dos sistemas e exige ações sobre substâncias emergentes, como microplásticos e fármacos. Ela também promove a equidade, buscando melhorar o acesso à água potável, inclusive para populações vulneráveis.

No Brasil, o cumprimento da Portaria é obrigatório para todos os sistemas de abastecimento. Há pequenas flexibilidades, como a aceitação de valores superiores aos permitidos para ferro e manganês, desde que estejam complexados com substâncias de baixo risco. Ainda assim, trata-se de uma norma nacional rígida e centralizada.

Nos EUA, o SDWA estabelece padrões obrigatórios para os parâmetros primários, mas os parâmetros secundários são apenas recomendações e não obrigatórios. Essa abordagem oferece maior flexibilidade às autoridades locais e operadoras de sistemas públicos de abastecimento, desde que a saúde pública não seja comprometida.

A Diretiva Europeia adota uma flexibilidade condicionada: os Estados-membros devem aplicar a Diretiva, mas podem adaptar sua implementação às realidades nacionais, desde que não se tornem menos rígidos do que a norma base. Existe a possibilidade de prorrogação de certas exigências por até 3 anos, mediante justificativa. Ainda assim, a responsabilização e os mecanismos de controle são fortes, garantindo a integridade dos padrões de segurança.

A Portaria brasileira é essencialmente normativa e não detalha ações estruturantes ou metas futuras. Seu foco está na regulação atual, sem estipular prazos para a substituição de materiais obsoletos ou implantação de melhorias sistêmicas futuras.

O SDWA dos EUA, por outro lado, prevê medidas concretas de mitigação de riscos, como a obrigatoriedade da substituição das tubulações de chumbo. Também inclui o monitoramento inicial das substâncias PFAs, uma classe de contaminantes emergentes com possível toxicidade elevada.

A Diretiva da União Europeia apresenta um conjunto robusto de medidas de implementação mostrando preocupação com diversos outros setores dentro dos sistemas de abastecimento.

Por conta da complexidade e riqueza de informações sobre o monitoramento da potabilidade em cada região, foi elaborado um quadro comparativo específico, apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 - Análise comparativa do monitoramento para cada legislação

	<b>MONITORAMENTO</b>
<b>Portaria GM/MS n°888/2021</b>	<p>É obrigatório o responsável pela ETA, deixar os seguintes pontos de amostragem: Na saída de cada filtro, na saída do tratamento, no reservatório, na rede de distribuição e nos pontos de captação.</p> <p>As amostragens devem ser feitas em laboratórios devidamente habilitados e referenciados pelo ministério da saúde, atendendo as normas nacionais mais recentes.</p> <p>Cabe ao responsável pelo sistema de abastecimento de água proporcionar mecanismos de recebimento de reclamações bem como manter registros a respeito da qualidade da água distribuída e da limpeza dos reservatórios</p> <p>Devem ser feitos de formas contínuas</p>
<b>Save Drinking Water Act</b>	<p>Todo sistema público de abastecimento é obrigado a realizar com frequência em pontos representativos da rede de distribuição</p> <p>Programas de monitoramento de chumbo e cobre obrigatórios.</p>

	<p>Os resultados devem ser enviados para a EPA e devidas autoridades estaduais.</p> <p>Obrigatória realização do Consumer Confidence Reports (CCR), relatório anual aos consumidores com os resultados.</p>
<p><b>Diretiva (EU) 2020/2184</b></p>	<p>Ela introduz elementos de gestão de risco baseada na abordagem “da captação à torneira”</p> <p>Monitoramento operacional (realizado regularmente pelo operador para garantir eficácia dos processos).</p> <p>Monitoramento de verificação (para avaliar se a água no ponto de consumo cumpre os padrões).</p> <p>Monitoramento baseado em risco, com planos de segurança da água.</p> <p>Eles têm que ser feitos com altas frequências, diariamente ou semanalmente, dependendo do escopo da distribuição.</p> <p>Os pontos de coleta são na entrega ao consumidor final, especialmente onde há maior risco</p>

Fonte: Aatoria própria (2025).

A Portaria GM/MS nº 888/2021 exige pontos de amostragem distribuídos ao longo de toda a cadeia de produção de água: na saída de cada filtro, na saída do tratamento, nos reservatórios, na rede de distribuição e nos pontos de captação. Essa abordagem visa uma vigilância abrangente da água em múltiplas etapas do processo.

Por sua vez, o SDWA dos EUA exige monitoramento em pontos representativos da rede de distribuição, com ênfase especial em substâncias como chumbo e cobre, considerando a deterioração da qualidade nos sistemas internos dos consumidores.

A Diretiva (UE) 2020/2184 adota uma abordagem baseada em risco e estabelece a obrigatoriedade de amostragem na entrega ao consumidor final, com foco especial nas áreas de maior risco, complementando com ações de monitoramento operacional e de verificação. O Brasil adota uma estratégia orientada pela produção, os EUA pela rede de distribuição, e a UE foca na entrega final, conforme o princípio "da captação à torneira".

No Brasil, a norma determina que o monitoramento seja contínuo, com frequência adequada à capacidade do sistema de tratamento, em laboratórios habilitados reconhecidos pelo Ministério da Saúde.

Nos Estados Unidos, os sistemas públicos devem realizar amostragens frequentes, mas a frequência é determinada por parâmetros específicos e o tamanho do sistema de abastecimento, especialmente em programas como os de controle de chumbo e cobre, sem exigências laboratoriais.

Na Suíça, a frequência é mais intensiva, podendo ser diária ou semanal, dependendo da complexidade do sistema e dos riscos identificados no plano de segurança da água, estes monitoramentos devem ser conduzidos por entidades competentes, de acordo com os requisitos estabelecidos em cada "cantão", mas em conformidade com os princípios harmonizados pela diretiva.

O Quadro 9 compara os valores numéricos relacionados a potabilidade de água. É importante ressaltar que cada uma das legislações citadas adota um método distinto para definir seus limites. A Portaria GM/MS nº888/2021, estabelece apenas um valor limite, que se não ultrapassado, não traz riscos para a saúde humana ou do ambiente. A Save Drinking Water Act (SDWA) determina um valor limite, que traz o mesmo sentido que a legislação anterior, e o valor alvo, que se refere ao objetivo a ser alcançado pelo Estados Unidos com relação a qualidade de água. A Suíça por sua vez, segue a risca a Diretiva 2020/2184 para estabelecer seus principais parâmetros, que é avaliado da mesma forma que a SDWA.

Quadro 9 - Comparação dos parâmetros estabelecidos para potabilidade de água em diferentes normativas

Parâmetro	Portaria GM/MS n°888/2021		Save Drinking Water Act		Diretiva (EU) 2020/2184 e documentos suíços	
	Valor Alvo	Valor Limite	Valor Alvo	Valor Limite	Valor alvo	Valor limite
Coliformes totais	-----	Ausência em 100 mL	Ausência	5%	Ausência em 250 ml	Ausência em 100 ml
Escherichia Coli	-----	Ausência em 100 mL	Ausência	5%	Ausência em 250 ml	Ausência em 100 ml
Turbidez	-----	0,3 UNT em 95% das amostras *	Ausência	0,3 UNT	0,3 UNT em 95% das amostras **	1 UNT
Cloro Residual	0,2 mg/L	5 mg/L	-----	4 mg/L	-----	0,5 mg/L
Fluoreto	-----	1,5 mg/L	-----	4 mg/L	-----	1,5 mg/L
<p><b>* Os 5% restantes devem ter no máximo 1 UNT para filtração rápida, para filtração via membranas, 99% das amostras devem ter menos que 0,1 UNT;</b>  <b>** Para sistemas que abastecem mais que 20000 habitantes, caso menos, o limite é de apenas 1 amostra coletada no mês.</b></p>						

Fonte: Autoria própria (2025).

A Portaria GM/MS n° 888/2021 e a Diretiva (UE) 2020/2184 exigem ausência total de coliformes totais em 100 mL e 250 mL, respectivamente, enquanto o

SDWA permite até 5% de amostras positivas. A abordagem brasileira e europeia é mais conservadora, adotando a tolerância zero como medida preventiva contra doenças de veiculação hídrica.

Para a *Escherichia Coli*, o Brasil e Suíça também estabelecem ausência em 100 mL, refletindo rigor sanitário. O SDWA mantém a mesma flexibilização de 5% das amostras com presença, o que indica um modelo baseado em risco estatístico, mas com menor margem de segurança.

A legislação brasileira e a europeia coincidem ao estabelecer 0,3 Unidade de Turbidez (UNT) em 95% das amostras. A UE, no entanto, impõe variações conforme o porte do sistema de abastecimento, admitindo até 1 UNT em situações específicas. A turbidez, sendo indicativo de partículas suspensas e possível abrigo para microrganismos, é tratada com elevado rigor.

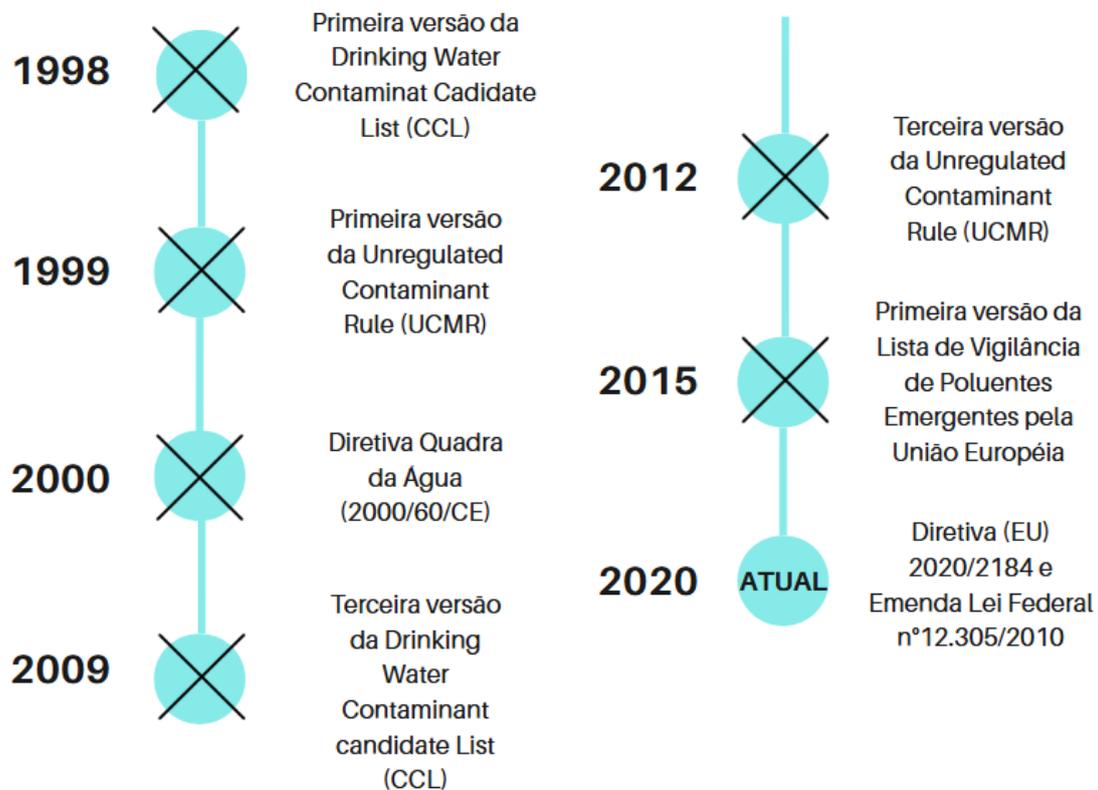
A Portaria Brasileira estabelece um cloro residual de no mínimo 0,2 mg/L, enquanto os EUA permitem até 4 mg/L e a Suíça define um valor alvo de 0,1 mg/L e um limite de 0,5 mg/L. A abordagem europeia visa reduzir ao máximo subprodutos da desinfecção (como trihalometanos), adotando limites mais restritivos.

Os limites de fluoreto variam de 1,5 mg/L (Brasil e Suíça) a 4 mg/L (EUA). A adição de flúor à água visa prevenir cáries, mas concentrações elevadas estão associadas à fluorose dental e esquelética. Assim, o limite europeu e brasileiro reflete maior precaução frente a efeitos crônicos.

## 5.2 LEGISLAÇÕES A RESPEITO DE FÁRMACOS

A Figura 8 a seguir mostra uma síntese dos marcos legais quanto aos fármacos, comparando diferentes marcos legais nas 3 regiões investigadas neste estudo.

Figura 8 - Breve histórico dos marcos legais a respeito dos fármacos no Brasil, Suíça e Estados Unidos



Fonte: Autoria própria (2025).

A preocupação com os contaminantes emergentes foi iniciada com a publicação da primeira versão da Drinking Water Contaminant Candidate List (CCL 1), em 1998, nos Estados Unidos, que estabeleceu um processo formal para identificar contaminantes não regulamentados com potencial risco à saúde humana. Este marco introduziu a necessidade de avaliações sistemáticas baseadas em risco e exposição, criando uma base científica sólida para futuras ações regulatórias.

Em 1999, em resposta às exigências da emenda de 1996 do Safe Drinking Water Act (SDWA), foi implementada a primeira versão da Unregulated Contaminant Monitoring Rule (UCMR 1). Essa iniciativa obrigou os sistemas públicos de abastecimento a monitorar contaminantes selecionados da CCL 1, permitindo a geração de dados essenciais para embasar decisões regulatórias futuras e aumentar a segurança da água potável. Entretanto, ainda sem a inclusão de nenhum fármaco.

Em 2000, a União Europeia estabeleceu a Diretiva Quadro da Água (2000/60/CE), criando uma política integrada para proteger a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Embora o foco inicial tenha sido voltado para contaminantes tradicionais, esta diretiva abriu espaço para a futura inclusão de contaminantes emergentes, respondendo a novos desafios ambientais.

O ano de 2009 marcou a publicação da terceira versão da Drinking Water Contaminant Candidate List (CCL 3), representando um avanço significativo ao incluir, pela primeira vez, substâncias farmacêuticas e disruptores endócrinos. Essa expansão refletiu a crescente preocupação com o impacto de produtos de uso humano e animal no ciclo hidrológico e na saúde pública.

Em 2012, a terceira versão da Unregulated Contaminant Monitoring Rule (UCMR 3) inovou ao incorporar o monitoramento de compostos farmacêuticos e hormonais, como o estradiol e o etinilestradiol, na água potável. Esta mudança sinalizou uma transição importante das preocupações tradicionais, centradas em pesticidas e metais, para novos contaminantes emergentes de alta relevância para a saúde pública.

Assim em 2015, a União Europeia lançou a sua primeira Lista de Vigilância de Poluentes Emergentes (Watch List), focando especialmente em hormônios estrogênicos. Essa medida reforçou o papel da ciência na identificação de substâncias prioritárias para monitoramento e controle, alinhando-se às práticas mais avançadas de gestão de riscos ambientais.

Finalmente, em 2020, a publicação da Diretiva (UE) 2020/2184 reformulou a abordagem europeia para a água potável, incorporando explicitamente a necessidade de monitorar contaminantes emergentes como fármacos e PFAS (substâncias perfluoroalquiladas), sendo pioneiros em estipular valores máximo para determinados compostos farmacêuticos. No mesmo ano, no Brasil, a Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) foi emendada para reforçar a gestão de resíduos, focando na logística reversa para produtos farmacêuticos.

O Quadro 10 a seguir lista todas as leis disponíveis que abortam de forma direta os fármacos e seus possíveis riscos aos corpos hídricos.

Quadro 10 - Comparação das leis que dizem respeito ao controle de fármacos

BRASIL	ESTADOS UNIDOS	SUIÇA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• O Brasil não possui Legislações específicas quanto ao controle de fármacos em corpos hídricos;</li> <li>• Uma das ferramentas de controle é a Lei Federal nº12.305/2010, que adota a metodologia reversa para medicamentos em desuso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A principal lei quanto a potabilidade de água (a SDWA), não aborda a questão dos fármacos;</li> <li>• Possui a Drinking Water Contaminant Candidate List, que aborda contaminantes não regulamentados pela SDWA;</li> <li>• Possui a UCMR, que tem como objetivo coletar dados referentes a contaminantes que não estão na legislação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segue as normas Europeias para regulamentação de fármacos, com legislações mais rígidas;</li> <li>• A Diretiva (EU) 2020/2184 traz fármacos para a lista de monitoramento;</li> <li>• A Decisão de Implementação (EU) 2015/495 implementou a Lista de Vigilância de Poluentes Emergentes;</li> <li>• A Suíça introduziu a Emenda de 2016 à Lei de Proteção das Águas, bem como revisou a Ordenança de Proteção das Águas, incluindo em ambas, micropluentes, entre eles, os fármacos.</li> </ul>

Fonte: Autoria própria (2025).

O Brasil não dispõe de legislação específica para o controle de fármacos em corpos d'água. Tendo como mais atual ferramenta de controle a Lei Federal nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e adota a metodologia de logística reversa para o descarte adequado de medicamentos em desuso. Entretanto, tal medida atua de forma preventiva e não diretamente sobre a presença de fármacos nos ambientes aquáticos.

Nos Estados Unidos, a Safe Drinking Water Act (SDWA), principal legislação sobre a potabilidade da água, não aborda diretamente a questão dos fármacos. Contudo, iniciativas complementares foram criadas, como a Drinking

Water Contaminant List (CCL) que elenca contaminantes emergentes, incluindo alguns fármacos, que ainda não são regulamentados pela SDWA, mas que podem representar riscos potenciais à saúde pública e a Unregulated Contaminant Monitoring Rule (UCMR) visa coletar dados sobre contaminantes não regulamentados, fornecendo subsídios para futuras ações normativas.

A Suíça adota uma abordagem mais rígida, alinhando-se às normas europeias, destacando-se a Diretiva (EU) 2020/2184, que incluiu fármacos na lista de monitoramento da qualidade da água potável, diferente das suas outras versões, a Decisão de Implementação (EU) 2015/495 que estabeleceu a criação da Lista de Vigilância de Poluentes Emergentes (Watch List), a qual inclui fármacos, e por parte da Suíça, a Emenda de 2016 à Lei da proteção das águas, que incorporou o conceito de microcontaminantes, entre eles os produtos farmacêuticos. Essas medidas conferem à Suíça um robusto arcabouço jurídico para a proteção da potabilidade da água contra a contaminação por fármacos.

Observa-se uma significativa heterogeneidade entre os países analisados. Enquanto o Brasil atua de forma indireta e preventiva, sem monitoramento específico de fármacos, os Estados Unidos estabelecem mecanismos de identificação e coleta de dados sobre contaminantes emergentes, embora ainda sem regulamentação direta. Já a Suíça apresenta um modelo maduro e integrado, regulando ativamente a presença de fármacos na água, em consonância com as normativas europeias. O caso da Federação Suíça ilustra a importância de políticas públicas rigorosas e integradas para a proteção da qualidade da água, servindo como referência para países como o Brasil, que ainda necessitam desenvolver regulamentações específicas.

### 5.3 VANTAGENS, DESVANTAGENS E POSSÍVEIS MELHORIAS

Neste item serão apresentadas as vantagens, desvantagens e possíveis melhorias dentro das legislações Brasileiras discutidas neste estudo. As propostas de melhoria foram baseadas nas desvantagens e vantagens que a Portaria brasileira possui em relação às legislações internacionais estudadas neste documento.

### 5.3.1 Vantagens

- Integração com políticas públicas: Alinha-se a programas nacionais de vigilância em saúde ambiental, fortalecendo a atuação Intersetorial.
- Foco em comunidades vulneráveis: Considera o número de habitantes nas análises, facilitando a aplicação em pequenos municípios. Inclui regras para caminhões-pipa que atendem áreas vulneráveis.
- Parâmetros de potabilidade: Estabelece limites físico-químicos e microbiológicos equivalentes aos dos outros dois países comparados.
- Histórico legislativo: A regulamentação brasileira começou em 1997, antes da União Europeia (1980).
- Acesso à informação: É mais clara e acessível que o SDWA, que apresenta maior complexidade por reunir muitos temas em um só documento.

### 5.3.2 Desvantagens

- Escopo limitado de contaminantes: A legislação brasileira regula menos substâncias químicas do que o SDWA (90+) e a Diretiva Europeia (100+), sem incluir emergentes como PFAS, microplásticos e fármacos.
- Baixa transparência: A divulgação de dados ao consumidor é restrita, sem obrigação de relatório público;
- Ausência de metas futuras: Não há planos para substituição de tubulações antigas ou mitigação de riscos emergentes.
- Atualizações lentas: Embora atualizada periodicamente, os intervalos ultrapassam 10 anos, deixando a norma defasada frente a novos desafios.
- Aplicação limitada da avaliação de risco: A Portaria prevê avaliação de risco, porém ainda em estágio inicial;
- Fiscalização desigual: O monitoramento depende da estrutura local de municípios e estados, gerando desigualdades na fiscalização.
- Falta de norma para contaminantes emergentes: Não há diretrizes obrigatórias para fiscalizar substâncias emergentes.

### 5.3.3 Propostas de melhoria

Nota-se um claro déficit nas legislações Brasileiras quando se trata de contaminantes emergentes e de novas tecnologias legais para a fiscalização da água potável presente no país. Portanto, sugere-se as seguintes melhorias:

- Elaboração de regulamentação específica para fármacos e microcontaminantes: Incluir medicamentos na lista de contaminantes prioritários, com base em estudos toxicológicos e de ocorrência;
- Criação de uma lista nacional de vigilância de contaminantes emergentes: Inspirada nas listas da EPA (CCL/UCMR) e da UE (Watch List);
- Inclusão de metas de implementação futura: Como substituição de materiais obsoletos, planos de segurança da água e redução de perdas;
- Descentralização responsável: Permitir maior adaptabilidade a norma às suas realidades, com base em estudos técnicos, sem comprometer a qualidade;
- Transparência e controle social: Estabelecer relatórios públicos obrigatórios com os resultados de monitoramento, promovendo participação pública;
- Revisão periódica dos valores máximos permitidos (VMPs): Estabelecer limites mais restritivos com base em evidências científicas atualizadas e risco cumulativo.

Entretanto existe outro déficit em relação aos fármacos, que é o seu tratamento. Como citado anteriormente neste trabalho, o Brasil não possui estações de tratamento de água, em sua grande maioria, adequadas para a remoção destes micropoluentes. Portanto são necessárias melhoras nos modelos convencionais.

Para que estas propostas sejam efetivadas, podem ser criados grupos técnico-científicos nacionais com especialistas da Anvisa, ANA, universidades e centros de pesquisa para avaliar a toxicidade e ocorrência desses compostos no Brasil, incentivando a realização de estudos de monitoramento ambiental em diferentes regiões do país para identificar os principais fármacos presentes na água.

Devem também ser disponibilizados recursos federais para capacitação e compra de equipamentos adequados para os laboratórios públicos, visando incentivo nos estudos a respeito dos compostos estudados.

Deve-se tornar obrigatória a publicação dos resultados de monitoramento de água potável em sites institucionais, com linguagem acessível, implementando sistemas digitais de consulta pública (como já existe nos EUA e na UE) com painéis interativos e dados abertos, além de estimular a criação de conselhos locais de saneamento com participação popular, ONGs, usuários e técnicos.

Quanto a atualização das tecnologias de tratamento utilizadas nas ETA's, devem existir financiamento federal e incentivos fiscais para modernização de estações, capacitação de operadores e engenheiros para o uso adequado dessas tecnologias e estímulo de pesquisa e inovação aplicada, com projetos-piloto em regiões estratégicas.

## 5.4 ANÁLISE DOS TRATAMENTOS DE FÁRMACOS PROPOSTOS

### 5.4.1 Carvão ativado

A Tabela 2 mostra a eficiência na remoção de fármacos via filtração por carvão ativado, para posterior discussão.

Tabela 2 - Remoção de fármacos utilizando carvão ativado

Fármaco	Remoção (%)	Tempo de contato (min)	Adsorvância (mg/g)	Tipo de carvão	Ref.
Diclofenaco de sódio	90	30	51,26	Carvão comercial	RODRIGUES et al, 2024
Diclofenaco de sódio	95	30	54,74	Carvão de palha de azevém	
Diclofenaco de sódio	63	45	16,95	Carvão residual da siveicultura	CHILANTI et al, 2023
Ibuprofeno	24,50	45	7,37		
Paracetamol	>75	-	150	Carvão derivado de cerâmica	FUENTES et al, 2023
Ibuprofeno	>60	-	125		
Diclofenaco de sódio	>95	120	166,67	Carvão comercial	STJEPANOCIC et al, 2023

Fármaco	Remoção (%)	Tempo de contato (min)	Adsorvância (mg/g)	Tipo de carvão	Ref.
Ácido acetilsalicílico	91,40	30-60	219,49	Carvão de Capim Annoni	CIMIRRO, 2020
Diclofenaco de sódio	91,30	30-60	345,94		

Fonte: Autoria própria (2025).

O carvão ativado se destaca devido a sua facilidade de operação combinado com a suas remoções satisfatório e uma gama alta de fármacos. Notam-se diversos estudos relacionados ao diclofenaco de sódio, não possuindo tantos estudos sobre outros compostos farmacêuticos. O carvão comercial se mostra eficiente na remoção dos fármacos estudados.

#### 5.4.2 Ozonização

A Tabela 3 mostra a eficiência na remoção de fármacos via aplicação de ozônio, para posterior discussão

Tabela 3 - Remoção de fármacos por ozonização

Fármaco	Remoção (%)	Tempo de contato (min)	pH	Ref.
Paracetamol	94,2	45	7	ROSADO, 2023
Dipirona	100	60	7	
Cafeina	>97	15	10	COSTA, 2024
Ampicilina	>60	15	10	
Sulfadiazina	>50	80	7	ALVAREZ et al, 2023
Sulfamerazina	>50	80	7	
Sulfametazina	>30	80	7	
Metilparabeno	28,12	90	-	ALVAREZ et al, 2023
Cafeina	>96	15	10	COSTA; FÉRIS, 2023
Amplicina	>60	15	10	
22 Farmácos	>95 para 13 deles	-	6,5 - 7,8	ULLBERG, 2021

Fonte: Autoria própria (2025).

As remoções via ozônio tendem a ser altas para diversos fármacos encontrados em corpos hídricos brasileiros, como é o caso do dipirona, paracetamol e cafeína, porém, nota-se um déficit na remoção das sulfanomidas, do metilparabeno e da ampicina, mostrando que esta técnica é melhor adequada a determinados compostos dissolvidos, não tendo uma gama tão grande quanto a fármacos removíveis.

#### 5.4.3 Membranas

A Tabela 4 mostra a eficiência na remoção de fármacos via membranas, para posterior discussão.

Tabela 4 - Remoção de fármacos por membranas

Fármacos	Remoção (%)	Filtro	Ref
Sulfonamidas	>91	Microfiltração	XU et al, 2019
Fluoroquinolonas	>90	Microfiltração	
Paracetamol	51	Microfiltração	ALKAHTANI et al, 2024
Diclofenaco de sódio	76,5	NP	ZARE et al, 2024
Rosuvastatina	98	Nanofiltração	SAPUDA et al, 2021
Sulfametoxazol	>94	Nanofiltração	VERA et al, 2021
Ciprofloxacina	>91	Nanofiltração	
Carbamazepina	10,8 e 6	Ultrafiltração	CARVALHO, 2021
Cafeína	38,8 e 44,4	Ultrafiltração	
Diuron	95,3	Osmose inversa	KAWATA, 2019
Diclofenaco de sódio	99,8	Osmose inversa	

Fonte: Autoria Própria (2025).

Destacam-se as remoções a partir da nanofiltração, sendo que ultrafiltração e microfiltração não são suficientemente satisfatório para remoção de fármacos como paracetamol e cafeína, que são encontrados de forma comum nos corpos hídricos brasileiros. A osmose reversa apresenta porcentagens de remoção muito próximas ao 100%, entretanto, ela remove também íons e sais que são essenciais para a sobrevivência do corpo humano, portanto ela não se faz viável para remoção dos microcontaminantes estudados em água potável.

#### 5.4.4 Síntese dos métodos

A partir destes resultados e da revisão teórica sobre os métodos de remoção de fármacos estudados, construiu-se o Quadro 11, com intuito de sintetizar as informações, facilitando as comparações necessárias para uma melhor análise e conclusão.

Quadro 11 – Síntese dos tratamentos estudados

	<b>Carvão ativado</b>	<b>Ozonização</b>	<b>Membranas</b>
<b>Remoção de fármacos</b>	Alta eficiência, principalmente compostos orgânicos	Alta eficiência, principalmente em uso combinado com UV	Alta eficiência a partir da nanofiltração, para diversos compostos
<b>Limitações</b>	Não é eficiente na remoção de compostos polares.  Saturação com o tempo.	Formação de subprodutos perigosos.  Condições de sistemas difíceis de controlar	Maior custo de instalação e operação  Osmose reversa não viável para tratamento de água potável
<b>Vida útil</b>	6 a 12 meses, com possível regeneração	---	5 a 8 anos, dependendo da manutenção
<b>Mecanismo principal</b>	Adsorção	Oxidação direta e indireta	Filtração baseada no tamanho das partículas
<b>Operação</b>	Simples operação	Requer controle de dosagem e monitoramento de subprodutos	Requer controle de pressão

<b>Manutenção</b>	Requer substituição do adsorvente quando saturado	---	Requer limpeza constante da membrana
<b>Formação de subprodutos</b>	---	Formação de compostos nocivos	Formação de lodo

Fonte: Autoria própria (2025).

Sendo assim, para a remoção de fármacos, a filtração por membranas de nanofiltração são as mais indicadas, devido ao maior acervo de compostos farmacêuticos que podem ser removidos por este processo, já que, dependem apenas do tamanho da partícula. A osmose reversa é o tratamento do tipo membranas mais efetivo, devido as suas altas eficiências de remoção, porém a água tratada a partir desta técnica não é potável. Seu custo é maior quando comparado aos outros métodos, e dependendo da qualidade do afluente, requer tratamento prévio, não podendo ser aplicado como fase única, substituindo a clarificação, em sistemas de ciclo completo.

Os outros dois métodos ainda são viáveis, e são mais eficientes na remoção de fármacos específicos que condizem com seu mecanismo principal de remoção. A filtração por carvão ativado se destaca, devido ao seu possível uso pós ozonização para remoção dos possíveis compostos nocivos formados, além da possível instalação do processo de radiação UV, aumentando de forma significativa a eficiência de remoção dos fármacos desejados.

Uma análise de custos poderia ser feita, para indicar de fato o tratamento mais “custo-benefício”, a partir da frequência de troca baseada na vida útil (carvão ativado e membranas) ou dos custos de produção (ozonização), além do custeio com manutenção e operação. Tudo depende da escala do tratamento, da qualidade da água coletada e da presença de fármacos específicos. Por este motivo são necessárias legislações brasileiras que exijam o controle e estudo prévio dos mananciais com foco nos compostos farmacêuticos, visando principalmente a saúde pública.

## 6 CONCLUSÃO

O seguinte trabalho teve por objetivo, a partir de uma vasta revisão bibliográfica, avaliar as legislações nacionais e internacionais relacionadas a potabilidade da água, com foco em fármacos, indicando a partir destas análises, as vantagens, desvantagens e possíveis melhorias para os atuais tratamentos de água para abastecimento e para as diretrizes legais Brasileiras,

As principais vantagens da legislação Brasileira quanto a potabilidade de água (Portaria GM/MS nº888/2021) estão focadas em sua maturidade para parâmetros clássicos, sua integração com as questões de vigilância sanitária, bem como em seu fácil entendimento. Ela possui uma estrutura robusta quanto ao monitoramento e controle de parâmetros físicos químicos e microbiológicos, seguindo os limites indicados pela OMS e pelos outros países estudados.

Entretanto é exatamente pelo seu grande foco em parâmetros clássicos, que a Portaria deixa a desejar em compostos atuais, como é o caso dos contaminantes emergentes. O Brasil não possui praticamente nenhum regulamento para fármacos em corpos hídricos. Em comparação às diretrizes internacionais, como é o caso das Listas de Contaminantes indicados pelo Safe Drinking Water Act (SDWA) e das Watch Lists Europeias, o Brasil não possui mecanismo algum para monitoramento e controle obrigatório quantitativo destes compostos, o que a longo prazo podem causar danos aos seres humanos e animais.

A Portaria Brasileira não se baseia estritamente ao risco, e devido ao grande espaçamento de tempo entre as suas atualizações, ela acaba ficando atrasada no quesito de novas tecnologias aplicadas ao monitoramento, bem como perante a outros contaminantes, até mesmo os não emergentes.

Em relação aos diferentes métodos de tratamento de água com vista a remoção de fármacos, pode-se reparar uma grande vantagem nas membranas: A possibilidade da remoção de uma maior gama de compostos, sendo que a nanofiltração geralmente é suficiente para atingir os índices de qualidade esperado por estudos na questão destes microcontaminantes.

Porém, devem ser analisados fatores como: Qualidade da água coletada, quais fármacos estão presentes nela e escala do tratamento para uma indicação exata de qual método de tratamento é mais adequado ao sistema.

Fica nítido o déficit do Brasil quando o assunto é microcontaminantes, em especialmente relativo aos fármacos, porém, a quantidade de estudos nacionais sobre estes compostos e seus métodos de tratamento destacam a sua importância para a realidade do país. São necessárias medidas legais para controle, já que, a longo prazo, o contato com estes contaminantes, pode se tornar um motivo de preocupação à saúde pública, e que pode ser evitada.

## 7 REFERÊNCIAS

**46% da população global vive sem acesso a saneamento básico.** ONU News, 2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/03/1811712>.

ALKAHTANI, R. E. et al. Pharmaceuticals removal from hospital wastewater by fluidized aerobic bioreactor in combination with tubesettler. **Scientific Reports**, 2024. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/384906635\\_Pharmaceuticals\\_removal\\_from\\_hospital\\_wastewater\\_by\\_fluidized\\_aerobic\\_bioreactor\\_in\\_combination\\_with\\_tubesettler](https://www.researchgate.net/publication/384906635_Pharmaceuticals_removal_from_hospital_wastewater_by_fluidized_aerobic_bioreactor_in_combination_with_tubesettler)

ÁLVAREZ-GÓMEZ, Y. K.; DELGADO, D. R.. Evaluación del uso de la radiación UV y ozono en la degradación de metilparabeno. **Revista de Ciencias Ambientales**, v. 57, n. 2, 2023.

ALVES, M. C. P. et al. Ocorrência de fármacos e desreguladores endócrinos em mananciais de abastecimento de água no Brasil. **Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 3, p. 95-103, 2023.

ALVES, T. C.; GIRARDI, R.; PINHEIRO, A. Micropoluentes orgânicos: ocorrência, remoção e regulamentação. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 14, n. 1, p. 1-1, 2017.

AVELINO, P. C. **Potabilidade: legislação da água para consumo humano—um panorama Brasil e EUA**. 2017.

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. **Química nova**, v. 26, p. 523-530, 2003.

BORGES, R. M. et al. Uso de filtros de carvão ativado granular associado a microrganismos para remoção de fármacos no tratamento de água de abastecimento. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 04, p. 709-720, 2016.

BRANDÃO, A. P. **Os processos de separação por membranas no tratamento de água para abastecimento: revisão bibliográfica**. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS Nº 888**, de 4 de maio de 2021. 85. ed. Brasília. Diário Oficial da União, 07 de maio de 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Acesso em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_a\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf)

BRASIL. **Constituição Federal 1988**. Artigo Nº 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. Disponível em: [https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra?codteor=318230#:~:text=Art.,as%20presentes%20e%20futuras%20gera%C3%A7%C3%B5es](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=318230#:~:text=Art.,as%20presentes%20e%20futuras%20gera%C3%A7%C3%B5es).

BRASIL. **Lei Federal Nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm)

BRASIL. **Lei Federal Nº 9433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Acesso em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm)

BRASIL. **Lei Federal Nº 14.026**, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de

saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm)

BRASIL. **Decreto N° 7.217**, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm)

BRITO, L. T. L.; AMORIM, M. C. C.; LEITE, W. M. **Qualidade da água para consumo humano**. EMBRAPA, 2007.

BUNDY, M.M.; DOUCETTE, W.J.; MCNEIL, L.; ERICSON, J.F. Removal of pharmaceuticals and related compounds by a bench-scale drinking water treatment system. **Journal of Water Supply, Research and Technology – AQUA**, v. 56, n. 2, p. 105-11, 2017.

BURSZTYN FUENTES, A. L. et al. Paracetamol and ibuprofen removal from aqueous phase using a ceramic-derived activated carbon. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 48, n. 1, p. 525-537, 2023.

CANEVAROLI, M. R. et al. Remoção de herbicida atrazina por meio de filtros de carvão ativado granular associados com microrganismos no tratamento de água para abastecimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 263-272, 2021.

CANTELE, T. D.; LIMA, E. C.; BORGES, L. A. C. Panorama dos recursos hídricos no mundo e no Brasil. **Revista em agronegócio e meio ambiente**, v. 11, n. 4, p. 1259-1282, 2018.

CARVALHO, A. C. C.; PAGANINI, W. S. **A presença de fármacos e cafeína em água superficial e destinada ao consumo humano**. 2021.

CARVALHO, F. P. **Uso de membranas como alternativa para remoção de fármacos em efluentes de estações de tratamento de esgotos**. 2021.

CHAVES, G. et al. TRATAMENTOS DE ÁGUAS POR OZONIZAÇÃO: REVISÃO. **Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc Videira**, v. 1, p. e12560-e12560, 2016.

CHIULANTI, J. et al. ADSORÇÃO DE DICLOFENACO SÓDICO E IBUPROFENO UTILIZANDO CARVÃO ATIVADO RESIDUAL DA SILVICULTURA: COMPARAÇÃO ENTRE CINÉTICAS. **Salão de Inovação, ensino, pesquisa e extensão**, v. 15, 2023.

CIMIRRO, N. F. G. M. **Carvão ativado de capimannoni (Eragrostis plana Nees) produzido por pirólise convencional e ativação química aplicado ao processo de remoção de fármacos**. 2021.

COSTA, L. R. C.; FÉRIS, L. A. Integration of ozonation with water treatment for pharmaceuticals removal from Arroio Diluvio in southern Brazil. **Water Science & Technology**, v. 87, n. 4, p. 938-953, 2023.

COSTA, L. R. C. **Integração da ozonização no tratamento de água e efluentes: uma abordagem para a remoção e mineralização de fármacos e inativação de patógenos**. 2024.

CUNHA, D. L. et al. Regulamentação do estrogênio sintético 17 $\alpha$ -etinilestradiol em matrizes aquáticas na Europa, Estados Unidos e Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 32, p. e00056715, 2016.

DÉCIMA, M. A. et al. A review on the removal of carbamazepine from aqueous solution by using activated carbon and biochar. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 11760, 2021.

ESTADOS UNIDOS. **Lista de Contaminantes Candidatos 5 [Contaminant Candidate List 5 – CCL 5]**. Agência de Proteção Ambiental (EPA). Washington, D.C., nov. 2022

ESTADOS UNIDOS. **Safe Drinking Water Act (Lei da Água Potável Segura)**. Public Law 93-523, de 16 de dezembro de 1974. *United States Code*, Title 42, Chapter 6A, Subchapter XII, § 300f et seq. Disponível em: <https://www.congress.gov/bill/93rd-congress/house-bill/12493>.

FARTO, C. D. et al. CONTAMINANTES EMERGENTES NO BRASIL NA DÉCADA 2010-2019–PARTE I: OCORRÊNCIA EM DIVERSOS AMBIENTES AQUÁTICOS. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 18, n. 2021, 2021.

FLEMMING, H.C. & WINGENDER, J. (2010) The biofilm matrix. **Nature Reviews Microbiology**, v. 8, p. 623-633.

FRANCO, M. A. E. **Adsorção de fármacos em carvão ativado: processo em batelada, leito fixo e modelagem das curvas de ruptura**. 2018.

FREITAS, M. B.; FREITAS, C. M. A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, p. 993-1004, 2005.

GARCIA, G. C. S. et al. **MÉTODOS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE ÁGUA: EFICIÊNCIA, IMPACTO AMBIENTAL E PERSPECTIVAS**. 2024.

HARO, N. K. **Avaliação da remoção de íons nitrato utilizando carvão ativado modificado com diferentes reagentes como sólido sorvente**. 2011.

HARO, N. K. **Remoção dos fármacos Atenolol, Paracetamol e Ampicilina por adsorção em carvão ativado**. 2017.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. 3, v. 1. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. 3, v. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

ISMAIL, I. A. L.; PIRES, E. C. Avaliação do tratamento por clarificação da água de lavagem de filtros de estação de tratamento de água convencional. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 15, n. 2, p. 745-756.

KAWATA, R. M. **Sistema piloto de filtração em membranas para remoção de diuron e diclofenaco em águas para abastecimento**. 2024.

KAMIWADA, W. Y.; ANDRADE, P. V.; REIS, A. G. Emprego do cloreto de polialumínio em estudos de tratabilidade de água de abastecimento via coagulação, floculação e sedimentação. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, p. 667-676, 2020.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Átomo, 2010.

LIMA, D. R. S. et al. Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrência e técnicas de remoção. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 06, p. 1043-1054, 2017

MIERZWA, J. C. et al. Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 13, p. 78-87, 2008.

OLIVEIRA, D. K.; SILVA, L. Q.; BRITO, N. N. MONITORAMENTO DE TRIHALOMETANOS (THMs) E DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO DA CIDADE DE CAVALCANTE, GOIÁS. **Química Nova**, v. 47, n. 4, p. e-20230116, 2024.

OLIVEIRA, M. D.; BIANCHI, D. P. Z.; FONSECA, J. F. R.; GORZA JÚNIOR, N. A.; LIBÂNIO, M.; **Eng. Sanit. Ambiental**, 26, 613, 2021.

OLIVEIRA, M. L. V. M. **GESTÃO DE ÁGUAS, TERRITÓRIOS E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Acta Geográfica**, v. 11, n. 27, 2017.

OLIVEIRA, T.F. **Tratamento de água para abastecimento público por sistema de separação por membrana de ultrafiltração: estudo de caso na ETA Alto Boa Vista (São Paulo, SP)**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2010. 85 f.

OLIVEIRA, V. B. et al. IMPACTOS AMBIENTAIS E TOXICOLÓGICOS PELA CONTAMINAÇÃO DE FÁRMACOS PRINCIPALMENTE ANTIBIÓTICOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS: REVISÃO DA LITERATURA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 7, p. 838-850, 2023.

ONEBY, M. A.; BROMLEY, C. O.; BORCHARDT, J. H.; HARRISON, D. S. Ozone treatment of secondary effluent at U.S. municipal wastewater treatment plants. **Ozone: Science and Engineering**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 43–55, 2010.

PAULA, L. O. et al. **Tratamento de água residuária da atividade automotiva por ozonização convencional e catalítica**. 2014

PEDROSO, C. R. et al. Inativação de microrganismos indicadores de contaminação fecal por radiação ultravioleta e avaliação dos fenômenos de fotorreativação e recuperação no escuro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 05, p. 987-994, 2018.

**População mundial chegará a 9,9 bilhões em 2054**. ONU News, 2024. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/04/1830966>.

RIGOBELLO, E. S. et al. Eficiência do tratamento de água em ciclo completo na remoção do Diclofenaco Sódico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 13881-13892, 2020.

RODRIGUES, V. M. et al. COMPARAÇÃO ENTRE CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E DE PALHA DE AZEVÉM NA ADSORÇÃO DE DICLOFENACO SÓDICO. **Salão de Inovação, ensino, pesquisa e extensão**, v. 16, 2024.

ROSADO, F. G. L.. **Aplicação da ozonização e de processos oxidativos avançados na degradação dos fármacos paracetamol e dipirona presentes em efluentes aquosos simulados**. 2014.

SANTOS, G. K. et al. **Identificação da contaminação por fármacos: cloridrato de fluoxetina e losartana potássica em corpos hídricos da cidade de Caçapava do Sul-RS**. 2023.

SAPUDA, G. P. O. et al. **Processos de separação por membranas para remoção de fármacos da água: um estudo sobre a Rosuvastatina**. 2021.

STJEPANOVIĆ, M. et al. Adsorption of Diclofenac onto Activated Carbons. **Kemija u Industriji**, v. 72, 2023.

SOUZA, B. P. et al. Oxidação de fármacos por cloro e formação de subprodutos em águas naturais. **Revista DAE**, 70(234), 129-141, 2022.

SOWBY, R.t B. The Safe Drinking Water Act at 50: A policy model for grand challenges. **Water Resources Research**, v. 59, n. 9, p. e2023WR035172, 2023.

**Strengre Grenzwerte stärken den Gewässerschutz**. Federação Suíça, 2020. Disponível em: <https://www.news.admin.ch/de/nsb?id=78122>

SUÍÇA. **Lei Federal sobre a Pesca [Loi fédérale sur la pêche – LFSP]**, nº 923.0, de 21 de junho de 1991

SUÍÇA. **Lei Federal sobre o Ornamento dos Corpos d'Água [Verordnung über die Ausgestaltung der Gewässer – VVAG]**, nº 721.100, de 18 de dezembro de 1991

SUÍÇA. **Lei Federal sobre a Proteção das Águas [Loi fédérale sur la protection des eaux – LEaux]**, n° 814.20, de 24 de janeiro de 1991.

SUÍÇA. **Ordinância sobre Água Potável e Água de Piscinas Públicas**, Portaria n° 817.022.11, de 31 de janeiro de 2024. Disponível em: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/153/de>

TONACO, L. **A água nos Estados Unidos da América: Inteligência, hidrografia, economia e conflitos. Federação Nacional dos urbanitários.** FNU, 2024. Disponível em: [fnucut.org.br/43728/a-agua-nos-estados-unidos-da-america-inteligencia-hidrografia-economia-e-conflitos/](http://fnucut.org.br/43728/a-agua-nos-estados-unidos-da-america-inteligencia-hidrografia-economia-e-conflitos/)

TONACO, L. **A água na suíça: Inteligência, instituições, hidrografia e conflitos. Federação Nacional dos urbanitários.** FNU, 2024. Disponível em: [fnucut.org.br/44296/a-agua-na-suica-inteligencia-instituicoes-hidrografia-e-conflitos/](http://fnucut.org.br/44296/a-agua-na-suica-inteligencia-instituicoes-hidrografia-e-conflitos/)

ULLBERG, M. et al. Pilot-scale removal of organic micropollutants and natural organic matter from drinking water using ozonation followed by granular activated carbon. **Environmental Science: Water Research & Technology**, v. 7, n. 3, p. 535-548, 2021.

UNIÃO EUROPEIA. **Diretiva (UE) 2015/1787 da Comissão**, de 6 de outubro de 2015, que altera os anexos II e III da Diretiva 98/83/CE do Conselho relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano. *Jornal Oficial da União Europeia*, L 260, p. 6–17, 7 out. 2015. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32015L1787>.

UNIÃO EUROPEIA. **Diretiva 98/83/CE do Conselho**, de 3 de novembro de 1998, relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L 330, p. 32–54, 5 dez. 1998. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A31998L0083>.

UNIÃO EUROPEIA. **Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho**, de 16 de dezembro de 2020, relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano. *Jornal Oficial da União Europeia*, L 435, p. 1–62, 23 dez. 2020. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32020L2184>.

VIEGAS, R. M. et al. Estratégias de reforço físico-químico com carvão ativado em pó para controlo de fármacos em ETAR. **Águas & Resíduos IV**. 2020.

VELOSA, A. C. Avanços tecnológicos no tratamento de águas de mananciais. **Holos Environment**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 194-210, 12 nov. 2015. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v15i2.9629>. Disponível em: <https://www.ceaunesp.org.br/holos/article/view/9629>.

VERA, L. et al. Nanofiltración/Ósmosis inversa en la separación de fármacos de efluentes. **Afinidad**, v. 78, n. 592, 2021.

YANG, Y. et al. Occurrences and removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in drinking water and water/sewage treatment plants: A review. **Science of the Total Environment**, v 596-597, p. 303-320, 2017.

WATER QUALITY. **Water For Water**, 2025. Disponível em: <https://wfw.ch/en/water-facts/water-quality-in-switzerland#/>

**Water treatment manual: filtration.** EPA IRELAND, 2020. Disponível em: <https://www.epa.ie/publications/compliance--enforcement/drinking-water/advice--guidance/EPA-Water-Filtration-Manual.pdf>. Acesso em: 30 maio 2025.

WESTPHALEN, A. P. C.; CORÇÃO, G.; BENETTI, A. D.. Utilização de carvão ativado biológico para o tratamento de água para consumo humano. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, p. 425-436, 2016.

XU, Z. et al. Removal of antibiotics by sequencing-batch membrane bioreactor for swine wastewater treatment. **Science of the Total Environment**, v 685, p. 23-30, 2019.

ZARE, M. R. et al. Application of electromembrane bioreactor in the treatment of pharmaceutical wastewater. **Desalination and Water Treatment**, v 320, 2024.