

Nome da Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Nome do Trabalho: Estrogênios em águas superficial e potável: Subsídios para regulamentação no Brasil

Curso: Engenharia Ambiental e Sanitária

Nível: Graduação

Autor: Fayga Nunes de Albuquerque Pismel

Orientadora: Prof.^a Dra. Daniele Maia Bila - UERJ

Coorientadora: Prof.^a Dra. Rosane Cristina de Andrade - UERJ

Avaliadora: Prof.^a Dra. Nathalia Salles Vernin Barbosa - UERJ

Avaliadora: Prof.^a Dra. Renata de Oliveira Pereira - UFJF

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, foi observado um considerável aumento das atividades que são responsáveis pelo consumo de mais de um terço da água doce disponível no mundo e que também geram a contaminação desses mesmos recursos hídricos com diversas substâncias químicas. Dentre essas atividades, podem ser citadas as industriais, domésticas e agrícolas, que são decorrentes do desenvolvimento acentuado da urbanização e da industrialização vivenciados recentemente pela humanidade. Os poluentes gerados por esses serviços podem ser encontrados, em diferentes concentrações, nas matrizes aquosas ao redor do mundo e, por serem tóxicos aos seres vivos, podem ocasionar sérios danos à biodiversidade dos ecossistemas aquáticos (FREIRE *et al.*, 2008).

Nesse contexto, diversos pesquisadores, principalmente de países desenvolvidos, têm demonstrado interesse com o gradativo aumento da presença dos micropoluentes nos ecossistemas aquáticos. Essas pesquisas têm o objetivo de esclarecer algumas questões, como identificar as substâncias químicas prioritárias a serem monitoradas, suas concentrações ambientalmente relevantes e seus efeitos nos seres humanos e animais. Embora diversas regiões apresentem estudos mais avançados sobre a presença desses micropoluentes nas suas matrizes aquosas, é possível observar que ainda existem poucos dados de monitoramento e de avaliação de risco, que tenham como objetivo garantir a potabilidade da água (DIAS, 2014).

Apesar disso, como essas substâncias podem gerar vários danos à saúde dos seres humanos e dos animais, diversos países, através de ações governamentais e não-governamentais, procuram estabelecer orientações globais sobre essa temática, que tenham como objetivo reduzir a quantidade desses compostos no meio ambiente e incluí-los em futuras regulamentações (RODRIGUES, 2012). Os Estados Unidos, países da União Europeia e Austrália são alguns exemplos de países que possuem preocupação com a presença dos micropoluentes nos seus ecossistemas aquáticos.

Diante do que foi exposto, dentre as diversas substâncias químicas que são encontradas nas matrizes aquosas, os estrogênios (17α -etinilestradiol, 17β -estradiol, estrona e estriol) têm chamado a atenção dos pesquisadores. O 17α -etinilestradiol, por exemplo, é um fármaco de uso contínuo ao redor do mundo, o que acaba aumentando a sua incidência nos ecossistemas aquáticos de diversos países. Assim, devido à preocupação com os estrogênios no meio ambiente, o número de trabalhos científicos a respeito desses compostos aumentou consideravelmente nos últimos anos.

No Brasil, até o momento, não existe um dispositivo legal que estabeleça as concentrações máximas permitidas dos estrogênios nas suas matrizes aquosas, mesmo com dados da literatura indicando o aumento significativo dessas substâncias nas águas de diferentes países e alertando sobre seus possíveis efeitos deletérios aos seres vivos.

Nesse contexto, a questão que norteou esse trabalho foi a necessidade de regulamentar os estrogênios de forma a proteger os seres vivos dos efeitos adversos que essas substâncias podem causar nos organismos em baixas concentrações.

Mesmo com muitas iniciativas internacionais para regulamentar esses micropoluentes, elas ainda não são observadas no Brasil. Assim, é essencial identificar, no arcabouço legal e normativo de diferentes países, as suas concentrações máximas permitidas para dar uma base e auxiliar os reguladores e tomadores de decisão brasileiros. Com isso, será possível ter um maior controle dessas substâncias no meio ambiente.

Objetivo Geral

Avaliar o arcabouço legal e normativo referente ao controle dos estrogênios naturais e sintéticos nas águas de diferentes países para dar subsídios ao legislador brasileiro em relação às concentrações máximas permitidas dos estrogênios nas águas superficiais e de consumo humano do país.

Objetivos Específicos

- Levantar informações sobre as concentrações máximas permitidas dos estrogênios em dispositivos legais dos Estados Unidos, da União Europeia e da Austrália;
- Levantar informações sobre a ocorrência de estrogênios em águas superficiais e de consumo humano, no Brasil, com base na compilação de trabalhos publicados na literatura;
- Comparar as concentrações máximas permitidas encontradas nos dispositivos legais dos Estados Unidos, da União Europeia e da Austrália com a situação atual das águas superficiais e de consumo humano no Brasil.

2. METODOLOGIA

Para a realização desse trabalho, o primeiro passo foi uma revisão bibliográfica nos dispositivos legais da Austrália, dos Estados Unidos, da União Europeia e do Brasil para verificar como é feito o monitoramento e o controle dos estrogênios, em águas superficiais e potáveis, nessas regiões.

Nesse cenário, para pesquisar as regulamentações de águas superficial e potável dos Estados Unidos e verificar o controle dos estrogênios, foi realizada uma pesquisa no *site* da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency* - USEPA).

Para verificar o controle dos estrogênios na União Europeia, foram analisados o Jornal Oficial das Comunidades Europeias e o *site* da Comissão Europeia. Na Austrália, a pesquisa foi realizada nos *sites* do Conselho Nacional de Saúde e Pesquisa Médica (*National Health and Medical Research Council* – NHMRC) e no *Water Quality Australia* e, por fim, no Brasil, foi realizada uma pesquisa nos *sites* do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e do Ministério da Saúde.

Após essa primeira etapa, foi realizada uma consulta em artigos, teses e dissertações para analisar a ocorrência dos estrogênios nas águas superficiais e de consumo humano no Brasil. Essa revisão bibliográfica considerou os documentos que foram publicados entre 2010 e 2020 e os artigos avaliados estavam em português e em inglês. É importante mencionar que os trabalhos analisados nesse estudo apresentam apenas dados dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais.

Além dessa revisão da literatura, foi avaliado também o ranking da ANVISA dos princípios ativos mais vendidos no Brasil. Essa lista foi publicada no ano de 2019, mas os seus dados são do ano de 2018. Esse ranking foi utilizado para verificar se o consumo e as vendas dos estrogênios no Brasil eram elevados.

Por fim, após verificar como era realizado o controle dos estrogênios nos Estados Unidos, na União Europeia e na Austrália e a ocorrência dessas substâncias nas águas superficial e potável do Brasil, foi possível fazer uma comparação entre as concentrações máximas permitidas estabelecidas no arcabouço legal e normativo internacional com a atual situação brasileira. Assim, foi possível verificar se essas substâncias são prioritárias a serem incluídas na legislação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Contextualização

A história da poluição aquática surgiu com o início da civilização humana. Contudo, nas últimas décadas, devido ao crescimento acentuado da industrialização e da urbanização, o nível de poluição atingiu um limite no qual foi possível identificar seus impactos ao ambiente e à saúde dos seus organismos (FREIRE *et al.*, 2008).

Neste cenário, os micropoluentes ganharam destaque, pois são compostos que podem apresentar riscos ao ecossistema, mesmo em baixas concentrações (na ordem de $\mu\text{g/L}$ e ng/L). Além disso, ainda não foram estabelecidas suas concentrações máximas permitidas nas águas superficial e potável e não fazem parte de programas de monitoramento de rotina, pelo fato de não haver consenso ou evidências suficientes sobre os seus efeitos adversos causados ao ambiente ou à saúde humana (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017).

Os micropoluentes abrangem uma grande faixa de compostos naturais e sintéticos, tais como hormônios esteróides, pesticidas, herbicidas e dioxinas. Dentre eles, existe um grupo de substâncias químicas que tem causado grande preocupação científica e são capazes de interferir no sistema endócrino de humanos e de animais. Essas substâncias são conhecidas como Desreguladores Endócrinos¹ (DE) (BIRKETT; LESTER, 2003).

De acordo com a USEPA, os DE podem ser definidos como agentes exógenos que possuem a capacidade de interferir na síntese, secreção, transporte, ligação, ação ou eliminação de hormônios naturais, responsáveis pela manutenção, reprodução, desenvolvimento e comportamento dos organismos (USEPA, 2010).

Existe comprovação de que esses poluentes podem acarretar vários efeitos prejudiciais à fauna aquática como a feminização de peixes machos e efeitos estrogênicos em ratos (PATEL *et al.*, 2020). Nos seres humanos, alguns efeitos podem ser relacionados a esses contaminantes, tais como o aumento da incidência de câncer de mama e de testículo, defeitos congênitos e a diminuição da contagem de espermatozoides (BIRKETT; LESTER, 2003).

Além disso, como os peixes atuam como importantes indicadores de potenciais efeitos de desregulação endócrina, devido ao seu sistema reprodutivo ser regulado por estrogênios similares aos dos mamíferos, é possível que os DE também causem efeitos adversos nos

¹ Outros nomes usados são: perturbadores endócrinos, disruptores endócrinos e agentes hormonalmente ativos.

sistemas reprodutivo, neurológico e imunológico de humanos, especialmente em organismos em desenvolvimento, como fetos e recém-nascidos (WHO; UNEP, 2013).

Nesse cenário, entre os diversos micropoluentes classificados como DE, os estrogênios, hormônios responsáveis pelo desenvolvimento das características femininas nos seres vivos, têm destaque na literatura. Essas substâncias possuem a função de preparar o organismo, durante o ciclo menstrual, para uma possível gestação; estimulam o desenvolvimento do endométrio e dos seios e interferem em órgãos e tecidos que não fazem parte do sistema reprodutor, como os do sistema cardiovascular (AIRES, 2012).

Nas últimas décadas, a presença dos estrogênios em ambientes aquáticos aumentou consideravelmente, chamando a atenção de agências ambientais e de pesquisadores. Por essa razão, os estrogênios naturais 17β -estradiol, estrona e estriol, compostos excretados diariamente pelos animais e seres humanos (PUSCEDDU *et al.*, 2019) e o estrogênio sintético 17α -etinilestradiol, componente de algumas pílulas anticoncepcionais (SODRÉ *et al.*, 2007), têm sido o objeto de estudo de alguns pesquisadores.

Os estrogênios, com exceção do estriol, recebem uma atenção especial, pois são constantemente excretados no esgoto e os tratamentos convencionais (tratamento primário e secundário) utilizados nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), não removem completamente essas substâncias (BILA; DEZOTTI, 2007).

Por esse motivo, até nos países com o saneamento adequado, os estrogênios são encontrados com frequência em diversas matrizes aquosas, como rios, lagos e, ocasionalmente, na água potável. Por outro lado, nos países em desenvolvimento, como o Brasil, a falta de saneamento básico para grande parte da população é ainda uma das causas da descarga de esgoto bruto nos corpos receptores (MACHADO *et al.*, 2016).

No país, o déficit do setor de saneamento básico é grande, principalmente em relação ao esgotamento e tratamento de esgoto, com maior escassez nas áreas periféricas dos centros urbanos e nas zonas rurais, onde estão concentradas as pessoas mais vulneráveis (GALVÃO JUNIOR, 2009). Dados recentes publicados no Atlas Esgotos mostram que, no Brasil, somente 43% da população é atendida por coleta e tratamento de esgoto, 12% é atendida por uma solução individual, 18% têm seu esgoto coletado e não tratado e 27% das pessoas não são atendidas pelo serviço de coleta de esgoto sanitário (ANA, 2017).

Diversos são os fatores que explicam essa deficiência do setor. Dentre eles, a fragmentação das políticas públicas e a falta de instrumentos de regulação ganham destaque, ao passo que o Brasil não apresenta uma política setorial forte de água e esgoto desde a extinção do Plano Nacional de Saneamento, no final dos anos 1980 (GALVÃO JUNIOR, 2009).

Além disso, o país demorou alguns anos para decretar uma nova norma no setor. Somente em 2007, foi promulgada a Lei Federal nº 11.445, que estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico e para a Política Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2007). Essa lei contém diversos princípios fundamentais que têm como objetivo garantir o acesso ao saneamento para todos os domicílios ocupados e uma gestão eficiente do sistema, mas essa situação ainda não é observada no país.

Com essa realidade, é possível analisar que a descarga de esgoto bruto ainda é uma fonte importante de contaminação das matrizes aquosas, sobretudo as que são utilizadas no abastecimento de água (MACHADO *et al.*, 2016). Assim como as ETEs, as Estações de Tratamento de Água (ETAs) não removem completamente os micropoluentes, sendo essa uma rota de exposição humana a esses contaminantes (CHEN *et al.*, 2007).

Deste modo, a elaboração de legislações e normas que tenham como objetivo a proteção dos seres vivos e que sejam apropriadas para as realidades dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, tem sido o motivo de debate entre muitos pesquisadores no decorrer dos anos (CHAVES *et al.*, 2018).

Diante disso, alguns países iniciaram a criação de uma série de deliberações e dispositivos legais para limitar as concentrações dos micropoluentes nas matrizes aquosas (DA CUNHA *et al.*, 2016). Contudo, no Brasil, ainda não existe uma regulamentação com essa finalidade. Assim, os estrogênios continuam presentes nas águas superficial e potável do país.

Por fim, para garantir a proteção dos seres vivos e mudar o cenário brasileiro, é importante investigar as concentrações ambientalmente relevantes dos estrogênios e examinar os dispositivos legais de países que apresentem normas ambientais mais restritivas (Estados Unidos, países da União Europeia e Austrália). Dessa forma, o Brasil terá uma base consolidada na área para auxiliar reguladores e tomadores de decisão.

3.2 Regulamentação dos Estados Unidos

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental é a instituição responsável por garantir a qualidade dos recursos hídricos e da água potável (USEPA, 2020g). A USEPA foi criada no dia 2 de dezembro de 1970, logo após um período de grande preocupação ambiental, com o intuito de consolidar em uma agência um conjunto de atividades de pesquisa, monitoramento, fiscalização e estabelecimento de padrões, de forma a assegurar a proteção do meio ambiente (USEPA, 2020d).

Para atingir os objetivos propostos de controle da poluição nos corpos d'água, a USEPA tem o suporte da *Clean Water Act* (CWA). Essa norma foi aprovada pelo Congresso, em 1948, e é alterada inúmeras vezes ao longo dos anos. Além disso, é a referência legal que estabelece a estrutura básica para controlar o lançamento de poluentes nas matrizes aquosas do país e regular os padrões de qualidade de seus corpos hídricos. Nesse contexto, sob as orientações da CWA, a USEPA implementou programas de controle de poluição, como as normas de lançamento de águas residuárias para a indústria, e desenvolveu critérios nacionais de qualidade das águas superficiais (USEPA, 2020i).

No ano de 1977, o Congresso decidiu fazer uma pequena alteração na CWA e anexou uma lista de poluentes tóxicos, que foi criada no ano anterior. Essa lista deveria ser utilizada pelos Estados e pela USEPA para garantir que os critérios e padrões nacionais de qualidade de água abordassem os problemas de contaminantes tóxicos nas matrizes aquosas do país. Entretanto, essa lista não foi baseada em poluentes individuais, mas na categoria dessas substâncias. Então, como o objetivo inicial não foi atendido, a USEPA criou a Lista de Poluentes Prioritários, que era mais efetiva que a anterior em relação aos propósitos regulatórios dos Estados Unidos (USEPA, 2020j).

No apêndice P do documento intitulado *Water Quality Standards Handbook* é possível encontrar a Lista de Poluentes Prioritários (USEPA, 1983). Essa lista foi composta por 126 contaminantes e inclui alguns DE, tais como pesticidas e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. Contudo, os estrogênios não foram incluídos.

Quanto ao objetivo de garantir a qualidade da água potável, a USEPA tem o suporte da *Safe Drinking Water Act* (SDWA). Essa lei foi aprovada pelo Congresso, em 1974, com o intuito de proteger a saúde da população, regulamentando o fornecimento público de água potável do país. Foi modificada nos anos 1986 e 1996 e exige muitas ações para proteger a água potável e suas fontes, tais como rios, lagos, reservatórios, nascentes e poços de água subterrânea. Além disso, essa lei autoriza a USEPA a estabelecer as concentrações máximas permitidas dos contaminantes no abastecimento público de água e garante que a agência trabalhe, em conjunto com os operadores do sistema, para que essas concentrações sejam atendidas (USEPA, 2020h).

A SDWA abrange duas categorias de regulamentações nacionais. A primeira é conhecida como *National Primary Drinking Water Regulations* (NPDWRs). Essas regulamentações primárias são legalmente aplicáveis e têm como objetivo limitar as concentrações das substâncias químicas e dos microrganismos, com potenciais efeitos adversos à saúde humana, na água potável (USEPA, 2020f).

A segunda categoria de regulamentações é conhecida como *National Secondary Drinking Water Regulations* (NSDWRs). São diretrizes que limitam as concentrações dos contaminantes que podem causar efeitos organolépticos ou estéticos na água potável. A USEPA recomenda essas regulamentações secundárias, mas não exige que os sistemas cumpram com o padrão (USEPA, 2020c).

Neste contexto, em maio de 2009 foram emitidas as regulamentações nacionais que estabelecem padrões primários para uma lista de 88 contaminantes, tais como microrganismos, desinfetantes e seus subprodutos, compostos orgânicos e inorgânicos e nucleotídeos radioativos. Os estrogênios não estão incluídos na lista, mas é possível observar a presença de alguns DE, como os pesticidas e herbicidas, que fazem parte dessa lista devido a outros efeitos danosos que não a desregulação endócrina (USEPA, 2009).

Dessa forma, como parte do sistema de avaliação de risco dos contaminantes para a saúde humana, a USEPA possui um programa de monitoramento de água potável para as substâncias que ainda não estão incluídas nessa regulamentação. O programa é conhecido como *Unregulated Contaminant Monitoring* (UCM). Esse monitoramento visa coletar dados sobre poluentes suspeitos de estarem presentes nos corpos d'água (USEPA, 2020e).

Por meio desse programa, periodicamente é publicada uma lista de substâncias que ainda não estão sujeitas a regulamentação, mas que podem estar presentes na água. Essa lista ficou sendo conhecida como *Contaminant Candidate List* (CCL). A SDWA especifica que a USEPA inclua na CCL os contaminantes que apresentem riscos à saúde humana devido à sua presença na água potável. Assim, a CCL é utilizada para identificar os poluentes prioritários para a tomada de decisões regulatórias (USEPA, 2020b).

A primeira lista (CCL1) foi publicada em 1998, incluindo 50 substâncias químicas e 10 microrganismos. Em 2005 foi publicada a CCL2, onde houve uma exclusão de 9 contaminantes, sendo 1 microrganismo e 8 substâncias químicas (pesticidas e outros produtos químicos comerciais), reduzindo a lista para 51 contaminantes. As modificações mais significativas foram observadas entre a CCL2 para a CCL3 (esta última publicada em 2009), onde foram incluídos contaminantes de várias classes de compostos químicos e microrganismos, expandido a lista para 116 contaminantes.

A partir da CCL3, os estrogênios 17α -etinilestradiol, 17β -estradiol, estrona e estriol foram incluídos, além de outros EDCs, tais como alguns pesticidas, herbicidas e fármacos. Ainda em relação as alterações realizadas entre a CCL2 e CCL3, destaca-se a exclusão dos 24 compostos químicos e 7 microrganismos.

Por fim, entre a CCL3 e a mais recente CCL4, publicada em 2016, o 17 α -etinilestradiol, 17 β -estradiol, estrona e estriol foram mantidos na lista e mais 4 substâncias químicas foram incluídas, dentre elas um conhecido EDC, o nonifenol. Além disso, foram excluídos 7 compostos químicos.

É possível notar que, partir de 2009, o estrogênio 17 β -estradiol foi incluído nas CCL3 e se manteve na CCL 4, enquanto os estrogênios 17 α -etinilestradiol, estrona e estriol foram incluídos a partir da CCL4. Atualmente, a CCL5 encontra-se em elaboração pela USEPA, sendo que as contribuições da Consulta Pública realizada estão em avaliação. Vale ressaltar que a CCL5 não foi considerada nesta pesquisa, pois ainda não há informações sobre a possível inclusão ou exclusão de DE (USEPA, 2020b).

Após o lançamento de uma CCL, a USEPA analisa os dados disponíveis de todos os contaminantes que estão listados e determina quais possuem informações suficientes para serem avaliados com base em três critérios da SDWA: possibilidade de causar efeitos adversos à saúde humana; ocorrer frequentemente em sistemas públicos de água e na hipótese de regulamentação, apresentar uma oportunidade significativa de redução de riscos à saúde (USEPA, 2020a). Caso determinado contaminante satisfaça estes três critérios da SDWA, a lei exige que a USEPA decida periodicamente se deve ou não iniciar um processo de regulamentação nacional de água potável para ao menos cinco contaminantes da CCL. Esse processo é conhecido como *Regulatory Determination*.

Até o momento, quatro Determinações Regulatórias foram publicadas, entretanto, nenhuma delas inclui os estrogênios (USEPA, 2020b), uma vez que, a despeito de seus efeitos nocivos conhecidos à saúde do ambiente aquático, ainda não há base científica sólida que confirme com segurança seus efeitos nocivos sobre a saúde humana.

Por fim, em relação à regulamentação dos estrogênios nos Estados Unidos, pode-se concluir que essas substâncias ainda não fazem parte dos dispositivos legais que visam garantir a qualidade das suas águas superficiais, mas que devido aos riscos à saúde e ao avanço das leis do país, elas fazem parte do programa de monitoramento de água potável para os compostos não regulados.

3.3 Regulamentação da União Europeia

Na União Europeia, a gestão dos recursos hídricos é um pouco mais complexa que a dos Estados Unidos. Devido à sua estrutura geopolítica, aproximadamente 60% da sua superfície é formada por bacias hidrográficas que atravessam, ao menos, uma fronteira nacional, ou seja,

muitos países compartilham os mesmos corpos d'água. Assim, com o intuito de obter uma gestão eficiente do sistema, os Estados-Membros buscaram uma solução integrada que conseguisse proteger suas matrizes aquosas. Para isso, o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia trabalharam em conjunto com a finalidade de estabelecer padrões de qualidade de água (EC, 2008).

No dia 23 de outubro de 2000, a Diretiva 2000/60/CE, também conhecida como *Water Framework Directive* (WFD) (EC, 2020b), foi elaborada com o objetivo de proteger e melhorar a qualidade dos ecossistemas aquáticos da Europa e garantir um consumo de água sustentável no decorrer dos anos. Essa diretiva aborda a gestão da água baseada nas bacias hidrográficas e estipula prazos para os Estados-Membros protegerem seus recursos hídricos (UE, 2000).

Diante disso, como medida de preservação dos ecossistemas aquáticos, foi emitida a Decisão 2455/2001/CE, no dia 20 de novembro de 2001, que altera a WFD e estabelece uma lista de 33 substâncias prioritárias a serem incluídas na legislação (UE, 2001). Essa lista compreende alguns DE, tais como ftalatos e pesticidas.

No dia 31 de janeiro de 2012, a Comissão Europeia publicou o documento “COM (2011)876” que apresenta uma proposta de inclusão de 15 novos compostos na lista de substâncias prioritárias incluídas na Diretiva 2008/105/EC (UE, 2012). A seleção foi baseada em substâncias identificadas com um potencial risco aos ecossistemas aquáticos, sendo que dois estrogênios foram selecionados, o estrogênio sintético 17α -etinilestradiol e o estrogênio natural 17β -estradiol. Além disso, foi proposto no documento “COM (2011)876” os valores de concentrações máximas dessas substâncias nas águas superficiais, sendo de 0,035 ng/L para o 17α -etinilestradiol e 0,4 ng/L para o 17β -estradiol (UE, 2012).

Após várias discussões a respeito da inclusão dessas 15 novas substâncias nas legislações que visam garantir a qualidade das águas superficiais, no dia 12 de agosto de 2013, a União Europeia emitiu a Diretiva 2013/39/EU65, que aprova a inserção de 12 das 15 substâncias propostas (UE, 2013), sendo que nenhum estrogênio foi incluído. No entanto, o 17α -etinilestradiol, o 17β -estradiol e a estrona foram incluídos na lista de vigilância publicada na Decisão de Execução 2015/495, para que fossem coletados mais dados de monitoramento desses compostos nas águas superficiais (UE, 2015).

Posteriormente, no dia 5 de junho de 2018, a Decisão de Execução 2015/495 foi revogada, sendo substituída pela a Decisão de Execução 2018/840. Através desse documento, os estrogênios 17α -etinilestradiol, 17β -estradiol e estrona foram mantidos na lista de vigilância, apesar de ainda não serem incluídos nas legislações de monitoramento da qualidade das águas superficiais (UE, 2018a).

Quanto ao objetivo de garantir a qualidade da água potável aos Estados-Membros, foi emitida a Diretiva 98/83/CE, no dia 3 de novembro de 1998, que visa proteger a saúde humana dos efeitos nocivos resultantes de qualquer contaminação da água destinada ao consumo humano e assegurar a sua qualidade. Assim, a Diretiva 98/83/CE determina que 48 parâmetros (microbiológicos, químicos e indicadores) sejam avaliados na água, contudo, nenhum dos estrogênios foi incluído (UE, 1998).

Dez anos mais tarde, a Comissão Europeia entendeu que seria necessário atualizar a Diretiva 98/83/CE para que esta continuasse a estabelecer os padrões de qualidade de água, de acordo com as recomendações atuais da Organização Mundial da Saúde (OMS). Diante disso, no dia 1 de fevereiro de 2018, a Comissão publicou o documento “COM(2017)753” que apresenta uma proposta de revisão dessa Diretiva para garantir a qualidade das águas e maior acesso às informações aos seus cidadãos. Esse documento é uma resposta da Comissão à primeira iniciativa de cidadania europeia conhecida como *Right2Water*² (EC, 2020c).

Em 16 de dezembro de 2020, a proposta apresentada no documento “COM (2017)753” foi formalmente aceita pelo Parlamento Europeu, sendo que a diretiva 2020/2184 entrou em vigor no dia 12 de janeiro de 2021 (EC, 2020b), e os Estados-Membros terão 2 anos para adotar as novas medidas impostas nesta legislação. Vale ressaltar que esse documento “COM (2017)753” propôs a inclusão de três DE na diretiva 2020/2184 (17β-estradiol, nonifenol e bisfenol A), mas somente o bisfenol A deverá ser incluído. O Nonifenol e o 17β-estradiol deverão ser acrescentados à lista de vigilância da União Europeia para que mais dados de monitoramento sejam obtidos.

Por fim, em relação à regulamentação dos estrogênios na União Europeia, pode-se concluir que até onde é de nosso conhecimento, nenhum país, atualmente, possui regulamentação estabelecendo suas concentrações máximas permitidas em água destinada ao consumo humano. Quanto à regulamentação das águas superficiais, os estrogênios ainda não fazem parte das diretivas que visam garantir a qualidade dos seus mananciais, mas eles foram incluídos em uma lista de vigilância para que mais dados fossem coletados, como consta em Decisão de Execução 2018/840 (UE, 2018a).

² ICE «Right2Water»: <http://www.right2water.eu/>.

3.4 Regulamentação da Austrália

Na Austrália, a gestão dos recursos hídricos é ainda mais complexa que a dos Estados Unidos e a dos países da União Europeia. Segundo Dantas (2020), o país apresenta uma vasta extensão territorial, o que ocasiona em zonas climáticas variadas e particularidades locais. Além disso, com seu clima predominantemente seco, a Austrália possui dois desertos (Gibson e Vitória) e já sobreviveu a maior seca registrada no seu território. Assim, com o intuito de facilitar a gestão hídrica da região, em 1960, o Conselho Australiano de Recursos Hídricos (*Australian Water Resources Council - AWRC*) dividiu o país em doze regiões hidrográficas baseadas nas suas principais características topográficas e climáticas (WQA, 2020a).

A partir de 1974, a preocupação em garantir a qualidade dos recursos hídricos na Austrália aumentou. Diante disso, diversas regulamentações, que têm como objetivo a proteção dos ecossistemas aquáticos, começaram a ser elaboradas. Assim, sob a direção do AWRC, as primeiras Diretrizes de Qualidade de Água da Austrália foram publicadas. Em 1992, o Conselho de Meio Ambiente e Conservação da Austrália e da Nova Zelândia (*Australia and New Zealand Environment and Conservation Council - ANZECC*) elaborou novas diretrizes. Essas foram intituladas *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality* e tinham como objetivo orientar os dois países no melhor gerenciamento dos seus corpos d'água (WQA, 2020b).

Em 2000, o ANZECC reexaminou esse documento, em conjunto com o Conselho de Agricultura e Gestão de Recursos da Austrália e Nova Zelândia (*Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand - ARMCANZ*), com o intuito de incluir informações científicas mais atuais, garantir que elas complementassem as iniciativas do governo de desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos e promover uma abordagem mais holística da gestão dos ecossistemas aquáticos (ANZECC; ARMCANZ, 2000).

No *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality* é possível encontrar uma lista composta por 255 substâncias tóxicas aos ecossistemas aquáticos e as suas concentrações máximas estipuladas (ANZECC; ARMCANZ, 2000). Dentre essas substâncias, alguns DE foram incluídos, tais como bifenilos policlorados, ftalatos, dioxinas e pesticidas, contudo, os estrogênios não foram listados.

Em 2009, os Ministros do Meio Ambiente e Recursos Naturais da Austrália e da Nova Zelândia decidiram realizar uma nova revisão dessas diretrizes, em reconhecimento ao seu papel de recurso fundamental para gerenciar a qualidade da água e proteger os ecossistemas aquáticos (WQA, 2020b). Dessa forma, em 2018, uma plataforma online foi adotada para

facilitar a atualização do documento. O objetivo era aumentar os dados de monitoramento coletados desde 2000 e adotar uma abordagem mais regional das informações (WQA, 2020c).

Atualmente, as Diretrizes Australianas para a Água Doce e Marinha fornecem orientações sobre o gerenciamento dos recursos hídricos; descrições ecológicas e valores padrões regionais para apenas três das doze regiões hidrográficas da Austrália (*Timor Sea, Indian Ocean e Gulf of Carpentaria*), mas esses dados ainda não foram divulgados no *website* do *Water Quality Australia*. Em relação às informações a respeito das outras nove regiões hidrográficas da Austrália, elas ainda estão sendo desenvolvidas (WQA, 2020a).

Quanto ao objetivo de garantir a qualidade da água potável à população, o NHMRC, um dos principais órgãos públicos da Austrália responsável pelo financiamento de pesquisas na área da saúde, teve participação fundamental. Em 2011, o NHMRC, em conjunto com o Conselho Ministerial de Gestão de Recursos Naturais (*Natural Resource Management Ministerial Council - NRMCC*), desenvolveu o documento intitulado *Australian Drinking Water Guidelines* (ADWG) (NHMRC; NRMCC, 2011). Esse documento tem o objetivo de fornecer uma boa base à comunidade australiana e ao setor de fornecimento de água sobre o que define água segura e de boa qualidade, e como ela pode ser alcançada e garantida. Além disso, no ADWG, é possível encontrar as concentrações máximas permitidas de algumas substâncias químicas na água potável. Dentre esses compostos, os DE não foram incluídos, já que suas concentrações nos sistemas de abastecimento de água são insignificantes em relação a outras fontes de atividade estrogênica.

Além do ADWG, a Austrália tem o suporte das diretrizes intituladas *Australian National Guidelines for Water Recycling* (EPCH; NHMRC; NRMCC, 2008), criadas com o objetivo de fornecer orientações sobre a utilização da água de reuso para complementar o fornecimento de água potável. Contudo, hoje em dia, as diretrizes fornecem valores de referência das concentrações de diversos poluentes na água potável. No *Australian National Guidelines for Water Recycling* encontra-se uma lista com 225 substâncias químicas, suas concentrações máximas e seus valores de referência no esgoto tratado para reuso (EPCH; NHMRC; NRMCC, 2008). Dentre essas substâncias, alguns DE foram incluídos, tais como dioxinas, produtos farmacêuticos e pesticidas. Além disso, valores de referência para os estrogênios naturais 17 β -estradiol (175 ng/L), estrona (30 ng/L) e estriol (50 ng/L), e para o estrogênio sintético 17 α -etinilestradiol (1,5 ng/L) foram incluídos nesta lista.

Nota-se que o valor de referência estabelecido para o 17 α -etinilestradiol (1,5 ng/L) nas Diretrizes Australianas para água de reuso para fins potáveis encontra-se bem abaixo das

concentrações máximas permitidas do 17 β -estradiol, estrona e estriol (175 ng/L, 30 ng/L e 50 ng/L, respectivamente) (EPCH; NHMRC; NRMCC, 2008).

Por fim, em relação à regulamentação dos estrogênios na Austrália, pode-se concluir que, até o momento, essas substâncias não fazem parte das normas que visam garantir a qualidade das suas águas superficiais. No entanto, a Austrália possui diretrizes, *Australian National Guidelines for Water Recycling*, que estabelecem as concentrações máximas permitidas dos estrogênios na água de reuso, utilizada no país para complementar o fornecimento de água potável (EPCH; NHMRC; NRMCC, 2008).

3.5 Regulamentação do Brasil

No Brasil, os principais dispositivos legais que visam garantir a qualidade dos corpos d'água estão sob responsabilidade do MMA. Através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o MMA estabelece uma série de resoluções, com obrigatoriedade a nível nacional, para atingir seu objetivo de manter a qualidade dos recursos hídricos do país.

Nesse contexto, no dia 17 de março de 2005, foi emitida a Resolução CONAMA n° 357, que trata sobre a classificação dos corpos d'água e das diretrizes ambientais para seu enquadramento. Essa resolução apresenta uma lista de substâncias químicas e seus valores máximos permitidos nas águas superficiais. Dentre esses compostos, alguns DE, como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e pesticidas, fazem parte da lista, mas os estrogênios não foram incluídos (BRASIL, 2005).

Em 2011, a Resolução CONAMA n° 357 (BRASIL, 2005) sofreu algumas alterações nos padrões de lançamento de efluente e foi complementada pela Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011a).

É importante ressaltar que essas duas resoluções visam garantir a qualidade dos corpos d'água do país e ainda fornecem uma base técnica aos seus governantes para que possam definir padrões de qualidade de água para substâncias que comprometem os diversos usos da água no Brasil. No entanto, aproximadamente quinze anos após a resolução CONAMA n°357 ter sido emitida, foi observado pouco progresso em relação à qualidade dos corpos d'água nacionais, com pouquíssimos rios atendendo às normas e o controle da poluição da água ainda necessitando de uma série de melhorias.

Quanto ao objetivo de garantir a qualidade da água potável à população, o Brasil tem o suporte do Ministério da Saúde, através do Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador, da Secretaria de Vigilância em Saúde. De acordo com o Decreto n°

79.367, de 9 de março de 1977, o Ministério da Saúde tem a função de estabelecer normas e padrões de potabilidade de água para consumo humano que deverão ser cumpridos pelos órgãos e entidades nacionais (BRASIL, 1977).

Nesse contexto, no dia 14 de março de 1977, foi emitida a Portaria nº 56, sendo o primeiro dispositivo legal no país que visava garantir a potabilidade da água. Essa Portaria considerava parâmetros físicos, químicos e microbiológicos e efeitos organolépticos para garantir os padrões de qualidade de água. Além disso, ela incluía os Valores Máximos Permitidos (VMP) e os Valores Máximos Desejáveis (VMD) para os parâmetros físicos e químicos (BRASIL, 2012).

No dia 19 de janeiro de 1990, foi emitida a Portaria nº 36, que alterou e substituiu a Portaria nº 56 de 1977. Dentre essas modificações, é possível verificar a revisão de algumas definições no início do texto e a introdução de novos itens. Como exemplo, a extinção do critério de VMD (BRASIL, 1990).

Dez anos mais tarde, a Portaria nº 36 de 1990 passou por uma revisão e foi substituída pela Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, que estabelece procedimentos e responsabilidades para o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano e dispõe sobre o padrão de potabilidade (BRASIL, 2000). Até o momento, a instituição responsável pela atualização e implementação das Portarias de Potabilidade de água em todo território nacional era o Centro Nacional de Epidemiologia (CENEPI). Em 2003, com a criação da Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde, todas as atribuições do CENEPI foram assumidas por essa Secretaria e devido à mudança na atribuição das funções entre as instituições, a Portaria nº 1.469 foi revogada.

Diante disso, passou a entrar em vigor a Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Esse dispositivo legal teve como base as orientações da 3ª edição das Guias de Qualidade da Água para Consumo Humano da OMS que apresenta uma visão sistêmica e integrada de todo o sistema, ou seja, do manancial ao ponto de consumo, para garantir a qualidade da água; fundamentos de boas práticas; perspectiva epidemiológica e direito da população à informação. Assim, a Portaria nº 518 de 2004 inseriu o que havia de mais atual no conhecimento científico, além de efetivamente garantir o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano, em conformidade com a estruturação da vigilância em saúde ambiental, que estava em implantação no Brasil (BRASIL, 2004).

No dia 12 de dezembro de 2011, entrou em vigor a Portaria nº 2.914 que estabelece o padrão de potabilidade e os procedimentos e responsabilidades para o controle e a vigilância da qualidade da água potável. Esse dispositivo legal foi elaborado durante a revisão da revogada

Portaria nº 518 de 2004, e teve como base as orientações da 4ª Edição das Guias de Qualidade da Água para Consumo Humano da OMS e algumas legislações internacionais, como as da Europa, dos Estados Unidos e do Canadá. Além disso, a Portaria nº 2.914 estabelece padrões de qualidade da água para microrganismos, cianotoxinas, radionuclídeos e vários compostos químicos, como agrotóxicos, desinfetantes e subprodutos da desinfecção (BRASIL, 2011b).

No ano de 2017 o Ministério da Saúde realizou a consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde, e a Portaria nº 2.914/2011 passou a ser o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017). Atualmente, a Portaria GM/MS nº 888 de maio de 2021 é a mais recente que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, alterando assim o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017. Vale ressaltar que os estrogênios não foram incluídos nas duas últimas alterações das portarias, no entanto, foi no Anexo XX de 2017 o primeiro processo de revisão que considerou a possibilidade de inclusão de fármacos e DE no padrão de potabilidade (BRASIL, 2020).

É importante ressaltar que, em 2012, a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - Seção São Paulo (ABES/SP) publicou o documento intitulado Guia de Potabilidade para Substâncias Químicas, que é uma contribuição significativa na avaliação de risco à saúde humana da água consumida pelos moradores de São Paulo. No início da sua elaboração, 291 poluentes foram selecionados de acordo com a sua função, quantidade produzida, persistência e efeitos que causam no meio ambiente, com base na literatura científica. Após essa etapa, a lista de substâncias prioritárias foi aprimorada considerando a combinação de alguns critérios estabelecidos para exclusão ou manutenção desses compostos (UMBUIZEIRO, 2012).

Ainda de acordo com o documento publicado pela ABES (2012), nota-se que após os ajustes feitos na lista principal, apenas 72 substâncias foram selecionadas para fazer parte da lista de substâncias propostas como prioritárias para o Estado de São Paulo. Apesar dos estrogênios (17 α -etinilestradiol, 17 β -estradiol, estrona) estarem incluídos na primeira etapa de seleção dos 291 compostos, eles foram excluídos desta lista final, uma vez que a avaliação da toxicidade dessas substâncias ainda não permite o estabelecimento de doses de referência e, com isso, não é possível estabelecer critérios de qualidade de água (UMBUIZEIRO, 2012).

Por fim, em relação à regulamentação dos estrogênios no Brasil, pode-se concluir que, até o momento, essas substâncias não fazem parte das normas que visam garantir a qualidade das águas superficial e potável.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ocorrência de estrogênios em águas superficiais e potáveis brasileiras

Conforme foi apresentado, os micropoluentes abrangem uma grande faixa de compostos naturais e sintéticos, tais como hormônios esteróides, pesticidas e herbicidas. Dentre esses compostos, existe o grupo dos DE que inclui as substâncias capazes de interferir no sistema endócrino de humanos e animais, como os estrogênios. Assim, durante o processo de elaboração de um dispositivo legal que tenha como objetivo estabelecer os padrões de qualidade de água, é fundamental analisar os impactos dessas substâncias no meio ambiente de forma a priorizar quais micropoluentes deverão ser examinados pelo legislador brasileiro. Alguns critérios podem ser utilizados para selecionar as substâncias prioritárias a serem incluídas na legislação, como a ocorrência do composto no meio ambiente, seus efeitos e pesquisas de mercado sobre vendas e consumo da substância.

Diante disso, nesse trabalho foi realizado um levantamento da ocorrência de estrogênios em águas superficiais e de consumo humano no Brasil, através da compilação de trabalhos publicados na literatura (Tabela 1). Para complementar essas informações, foram analisados também os princípios ativos que fazem parte do ranking de vendas no Brasil (ANVISA, 2019). Assim, será possível analisar se os estrogênios são compostos prioritários na tomada de decisão.

Tabela 1 - Estrogênios encontrados nas matrizes aquosas brasileiras, nos últimos 10 anos; sua frequência de detecção e suas concentrações (Continua)

Estrogênios	Matrizes Aquosas	Frequência	Concentração Mínima	Concentração máxima	Concentração média	Referência
17β-estradiol	Água Superficial/Minas Gerais	1,8%			62,6 ng/L	MOREIRA <i>et al.</i> , 2011
17α-etinilestradiol		14,2%	5,6 ng/L	63,8 ng/L	-	
Estriol	Água Superficial/São Paulo	14%	1,48 ng/L	7,7 ng/L	4,59 ng/L	JARDIM <i>et al.</i> , 2012
Estriol	Água Superficial/São Paulo	22%	Abaixo do limite de detecção	15,81 ng/L	1,84 ng/L	DIAS, 2014
	Água Superficial/Minas Gerais	25%	Abaixo do limite de detecção	67,39 ng/L	11,34 ng/L	
Estrona	Água Superficial/São Paulo	78%	Abaixo do limite de detecção	17,40 ng/L	3,82 ng/L	
	Água Superficial/Minas Gerais	88%	Abaixo do limite de detecção	36,28 ng/L	12,77 ng/L	
	Água Superficial/Rio de Janeiro	100%	3,76 ng/L	78,05 ng/L	25,80 ng/L	
17β-estradiol	Água Superficial/São Paulo	56%	Abaixo do limite de detecção	85,02 ng/L	14,09 ng/L	
	Água Superficial/Minas Gerais	88%	Abaixo do limite de detecção	72,85 ng/L	23,82 ng/L	
	Água Superficial/Rio de Janeiro	83%	Abaixo do limite de detecção	31 ng/L	13,24 ng/L	
17α-etinilestradiol	Água Superficial/São Paulo	56%	Abaixo do limite de detecção	138,16 ng/L	31,86 ng/L	
	Água Superficial/Minas Gerais	50%	Abaixo do limite de detecção	45,33 ng/L	13,64 ng/L	
	Água Superficial/Rio de Janeiro	83%	Abaixo do limite de detecção	236,63 ng/L	71,36 ng/L	
Estriol	Água Superficial/Minas Gerais	28,68%	0,00406ng/L	11,67 ng/L	1,73 ng/L	QUARESMA, 2014
Estrona		17,65%	2,21 ng/L	6,16 ng/L	2,88 ng/L	
17β-estradiol		13,94%	0,17 ng/L	4,81 ng/L	0,71 ng/L	
17α-etinilestradiol		57,35%	0,34 ng/L	31,91 ng/L	2,34 ng/L	
Estrona	Água Superficial/São Paulo	90,2%	107 ng/L	910 ng/L	534 ng/L	CHAVES, 2016
17β-estradiol		39,2%	9 ng/L	400 ng/L	160 ng/L	
17α-etinilestradiol		45,1%	70 ng/L	600 ng/L	241 ng/L	

Tabela 1 - Estrogênios encontrados nas matrizes aquosas brasileiras, nos últimos 10 anos; sua frequência de detecção e suas concentrações (Conclusão)

Estrogênios	Matrizes Aquosas	Frequência	Concentração Mínima	Concentração Máxima	Concentração Média	Referência
Estiol		2%	Não foi detectado e/ou quantificado			
Estrona	Água Superficial/Rio de Janeiro	8%	145,26 ng/L	145,26 ng/L	145,26 ng/L	FERNANDES, 2018
17β-estradiol		15%	164,50 ng/L	164,50 ng/L	164,50 ng/L	
17α-etinilestradiol		15%	148,48 ng/L	210,59 ng/L	175,04 ng/L	
Estrona	Água potável/São Paulo	17%			70 ng/L	SODRÉ <i>et al</i> , 2010
17β-estradiol		8%	100 ng/L	100 ng/L	100 ng/L	
Estriol	Água Tratada/São Paulo	44%	Abaixo do limite de detecção	97,39 ng/L	17,30 ng/L	DIAS, 2014
	Água Tratada/ Minas Gerais	25%	Abaixo do limite de detecção	59,29 ng/L	13,26 ng/L	
Estrona	Água Tratada/São Paulo	67%	Abaixo do limite de detecção	17,31 ng/L	4,41 ng/L	
	Água Tratada/ Minas Gerais	88%	Abaixo do limite de detecção	70,07 ng/L	23,19 ng/L	
	Água Tratada/Rio de Janeiro	100%	7,37 ng/L	58,35 ng/L	25,85 ng/L	
17β-estradiol	Água Tratada/São Paulo	11%	Abaixo do limite de detecção	40,52 ng/L	4,5 ng/L	
	Água Tratada/ Minas Gerais	63%	Abaixo do limite de detecção	43,45 ng/L	11,52 ng/L	
	Água Tratada/Rio de Janeiro	33%	Abaixo do limite de detecção	17,28 ng/L	4,34 ng/L	
17α-etinilestradiol	Água Tratada/São Paulo	44%	Abaixo do limite de detecção	29,50 ng/L	6,71 ng/L	
	Água Tratada/ Minas Gerais	50%	Abaixo do limite de detecção	22,52 ng/L	6,48 ng/L	
	Água Tratada/Rio de Janeiro	67%	Abaixo do limite de detecção	622,99 ng/L	155,68 ng/L	
Estrona		8%	Não foi detectado e/ou quantificado			
17β-estradiol	Água Tratada/Rio de Janeiro	17%	125,99 ng/L	125,99 ng/L	125,99 ng/L	FERNANDES, 2018
17α-etinilestradiol		17%	221,43 ng/L	221,43 ng/L	221,43 ng/L	

Legenda: Água Tratada – Será considerada a água que acabou de sair da ETA (essa água também é potável).

Fonte: Autor, 2020.

Na Tabela 1, é possível observar diferentes faixas de concentração dos estrogênios em águas superficiais e de consumo humano no Brasil, baseado em dados da literatura. No estudo apresentado por Moreira *et al.* (2011), no Rio das Velhas (Minas Gerais), o 17 α -etinilestradiol foi encontrado em 8 das 56 amostras analisadas com concentrações variando de 5,6 ng/L a 63,8 ng/L, enquanto o 17 β -estradiol foi encontrado em apenas uma amostra com a concentração de 62,6 ng/L. Paralelo a isso, no estudo apresentado por Jardim *et al.* (2012), nas águas superficiais do Estado de São Paulo, o estriol foi encontrado em 2 dos 5 pontos de amostragem selecionados para o monitoramento dos micropoluentes. O primeiro ponto foi o Rio Atibaia (P2), com a concentração mínima de 1,48 ng/L, e o segundo ponto foi o Rio Cotia (P5), com a concentração máxima de 7,7 ng/L.

No trabalho realizado por Dias (2014), foram analisadas amostras de água bruta e tratada dos sistemas abastecimento de água do Rio das Velhas (Minas Gerais), Guandu (Rio de Janeiro) e Guarapiranga (São Paulo). Os resultados obtidos mostram que os estrogênios (17 α -etinilestradiol, 17 β -estradiol e estrona) foram encontrados na água bruta e tratada desses três sistemas de abastecimento de água e que o estriol não foi localizado nos pontos de amostragem do Rio Guandu. Além disso, é possível observar que a concentração máxima do 17 α -etinilestradiol (45,33 ng/L) no Rio das Velhas é menor que a concentração máxima observada, no trabalho apresentado por Moreira *et al.* (2011), para 17 α -etinilestradiol (63,8 ng/L) nesse mesmo rio.

No estudo apresentado por Quaresma (2014), alguns micropoluentes foram monitorados durante seis campanhas (abril/2012, julho/2012, outubro/2012, janeiro/2013, abril/2013 e julho/2013) em pontos de amostragem da Bacia do Rio Doce. As concentrações mínimas da estrona (2,21 ng/L) e do 17 α -etinilestradiol (0,34 ng/L) foram encontradas no Rio Caratinga, a jusante da cidade de Caratinga, em abril/2012; a concentração mínima do 17 β -estradiol (0,17 ng/L) foi encontrada no Rio Doce, a jusante da cachoeira escura, em julho/2012 e a concentração mínima do estriol (0,00406 ng/L) foi encontrada no Rio Doce, a jusante de Resplendor, em outubro/2012.

Em relação às concentrações máximas, a estrona (6,16 ng/L) e o 17 β -estradiol (4,81 ng/L) foram encontrados no Rio do Carmo, em Monsenhor Horta, em julho/2013; o 17 α -etinilestradiol (31,91 ng/L) foi encontrado no Rio Manhaçu, próximo a sua foz no Rio Doce, em julho/2013 e o estriol (11,67 ng/L) foi encontrado no Rio Doce, em baixo Guandu, em julho/2013. Além disso, nesse estudo foi constatado que os pontos de coleta que recebem esgoto doméstico ou que se localizam próximo de residências e de indústrias, apresentaram maiores

concentrações de micropoluentes. Como exemplo, os pontos de coleta do Rio Caratinga, a jusante da cidade de Caratinga e o Rio do Carmo, em Monsenhor da Horta.

Em estudo apresentado por Chaves (2016) foram analisadas amostras de água bruta do Rio Paraíba do Sul, especificamente na cidade de Aparecida (São Paulo), para avaliar a ocorrência de alguns DE (bisfenol-A, estrona, 17β -estradiol e 17α -etinilestradiol). Dentre os estrogênios, a estrona foi detectada com a maior frequência e a sua concentração média (534 ng/L) foi bem maior que a do 17β -estradiol e a do 17α -etinilestradiol (125,99 ng/L e 221,43 ng/L, respectivamente), compostos detectados no mesmo manancial.

Para a análise dos estrogênios na água potável, o trabalho apresentado por Sodré *et al* (2010) mostra que a estrona e o 17β -estradiol foram encontrados, no Estado de São Paulo, com concentrações médias de 70 ng/L e 100 ng/L, respectivamente. É importante ressaltar que esses dois estrogênios foram detectados apenas em amostras coletadas durante a estação seca. Além disso, a estrona foi encontrada em duas das doze amostras analisadas, enquanto o 17β -estradiol foi detectado apenas uma vez.

Por fim, em estudo apresentado por Fernandes (2018) foram analisadas amostras de água bruta dos Rios Piraí, Paraíba do Sul e Guandu e da água tratada da Região Metropolitana do Rio de Janeiro para verificar a presença de micropoluentes. O 17β -estradiol e o 17α -etinilestradiol foram encontrados em todos os pontos de coleta. O estradiol foi detectado uma única vez no Rio Paraíba do Sul, enquanto a estrona foi encontrada nos Rios Piraí e Guandu e na água tratada do Estado do Rio de Janeiro.

Além de ter sido verificada a ocorrência dos estrogênios nas matrizes aquosas brasileiras, foi analisada a existência desses compostos no “Anuário Estatístico do Mercado Farmacêutico”, documento elaborado, a cada ano, pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Esse documento contém uma lista com o ranking dos princípios ativos mais vendidos no Brasil e o seu número de vendas (Tabela 2).

Tabela 2 - Ranking dos princípios ativos mais vendidos no Brasil, em 2018, e o seu número de vendas

Ranking	Princípio Ativo	Apresentações comercializadas
1	Cloreto de Sódio	Entre 150 e 250 milhões
2	Losartana Potássica	Entre 150 e 250 milhões
3	Cloridrato de Metformina	Entre 100 e 150 milhões
4	Dipirona	Entre 100 e 150 milhões
5	Nimesulida	Entre 50 e 100 milhões
6	Ibuprofeno	Entre 50 e 100 milhões
7	Hidroclorotiazida	Entre 50 e 100 milhões
8	Cloridrato de Nafazolina	Entre 50 e 100 milhões
9	Levotiroxina Sódica	Entre 50 e 100 milhões
10	Levonorgestrel, Etinilestradiol	Entre 50 e 100 milhões
11	Atenolol	Entre 50 e 100 milhões
12	Sinvastatina	Entre 50 e 100 milhões
13	Citrato de Sildenafil	Entre 50 e 100 milhões
14	Paracetamol	Entre 25 e 50 milhões
15	Paracetamol, Diclofenaco	Entre 25 e 50 milhões
16	Albendazol	Entre 25 e 50 milhões
17	Maleato de Enalapril	Entre 25 e 50 milhões
18	Omeprazol	Entre 25 e 50 milhões
19	Paracetamol, Maleato de Clorfeniramina, Cloridrato de Fenilefrina	Entre 25 e 50 milhões
20	Maleato de Dexclorfeniramina	Entre 25 e 50 milhões

Fonte: ANVISA, 2019 (Adaptado).

Na Tabela 2, é possível observar que, na última versão do Anuário Estatístico do Mercado Farmacêutico, o 17α -etinilestradiol encontra-se na décima posição do ranking dos princípios ativos mais vendidos no país em 2018. Em 2017, o 17α -etinilestradiol ocupou a oitava posição no ranking dos princípios ativos mais vendidos no Brasil (ANVISA, 2018). Isso mostra que esse estrogênio sintético está entre as 20 substâncias mais comercializadas no Brasil, o que pode representar o crescimento da incidência desse composto no meio ambiente.

Além disso, na Tabela 1, os estrogênios (17α -etinilestradiol, 17β -estradiol, estrona e estriol) foram analisados em duas matrizes aquosas brasileiras e o resultado obtido foi que esses compostos são detectados em concentrações e frequências variadas na água potável e superficial do Brasil. Como exemplo, em estudo apresentado por Dias (2014), a estrona foi encontrada com uma frequência de 100% nas amostras de água bruta e tratada do sistema de abastecimento

de água do Rio Guandu (Rio de Janeiro), enquanto no estudo apresentado por Fernandes (2018), o estriol apresentou uma frequência de 2% nas amostras do Rio Paraíba do Sul (Rio de Janeiro), sendo o menor valor encontrado.

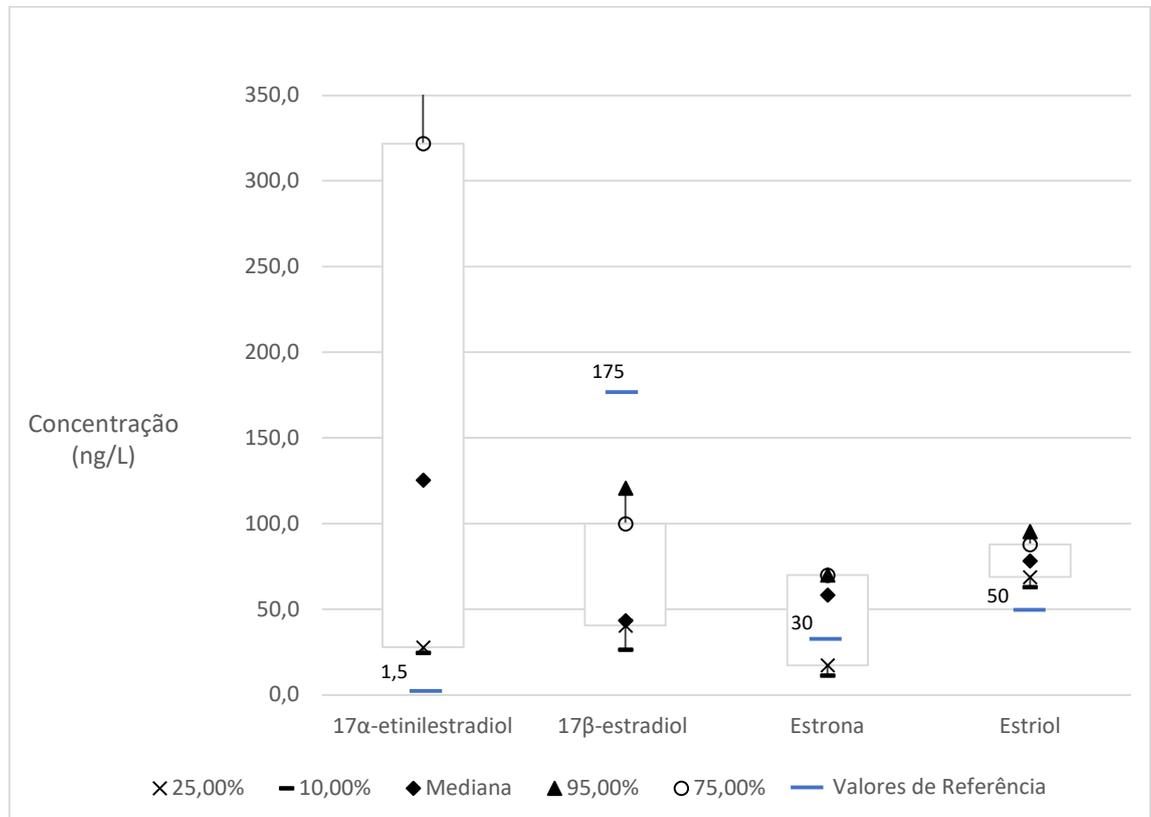
As concentrações dos estrogênios também variam consideravelmente nas matrizes aquosas brasileiras. Segundo Chaves (2016), a estrona foi detectada no Rio Paraíba do Sul (São Paulo) com a concentração média de 534 ng/L, sendo o maior valor encontrado nas águas superficiais, dentre os trabalhos analisados nesse estudo. Por outro lado, em estudo apresentado por Quaresma (2014), o 17 β -estradiol foi detectado nas águas superficiais do Estado de Minas Gerais com a concentração média de 0,71 ng/L, sendo o menor valor encontrado.

Diante disso, as informações obtidas na Tabela 1, através do levantamento da ocorrência de estrogênios em águas superficiais e de consumo humano no Brasil e a inclusão do 17 α -etinilestradiol na décima posição do ranking dos princípios ativos mais vendidos no país mostram que esses compostos fazem parte de critérios utilizados para selecionar as substâncias prioritárias a serem incluídas na legislação, podendo ser futuramente regulamentados no Brasil.

4.2 Análise Crítica

Após o levantamento da ocorrência dos estrogênios nas águas superficiais e de consumo humano no Brasil (Tabela 1), através da compilação de trabalhos publicados na literatura, foi realizada uma comparação das concentrações dos estrogênios encontrados nessas matrizes aquosas brasileiras com os seus valores de referência estabelecidos no *Australian National Guidelines for Water Recycling* (EPCH; NHMRC; NRMCC, 2008) (único dispositivo legal desse estudo que apresenta as concentrações máximas permitidas dos estrogênios). No Gráfico 1, é possível observar a comparação das concentrações dos estrogênios (estriol, estrona, 17 β -estradiol e 17 α -etinilestradiol) na água potável brasileira com os valores de referência estabelecidos nessas Diretrizes Australianas para Água de Reuso.

Gráfico 1 - Comparação das concentrações dos estrogênios na água potável brasileira com os valores de referência estabelecidos nas Diretrizes Australianas para Água de Reuso, em 2008



Fonte: SODRÉ *et al*, 2010; DIAS, 2014; FERNANDES, 2018 e EPCH; NHMRC; NRMCC, 2008.

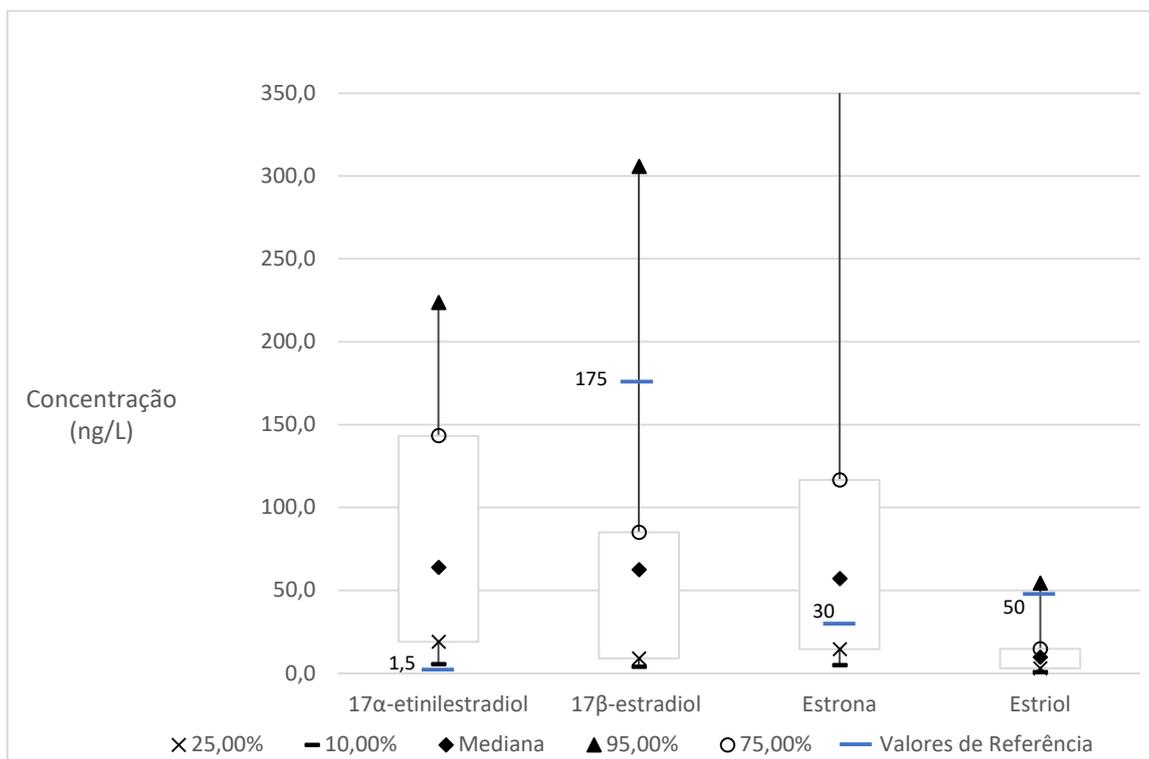
No Gráfico 1, é possível observar que os valores das concentrações dos 17β-estradiol encontrados na água potável brasileira estão dentro dos valores de referência estabelecidos nas Diretrizes Australianas para Água de Reuso. Além disso, o Gráfico 1 aponta que a estrona foi encontrada na água potável com algumas concentrações que estão dentro do valor de 30 ng/L estabelecido nessas diretrizes. No entanto, no estudo apresentado por Dias (2014), por exemplo, a concentração máxima da estrona (70,07 ng/L) está acima desse valor.

Por fim, o 17α-etinilestradiol e o estriol não foram encontrados na água potável brasileira com concentrações abaixo dos valores de referência estabelecidos nas Diretrizes Australianas para Água de Reuso. Como exemplo, a concentração máxima do 17α-etinilestradiol (221,43 ng/L), no estudo apresentado por Fernandes (2018), é aproximadamente 150 vezes maior que o valor de referência estabelecido para o 17α-etinilestradiol (1,5 ng/L).

Para a análise das concentrações dos estrogênios encontrados nas águas superficiais brasileiras, foram utilizados também os valores de referência das Diretrizes australianas para água de reuso, já que ainda não existem normas para esses compostos nas águas superficiais

dos países analisados nesse estudo e sim, valores orientativos. Dessa forma, no Gráfico 2, é possível observar a comparação das concentrações dos estrogênios nas águas superficiais brasileiras com os valores de referência estabelecidos nessas Diretrizes Australianas para Água de Reuso.

Gráfico 2 - Comparação das concentrações dos estrogênios nas águas superficiais brasileiras com os valores de referência estabelecidos nas Diretrizes Australianas para Água de Reuso, em 2008



Fonte: EPCH; NHMRC; NRMCM, 2008; MOREIRA *et al.*, 2011; JARDIM *et al.*, 2012; DIAS, 2014; QUARESMA, 2014; CHAVES, 2016 e FERNANDES, 2018.

No Gráfico 2, é possível observar que os valores das concentrações do estriol e do 17β-estradiol encontrados nas águas superficiais brasileiras estão, em quase todos os estudos analisados, dentro dos valores de referência estabelecidos nas Diretrizes Australianas para Água de Reuso. Além disso, o Gráfico 2 mostra que a estrona foi encontrada em alguns mananciais brasileiros com concentrações que estão dentro do valor de 30 ng/L estabelecido nessas diretrizes. No entanto, no estudo apresentado por Chaves (2016), a estrona foi encontrada com uma concentração máxima de 910 ng/L na água bruta do Rio Paraíba do Sul e essa concentração ficou bem acima do seu valor de referência de 30 ng/L.

Em relação ao 17α -etinilestradiol, este estrogênio não foi encontrado nas águas superficiais brasileiras com concentrações abaixo do valor de referência estabelecido nas Diretrizes Australianas para Água de Reuso. Como exemplo, o 17α -etinilestradiol foi detectado, no estudo apresentado por Chaves (2016), com uma concentração máxima de 600 ng/L na água bruta do Rio Paraíba do Sul. Esse valor ficou consideravelmente acima do seu valor de referência de 1,5 ng/L.

Por fim, através da comparação das concentrações dos estrogênios (17α -etinilestradiol, 17β -estradiol, estrona e estriol) encontrados nas matrizes aquosas brasileiras com as concentrações máximas permitidas estabelecidas nas Diretrizes Australianas para Água de Reuso, pode-se concluir que, na água potável brasileira, somente o 17β -estradiol é encontrado com concentrações que estão dentro dos valores de referência estabelecidos nas Diretrizes Australianas para Água de Reuso.

Em relação às águas superficiais, o 17α -etinilestradiol e a estrona foram detectados com valores consideravelmente acima dos estabelecidos nas Diretrizes Australianas para Água de Reuso, enquanto que o estriol e o 17β -estradiol estão, em quase todos os estudos analisados, dentro dos valores de referência estabelecidos. Dessa forma, pode-se concluir que existem evidências para incluir os estrogênios na regulamentação brasileira.

CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma discussão a respeito da regulamentação dos estrogênios em águas superficial e potável no Brasil. De maneira geral, o seu objetivo foi avaliar o arcabouço legal e normativo referente ao controle dos estrogênios (17 α -etinilestradiol, 17 β -estradiol, estrona e estriol) nas águas superficial e potável de diferentes países (Estados Unidos, países da União Europeia e Austrália) para dar subsídios ao legislador brasileiro em relação às concentrações máximas permitidas no Brasil.

Nesse contexto, após avaliar os dispositivos legais internacionais para levantar informações sobre os estrogênios, o resultado obtido foi que os Estados Unidos e os países da União Europeia não apresentam em seu arcabouço legal e normativo valores de referência para essas substâncias. No entanto, os Estados Unidos incluíram os estrogênios em um programa de monitoramento de água potável para os compostos não regulados (*Unregulated Contaminant Monitoring*) e a União Europeia, na lista de vigilância estabelecida pela Decisão de Execução 2018/840 (UE, 2018a), para que mais dados fossem coletados.

Na Austrália, o resultado obtido por meio da avaliação do seu arcabouço legal e normativo foi que, através das Diretrizes Australianas para Água de Reuso, o país apresenta concentrações máximas permitidas para o 17 α -etinilestradiol, 17 β -estradiol, estrona e estriol (1,5 ng/L, 175 ng/L, 30 ng/L e 50 ng/L, respectivamente), sendo o único país desse estudo a apresentar valores de referência para os estrogênios.

No Brasil, por meio do levantamento da ocorrência dos estrogênios, em águas superficial e potável, através da compilação de trabalhos publicados na literatura, foi constatado que esses compostos são encontrados em concentrações variadas nessas matrizes aquosas. Além disso, em 2018, o 17 α -etinilestradiol ocupou a décima posição do ranking da ANVISA dos princípios ativos mais vendidos no Brasil, o que pode representar o aumento da incidência desse estrogênio no meio ambiente.

Por fim, através da comparação dos valores de referência estabelecidos nas Diretrizes Australianas para Água de Reuso com as concentrações dos estrogênios encontrados nas águas superficiais e de consumo humano brasileiras, foi possível constatar que, na água potável, somente o 17 β -estradiol foi encontrado com concentrações que estão dentro dos valores de referência estabelecidos. Em relação às águas superficiais, o 17 α -etinilestradiol e a estrona foram detectados com valores consideravelmente acima dos estabelecidos nas Diretrizes Australianas para Água de Reuso, enquanto que o estriol e o 17 β -estradiol estão, em quase todos os estudos analisados, dentro desses valores de referência.

Diante disso, foi possível observar que existem evidências para incluir os estrogênios na regulamentação brasileira. Além desses compostos serem detectados nas águas superficiais e potáveis do Brasil com valores acima do estabelecido nos dispositivos legais internacionais, alguns critérios utilizados para selecionar as substâncias prioritárias a serem incluídas na legislação também foram atendidos, tais como a ocorrência do composto no meio ambiente e pesquisas de mercado sobre vendas e consumo da substância.

Reforça-se ainda que o presente trabalho levou em consideração somente as concentrações máximas permitidas para os estrogênios na Austrália (os Estados Unidos e a União Europeia ainda não apresentam regulamentação para os estrogênios). Assim, conclui-se que para efetivamente incluir esses compostos na regulamentação brasileira, seria necessário coletar mais dados de monitoramento e realizar estudos de avaliação de risco para que seja possível estabelecer as suas concentrações máximas permitidas nas matrizes aquosas do Brasil.

REFERÊNCIAS

AIRES, M. M. **Fisiologia**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Atlas esgotos: Despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília: ANA, 2017.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Anuário Estatístico do Mercado Farmacêutico - 2017**. Brasília: ANVISA, 2018.

_____. **Anuário Estatístico do Mercado Farmacêutico - 2018**. Brasília: ANVISA, 2019.

ANZECC; ARMCANZ. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. **National Water Quality Management Strategy**, v. 1, n. 4, p. 314, 2000.

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Desreguladores endócrinos no meio ambiente: Efeitos e consequências. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 651–666, 2007.

BIRKETT, J. W.; LESTER, J. N. **Endocrine Disrupters in Wastewater and Sludge Treatment Processes**. 1. ed. Washington: Lewis Publishers, IWA Publishing, 2003.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 357, 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. Brasília, 2005.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, 2008.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, 2009.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, 2011a.

_____. Decreto n. 79.367, de 9 de março de 1977. Dispõe sobre normas e o padrão de potabilidade de água e dá outras providências. Brasília, 1977.

_____. Lei nº. 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981.

BRASIL. Lei 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. Brasília, 2007.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Registro de Emissão e Transferência de Poluentes – RETP**. Brasília, 2010.

_____. Ministério da Saúde. **Consulta Pública nº.3, de 03 de março de 2020**. Disponível em:<<https://www.saude.gov.br/aceso-a-informacao/participacao-social/46494-consulta-publica-n-3-de-3-de-marco-de-2020>>. Acesso em: 05. Jul. 2020. Brasília, 2020.

_____. Ministério da Saúde. **Documento Base de Elaboração da Portaria nº 2.914/2011: “Portaria de Potabilidade da Água para Consumo Humano”**. Brasília, 2012.

_____. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº.5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília, 2017.

_____. Ministério da Saúde. Portaria nº. 36, de 19 de janeiro de 1990. Aprova normas e o padrão de potabilidade da água para consumo humano em todo o território nacional. Brasília, 1990.

_____. Ministério da Saúde. Portaria nº. 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, 2004.

_____. Ministério da Saúde. Portaria nº. 1469, de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, 2000.

_____. Ministério da Saúde. Portaria nº. 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011b.

CHAVES, K. S. **Determinação dos desreguladores endócrinos bisfenol-A , β - estradiol, 17 α - etinilestradiol e estrona no Rio Paraíba do Sul**. 2016. 134f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

CHAVES, V. S. et al. Desempenho das estações de tratamento do esgoto de Aracaju. **Revista DAE**, v. 66, n. 209, p. 51–58, 2018.

CHEN, C.Y.; WEN, T.Y.; WANG, G.S.; CHENG, H.W.; LIN, Y.H.; LIEN, G.W. Determining estrogenic steroids in Taipei waters and removal in drinking water treatment using high-flow solid-phase extraction and liquid chromatography/tandem mass spectrometry. **Science of the Total Environment**, v. 378, n.3, p. 352-365, 2007.

DA CUNHA, D. L. et al. Regulamentação do estrogênio sintético 17 α -etinilestradiol em matrizes aquáticas na Europa, Estados Unidos e Brasil. **Cadernos de Saude Publica**, v. 32, n. 3, p. 1–12, 2016.

DANTAS, Tiago. Território da Austrália. **Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/aspectos-naturais-australia-1.htm>>. Acesso em: 17. Mai. 2020.

DIAS, R. V. A. **Avaliação da ocorrência de microcontaminantes emergentes em sistemas de abastecimento de água e da atividade estrogênica do etinilestradiol**. 2014. 158f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

EC - European Commission. **Commission welcomes provisional agreement to improve the quality of drinking water and the access to it**. Disponível em: <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6830>. Acesso em: 03. Mai. 2020. União Europeia: EC, 2020a.

_____. **The EU Water Framework Directive - integrated river basin management for Europe**. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/water/waterframework/index_en.html>. Acesso em: 26. Abr. 2020. União Europeia: EC, 2020b.

_____. **Notas sobre a Água relativas à aplicação da Directiva-Quadro “Água”**. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment/water/participation/pdf/waternotes/WATER%20INFO%20NOTES%201%20-%20PT.pdf>>. Acesso em: 26. Abr. 2020. União Europeia: EC, 2008.

_____. **Review of the drinking water directive**. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/review_en.html>. Acesso em 02. Mai. 2020. União Europeia: EC, 2020c.

ECYCLE. **Ftalatos**: o que são, quais seus riscos e como prevenir. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/2183-ftalatos.html>>. Acesso em: 12. Jul. 2020.

EPCH; NHMRC; NRMCC. **Australian guidelines for water recycling: Managing health and environmental risks (phase 2)**. Augmentation of Drinking Water Supplies. Camberra: EPCH NHMRC NRMCC, 2008.

FERNANDES, J. G. **Ocorrência de poluentes emergentes nos rios Piraí, Paraíba do Sul, Guandu e na água de abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2018. 104f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

FREIRE, M. M. et al. Biomarcadores na Avaliação da Saúde Ambiental dos Ecossistemas Aquáticos. p. 347–354, 2008.

GALVÃO JUNIOR, A. C. Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil. **Revista Panamericana de Salud Publica/Pan American Journal of Public Health**, v. 25, n. 6, p. 548–556, 2009.

JARDIM, W. F. et al. An integrated approach to evaluate emerging contaminants in drinking water. **Separation and Purification Technology**, v. 84, p. 3–8, 2012.

MACHADO, K. C. et al. A preliminary nationwide survey of the presence of emerging contaminants in drinking and source waters in Brazil. **Science of the Total Environment**, v.

572, p. 138–146, 2016.

MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. D. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: Cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, v. 40, n. 9, p. 1094–1110, 2017.

MOREIRA, M. *et al.* Determination of endocrine-disrupting compounds in waters from Rio das Velhas, Brazil, by liquid chromatography/high resolution mass spectrometry (ESI-LC-IT-TOF/MS). **Environmental Technology**, v. 32, n. 12, p. 1409–1417, 2011.

NHMRC; NRMMC. **Australian Drinking Water Guidelines**. Canberra: NHMRC NRMMC, 2011.

PATEL, N. *et al.* **Emerging Pollutants in Aquatic Environment: Source, Effect, and Challenges in Biomonitoring and Bioremediation- A Review**. v. 6, n. 1, p. 99–113, 2020.

PUSCEDDU, F. H. *et al.* **Estrogen levels in surface sediments from a multi-impacted Brazilian estuarine system**. *Marine Pollution Bulletin*, v. 142, n. April, p. 576–580, 2019.

QUARESMA, A. DE V. **Monitoramento de microcontaminantes orgânicos por métodos cromatográficos acoplados à espectrometria de massa e elementos inorgânicos por fluorescência de raios – X por reflexão total nas águas da bacia do Rio Doce**. 2014. 186f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

RODRIGUES, K. L. T. **Desenvolvimento de metodologia analítica para determinação simultânea de microcontaminantes emergentes em águas superficiais por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas**. 2012. 156f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

SODRÉ, F. F. *et al.* Assessing selected estrogens and xenoestrogens in Brazilian surface waters by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Microchemical Journal**, v. 96, n. 1, p. 92–98, 2010.

_____. Ocorrência de Interferentes Endócrinos e Produtos Farmacêuticos em Águas Superficiais da Região de Campinas (SP, Brasil). **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v. 2, n. 2, p. 187–196, 2007.

UE - União Europeia. Decisão 2455/2001/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de novembro de 2001. Estabelece a lista das substâncias prioritárias no domínio da política da água e altera a Directiva 2000/60/CE. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias**. União Europeia, 2001.

_____. Decisão de Execução (UE) 2015/495 da Comissão, de 20 de março de 2015. Estabelece uma lista de vigilância das substâncias para monitorização a nível da União no domínio da política da água nos termos da Diretiva 2008/105/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias**. União Europeia, 2015.

_____. Decisão de Execução (UE) 2018/840 da Comissão, de 5 de junho de 2018. Estabelece uma lista de vigilância das substâncias a monitorizar a nível da União no domínio da política

da água, nos termos da Diretiva 2008/105/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, e que revoga a Decisão de Execução (UE) 2015/495 da Comissão. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias**. União Europeia, 2018a.

UE - União Europeia. Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2000. Estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias**. União Europeia, 2000.

_____. Directiva 2013/39/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de agosto de 2013. Altera as Diretivas 2000/60/CE e 2008/105/CE no que respeita às substâncias prioritárias no domínio da política da água. **Jornal Oficial da União Europeia**. União Europeia, 2013.

_____. Directiva 98/83/CE do Conselho, de 3 de novembro de 1998. Relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano. **Jornal Oficial da União Europeia**. União Europeia, 1998.

_____. Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho, de 31 de janeiro de 2012. Altera as Diretivas 2000/60/CE e 2008/105/CE no que respeita às substâncias prioritárias no domínio da política da água. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias**. União Europeia, 2012.

_____. Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho, de 01 de fevereiro de 2018. Relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano (reformulação). **Jornal Oficial das Comunidades Europeias**. União Europeia, 2018b.

UMBUIZEIRO, G. DE A. **Guia de potabilidade para substâncias químicas**. São Paulo: Limiar, 2012.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency. **Basic Information on the CCL and Regulatory Determination**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ccl>>. Acesso em: 06. Abr. 2020. Washington: USEPA, 2020a.

_____. **Drinking Water Contaminant Candidate List (CCL) and Regulatory Determination**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ccl>>. Acesso em: 06. Abr. 2020. Washington: USEPA, 2020b.

_____. **Drinking Water Regulations and Contaminants**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sdwa/drinking-water-regulations-and-contaminants#Primary>>. Acesso em: 06. Abr. 2020. Washington: USEPA, 2020c.

_____. **Endocrine Disruptor Screening Program: Second List of Chemicals for Tier 1 Screening**. Disponível em: <<https://www.regulations.gov/document?D=EPA-HQ-OPPT-2009-0477-0001>>. Acesso em: 11. Mai. 2020. Washington: USEPA, 2010.

_____. **EPA History**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/history>>. Acesso em: 30. Mar. 2020. Washington: USEPA, 2020d.

_____. **Monitoring the Occurrence of Unregulated Drinking Water Contaminants**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/dwucmr>>. Acesso em: 06. Abr. 2020. Washington: USEPA, 2020e.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency. **National Primary Drinking Water Regulation Table**. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/201606/documents/npwdr_complete_table.pdf>. Acesso em: 06. Abr. 2020. Washington: USEPA, 2009.

_____. **National Primary Drinking Water Regulations**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>>. Acesso em: 06. Abr. 2020. Washington: USEPA, 2020f.

_____. **Our Mission and What We Do**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/aboutepa/our-mission-and-what-we-do>>. Acesso em: 07. Mai. 2020. Washington: USEPA, 2020g.

_____. **Overview of the Safe Drinking Water Act**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sdwa/overview-safe-drinking-water-act>>. Acesso em: 05. Abr. 2020. Washington: USEPA, 2020h.

_____. **Regulatory Determination 1 for Contaminants on the First Drinking Water**

_____. **Summary of the Clean Water Act**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>>. Acesso em: 31. Mar. 2020. Washington: USEPA, 2020i.

_____. **Toxic and Priority Pollutants Under the Clean Water Act**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/eg/toxic-and-priority-pollutants-under-clean-water-act#toxic>>. Acesso em: 03. Abr. 2020. Washington: USEPA, 2020j.

_____. **Water Quality Standards Handbook: Appendix P**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-10/documents/handbook-appendixp.pdf>>. Acesso em: 03. Abr. 2020. Washington: USEPA, 1983.

WHO. **World Health Statistics**. Geneva: WHO, 2011.

_____; UNEP. **State of the science of endocrine disrupting chemicals - 2012**. Geneva: WHO, UNEP, 2013.

WQA - Water Quality Australia. **Australia's inland waters**. Disponível em: <<https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/your-location/australia-inland>>. Acesso em: 17. Mai. 2020. Canberra: WQA, 2020a.

_____. **History of the Water Quality Guidelines**. Disponível em: <<https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/about/history>>. Acesso em: 17. Mai. 2020. Canberra: WQA, 2020b.

_____. **Improvements since 2000**. Disponível em: <<https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/about/improvements>>. Acesso em: 24. Mai. 2020. Canberra: WQA, 2020c.