

CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA SENAI: CENTRO DE TECNOLOGIA DA
INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL

YASMIN FERNANDES CABRAL

**SELEÇÃO DE TÉCNICA DE TRATAMENTO PARA CONTAMINANTES EMERGENTES COM BASE NA
ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

Rio de Janeiro
2022

YASMIN FERNANDES CABRAL

**Seleção de Técnica de Tratamento para
Contaminantes Emergentes com base na
Análise Multicritério**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de graduação em engenharia
química, da Faculdade de Engenharia
Química SENAI CETIQT, como requisito
parcial para obtenção do título de bacharel
em engenharia química.**

Orientador(a): Alex Vazzoler

Rio de Janeiro

2022

Ficha Catalográfica

Cutter (n. do autor)	n. autor	Cabral , Yasmin Fernandes . Seleção de Técnica de Tratamento para Contaminantes Emergentes com base na Análise Multicritério./ Yasmin Fernandes Cabral - 2022 entrega. nº. f. : il. Orientador: Alex Vazzoler Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Senai CETIQT, Barra da Tijuca, 2022. 1. Contaminantes emergentes. 2. Hormônios . 3. Tratamento de água. I. Seleção de Técnica de Tratamento para Contaminantes Emergentes com base na Análise Multicritério
	Número de classificação do assunto	CDD

YASMIN FERNANDES CABRAL

**SELEÇÃO DE TÉCNICA DE TRATAMENTO PARA CONTAMINANTES EMERGENTES COM BASE NA
ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de graduação em engenharia
química, da Faculdade de Engenharia
Química SENAI CETIQT, como requisito
parcial para obtenção do título de bacharel
em engenharia química.**

Aprovada em:

Aprovado por:

Orientador: Alex Vazzoler, Mestre em Engenharia Química

Banca Examinadora:

André Leone Rigueti, Mestre em Química, UERJ

Michelle Reich, Mestre em Ciências Ambientais, Senai CETIQT

Tanise Mori Flores, Mestre em Engenharia Química, Senai CETIQT

Rio de Janeiro

2022

Dedico este TCC a todos os engenheiros químicos que se identificam com a área ambiental.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar, a Deus, pela minha vida e por me dar saúde e determinação para concluir essa etapa tão importante. Por ter me ajudado ao longo da graduação nos momentos em que me senti sozinha e duvidei de mim, mas Ele estava lá.

À minha família por ser presente e encorajadora, principalmente aos meus pais Maria Joseneide e Paulo César por me criarem com tanto carinho e por não medirem esforços para que eu tivesse a melhor educação. Também aos meus irmãos Caroline e Marlon por serem meus incentivadores e estarem sempre presentes.

Agradeço aos meus amigos e colegas de vida, em especial Isa Fréza, Victória Fréza, Maria Clara e Victória Brito, por serem amigas irmãs para todas as horas e Kayan Ayres pela parceria.

À minha chefe Carla Alencar pelas oportunidades e apoio durante este momento desafiador de minha carreira.

A todos meus professores da graduação pela paciência e confiança no meu potencial. Com certeza tive o prazer de aprender dos melhores profissionais.

Em especial, ao meu orientador Alex Vazzoler por toda ajuda ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa e contribuíram para minha formação. Obrigada!

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.*

Marthin Luther King

RESUMO

Os contaminantes emergentes são centenas de compostos detectáveis em diferentes compartimentos ambientais como solo, água ou ar. A literatura evidencia a presença destes contaminantes nos recursos hídricos que abastecem a população, tanto em sua forma bruta quanto tratada. Dentre estes contaminantes, estão os Disruptores Endócrinos (DEs), substâncias caracterizadas pelo seu potencial de interferir nas funções do sistema endócrino dos mamíferos. Alguns exemplos são os hormônios estrógenos naturais: estrona (E1), 17 β -estradiol (E2), estriol (E3) e o sintético, 17 α -etinilestradiol (EE2), excretados diariamente nos dejetos humanos, e relacionados aos problemas endócrinos supracitados e à etiologia de vários tipos de tumores. O sistema de saneamento básico que atende aos brasileiros, usa predominantemente o tratamento convencional para tratar tanto o esgoto, quanto a água bruta entregue para consumo da população, porém tais tratamentos não são eficazes para a remoção e destruição total destes tipos de contaminante. A Estação de Tratamento (ETA) do Rio Guandu (na cidade do Rio de Janeiro) abastece cerca de 80% da população da Região Metropolitana, aproximadamente 9 milhões de pessoas. Dada a importância das águas do rio Guandu para o abastecimento de água do Estado do Rio de Janeiro, o presente trabalho avaliou os tratamentos mais utilizados para a remoção destes hormônios da água de consumo e através de uma análise multicritério com base na literatura, a filtração por membranas mostrou-se o mais promissor.

Palavras-chave: Contaminantes emergentes; Hormônios; Tratamento de Água.

ABSTRACT

The emerging contaminants are hundred of compounds detected in different environmental compartments such as ground, water or air. The literature shows the presence of these contaminants in aquatic matrices that supply the population, both in its sewage and treated form. Among these contaminants are endocrine disruptors, substances characterized by their potential to interfere with endocrine system of mammals. Some examples are the natural estrogen hormones: estrogen (E1), 17 β -estradiol (E2), estriol (E3) and the synthetic one, 17 α -etinilestradiol (EE2), excreted daily in human waste and related to endocrine problems and etiology of various types of tumors. The basic sanitation system in Brazil predominantly uses conventional treatment to treat both sewage and waste water are not effective for the total removal and destruction of these types of contaminants. The Guandu river treatment station in the city of Rio de Janeiro supplies 80% of the population of the metropolitan region, approximately 9 million people. Given the importance of this water treatment station for the water supply of Rio de Janeiro, the present work evaluated the most used treatments for the removal of these hormones from drinking water in a multicriteria analysis based on the literature membrane filtration proved be the most promising method.

Keywords: Emerging Contaminants, Hormones, Water Treatment

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Enquadramento da qualidade da água segundo o IQA	17
Figura 2. Valores de IQA médio de dois pontos do rio queimados e dois pontos do rio Guandu ao longo de 10 anos.....	17
Figura 3. Fotografia da Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu no Rio de Janeiro...	23
Figura 4. Esquema de tratamento de água da CEDAE	24
Figura 5. Estrutura química dos hormônios estrógenos naturais e sintético.	29
Figura 6. Gráfico radar indicativo dos tratamentos com maiores notas de média ponderada. Plotado no Excel.	42
Figura 7. Métodos H_2O_2 /UV, O_3 / UV e O_3 / H_2O_2 , e suas respectivas porcentagens de remoção dos hormônios.	44
Figura 8. Métodos TiO_2 /UV, foto-fenton e fotólise e suas respectivas porcentagens de remoção dos hormônios.....	44
Figura 9. Métodos de cloração, filtração por membranas e carvão ativado e suas respectivas porcentagens de remoção dos hormônios.....	45
Figura 10. Tabela contendo as porcentagens de remoção dos respectivos hormônios E1, E2, E3 e EE2 obtidos no estudo de Viali, de acordo com o método de tratamento utilizado.	51
Figura 11. A figura a seguir apresenta resultados de remoção dos contaminantes emergentes encontrados no estudo de Lima, 2014 para os processos citados.....	52
Figura 12. Concentrações do hormônio natural Estrona em água superficial, esgoto sanitário e águas subterrâneas reunidas por Viali (2017).	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela com os pesos atribuídos a cada um dos critérios levantados.	38
Tabela 2. Tabela com as notas atribuídas a cada categoria.	39
Tabela 3. Notas atribuídas para cada um dos tratamentos citados, os pesos de cada critério e a média ponderada de cada tratamento.	41
Tabela 4. Porcentagens de remoção alcançadas pelos respectivos processos de tratamento obtidos na literatura.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
CETIQT	Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ETA:	Estação de Tratamento de Água
ETE:	Estação de Tratamento de Esgoto
CE:	Contaminantes Emergentes
DE:	Disruptores Endócrinos
CEDAE:	Companhia Estadual de Água e Esgoto
INEA:	Instituto Estadual do Ambiente
IQA:	Índice de Qualidade da Água
RAFA:	Reator Aeróbico de Fluxo Ascendente
POA:	Processos Oxidativos Avançados
E1:	Estrona
E2:	17 β -Estradiol
E3:	Estriol
EE2:	17 α -Ethinilestradiol
DBO:	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO:	Demanda Química de Oxigênio
PH:	Potencial hidrogeniônico
OR:	Osmose Reversa
NF:	Nano filtração
MF:	Micro filtração
UF:	Ultra filtração
ppm:	Partes por Milhão
nm:	Nanômetro
μ m:	Micrometro
mg/l:	Miligrama por litro
UV	Ultra violeta
TC	Tempo de contato

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO.....	14
1.1	INTRODUÇÃO	14
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	Objetivos específicos	17
1.3	JUSTIFICATIVA	17
1.4	DELIMITAÇÃO.....	18
2	CAPÍTULO 2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	PRINCIPAIS CONTAMINANTES DA ÁGUA.....	20
2.1.1	Poluentes mais comuns	20
2.1.2	Parâmetros de qualidade da água.....	20
2.1.2.1	Parâmetros analisados atualmente	20
2.2	TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUA	23
2.2.1	Estação de tratamento de água (ETA).....	23
2.2.2	Estação de tratamento de esgoto (ETE)	24
2.2.2.1	Pré-tratamento	25
2.2.2.2	Tratamento primário	25
2.2.2.3	Tratamento secundário.....	26
2.2.2.4	Tratamento terciário.....	26
2.3	CONTAMINANTES EMERGENTES	27
2.3.1	Definição	27
2.3.2	Disruptores endócrinos.....	27
2.3.3	Hormônios.....	28
2.4	TRATAMENTOS PARA ELIMINAÇÃO DE HORMÔNIOS NA ÁGUA DE CONSUMO	30
2.4.1	Processos oxidativos avançados (POA)	30
2.4.1.1	Fotólise, Fotocatálise com TiO ₂ e foto-Fenton.....	32
2.4.2	Cloração.....	32
2.4.3	Adsorção com carvão ativado	33
2.4.4	Filtração por membranas	34

3	METODOLOGIA.....	36
3.1	Análise multicritério.....	37
3.2	Aplicação da análise multicritério para o problema de tratamento do hormônio	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
4.1	Análise geral	40
4.2	Análise dos hormônios	42
5	CONCLUSÃO.....	46
5.1	A importância do estudo realizado	46
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	47
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
7	ANEXO A.....	51
8	ANEXO B	52
9	ANEXO c.....	53

1 CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a manutenção da vida no planeta Terra. Dos maiores organismos às menores células, ela é responsável pela composição e por inúmeras funções dentro de cada uma delas. Para nós, seres humanos, a água é usada não somente para as coisas básicas do cotidiano, como beber, comer e respirar; porém todos os outros processos feitos pelo homem envolvem o uso da água direta ou indiretamente (MOTA, SUETÔNIO, 2003).

Devido aos processos químicos que realizamos em nossas indústrias, estilo de vida que levamos, ou até mesmo o sistema de esgoto usado, grande parte dessa água que é utilizada acaba sendo contaminada e precisa ser tratada para que outros problemas ambientais e sanitários não aconteçam (DINÂMICA AMBIENTAL, 2013).

O sistema de saneamento básico que atende aos brasileiros, usa predominantemente o tratamento convencional para tratar tanto o esgoto, quanto a água bruta que será entregue para consumo da população. Estes tratamentos levam em consideração basicamente os poluentes mais comuns como sólidos em suspensão e microorganismos patogênicos (CASSIANA *et al*, 2017).

Segundo o estudo de Cassiana *et al* (2017), esses tratamentos são eficazes para descontaminação microbiológica e a remoção de altas quantidades de nutrientes, que são responsáveis pelos processos de eutrofização dos corpos hídricos. Porém, algumas substâncias não são efetivamente removidas e permanecem no efluente final, que é então descartado no meio ambiente, de volta às águas naturais. Assim também os rejeitos sólidos do processo (lodo), podem ser utilizados para fertilização e/ou condicionamento do solo para agricultura, atingindo águas naturais devido ao escoamento superficial. O despejo destes nutrientes em possíveis mananciais de abastecimento público acarreta no prosseguimento da contaminação de águas que serão tratadas posteriormente pelas Estações de Tratamento de Água (ETA).

Dentre os compostos que não são efetivamente removidos pelas ETAs, estão os contaminantes chamados emergentes. Esta nova classe de contaminantes tem causado preocupações devido ao seu potencial de causar danos aos organismos vivos e ao meio ambiente (CASSIANA *et al*, 2017).

Alguns destes contaminantes podem ser considerados disruptores endócrinos (DE), como medicamentos, fármacos descartados indevidamente, resquícios de hormônios e remédios nos dejetos humanos, metais pesados, micro plásticos, produtos de higiene pessoal,

agroquímicos, entre outros. Estes compostos estão sendo detectados em níveis extremamente baixos nas águas do mundo todo, mas já causando efeitos negativos, o que aumenta a preocupação com a qualidade da água em alguns anos (AESB, 2021).

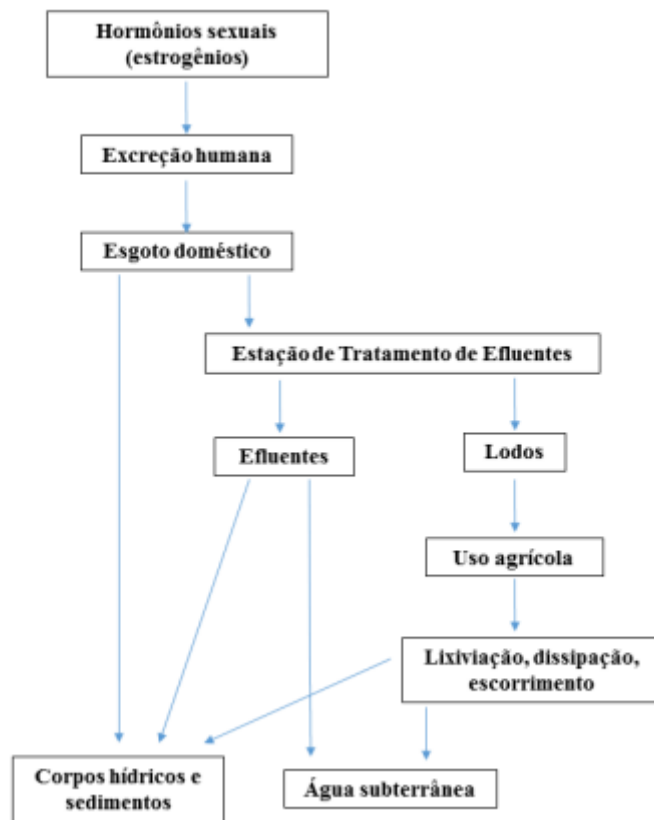
Pesquisas brasileiras mostram a evidência da presença destes contaminantes nas principais águas que abastecem a população, tanto em sua forma bruta quanto na água tratada (LIMA *et al*, 2017). Segundo o estudo, a concentração dos compostos detectados na água tratada é da mesma ordem de grandeza que aquela observada nos afluentes das ETAs, o que evidencia que tais compostos não são eficientemente removidos pelos processos clássicos de clarificação e desinfecção utilizados. O anexo C mostra a presença destes contaminantes em matrizes de água do Brasil e de outros países, segundo trabalho de Viali, (2017).

Segundo Cassiana *et al*. (2017), os processos de tratamento terciários como ozonização, processos oxidativos avançados, fotocatalise, adsorção em carvão ativado, filtração em membranas e osmose reversa têm sido aplicados em estações de tratamento de água e esgoto em outros países como métodos complementares de remoção de contaminantes emergentes. Estes tratamentos possuem vantagens e desvantagens a serem consideradas no momento da escolha de se implementar um tratamento terciário na planta.

Os hormônios estrogênicos excretados pelos seres humanos são DEs que podem alcançar o meio ambiente via efluentes. A presença destes micro poluentes nas águas de consumo causam várias questões preocupantes relacionadas à sua degradação e seus potenciais efeitos adversos nos sistemas sexual e reprodutor da vida selvagem, peixes e dos seres humanos devido à bioacumulação e/ou exposição crônica (PESSOA *et al*, 2014).

A presença de estrogênio, que advém predominantemente de esgoto nas águas residuais foram investigadas em vários estudos, tanto na sua forma natural, estrona e 17 β estradiol, quanto sintética, variações de 17 α -etinilestradiol, e ambas as formas foram identificadas como os principais compostos responsáveis pelas atividades estrogênicas em estações de tratamento de efluentes (PESSOA *et al*, 2014). A figura 1 a seguir mostra as formas de contaminação do meio ambiente pelos hormônios estrogênicos.

Figura 1 esquema de contaminação do meio ambiente pelos hormônios estrogênicos.



Fonte: Adaptado de NECTOUX, (2019)

Tendo em vista a problemática da contaminação da água com hormônios, o presente trabalho tem como objetivo trazer os tratamentos de água mais utilizados, segundo a literatura apresentada, para remoção destes contaminantes emergentes. Para isso, foi realizado o levantamento de critérios relevantes para a escolha da melhor tecnologia com auxílio da análise multicritério. Foram analisados os seguintes parâmetros: porcentagem de remoção, conformidade com a legislação, controle e capacidade bactericida, escala comparativa de custos, empregabilidade, versatilidade, confiabilidade, tempo de contato e escala.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Por meio da análise multicritério, selecionar o método mais adequado para ser agregado ao tratamento da água de consumo do Estado do Rio de Janeiro com a finalidade de remoção dos contaminantes hormonais E1, E2, E3 e EE2.

1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar a problemática dos hormônios como resíduos contaminantes;
- Fazer um levantamento dos métodos mais utilizados para tratamento dos hormônios em água de abastecimento;
- Trazer a análise multicritério como ferramenta para seleção de tratamento mais adequado à ETA.

1.3 JUSTIFICATIVA

A região hidrográfica da bacia do rio Guandu pode ser considerada como uma sub-bacia da bacia da hidrográfica da baía de Sepetiba, localizada na Macrorregião Ambiental 2, MR-2, do estado do Rio de Janeiro. Possui aproximadamente 1.395 km², abrangendo as bacias dos rios Guandu, Guandu Mirim e do Canal do São Fernando (SERBER, 2006).

O Índice de Qualidade das águas (IQA) foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta que será tratada para servir à população. Este índice leva em consideração nove parâmetros que são analisados em laboratórios certificados e, através de um cálculo, são obtidas as notas de zero à cem. Os parâmetros utilizados no cálculo feito por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos. Estas notas e o enquadramento da qualidade, que vai de excelente a muito ruim, estão descritos na figura 2 a seguir:

Figura 2. Enquadramento da qualidade da água segundo o IQA

EXCELENTE	BOA	MÉDIA	RUIM	MUITO RUIM
$100 \geq \text{IQA} \geq 90$	$90 > \text{IQA} \geq 70$	$70 > \text{IQA} \geq 50$	$50 > \text{IQA} \geq 25$	$25 > \text{IQA} \geq 0$
Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público			Águas impróprias para tratamento convencional visando abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados	

Fonte: Adaptado de INEA (2022).

As agressões ambientais sofridas nos últimos anos em todos os rios pertencentes à bacia hidrográfica do rio Guandu podem ser confirmadas pelo resultado obtido através do monitoramento realizados pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), segundo dados apresentados na figura 3 abaixo:

Figura 3. Valores de IQA médio de dois pontos do rio queimados e dois pontos do rio Guandu ao longo de 10 anos.

Ponto	Rio	IQA Médio Anual										IQA Médio
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
QM270	Rio Queimados	28,21	26,46	20,04	19,6	20,24	21,29	20,69	24,1	20,24	17,17	21,8
QM271		25,33	26,58	21,52	21,92	20,08	20,89	19,03	21,37	18,77	16,19	21,17
GN200	Rio Guandu	63	61,46	64,73	62,75	64,63	63,77	61,94	63,51	63,48	67,03	63,63
GN2001		62,6	64,94	68,69	66,85	68,91	67,86	63,68	70,61	68,82	71,38	67,43

Fonte: Adaptado de INEA (2022).

Segundo os valores de IQA disponíveis no site do INEA, é possível observar que a água possui contaminantes que indicam a presença de esgotos domésticos e também pode sofrer influência do polo Industrial de queimados, onde estão instaladas indústrias de portes e tipologias variados, utilizando como corpo receptor o rio Queimados para o lançamento dos efluentes líquidos gerados, afluente do rio dos Poços, que por sua vez é um dos afluentes do rio Guandu, além de estar localizado a montante da tomada d'água da ETA Guandu (SERBER, J., B, 2015).

A Estação de Tratamento ETA do Rio Guandu abastece cerca de 80% da população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, aproximadamente 9 milhões de pessoas. (CEDAE, 2022). Até a década de 1950, o abastecimento de água da cidade do Rio de Janeiro, era insuficiente para a população, e a solução foi a obra de transposição do rio Paraíba do Sul que aumentou sua capacidade hídrica. Dada a importância das águas do rio Guandu para o abastecimento de água da região metropolitana do Rio de Janeiro, a preocupação então, está relacionada à qualidade dessa água e seu tratamento.

Como citado no tópico de introdução, os contaminantes emergentes hormonais, que possuem como fonte principal de sua contaminação, os dejetos humanos, são substâncias consideradas nocivas se expostas aos seres humanos e aos animais, devido ao seu potencial de interferir no sistema endócrino. Porém, estes contaminantes não são levados em consideração no Índice de Qualidade das águas e também não são monitorados nas Estações de Tratamento. Por isso, o presente estudo trouxe a problemática envolvendo estas substâncias e a necessidade de trazer tratamentos que sejam eficazes para a remoção dos contaminantes emergentes, visto que possuem potencial para causar danos à saúde da população.

1.4 DELIMITAÇÃO

Os contaminantes emergentes englobam variados tipos de substâncias com potencial de prejudicar a saúde dos seres humanos e de animais que estejam constantemente em contato com elas. Sendo assim, em virtude da abrangência do tema, serão abordados somente os

tratamentos já realizados relatados nos trabalhos avaliados, relacionados aos contaminantes emergentes hormonais na água de abastecimento. Tendo em vista os possíveis malefícios relacionados à contaminação dos hormônios sexuais estrógenos na água de consumo humano, estes foram o foco do estudo.

2 CAPÍTULO 2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PRINCIPAIS CONTAMINANTES DA ÁGUA

As fontes de água podem conter uma variedade de contaminantes que, dependendo dos níveis de concentração, podem afetar a qualidade final da água tratada, impactando assim a população usuária. Dessa forma, é importante ter uma boa base analítica para identificar os principais contaminantes da água– usando laboratórios certificados e confiáveis – considerando valores históricos, flutuações devido à sazonalidade e composição específica do fluxo de água (AESB, 2021).

Vários parâmetros podem ser analisados levando em conta os principais contaminantes nas águas e, para controle desses resultados, é necessário usar como base a legislação ambiental local e os valores de referência desses contaminantes (AESB, 2021).

2.1.1 Poluentes mais comuns

Os principais poluentes levados em consideração para a escolha dos tratamentos convencionais realizados nas Estações de Tratamento de Água são os materiais em suspensão, que podem ser de diversos tipos como barro, areia, restos de material de plástico bruto, materiais orgânicos e metais, como também os microrganismos patógenos que podem estar presentes nessa água advindos de esgotos e descarte indevido de lixo (AESB, 2021).

2.1.2 Parâmetros de qualidade da água

O índice de qualidade das águas (IQA) foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta do estado do Rio de Janeiro que abastece a população. Para isso, nove parâmetros são utilizados atualmente para indicar possíveis contaminações que estejam fora da regulamentação, são eles os níveis de oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, PH, Demanda química de oxigênio, temperatura, nitrogênio total, fosforo total, turbidez e resíduo total. Este índice utilizado pelo estado, não leva em consideração em seus parâmetros de qualidade da água, as quantidades de outras substâncias tóxicas como metais pesados, pesticidas, agrotóxicos e compostos orgânicos, como também a presença de protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água como sua cor, cheiro, densidade e sabor (MOREIRA, V., H, 2015).

2.1.2.1 Parâmetros analisados atualmente

a) Nitrogênio total

O nitrogênio é um elemento essencial a vida que está presente no ambiente sendo um constituinte de proteínas complexas dos organismos vivos, aminoácidos, amônia, nitritos e nitratos. Este composto está presente sob muitas formas nas águas naturais e nos efluentes, porém, as formas que são mensuradas hoje e utilizadas como parâmetros de qualidade são o nitrogênio amoniacal, nitrogênio albuminoide, nitrogênio orgânico, nitrito e nitrato, que somadas as concentrações dessas formas ionizada (N-NH_3) e não ionizada (N-NH_4), pode-se obter a concentração do nitrogênio total (MOREIRA, V., H, 2015).

Ambas as formas são tóxicas para os organismos que vivem no ambiente aquático, especialmente a forma não ionizada. O Nitrogênio amoniacal é oxidado nos corpos receptores por bactérias nitrificantes, causando significativa redução de oxigênio dissolvido, e com a baixa deste composto na água, os seres que necessitam dele para sobreviver, são prejudicados. O nitrogênio amoniacal, por sua vez, também causa danos como o crescimento de algas e plantas aquáticas, e também, podem causar déficit de oxigênio nos cursos receptores, apresentar toxicidade aos organismos e também a entrada de luz solar nos corpos hídricos (MOREIRA, V., H, 2015).

b) Fosforo total e ortofosfatos.

O fósforo é um elemento muito importante no meio ambiente, ele é necessário para o crescimento de algas e outros organismos vivos. Este elemento também está presente sob forma de ácido fosfórico no processo respiratório e na formação de ácidos nucleicos das células. No entanto, apesar de ser um nutriente essencial à vida, o excesso dele nos efluentes despejados em bacias podem levar à um processo de eutrofização do solo. Quando isto ocorre, os peixes e vida aquática são privados de oxigênio, resultando em grandes mortes de peixes e habitats destruídos e por isso a importância de monitorar seus níveis. Nos efluentes domésticos, os detergentes superfosfatados que são utilizados, constituem a principal fonte de fósforo detectados, além de material fecal rica em proteínas. Alguns efluentes industriais também contribuem significativamente com os teores de fósforo encontrado, principalmente a indústria de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, abatedouros, frigoríficos e laticínios, entre outros (MOREIRA, V., H, 2015). As principais formas encontradas deste elemento na natureza são, fosfatos orgânicos, orto fosfatos (sua forma inorgânica) e poli fosfatos, encontrados em detergentes, principalmente.

c) Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido é essencial para a vida aquática pois muitos organismos necessitam dele para realizar a respiração. Águas poluídas possuem baixo teor de oxigênio dissolvido e indicam presença de alto teor de matéria orgânica pois este é consumido no processo de decomposição.

d) Coliformes termotolerantes

Organismos coliformes termotolerantes são bactérias naturais do trato intestinal humano e animal, e em grandes quantidades nos corpos hídricos, são um indicador de contaminação excessiva de esgoto doméstico. Essas bactérias normalmente não são patogênicas, ou sejam, não causam doenças, porém, em grandes quantidades, elas podem ser um indicador da presença de outros microrganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças, como por exemplo, desintéria bacilar, febre tifoide e cólera (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS).

e) Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH correto é importante para o metabolismo de várias espécies aquáticas, e a alteração do mesmo pode aumentar o efeito das substâncias químicas presentes no meio que são tóxicas para os organismos aquáticos. Segundo a Resolução CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, a qual “dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de águas superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes”, para a proteção da vida aquática o pH deve estar entre 6 e 9 (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS).

f) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia. Altos valores deste parâmetro indicam baixa concentração de oxigênio dissolvido na água, o que indica a presença de microorganismos que consomem o oxigênio como fonte de energia.

g) Temperatura da água

A temperatura tem influência sobre vários parâmetros físico-químicos da água, como a tensão superficial e a viscosidade que podem ser alterados quando fora da faixa de tolerância térmica. Variações de temperatura da água são comuns quando relacionadas ao clima ambiente natural, porém quando alterada devido ao lançamento de efluentes com altas temperaturas, causam impactos significativos à vida local podendo interferir no funcionamento dos organismos. (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS).

h) Turbidez

A turbidez das águas é causada pela presença de matéria em suspensão, podendo ser oriunda da erosão dos solos, como areia, terra e argila por exemplo, ou de atividades de mineração, esgoto e efluentes industriais. Este é um parâmetro que indica o quanto a luz do sol, muito importante para a

manutenção da vida aquática, é capaz de penetrar no corpo hídrico. Além de causar a diminuição de luz solar para os organismos fotossintetizantes da água, o excesso de matéria em suspensão gera maior uso de coagulantes químicos nas estações de tratamento, aumentando também o custo do tratamento. (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS).

i) Resíduo Total

O resíduo total é a matéria presente nas águas e que permanecem após o processo de evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água durante um determinado tempo e temperatura. Estes resíduos podem se acumular nos leitos dos rios e lagos, causando assoreamento, aumentando risco e enchentes, dificultando a navegação e dificultam os processos naturais de peixes e outros animais ali presentes, como a reprodução e alimentação. (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS).

2.2 TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUA

2.2.1 Estação de tratamento de água (ETA)

A captação, tratamento e distribuição de água feita no Estado do Rio de Janeiro atualmente, é de responsabilidade da Companhia Estatal de águas e esgotos do estado do Rio de Janeiro, a CEDAE. A figura 4 a seguir mostra a ETA Guandu.

Figura 4. Fotografia da Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu no Rio de Janeiro.

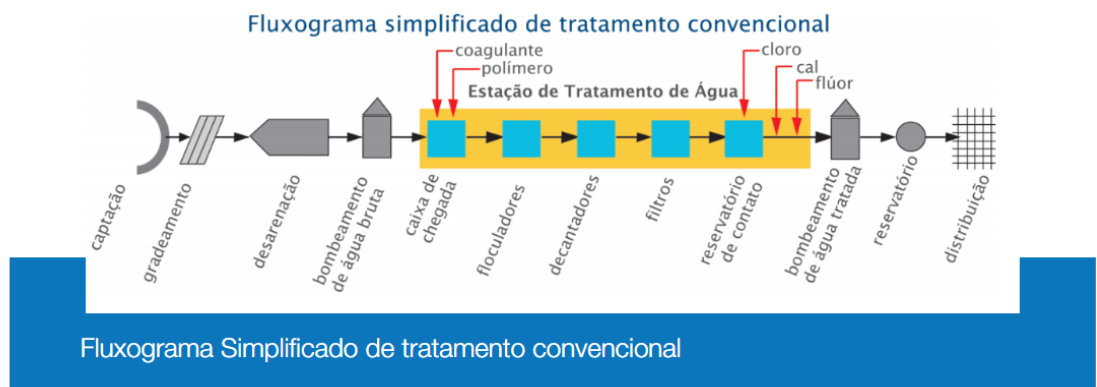


Fonte: Adaptado de CEDAE, 2022.

Ao chegar à Estação de Tratamento, a água passa por algumas etapas de tratamento como a coagulação química, onde são adicionados o coagulante químico e o polieletrólito para agrupar as impurezas; floculação, etapa na qual com o coagulante disperso, a água passa através de floculadores hidráulicos, cuja agitação controlada promove o choque das partículas e, conseqüentemente, a aglutinação, formando os flocos; etapa de decantação, na qual a água entra nos tanques de sedimentação (decantadores), onde ocorre a redução da velocidade, e os flocos já formados e mais pesados vão para o fundo; filtração, na qual a água clarificada é distribuída para o sistema de filtração. (CEDAE, 2022)

Os filtros são compostos por camadas de areia com granulometria capaz de reter as partículas mais finas ainda presentes na água clarificada; desinfecção com cloro, na qual a água flui para os reservatórios de contato, onde ocorre a desinfecção com a adição de cloro (geralmente é utilizado o hipoclorito de sódio) com o objetivo de eliminar micro-organismos patogênicos; correção do pH, etapa em que a água é aduzida através de canais subterrâneos até as elevatórias de alto recalque onde ocorre a adição da cal virgem; e, por fim, é feita a aplicação de flúor na água tratada como agente auxiliar no combate à cárie dentária, atendendo à determinação do Ministério da Saúde. O fluxograma do esquema apresentado está na figura 5 a seguir (CEDAE, 2022):

Figura 5. Esquema de tratamento de água da CEDAE



Fonte: Adaptado de CEDAE (2022).

2.2.2 Estação de tratamento de esgoto (ETE)

O tratamento realizado nos efluentes que chegam às estações, leva em consideração as suas características, quais são os contaminantes presentes e qual matéria-prima e processos são

empregados na geração do mesmo. As análises e o tratamento dependerão dos possíveis contaminantes presentes e da legislação aplicada, por isso, são levantados os seguintes parâmetros: PH, cor, turbidez, óleos e graxas, nitrogênio, metais, sólidos totais, sólidos sedimentáveis, coliformes, DBO e BQO (FELDKIRCHER, 2021).

2.2.2.1 Pré-tratamento

A primeira etapa do tratamento de efluentes é remover os sólidos grosseiros como areia, galhos, folhas e também sólidos sedimentáveis que estão em suspensão. Essa etapa é conhecida como pré-tratamento ou etapa preliminar. (FELDKIRCHER, 2021)

No pré-tratamento, empregam-se as operações de separação física, onde se tem a presença de equipamentos como peneiras, grades, caixas de areia, medidores de vazão e tanques. A etapa de pré-tratamento é fundamental para preparar o efluente para as seguintes etapas, além de proteger as instalações sequenciais afim de evitar prejuízos como entupimento de tubulações. As seguintes etapas são: físico-química, biológica, filtração e polimento, e elas podem não acontecer apenas nessa ordem e nem todas podem ser necessárias. A estratégia de tratamento dependerá do tipo de efluente em questão (FELDKIRCHER, 2021).

2.2.2.2 Tratamento primário

O tratamento primário promove a remoção de uma parcela dos compostos orgânicos, mas é empregado principalmente para remover os compostos inorgânicos. Isso acontece pela retirada dos sólidos suspensos sedimentáveis e também dos flutuantes. Nessa etapa, podem acontecer as operações de coagulação, floculação e decantação, caracterizando então como um tratamento de etapa físico-química e são empregados tanques de sedimentação onde os sólidos suspensos irão se separar do líquido através da diferença de densidade. São utilizados produtos químicos como sulfato de alumínio como agente coagulante e polímeros (SANTOS, 2019).

Finalizando o tratamento primário, obtém-se:

- Lodo: o material rico sedimentado no fundo do decantador que será encaminhado para um tipo de tratamento específico.
- Efluente clarificado: parte líquida do efluente tratado que seguirá para o tratamento secundário.

2.2.2.3 Tratamento secundário

Visto que o tratamento primário tem como foco a remoção de matéria inorgânica, o tratamento secundário terá o objetivo de retirar a matéria orgânica do efluente. Essa etapa é conhecida também como tratamento biológico e ocorre através da utilização de microrganismos como bactérias, fungos e protozoários. Os microrganismos empregados são responsáveis por consumir a matéria orgânica, convertendo-a em água e gás carbônico, e assim multiplicando-se. As condições como temperatura, pH, tempo de contato e oxigênio para essa reação bioquímica são controladas nos reatores influenciando em uma melhor decomposição do material orgânico (SANTOS, 2019).

Algumas das operações aplicadas para essa etapa de tratamento são: lagoas de estabilização, reatores anaeróbicos e lodos ativados. Basicamente, acontece um processo de oxidação biológica e posterior biodegradação do material orgânico, reduzindo as taxas de DQO e DBO. A opção de lodos ativados com aeração contínua é bem empregada nas estações de tratamento de efluentes, apresentando uma boa eficiência. A aeração acontece pela produção de microbolhas no fundo do tanque de aeração, ou por difusores ou aeradores superficiais (SANTOS, 2019).

2.2.2.4 Tratamento terciário

O tratamento terciário, é empregado quando se deseja obter um efluente de alta qualidade. Nessa etapa parâmetros como nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo), odor e remoção de patógenos são reduzidos. Para isso, são aplicadas operações e adsorção com carvão ativado, lagoas de estabilização, osmose reversa ou eletrodialise (SANTOS, 2019).

No Brasil, as lagoas de estabilização são fortemente encontradas em estações de tratamento de efluentes devido ao clima com temperaturas altas. A utilização de unidades de lagoas possui baixo custo e simplicidade na operação, porém também requerem grandes áreas

e possuem a necessidade de temperaturas que propiciem a atividade biológica. As lagoas de maturação são empregadas devido a sua alta eficiência de desinfecção, eliminando patógenos através da elevação do pH e oxigênio dissolvido, facilitando assim as reações em meio aeróbico (SANTOS, 2019).

2.3 CONTAMINANTES EMERGENTES

2.3.1 Definição

Os contaminantes emergentes são centenas de compostos que tem sido detectado em diferentes compartimentos ambientais como solo, água e também no ar. Estes compostos podem ter origem antrópica, ou seja, nos rejeitos gerados pelo ser humano, como efluentes domésticos, industriais, hospitalares e aqueles provenientes das atividades agrícola e pecuária, quanto de ocorrência natural, presentes em diferentes espécies de plantas, por exemplo (CASSIANA *et al*, 2017).

Estudo de Cassiana *et al*. (2017) e Lima *et al*. (2014), mostram que estes compostos podem apresentar risco ao ecossistema e também às funções biológicas dos organismos presentes no meio contaminado. Muitos desses efeitos são atribuídos à exposição crônica a esses compostos e em concentrações extremamente baixas, principalmente em matrizes aquáticas, na ordem de nano grama a pico grama por litro, o que torna ainda mais complexa a análise de avaliação de risco, seja considerando a preservação da vida aquática, dessedentação de animais, recreação ou à saúde humana.

Segundo Farto *et al*. (2021), a preocupação relacionada aos contaminantes emergentes se dá pelo fato de que, no Brasil, a maioria deles não são legislados, ou seja, não estão incluídos nos programas de monitoramento de rotina. Logo, não há um tratamento específico realizado com foco na remoção e/ou destruição deles.

2.3.2 Disruptores endócrinos

Os disruptores endócrinos (DE) são um grupo de substâncias heterogêneas caracterizadas por seu potencial de interferir nas funções do sistema endócrino na vida selvagem e no ser humano. A presença desses contaminantes no meio aquático e seus potenciais efeitos nos organismos vivos são uma crescente preocupação dos últimos anos e isto requer a identificação, análise e caracterização dos riscos das diferentes matrizes aquáticas (LIMA *et al*, 2017).

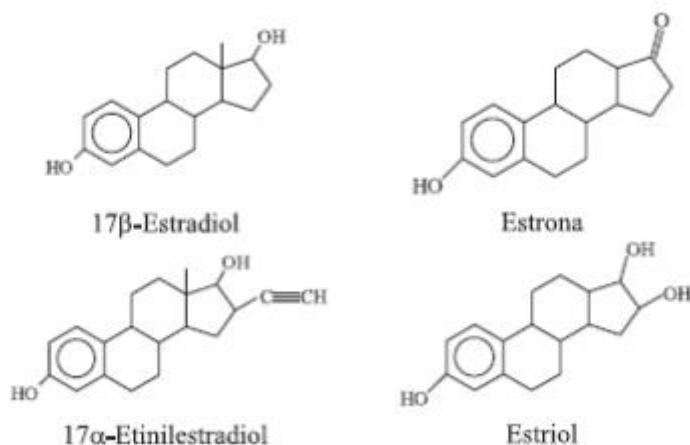
O sistema endócrino é um mecanismo complexo constituído por combinações de glândulas e hormônios e é responsável por coordenar e regular a comunicação entre as células, ou seja, pelas funções biológicas normais. Qualquer interferente que tenha poder de alterar o funcionamento do sistema endócrino, é potencial causador de disfunções que podem causar sérios problemas ao organismo (FILHO *et al*, 2006).

2.3.3 Hormônios

Os hormônios são substâncias químicas produzidas pelas glândulas e possuem funções específicas como regular o crescimento, a reprodução, desenvolvimento e o equilíbrio interno, por isso são de extrema importância para o funcionamento das atividades biológicas. Dentre os diversos hormônios existentes, este trabalho focará nos hormônios classificados como sexuais. Esta classe de hormônios é produzida a partir do colesterol e eles são classificados em três grupos principais: estrógenos, que são os hormônios sexuais femininos; os progestógenos, que são os hormônios da gravidez; e os andrógenos, que são os hormônios sexuais masculinos (VIALI, 2014).

Dentre todos os hormônios sexuais, os estrógenos são extremamente ativos biologicamente estando relacionados à etiologia de vários tipos de cânceres e, por isso, vêm recebendo maior atenção. Os estrógenos naturais estrona (E1), 17β -estradiol (E2), estriol (E3) e o sintético, 17α -etinilestradiol (EE2), (representados na figura 6) desenvolvido para uso médico em terapias de reposição e métodos contraceptivos, são os que despertam maior preocupação, tanto pela potência como pela quantidade contínua introduzida no ambiente. Segundo estudo de Filho *et al*, (2006), estes hormônios possuem a melhor conformação reconhecida pelos receptores e, por isso, resultam em respostas máximas, sendo considerados como responsáveis pela maioria dos efeitos disruptores desencadeados pela disposição de efluentes (FILHO *et al*, 2006).

Figura 6. Estrutura química dos hormônios estrógenos naturais e sintético.



Fonte: Adaptado de Viali, (2014)

Os três principais estrogênios endógenos são os hormônios estradiol, Estrona e Estriol. Além destes, a progesterona e a testosterona são exemplos de outros hormônios naturais que também são excretados diariamente e podem ser encontrados nos corpos d'água que recebem grandes aportes de esgoto doméstico. Já os estrogênios sintéticos, encontrados em produtos farmacêuticos, são esteróides que tiveram suas estruturas moleculares alteradas.. Por serem compostos sintetizados para agirem diretamente no sistema endócrino, possuem alto potencial estrogênico. (VIALI, 2014)

A eliminação de alguns desses contaminantes nas estações de tratamento de esgoto é ineficaz conforme trabalhos de Carballa *et al.*, (2004); Dolar *et al.*, (2012) e Moon *et al.*, (2008). Como resultado, foram encontrados na superfície das águas naturais, água subterrânea, inclusive na água de consumo (AL-ODAINI *et al.*, 2010; RAHMAN *et al.*, 2009). No estudo de Ghiselli (2006), foram encontradas concentrações de hormônios muito mais elevadas do que a média nacional ou do que outros estudos internacionais (LIMA *et al.*, 2017).

Pessoa *et al.* (2014), mostrou que a estrona (E1) apresentou a maior ocorrência no afluente (76%), enquanto tanto o 17βestradiol (E2) quanto o 17α-etinilestradiol (EE2) apresentaram 52% de ocorrência, e o composto 17β-estradiol 17-acetato (E2-17A), um de 32%. A ocorrência nas amostras de efluentes foi de 48% para E1, 28% para E2, 12% para E2-17A e 40% para EE2. As maiores concentrações dos hormônios E1 e EE2 no afluente foram 3050 e 3180 ng L⁻¹, respectivamente, enquanto E2 e E2-17A tiveram concentrações máximas de 776 e 2300 ng L⁻¹, respectivamente.

Os hormônios estrogênios naturais, embora apresentem tempo de meia vida curto (aproximadamente 10 dias), são continuamente excretados pelos seres vivos, em especial,

fêmeas, podendo apresentar um risco à saúde humana e animal, tendo em vista sua estabilidade e persistência no meio ambiente. Dentre os hormônios citados, os estrogênios naturais estrona (E1), 17 β -estradiol (E2), estriol (E3) e o sintético, 17 α -etinilestradiol (EE2) merecem destaque, por serem compostos de alta estrogenicidade e que podem causar graves efeitos em organismos, mesmo em baixas concentrações (NECTOUX, 2019).

2.4 TRATAMENTOS PARA ELIMINAÇÃO DE HORMÔNIOS NA ÁGUA DE CONSUMO

2.4.1 Processos oxidativos avançados (POA)

Os processos oxidativos avançados foram desenvolvidos para a efetiva destruição dos compostos orgânicos sintéticos que podem causar danos aos seres vivos. Esta técnica consiste em mineralizar os poluentes, convertendo-os inteiramente em CO₂, H₂O e ácidos minerais como HCl. Estes processos produzem radicais livres com elevado poder de oxidação ou redução para atacar e destruir os compostos-alvo (BAIRD, COLIN 2002). No que se refere à degradação de DEs presentes em águas e efluentes, os seguintes POAs se destacam: O₃/UV, O₃/ H₂O₂, UV/ H₂O₂, Fotólise, Fotocatálise com TiO₂ e foto-Fenton (VIALI, 2014).

A maioria dos POAs envolve a geração de quantidades significativas de radicais hidroxila que tanto em meio aquoso quanto gasoso, é um radical de excelente poder oxidante. Este radical pode atuar por extração de um átomo de hidrogênio ou por adição tanto em água quanto pelo ar, a um átomo que possua múltiplas ligações; na água, como alternativa adicional, ele também pode extrair um elétron de um ânion. Devido ao elevado custo dos processos oxidativos, eles são comumente utilizados de forma integrada aos processos convencionais, ditos mais econômicos, como os biológicos, para descartar primeiro os materiais que oxidam facilmente. Outra questão que encarece os POAs, é o consumo dos radicais hidroxila pela sua reação com os íons carbonato dissolvidos, onde um elétron é transferido para a hidroxila, tornando-a inativa aos poluentes. A matéria orgânica dissolvida na matriz aquática a ser tratada, é oxidada por uma sequência de reações das quais muitas envolvem os radicais livres, promovendo assim a purificação da água, como exemplificado na equação 2.1 a seguir (BAIRD, COLIN 2002):



Para começar a produção dos radicais, é frequentemente utilizada a luz ultravioleta (UV) na faixa de 200-300 nm, que é irradiada a uma solução de peróxido de hidrogênio a uma solução de 100 ppm. O peróxido então absorve a luz UV e usa a energia obtida desta reação para clivar a ligação O-O, o que resulta na formação de dois radicais OH. Esta reação é representada na equação 2.2.



De maneira alternativa, menos comum, o ozônio é produzido e logo decomposto por via fotoquímica mediante a luz ultravioleta. O átomo de O resultante reage com água, produzindo OH·, como mostram as equações 2.3 e 2.4 abaixo:



Os radicais hidroxila também podem ser produzidos eficientemente sem o uso de luz UV, através da ligação entre ozônio e peróxido de hidrogênio, como mostra a reação global 2.5 abaixo:



Este método do ozônio com peróxido, é mais barato e mais facilmente adaptado aos sistemas de tratamento de água já existentes. Também é possível realizar a produção de radicais hidroxila via eletrolítica, na qual um íon metálico é oxidado para uma forma iônica mais positiva, que consequentemente oxidam a água gerando H⁺ e OH·:

Uma das maiores desvantagens deste processo está relacionada à produção de subprodutos tóxicos. Segundo Colin Baird (2002), por exemplo, nos tratamentos com ozônio/peróxido e peróxido/UV de águas subterrâneas contaminadas com tricloroetano e percloroetano, tem como subprodutos indesejados ácido tricloroacético e ácido dicloroacético, com rendimento de aproximadamente 1%.

Em estudo de Lima *et al.* (2014), indica que a oxidação com ozônio, acoplado ou não ao peróxido, apresentou remoção de microcontaminantes de 90 a 100% em doses de oxidante superiores a 1 mg.L

2.4.1.1 Fotólise, Fotocatálise com TiO₂ e foto-Fenton

A fotólise é um processo que pode ser direto ou indireto. No primeiro caso, observa-se que a molécula do micropulente possui uma ligação química que quando excitada pela luz, é quebrada. Já na indireta, algumas moléculas do meio são excitadas pela luz e clivadas, formando radicais livres que podem reagir com os micropoluentes e degradá-los (Brandt, 2012 apud Gurr e Reinhard, 2006). Uma das vantagens da fotodegradação é a redução nas quantidades de reagentes empregados e uma redução significativa no tempo de digestão. Alguns autores citam a utilização da fotólise direta de compostos orgânicos apenas utilizando a radiação ultravioleta (UV) (SOUZA, 2011).

A irradiação com luz UV de fotocatalisadores semicondutores sólidos como o TiO₂ é uma tecnologia inovadora também para tratamento de águas residuais. O dióxido de titânio é escolhido como semicondutor por ser atóxico, resistente à fotocorrosão, de baixo custo e abundante, podendo ser usado na temperatura ambiente. Neste caso, também há a produção de radicais livres hidroxila através da irradiação de luz com comprimento de onda menores que 385 nm produzindo elétrons na banda de condução do óxido metálico e deixando “buracos” positivos na banda de valência do semicondutor, produzindo OH[•] (BAIRD, COLIN 2002).

Em artigo, Lima *et al.* (2014) aponta o uso da fotocatálise heterogênea com TiO₂ e UV-C como eficiente (>90%) na remoção de contaminantes como o de bisfenol A e ibuprofeno em tempo de contato relativamente pequeno (2h). Da mesma forma, o uso de processo homogêneo de geração de radicais hidroxilas com H₂O₂/UV levou à remoção total do composto norfloxacino, visto que tal contaminante foi apenas moderadamente removido (50%) pelo processo Fenton, que emprega H₂O₂/Fe²⁺.

2.4.2 Cloração

A cloração é um processo de desinfecção que visa destruir quaisquer organismos patogênicos da água. Uma desinfecção apropriada envolve o balanço correto entre concentração do desinfetante versus o tempo de contato com o meio. Este processo de desinfecção pode ser realizado com o uso do gás cloro ou do hipoclorito de sódio e cálcio. Ambos os processos

possuem vantagens como o excelente poder desinfetante e desvantagens no que diz respeito a química do processo. O gás cloro é independente do pH ou da temperatura da água, diferente do hipoclorito, além de não sofrer hidrólise, permanecendo dissolvido na água.

O cloro dissolvido oxida os materiais orgânicos e também os organismos patogênicos (VESILIND, P. AARNE, 2013). Em relação aos disruptores endócrinos, o trabalho de Bianchetti (2008) demonstra ampla faixa de eficiência de remoção de etinilestradiol (40 a 99,2%) por meio de oxidação com o cloro, sendo alcançadas eficiências de remoção superiores a 90% com 1,0 mg.L⁻¹ de cloro e 30 minutos de tempo de contato.

Pessoa *et al.* (2014) mostrou em suas pesquisas que a cloração combinada a um prévio tratamento com reatores UASB, reator anaeróbico de fluxo ascendente em português, promoveu 100% de remoção do hormônio E1 de amostras de efluentes do Ceará.

No entanto, vale destacar que a cloração pode levar à formação de intermediários oxidados ou clorados, como foi observado por Souza (2014), Pereira *et al.* (2013) e Rigobello *et al.* (2013). Pouco se sabe sobre a toxicidade crônica de tais compostos em seres humanos, tema que requer maiores investigações (LIMA, *et al.*, 2017).

2.4.3 Adsorção com carvão ativado

O carvão vegetal ativado é um sólido adsorvente, ou seja, é um sólido útil para purificação de água contaminada com moléculas orgânicas pequenas e de baixas concentrações. Este sólido possui uma excelente ação adsorvente devido à sua grande área superficial, de cerca de 1400 metros quadrados por grama. Além disso, a superfície interna do sólido possui poros de tamanho progressivamente decrescente que são criados durante o processo de queima e oxidação parciais. A capacidade do carvão ativado de remover impurezas da água e melhorar seu sabor, cor e odor é conhecida desde os tempos antigos (BAIRD, COLIN 2002).

Os egípcios por exemplo já utilizavam este sólido nos potes de armazenamento de água para consumo. Os sítios internos do carvão são grandes o suficiente para adsorção de moléculas orgânicas pequenas, incluindo os solventes clorados.

O carvão vegetal é produzido mediante a queima de um material com alto teor de carbono como madeira, trufa ou lignita, a temperaturas inferiores a 600 graus célsius, por via anaeróbia. Em seguida, ele passa por um processo de oxidação parcial utilizando vapor a temperaturas superiores ou dióxido de carbono. O carvão ativado tem poder de remoção dos compostos orgânicos porém não promovem a sua destruição, sendo necessário a utilização de outro método posterior para eliminação destes materiais (BAIRD, COLIN 2002).

O processo de adsorção com carvão ativado pulverizado (CAP) e carvão ativado granular (CAG) são duas tecnologias muito usadas na remoção de contaminantes emergentes. No primeiro caso, aplica-se o CAP comumente na unidade de mistura rápida para remover também cianotoxinas, agrotóxicos e compostos orgânicos que conferem odor e sabor à água de consumo. Pelos dados expostos na figura 9 do Anexo B, é possível notar que a adição de CAP na unidade de mistura rápida foi baixa <50%. Por outro lado, a mesma figura mostra que o uso do CAP depois à etapa de clarificação resultou em remoção de até 99% de fármacos mesmo com utilização de pequenas doses de adsorvente (2,5 mg.L⁻¹) e tempos de contato exequíveis (2 h).

O uso do CAP apresenta relativo baixo custo e facilidade de implantação em ETAs já construídas e em operação. O CAP é uma técnica complementar de tratamento de água efetiva para a remoção de fármacos e desreguladores endócrinos, principalmente os mais hidrofóbicos, em águas contaminadas (LIMA *et al.*, 2017)

2.4.4 Filtração por membranas

A filtração por membranas é um processo que envolve a utilização de membranas com diferentes tamanhos de poros, podendo ser: microfiltração (MF) de 0,1 a 1 µm, ultrafiltração (UF) de 0,01 a 0,1 µm e nano filtração (NF) de 0,001 a 0,01 µm. São também utilizadas membranas seletivas semipermeáveis, tal como a osmose reversa (OR), que possui tamanho de poro inferior a 0,001 µm (NECTOUX, 2019).

A utilização de membranas filtrantes em sistemas de tratamento de água e esgoto vem crescendo devido ao seu alto desempenho quando comparadas ao sistema tradicional de tratamento. Ainda assim, as interações da membrana com o soluto são bastante complexas devido às propriedades variadas dos contaminantes emergentes que envolvem de massa molar à polaridade/hidrofobicidade/geometria molecular, além do pH e composição dos materiais (NECTOUX, 2019).

Weber *et al.* (2004) investigou a remoção de diferentes DE's, incluindo a estrona, de soluções estoque 100µg L⁻¹, empregando membranas de poliamida e polietersulfona. Segundo o estudo, a membrana de poliamida permitiu remoções acima de 99% para todos os analitos, enquanto a membrana de polietersulfona obteve eficiências de remoção entre 40 a 90%.

Estudos de Lima *et al.* (2014) indicam que eficiências de remoção superiores a 70% (normalmente >90%) podem ser obtidas para diferentes micro contaminantes quando membranas de nano filtração ou osmose reversa foram utilizadas.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma ampla revisão bibliográfica na qual foi exposta a problemática dos contaminantes emergentes e seus efeitos na saúde humana e no meio ambiente. Os contaminantes emergentes podem ser diversos tipos de micro contaminantes, então foi-se reduzido o grupo de estudo aos que são disruptores endócrinos hormonais. Os hormônios foram escolhidos neste estudo pois eles são produzidos e excretados diariamente pelos seres humanos, alcançando facilmente os corpos hídricos. Dentre o grupo de hormônios citados ao longo do texto, estão os naturais estrona (E1), 17 β -estradiol (E2), estriol (E3) e o sintético, 17 α etinilestradiol (EE2).

Os hormônios citados se destacam por possuírem alta estrogenicidade e que mesmo em baixas concentrações podem trazer riscos à saúde humana e de animais. Por serem excretados diariamente, a chance de ocorrência destes hormônios nas vias aquáticas usadas para consumo humano está sendo frequente, o que requer cuidados mais específicos no tratamento desta água de consumo. Esta contaminação se dá principalmente pelos efluentes domésticos que não recebem o tratamento suficiente para eliminação destes contaminantes ou pelo próprio descarte indevido do efluente líquido.

Em seguida foram levantados os tratamentos mais utilizados para eliminação dos contaminante emergentes citados em matrizes de água pelo mundo. Estes tratamentos envolvem tanto os convencionais já utilizados como os tratamentos chamados não convencionais.

Foram realizadas duas análises, a primeira comparativa entre as notas atribuídas aos tratamentos e entre os critérios levantados e seus respectivos pesos, e realizando-se uma média ponderada entre eles e, plotando o gráfico radar, obteve-se os primeiros resultados. Cada parâmetro possui um peso atribuído ao seu valor de 0 a 5, sendo 0 menos importante e 5 mais importante e todas as notas e pesos atribuídos na primeira análise foram baseados na literatura analisada ao longo deste estudo.

Para uma segunda análise mais específica, foram levantados as porcentagens de remoção obtidas para os hormônios citados em relação a cada um dos tratamentos. A análise foi feita com os hormônios naturais estrona (E1), 17 β -estradiol (E2), estriol (E3) e o sintético, 17 α etinilestradiol (EE2) a nível de comparação.

3.1 Análise multicritério

A análise multicritério visa a apresentação de alternativas para a resolução de problemas e utiliza vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar as alternativas prioritárias para o objeto considerado. Essa metodologia é utilizada por diversos autores para a espacialização da análise multicritério em estudos ambientais, com enfoque na priorização de áreas destinadas a restauração florestal. (FRANCO, 2012)

Tomando-se como referência os trabalhos de Farto *et al.* (2021), Gabet *et al.* (2010), Lima *et al.* (2014), Pessoa *et al.* (2014), Viali (2017), Filho *et al.* (2006), Cassiana *et al.* (2017) e Brandão (2000), foram reunidas informações para fundamentar a teoria da problematização dos hormônios e para alimentar e embasar a análise multicritério. Os dados foram tratados no Aplicativo Excel.

3.2 Aplicação da análise multicritério para o problema de tratamento do hormônio

As taxas de remoção obtidas nos trabalhos mostrados nesta pesquisa, em relação aos tratamentos levantados, são dados importantes para avaliação de sua eficácia em relação aos contaminantes citados. Porém, outros parâmetros como custo, empregabilidade, versatilidade, capacidade de ser empregado em larga escala, tempo de contato, confiabilidade, controle bactericida e a conformidade do efluente final com a legislação como um todo, também são critérios que precisam ser levados em consideração para a escolha de um tratamento que atenda às mais diversas demandas da planta.

Com a finalidade de selecionar o método mais eficaz para a remoção dos contaminantes emergentes, foram selecionados os seguintes critérios com seus respectivos pesos na tabela 1.

Tabela 1: Tabela com os pesos atribuídos a cada um dos critérios levantados.

Critérios	Pesos
Porcentagem de remoção (%)	5
Conformidade com a legislação	3
Controle e capacidade bactericida	2
Escala comparativa de custos	4
Empregabilidade	3
Versatilidade	2
Confiabilidade	3
Tempo de contato	2
Escala	4

- a) Porcentagem de remoção (%): é a porcentagem de remoção dos hormônios alcançada por cada um dos tratamentos citados de acordo com as pesquisas utilizadas. Como a finalidade deste estudo é a remoção dos contaminantes emergentes hormonais, este critério é o mais importante para esta análise, recebendo assim peso 5;
- b) Conformidade com a legislação: Se este tratamento deixa o efluente dentro dos padrões de potabilidade da legislação. Como no caso dos hormônios estudados, a legislação brasileira não possui parâmetros de potabilidade, este recebeu peso 3;
- c) Controle e capacidade bactericida: A eficácia na remoção de microrganismos patógenos é um critério muito importante na qualidade da água geral, mas não sendo o foco deste trabalho, recebeu peso 2;
- d) Escala comparativa de custos: o custo de operação e implementação precisa ser levado em consideração, pois se muito elevado, pode inviabilizar o processo. Ao mesmo tempo que os tratamentos de custo mais elevado costumam ser os mais eficientes. Por ser um critério muito importante, mas menos que a porcentagem de remoção, recebeu peso 4;
- e) Empregabilidade: Este critério busca relacionar o quão já comumente aplicado é o tratamento para os tipos de estações que existem hoje no Brasil. Sendo um critério importante, mas não mais que o custo ou a porcentagem de remoção dos contaminantes, recebeu peso 3;

- f) Versatilidade: Busca analisar a quantidade de contaminantes e de poluentes no geral que podem ser removidos efetivamente pelo método escolhido. Porém, não sendo levado em conta apenas os contaminantes emergentes hormonais, recebeu peso 2;
- g) Confiabilidade: Este critério se refere às chances de falha , ou seja, se o sistema é confiável para remover os contaminantes indesejados. Sendo um critério importante, mas não mais que o custo ou a porcentagem de remoção dos contaminantes, recebeu peso 3;
- h) Tempo de contato: É o tempo que o tratamento leva para ser efetivo nos efluentes. Este critério é importante pois pode inviabilizar o processo, porém, para o estudo realizado, as taxas de remoção são parâmetros mais relevantes do que as particularidades do processo. Por isso, levou peso 2;
- i) Escala: Refere-se à possibilidade de ampliação de escala para uma planta de Tratamento de Água em tamanho real, sendo também um parâmetro importante para o estudo realizado, recebeu peso 4.

Foram definidos pesos diferenciados para cada critério analisado. Os pesos foram obtidos através de uma análise crítica da literatura em conjunto com o professor orientador em âmbito semi-quantitativo.

Além disso, foi-se criada uma escala de enquadramento dos tratamentos aos critérios apresentados. Nesta escala, estão descritas notas que variam de zero à dez e avaliam os tratamentos como sem nenhuma efetividade à atendimento total aos critérios. Como mostra a tabela 2 a seguir:

Tabela 2. Tabela com as notas atribuídas a cada categoria.

Notas	Categoria
10	Atende totalmente
7,5	Atende em grande parte
5	Atende parcialmente
2,5	Pouca efetividade
0	Nenhuma efetividade

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise geral

No presente tópico, os tratamentos citados foram analisados de acordo com suas características e atendimento aos critérios estabelecidos como relevantes para este trabalho e, as notas, atribuídas comparativamente entre eles.

Os processos oxidativos avançados obtiveram altas taxas de destruição de hormônios, capacidade de controle bactericida e são capazes de destruir diversos contaminantes e poluentes do meio empregado, ou seja, são capazes de deixar o efluente dentro dos padrões de potabilidade exigidos (para os contaminantes que são empregados). Porém seu alto custo de instalação e operação em larga escala fazem esta tecnologia perder nota em comparação às demais.

Os processos fotocatalíticos obtiveram altas taxas de remoção, e são eficazes na destruição de diversos contaminantes. Porém seu alto custo, dificuldade de serem implementados em larga escala e tempo de remoção tornam estes os processos com menores chances de serem efetivos em uma Estação de Tratamento de Água.

O cloro é um poderoso desinfetante, barato em comparação aos outros tratamentos e fácil de ser aplicado em larga escala e já muito utilizado no tratamento de água. A cloração é o processo que obteve as maiores taxas de remoção porém a um tempo de contato muito elevado, o que pode inviabilizar o processo. Além disso, há a possibilidade de formação de compostos tóxicos como citado no tópico 2.4.2 dependendo do tipo de contaminante presente na água.

Já a filtração por membranas é um processo capaz de produzir água com alto teor de pureza podendo conter partículas iônicas do meio. Tornando este tratamento um dos mais eficazes para a remoção dos contaminantes emergentes. No entanto o custo deste tratamento é elevado e também não promove a destruição dos contaminantes que são removidos, necessitando assim de uma etapa posterior.

O uso de carvão ativado como agente adsorvente é uma metodologia amplamente utilizada na limpeza de água, de baixo custo e fácil implementação em larga escala. Porém em relação aos hormônios, obteve as menores taxas encontradas, além de não destruir os contaminantes, apenas remove-los do meio. Precisando também de etapas posteriores para total destruição destes.

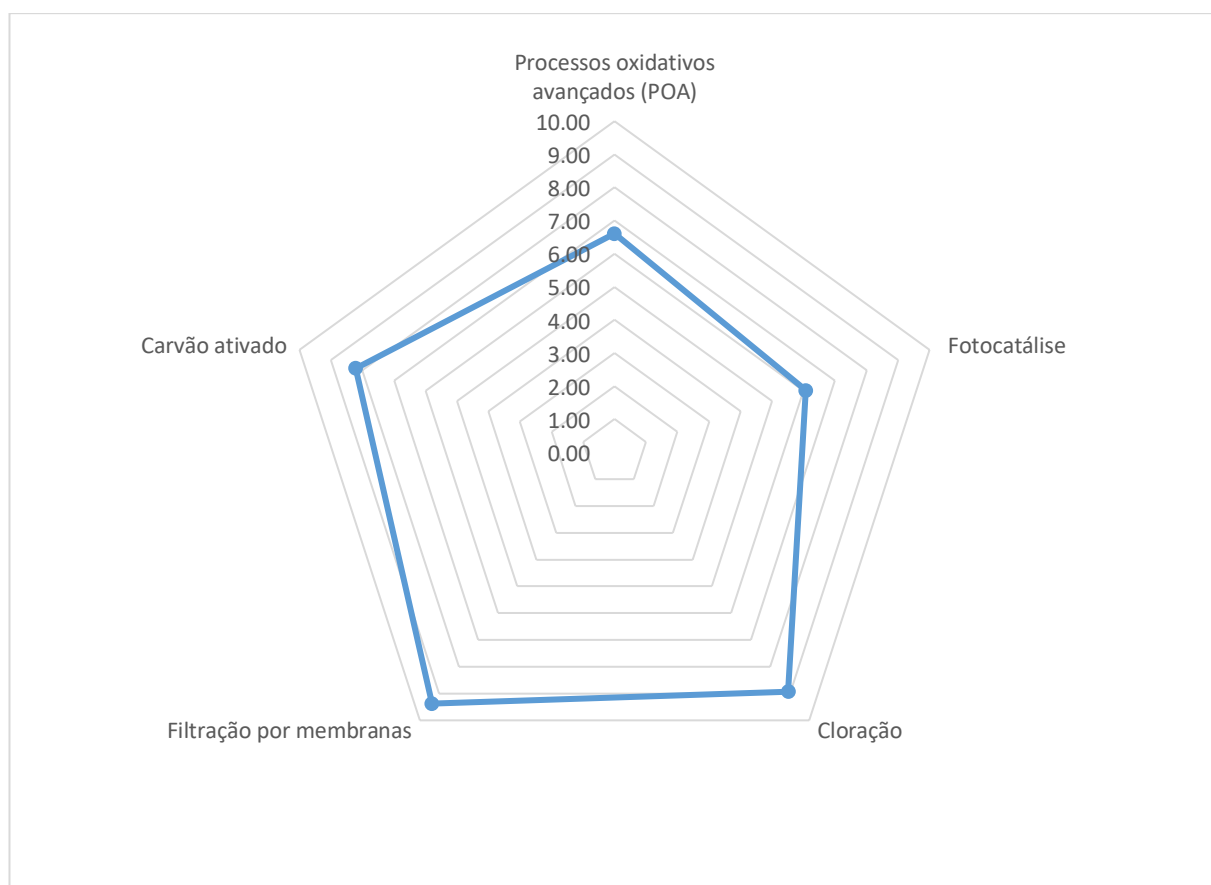
A partir da pesquisa feita com relação aos tratamentos citados, suas características e os pesos atribuídos aos critérios encontrados, chegou-se nos resultados mostrados na tabela 3 abaixo:

Tabela 3. Notas atribuídas para cada um dos tratamentos citados, os pesos de cada critério e a média ponderada de cada tratamento.

Crítérios	Pesos	Processos oxidativos avançados (POA)	Fotocatálise	Cloração	Filtração por membranas	Carvão ativado
Porcentagem de remoção (%)	5	10	7,5	7,5	10	5
Conformidade com legislação e padrões	3	10	10	10	10	7,5
Controle e capacidade bactericida	2	10	10	10	10	7,5
Escala comparativa de custos	4	2,5	2,5	10	7,5	10
Empregabilidade	3	5	5	10	10	10
Versatilidade	2	10	7,5	10	10	10
Confiabilidade	3	5	7,5	7,5	10	7,5
Tempo de contato	2	7,5	5	5	10	7,5
Escalabilidade	4	2,5	2,5	10	10	10
Média ponderada		6,61	6,07	8,93	9,64	8,21

Os tratamentos foram avaliados de acordo com as suas características e nos dados obtidos nas pesquisas da fundamentação teórica. As notas foram atribuídas de forma comparativa entre eles. A médias ponderada obtida a partir das notas atribuídas aos tratamentos e dos pesos foram plotadas em um gráfico radar a fim de obter uma melhor visualização do ranking dos melhores avaliados, como mostra a figura 7 a seguir:

Figura 7. Gráfico radar indicativo dos tratamentos com maiores notas de média ponderada. Plotado no Excel.



Este gráfico mostra em um âmbito geral que os tratamentos com as melhores posições são a filtração por membranas, a cloração e o carvão ativado.

4.2 Análise dos hormônios

Para análise comparativa, foram aplicadas as maiores taxas (%) de remoção encontradas dos hormônios analisados, com ênfase no E1 para cada um dos tratamentos estudados. Foram utilizados dados dos trabalhos de VIALI, 2014 e LIMA *et al*, 2017. Para as análises que não foram encontrados resultados, a lacuna da tabela 4 está preenchida como não determinado (ND).

Segundo o estudo de Viali, para os POAs, o método UV/H₂O₂, para remoção dos hormônios E2 e EE2 obteve taxas de remoção de 90%, enquanto para O₃/UV, obteve de 95 a 100% para E1, E2, E3 e EE2 (média de 97,5% de remoção). Já para O₃/H₂O₂, as taxas de remoção de E2 e E22 chegaram a ser maiores que 99,7 e 98.9%, respectivamente, com PH 7.

Para fotocatálise com TiO₂/UV, obteve-se taxas de remoção de até 100% para E1, E2 e EE2. Foto-fenton, obteve taxas de remoção de 74%, pH 7,47 e TC 6 h a 99% com pH 7,47 e

TC 22h, enquanto para fotólise, 80% de remoção do E2 com comprimento de onda de 290 e 254 nm e tc variando de 6 a 1,5h.

O método do carvão ativado obteve taxas de remoção de 76% E1, 84% E2, 60% E3 e 70 % EE2. Remoção por membranas no estudo de Viali obteve 98% de remoção para E1, E2 e EE2 enquanto no estudo de Lima *et al.* Para membranas, obteve-se até 90% de remoção para E3.

Já para o método da cloração, diferentes resultados foram obtidos com base na concentração do cloro e no tempo de contato deste reagente com o meio a ser tratado. Para Cloro 3,5-3,8 mg/L a TC 24h, foram obtidos até 100% de remoção dos contaminantes E1, E2, E3 e EE2. Estes dados foram coletados dos anexos A e B e estão reunidos na tabela 4 a seguir:

Tabela 4. Porcentagens de remoção alcançadas pelos respectivos processos de tratamento obtidos na literatura.

Hormônios	H2O2/UV	O3/UV	O3/H2O2
E1	ND	97,5	90
E2	90	97,5	100
E3	ND	97,5	90
E22	90	97,5	99,7
Hormônios	TiO2/UV	foto-fenton	fotólise
E1	100	ND	ND
E2	100	99	80
E3	ND	ND	ND
E22	100	ND	ND
Hormônios	Cloração	Filtração por membranas	Carvão ativado
E1	100	98	76
E2	100	98	84
E3	100	98	60
E22	100	90	70

Fonte: Lima *et al.*, 2014 e Viali, 2017

Os resultados obtidos na tabela acima foram plotados nos gráficos (figuras 8, 9 e 10) a seguir para melhor visualização dos resultados.

Figura 8. Métodos H_2O_2/UV , O_3/UV e O_3/H_2O_2 , e suas respectivas porcentagens de remoção dos hormônios.

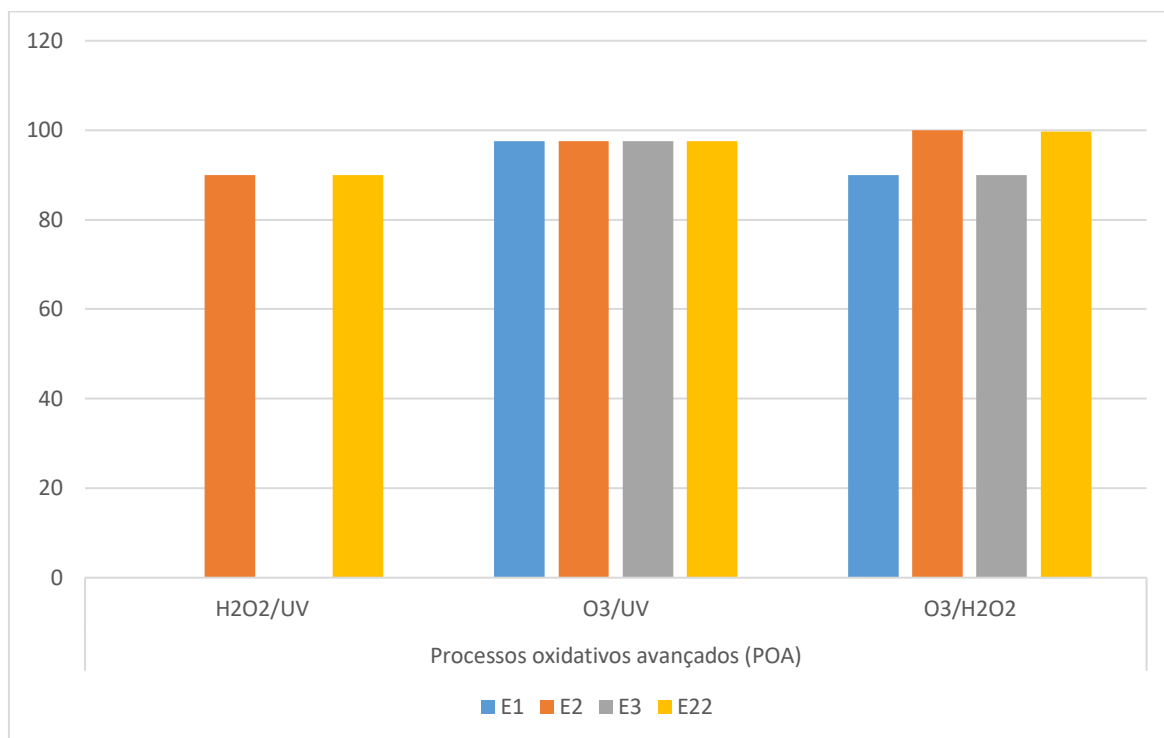


Figura 9. Métodos TiO_2/UV , foto-fenton e fotólise e suas respectivas porcentagens de remoção dos hormônios.

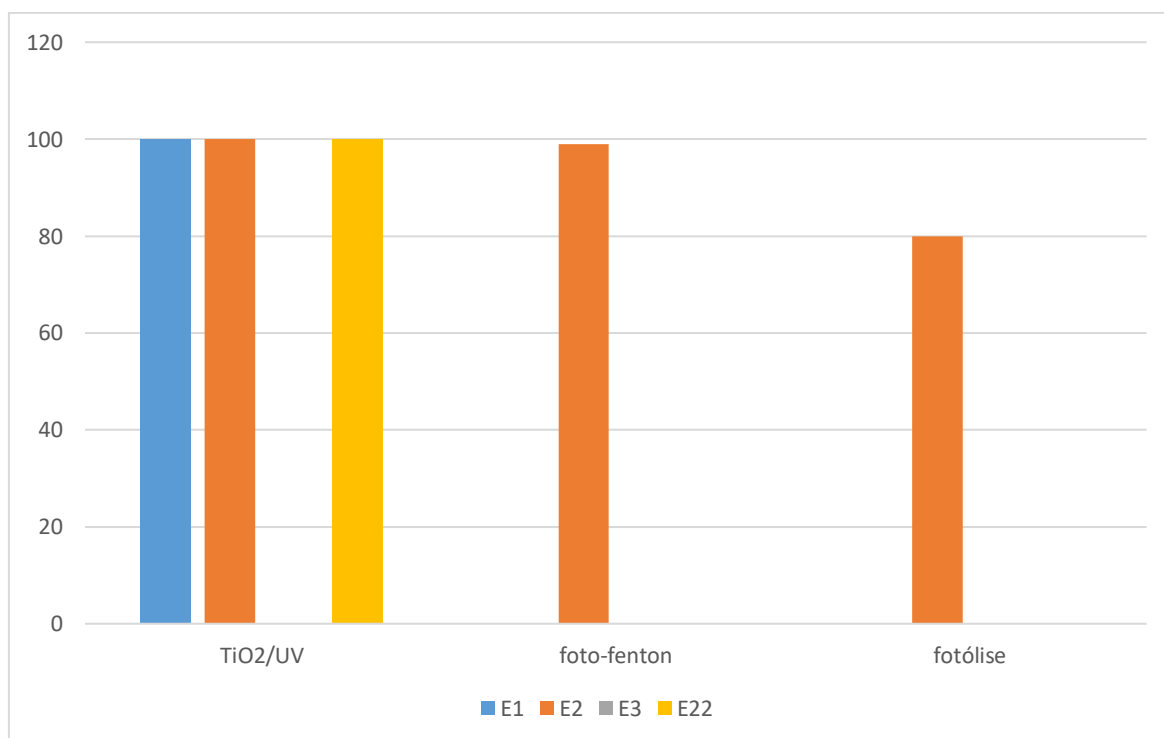
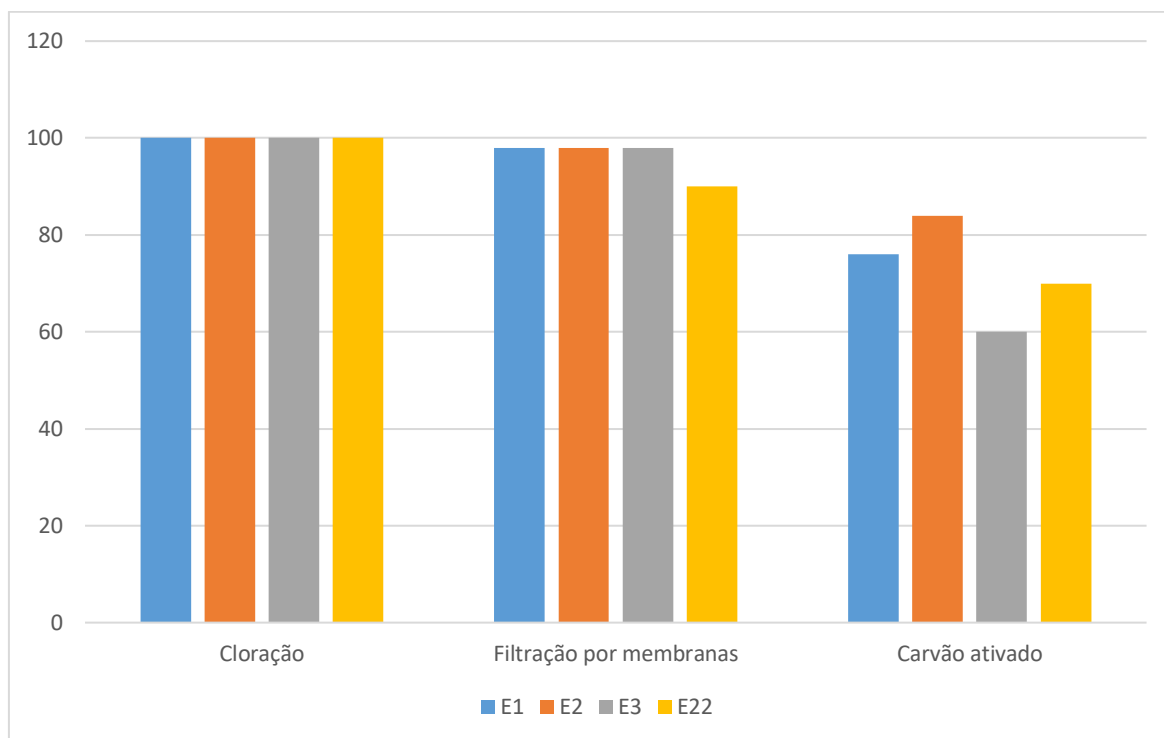


Figura 10. Métodos de cloração, filtração por membranas e carvão ativado e suas respectivas porcentagens de remoção dos hormônios.



Para esta segunda análise, os tratamentos que promoveram maior remoção dos hormônios E1, E2, E3 e EE2 foram cloração, O₃ / UV e a filtração por membranas.

5 CONCLUSÃO

5.1 A importância do estudo realizado

A problemática dos contaminantes emergentes ganhou destaque nas últimas décadas e vem sendo abordada em diferentes aspectos por pesquisadores no mundo todo. Estes compostos, principalmente os DE hormonais podem apresentar algum risco ao ecossistema e aos seres humanos diretamente e estes não estão incluídos nos programas de monitoramento de rotina.

Segundo a literatura apresentada, os hormônios E1, E2, E3, e EE2 foram encontrados em diversas matrizes ambientais pesquisadas, tanto no Brasil quanto em outros países, o que permite inferir que os mesmos são constantemente excretados. De modo geral, pode-se afirmar que, a partir da avaliação realizada neste trabalho, os sistemas convencionais de tratamento de água e esgotos não são suficientes para remover ou destruir estes hormônios que acabam contaminando, mesmo que em pequenas quantidades, a água de consumo humano.

Avaliando o sistema convencional utilizado hoje na água captada e tratada na cidade do Rio de Janeiro, é possível deduzir que, estes precisam ser adaptados para realizar a remoção completa de micropoluentes, a fim de que sejam evitados problemas na saúde de pessoas e animais ocasionados pela presença dessas substâncias. É também de tamanha importância que, para que estes sistemas sejam implementados, haja legislação vigente que regule os níveis destes na água tratada final.

O uso dos sistemas avançados de tratamento, mostraram-se bastante eficientes na remoção de hormônios. Com base na análise multicritério geral realizada, os melhores colocados são a filtração por membranas, a cloração e o carvão ativado. Já na análise dos tratamentos versus a taxa de remoção que eles promoveram, os melhores colocados são a cloração, O_3 / UV e a filtração por membranas.

Avaliando comparativamente as duas análises, observa-se que a remoção por membranas e a cloração obtiveram os melhores resultados e podem ser considerados um dos tratamentos mais promissores para ser acoplado ao tratamento de água convencional para remoção dos hormônios estrógenos citados e outros contaminantes emergentes que estejam presentes na amostra.

A cloração obteve um bom resultado levando-se em consideração a análise de porcentagem de remoção, na qual apresentou as maiores taxas de remoção. As taxas de remoção utilizadas foram as maiores encontradas nos trabalhos analisados, porém, no caso da cloração, essas maiores taxas de até 100% foram obtidas com o tempo de contato muito elevado (24h). Neste caso, este processo pode não ser viável em uma planta de ETA. Como este tratamento já é utilizado, porém em outras condições, é necessário a análise desta água a fim de saber se o método, como é utilizado, é suficiente para a remoção dos hormônios citados. E para isso, é necessário que haja legislação com os parâmetros de potabilidade deles.

Portanto, tendo em vista os resultados obtidos e os questionamentos levantados em relação aos tratamentos melhores colocados, pode-se inferir que a filtração por membranas é o método mais promissor para ser acoplado em uma estação de tratamento de água para remoção dos hormônios estrógenos E1, E2, E3 e EE2.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Em virtude da delimitação do tema e do tempo limitado para execução deste trabalho, não puderam ser realizadas algumas atividades, e estas poderiam ser inspirações para futuros trabalhos. Serão evidenciados abaixo estes pontos:

- Buscar mais referências para complementar eventuais dados faltantes para a análise;
- Aplicar uma metodologia similar para outros tipos de tratamento de efluentes;
- Realizar uma análise hierárquica de processos (AHP) para escolha do melhor tratamento para os contaminantes emergentes hormonais;
- Caso estejam disponíveis dados estatísticos ou estes possam ser levantados em laboratório, poderia ser utilizada a análise de envoltório de dados (*DEA*);

Deve-se evidenciar que esses dados são de difícil conciliação em virtude de serem utilizadas diversas formas de tratamento cada qual realizado com parâmetros químicos e físicos diferentes. Portanto, trabalhos realizados de formas distintas e com suas peculiaridades.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESB; **Principais contaminantes da água**. Portal saneamento básico. 14 de abril de 2021. Disponível em: <https://aesbe.org.br/novo/principais-contaminantes-da-agua/>. Acesso em: 12 de julho de 2022.

ACQUASOLUTION; Porque a análise de fósforo é essencial no tratamento de efluentes. Disponível em: <<https://acquablog.acquasolution.com/porque-analise-de-fosforo-e-essencial-no-tratamento-de-efluentes/>>

Baird, Colin; **Química ambiental**/Colin Baird; trad Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. -2.ed. – Porto Alegre: Bookman, 2002.

BRANDÃO, L. P. Prospects of reusing treated wastewater stabilization ponds for irrigation in the state of Ceará. **Civil Engineering. Federal University of Ceará**, 2000.

Cassiana C. Montagner, Cristiane Vidal, Raphael D Acayaba: Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas no Brasil: Cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, Vol. 40. No. 9, 1094-1110, 2017

Dinâmica Ambiental; Entenda a importância do tratamento de efluentes Industriais. 2013. Disponível em: < <https://www.dinamicambiental.com.br/blog/reciclagem/entenda-importancia-tratamento-efluentes-industriais/>>.

FOXWATER; Nitrogênio Amoniacal (N-NH₃). 02 de agosto de 2018. Disponível em: <<https://www.foxwater.com.br/blog/3/nitrogenio-amoniacoal-n-nh3#:~:text=O%20nitrog%C3%AAnio%20amoniacoal%20faz%20parte,e%20coque%20e%20de%20fertilizantes.>>

FRANCO, R., A., M., HERNANDEZ, F., B., T., MORAES, J., F., L. **O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista**. UNESP, SP. 2012.

Farto, C. D., Athayde Júnior, G. B., Sena, R. F., & Rosenhaim, R. (2021). Contaminantes de preocupação emergente no Brasil na década 2010-2019 – Parte I: ocorrência em diversos ambientes aquáticos. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 18, e6. <https://doi.org/10.21168/reg.v18e6>

FILHO, R. W. R.; VIEIRA, J. C. DE A. E. M. Hormônios sexuais estrógenos: contaminantes bioativos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 817–822, 2006.

FELDKIRCHER, Tiago. **Avaliação de um sistema de tratamento de efluentes de laboratório de análises físico-químicas e microbiológicas**. Lajeado. 2021

Governo do Estado do Rio de Janeiro; O que é o INEA. RJ. Disponível em:<
<http://www.inea.rj.gov.br/o-que-e-o-inea/>

Gabet-Giraud, V., Miège, C., Choubert, J. M., Ruel, S. M., & Coquery, M. (2010). *Occurrence and removal of estrogens and beta blockers by various processes in wastewater treatment plants. Science of The Total Environment*,

GHISELLI, G. **Avaliação da Qualidade das Águas Destinadas ao Abastecimento Público na Região de Campinas : Ocorrência e Determinação dos Interferentes Endócrinos (IE) e Produtos Farmacêuticos e de Higiene Pessoal (PFHP)**. 190 f. Tese (Doutorado em Química Analítica), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2006.

GHISELLI, G.; JARDIM, W. F. Interferentes endócrinos no ambiente. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 695–706, 2007.

Lima, D. R. S., Tonucci, M. C., Libânio, M., & Aquino, S. F. de. *Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrência e técnicas de remoção*. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 2017

Mota, S.; **Introdução à engenharia ambiental**: 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

MOREIRA, V., H.; **Monitoramento da qualidade das águas dos rios Guandu do Sena, Prata do Mendanha e Guandu-Mirim**. RJ; UEZO, 2015.

NECTOUX, A., S.; **Membranas poliméricas para remoção de desreguladores endócrinos em amostras aquosas**. Tese de doutorado, 2019.

Portal da Qualidade das Águas; Indicadores de Qualidade- Índice de qualidade das águas (IQA). Disponível em:< <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>.

Pessoa GP, de Souza NC, Vidal CB, Alves JA, Firmino PI, Nascimento RF, dos Santos AB. Occurrence and removal of estrogens in Brazilian wastewater treatment plants. *Sci Total Environ*. 2014

SANTOS, Paulo. **Dimensionamento hidráulico de uma estação de tratamento de água de ciclo completo com sistemas de mistura rápida e floculação constituídos de trechos de canalizações em conduto forçado**. 2019

SOUZA, A., K., R.; MORASSUTI, C., Y.,;de DEUS, W., B.; **Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores**. UEMS, 2018.

SOUZA, N. COSTA DE. **Avaliação de micropoluentes emergentes em esgotos e águas superficiais**. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil com área de concentração em Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2011.

VESELIND, P. AARNE; Introdução à engenharia ambiental/ P. Aarne Veselind, Susan M. Morgan; revisão técnica Carlos Alberto de Moya Figueira Neto, Lineu Belico dos Reis.- São Paulo: Cengage Learning, 2013.

VIALI, A., M.; Avaliação da eficiência de remoção de hormônios em estações de tratamentos de efluentes. UFJF, 2014.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 4. Lodos ativados. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997

WEBER, S.; GALLENKEMPER, M.; MELIN, T. DOTT, W.; HOLLENDER, J. Efficiency of nanofiltration for the elimination of steroids from water. Water Science and Technology, 2004, 50, 9-14.

7 ANEXO A

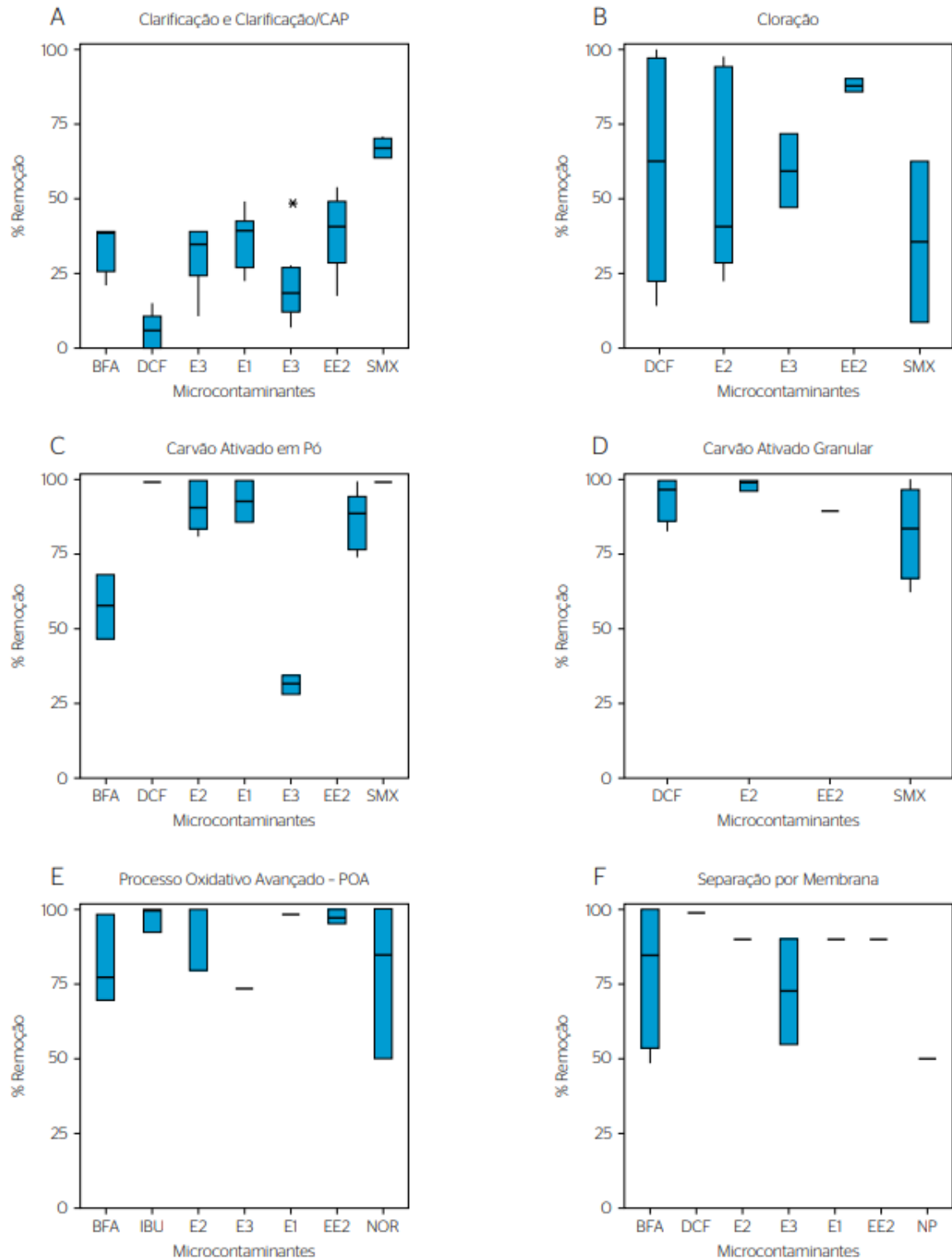
Figura 11. Tabela contendo as porcentagens de remoção dos respectivos hormônios E1, E2, E3 e EE2 obtidos no estudo de Viali, de acordo com o método de tratamento utilizado.

Processo	Estrogênios	Remoção (%)	Observações
UV/H ₂ O ₂	E2, EE2	90%	
	E2, EE2	90%	
TiO ₂ /UV	E1, E2	94%	
	E2	99%	
	E1, E2, EE2	~100%	
Foto-fenton	E2	86,4%	pH 7,47
	E2	98%	pH 3,07
	E2	99%	pH 7,47 e TC 22 h
	E2	74%	pH 7,47 e TC 6 h
O ₃ /UV	E1, E2, E3, EE2	95% - 100%	
O ₃ /H ₂ O ₂	E2	>99,7%	pH 7
	EE2	>98,9%	pH 7
	E2	100%	pH 7
	EE2	99,70%	pH7
Fotólise	E2	80%	λ > 290 nm e TC 6 h
	E2	80%	λ = 254 nm e TC 1,5 h
Carvão Ativado	E1	76%	
	E2	84%	
	E3	60%	
	EE2	70%	
MBR	E1, E2, E3	98%	
Cloração	E1, E2, E3, EE2	~100	Cl ₂ = 3,5 - 3,8mg/L e TC 24 h
	E2, EE2	>99	Cl ₂ = 1 mg/L e TC 1 h
	E1	70%	Cl ₂ = 1 mg/L e TC 15 min
	E2	39%	Cl ₂ = 0,5 mg/L e TC 10 min
	E2	>70%	Cl ₂ = 1 mg/L e TC 30 min
	E2	>70%	Cl ₂ = 2 mg/L e TC 30 min

Fonte: Adaptado de VIALI, 2017.

8 ANEXO B

Figura 12. A figura a seguir apresenta resultados de remoção dos contaminantes emergentes encontrados no estudo de Lima, 2014 para os processos citados.



Fonte: Adaptado de LIMA *et al*, 2014.

9 ANEXO C

Figura 13. Concentrações do hormônio natural Estrona em água superficial, esgoto sanitário e águas subterrâneas reunidas por Viali (2017).

Estrona (E1)			
Matriz Ambiental	Concentração (ng/L)	País	Referência
Água Superficial	1,5	Itália	Ferreira, 2008 <i>apud</i> Baronti <i>et al.</i> , 2000
	0,10 - 4,1	Alemanha	Kuch e Ballschmitter, 2001
	0,2 - 17	Inglaterra	Xiao <i>et al.</i> , 2001
	0,2 - 6,6	Japão	Isobe <i>et al.</i> , 2003
	1,1 - 3,0	França	Cargouët <i>et al.</i> , 2004
	Máxima: 4,6 Média: 0,35	Austria	Hohenblum <i>et al.</i> , 2004
	1,2	EUA	Zuo <i>et al.</i> , 2006
	n.d. - 1,03	Koréia	Shin <i>et al.</i> , 2011
	6 - 13,3	China	Liu <i>et al.</i> , 2011
	n.d.	Brasil	Ternes <i>et al.</i> , 1999
	3.500 - 5.000	Brasil	Ghiselli, 2006
	n.d. - 39	Brasil	Dallegrave, 2011 <i>apud</i> Sodré <i>et al.</i> , 2010
	<16	Brasil	Montagner e Jardim, 2011
	n.d.	Brasil	Froehner, 2011
	n.d.	Brasil	Aquino <i>et al.</i> , 2013 <i>apud</i> Pessoa <i>et al.</i> , 2011
	n.d.	Brasil	Souza, 2011
Esgoto Sanitário	1,4 - 76	Reino Unido	Desbrow <i>et al.</i> , 1998
	47	Holanda	Belfroid <i>et al.</i> , 1999
	27	Alemanha	Ternes <i>et al.</i> , 1999
	52	Itália	Ferreira, 2008 <i>apud</i> Baronti <i>et al.</i> , 2000
	10	Itália	Johnson <i>et al.</i> , 2000
	0,35 - 18	Alemanha	Kuch e Ballschmitter, 2001
	6,4 - 29	Inglaterra	Xiao <i>et al.</i> , 2001
	0,35 - 18	Alemanha	Kuch e Ballschmitter, 2001
	9,9 - 66,4	França	Vulliet <i>et al.</i> , 2007
	0,3 - 41	Inglaterra	Zhang <i>et al.</i> , 2007
	n.d. - 20	Canadá	Dallegrave, 2011 <i>apud</i> Saravanabhavan <i>et al.</i> , 2009
	40	Brasil	Ternes <i>et al.</i> , 1999
	4.830	Brasil	Ghiselli, 2006
	n.d.	Brasil	Montagner e Jardim, 2011
	<48 - 560	Brasil	Aquino <i>et al.</i> , 2013 <i>apud</i> Pessoa <i>et al.</i> , 2011
	<40 - 4.350	Brasil	Souza, 2011
	<LD	Brasil	Froehner, 2011
	n.d.	Brasil	Montagner e Jardim, 2011
	<48-280	Brasil	Aquino <i>et al.</i> , 2013 <i>apud</i> Pessoa <i>et al.</i> , 2011
	<40 - 4.350	Brasil	Souza, 2011
Águas Subterrâneas	máximo de 1,6	Austria	Hohenblum <i>et al.</i> , 2004

Fonte: Adaptado de VIALI, 2017.



Datas e horários baseados no fuso horário (GMT -3:00) em Brasília, Brasil
Sincronizado com o NTP.br e Observatório Nacional (ON)
Certificado de assinatura gerado em 07/12/2022 às 22:23:11 (GMT -3:00)

TCC Yasmin Fernandes Cabral _finalizado (1) (1)

 ID única do documento: #6d5cf44e-5ff8-4805-84d9-536d7c376c2d

Hash do documento original (SHA256): 364528892db2c1b527730214dab0237e4453fcf09c5f994cae69e44316fd3fc7

Este Log é exclusivo ao documento número #6d5cf44e-5ff8-4805-84d9-536d7c376c2d e deve ser considerado parte do mesmo, com os efeitos prescritos nos Termos de Uso.

Assinaturas (4)

- ✓ Michelle Reich (Participante)
Assinou em 07/12/2022 às 19:35:15 (GMT -3:00)
- ✓ Tanise Flores (Participante)
Assinou em 08/12/2022 às 08:04:21 (GMT -3:00)
- ✓ Alex Vazzoler (Participante)
Assinou em 07/12/2022 às 19:50:12 (GMT -3:00)
- ✓ André Leone (Participante)
Assinou em 08/12/2022 às 20:52:23 (GMT -3:00)

Histórico completo

Data e hora

07/12/2022 às 22:50:12
(GMT -3:00)

Evento

Alex Vazzoler (Autenticação: e-mail avazzoler@cetiqt.senai.br; IP: 186.205.17.186) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10º, §2.

07/12/2022 às 22:23:11
(GMT -3:00)

Yasmin Cabral solicitou as assinaturas.



Data e hora

08/12/2022 às 11:04:21
(GMT -3:00)

Evento

Tanise Flores (Autenticação: e-mail tmflores@cetiqt.senai.br; IP: 177.38.98.94) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.

07/12/2022 às 22:35:15
(GMT -3:00)

Michelle Reich (Autenticação: e-mail mreich@cetiqt.senai.br; IP: 177.38.98.94) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.

08/12/2022 às 23:52:23
(GMT -3:00)

André Leone (Autenticação: e-mail andreleone.seas@gmail.com; IP: 201.76.164.178) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.