

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA AMBIENTAL



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA AMBIENTAL**



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Coleção desafios das engenharias: engenharia ambiental

**Diagramação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia ambiental /  
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. -  
Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-799-1

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.991212112>

1. Engenharia ambiental. I. Paniagua, Cleiseano  
Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

O e-book: “Coleção desafios das engenharias: Engenharia ambiental” apresenta onze capítulos de livros que foram divididos em duas temáticas: *i)* recuperação e preservação do meio ambiente em seus diferentes ecossistemas e *ii)* desenvolvimento e aplicação de diferentes técnicas de tratamento para remoção de diferentes contaminantes nas mais diversas matrizes aquáticas e os riscos à saúde pela poluição atmosférica proveniente da combustão de biocombustíveis, madeira e tabaco.

O primeiro tema é constituído por seis capítulos que apresentam estudos bem diversificados. O capítulo I apresenta um estudo de caso em relação à compensação ambiental proveniente da instalação de barragem de terra. No segundo, foi investigado a proposta de implementar um programa de recuperação ecológica dos manguezais. Já o terceiro apresenta um estudo de revisão em relação ao descarte inadequado de medicamentos e as inúmeras consequências aos diferentes ecossistemas e organismos vivos. O quarto capítulo apresentou um estudo que avaliou a abertura de novas fontes de águas termais com o intuito de atrair turistas e possibilitar a geração de emprego e renda a partir da abertura destas novas fontes de águas termais localizados em uma região de Portugal. Já o quinto capítulo apresenta um estudo que avaliou a implantação de um sistema fotovoltaico com o intuito de utilizar uma fonte de energia inesgotável em substituição às hidrelétricas e as térmicas que são extremamente caras e oferecem um enorme impacto ambiental se comparado a solar. Por fim, o capítulo VI se dedicou a correlacionar as mudanças climáticas com aspectos hidrofísicos em relação a morfologia das inúmeras bacias hidrográficas.

O segundo tema apresenta cinco capítulos que investigaram diferentes formas de tratamento de matrizes aquosas e os riscos provenientes da combustão de matéria orgânica. O capítulo VII avaliou a aplicação do tratamento hidrotérmico para reduzir a podridão peduncular, o que resultaria no maior tempo para estar se consumindo o fruto o que levaria a redução no descarte deste alimento. O capítulo VIII avaliou o tratamento de águas residuárias de um laticínio utilizando um Reator de Leito Móvel com Biofilme (MBBR). Já o capítulo IX apresenta um trabalho que teve como finalidade realizar o tratamento de efluentes provenientes do setor agroindustrial dentro do cenário brasileiro. Por outro lado, o capítulo X aborda o emprego de Processos Oxidativos Avançados (POAs) para realizar a remoção de antibióticos e hormônios detectados em águas superficiais e efluentes domiciliares. Por fim, o capítulo XI que traz à tona a poluição atmosférica provenientes da combustão de biocombustíveis, lenha, tabaco e outros e sua relação com os inúmeros problemas de saúde em especial os respiratórios.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando com o intuito de estimular e incentivar os pesquisadores brasileiros e de outros países a publicarem seus trabalhos

com garantia de qualidade e excelência em forma de livros e capítulos de livros que são disponibilizados no site da Editora e em outras plataformas digitais com acesso gratuito.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **COMPENSAÇÃO AMBIENTAL: UM ESTUDO DE CASO NA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA**

Eduardo Antonio Maia Lins  
Karina Moraes de Albuquerque  
Adriane Mendes Vieira Mota  
Andréa Cristina Baltar Barros  
Maria Clara Pestana Calsa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121121>

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **RECUPERAÇÃO ECOLÓGICA DE MANGUEZAIS EM SISTEMA DE CONFINAMENTO CELULAR (GEOCÉLULAS): ESTUDO DE CASO EM ÁREA PORTUÁRIA NO GOLFÃO MARANHENSE, BRASIL**

Flávia Rebelo Mochel  
Ivanilson Luís Alves Fonsêca

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121122>

### **CAPÍTULO 3..... 27**

#### **DESCARTE INCORRETO DE MEDICAMENTOS: MAU HÁBITO SOCIAL, IRRESPONSABILIDADE NA LOGÍSTICA REVERSA, AUSÊNCIA DE FISCALIZAÇÃO/ LEGISLAÇÃO E OS INÚMEROS DANOS AMBIENTAIS**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
Bruno Elias dos Santos Costa  
Anelise dos Santos Mendonça Soares  
Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121123>

### **CAPÍTULO 4..... 38**

#### **ESTUDOS HIDROGEOAMBIENTAIS NUMA REGIÃO DO INTERIOR DE PORTUGAL PARA POTENCIALIZAR O NASCIMENTO DE UMAS NOVAS TERMAS**

André Manuel Machado Fonseca  
Luís Manuel Ferreira Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121124>

### **CAPÍTULO 5..... 52**

#### **IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO – ESTUDO DE CASO**

Eduardo Antonio Maia Lins  
Juliana Viana Machado de Castro  
Adriane Mendes Vieira Mota  
Andréa Cristina Baltar Barros  
Maria Clara Pestana Calsa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121125>

**CAPÍTULO 6.....58**

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS EFEITOS NA HIDROFÍSICA DA MORFOLOGIA QUANTITATIVA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Lazaro Nonato Vasconcellos de Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121126>

**CAPÍTULO 7.....69**

**TRATAMENTO HIDROTÉRMICO NO CONTROLE DE PRODRIDÃO PEDUNCULAR EM MAMÃO PAPAYA**

Gabriela Sales Mangolin

Érica Tiemi Konda

Rafaella Zambelli Baptista

Rosely dos Santos Nascimento

Daniel Terao

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121127>

**CAPÍTULO 8.....77**

**TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE LATICÍNIO EM REATORES DE LEITO MÓVEL COM BIOFILME (MBBR)**

Cíntia Clara Viana

Marcelo Henrique Otenio

Henrique Vieira de Mendonça

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121128>

**CAPÍTULO 9.....93**

**WETLANDS CONSTRUÍDOS COMO SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA APLICADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES AGROINDUSTRIAIS NO BRASIL**

Heloísa Dalla Rosa

Gabriel André Tochetto

Gean Delise Leal Pasquali

Adriana Dervanoski

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121129>

**CAPÍTULO 10.....109**

**TECNOLOGIAS AVANÇADAS PARA A REMOÇÃO DE ANTIBIÓTICOS E HORMÔNIOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS E EFLUENTES DOMÉSTICOS**

Aline Paula Scussel

Gabriel André Tochetto

Adriana Dervanoski

Gean Delise Leal Pasquali

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99121211210>

**CAPÍTULO 11.....126**

**LA CONTAMINACIÓN INTRAMUROS DEL HUMO DE BIOMASA**

Demetrio Soto Carbajal

Andrés Zózimo Ñahui Gaspar

Hipólito Vargas Sacha  
Eden Soto Aparco

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99121211211>

<b>SOBRE O ORGANIZADOR:</b> .....	<b>140</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>141</b>

## TECNOLOGIAS AVANÇADAS PARA A REMOÇÃO DE ANTIBIÓTICOS E HORMÔNIOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS E EFLUENTES DOMÉSTICOS

Data de aceite: 01/11/2021

### **Aline Paula Scussel**

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

### **Gabriel André Tochetto**

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Universidade Federal de Santa Catarina

(UFSC)

<https://orcid.org/0000-0003-1656-505X>

### **Adriana Dervanoski**

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Oregon State University (US)

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

<https://orcid.org/0000-0002-7928-0118>

### **Gean Delise Leal Pasquali**

Universidade de Passo Fundo

Universidade Regional Integrada do Alto

Uruguai

Universidade Federal Santa Catarina

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

<https://orcid.org/0000-0001-5110-6532>

**RESUMO:** Contaminantes emergentes (CEs), como antibióticos e desreguladores endócrinos presentes em águas superficiais e subterrâneas são uma preocupação mundial. São contaminantes que se encontram no ambiente aquático em concentrações traço, não sendo monitorados na saída das estações de tratamento de águas de abastecimento e residuárias. Devido à baixa biodegradabilidade e a capacidade de acumulação no meio ambiente, vêm sendo estudados como causadores

de diversos problemas de saúde, tanto em animais como em seres humanos. Diversos estudos indicam que os antibióticos presentes nas águas têm contribuído para o surgimento de patógenos resistentes a antibióticos. Desreguladores endócrinos são apontados por diferentes estudos como causadores de má formação e feminilização em diversas espécies da biota aquática. Desta forma esse estudo tem por objetivo identificar algumas das principais técnicas de remoção de antibióticos e hormônios estrogênicos de águas e efluentes. Verificou-se que os processos oxidativos avançados (POAs), adsorção e filtração por membranas são tecnologias eficientes na remoção dos CEs.

**PALAVRAS-CHAVE:** Contaminantes emergentes. Adsorção. Membranas. Processos oxidativos.

## 1 | INTRODUÇÃO

A contaminação dos recursos hídricos é uma preocupação antiga e tem sido nas últimas décadas foco de intensas pesquisas. Pesquisas voltadas a minimização dos impactos causados por diferentes contaminantes, que podem ser de origem natural, resultado das características do ambiente ou de origem antropogênica, resultados da ação humana (Moraes e Jordão, 2002; Parida et al., 2021). As substâncias de origem antropogênica encontram-se em sua grande maioria nos efluentes sanitários e industriais, sendo lançadas em corpos receptores devido à dificuldade de remoção

desses compostos pelas estações de tratamento convencionais (Bottoni et al., 2010; Melo et al., 2009; Styszko et al., 2020). Além disso, os compostos emergentes (CEs) podem atingir corpos d'água via lançamento de lixiviados de aterro e drenagens superficiais agrícolas (Lima et al., 2007).

Entre os contaminantes que tem tido destaque encontram-se os CEs. Nesta categoria enquadram-se substâncias orgânicas sintéticas e naturais, que se apresentam em baixas concentrações ( $10^{-3}$  g a  $10^{-12}$  g), o que fez com que sua presença fosse despercebida até pouco tempo, e por isso não regulamentada pelos órgãos governamentais reguladores (Lima et al., 2017; Montagner; Vidal; Acayaba, 2017).

Segundo a Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA) os CEs podem ser classificados como: substâncias persistentes bioacumulativas e tóxicas; contaminantes orgânicos globais; produtos de higiene pessoal e produtos farmacêuticos; perturbadores endócrinos e ainda, mais recentemente, foram incluídas as nanopartículas.

Não se sabe ao certo quais os efeitos do acúmulo destes compostos, nem como eles se comportam no meio ambiente em relação aos seres vivos. Alguns deles podem ser de fácil degradação, outros podem ter um grau de permanência maior e não são facilmente removidos dos efluentes e dos corpos d'água pelos métodos de tratamento convencionais, ocorrendo a bioacumulação (Lima et al., 2017).

Segundo Silva et al. (2016), a partir do momento que se tratou como um grupo potencialmente perigoso ao meio ambiente, os contaminantes emergentes estão sendo estudados com mais empenho. O objetivo é entender como se distribuem, seu destino final e quais efeitos causados ao meio ambiente.

De acordo com Montagner, Vidal e Acayaba (2017), os contaminantes poderão ser incluídos na legislação cabível após os resultados obtidos em estudos de ecotoxicidade. Estabelecendo claramente quais são os efeitos à saúde humana, o potencial de bioacumulação, como ocorre o transporte e qual será o destino nos diferentes compartimentos ambientais, e a concentração que está sendo lançado no ambiente.

Já se sabe que os fármacos podem causar diversos efeitos prejudiciais à biota aquática, podendo propiciar diversos danos em seus órgãos e estrutura, em seu metabolismo e até mesmo alterações sexuais (Bergman et al., 2012; Santos, 2011). Diversos estudos realizados expondo microrganismos e animais a fármacos, em laboratório, comprovaram efeitos de toxicidade, genotoxicidade e alterações endócrinas. Além disso, evidências de bactérias patogênicas resistentes foram relatadas (Lima et al., 2007; Parida et al., 2021; Rath et al., 2021).

Devido aos potenciais efeitos tóxicos ao meio ambiente e a saúde humana, destaca-se a necessidade de estudar de forma efetiva quais as principais técnicas que podem minimizar estes efeitos nocivos. Assim, justifica-se estudos voltados ao entendimento desta problemática, a fim de propor soluções efetivas para a remoção destes compostos considerados contaminantes emergentes. Sob este contexto, o presente trabalho buscará

apresentar um estudo de revisão bibliográfica, voltado as técnicas de remoção dos fármacos das categorias antibióticos e desreguladores endócrinos presentes em águas superficiais e efluentes.

## 2 | OS CONTAMINANTES EMERGENTES

A presença de produtos químicos conhecidos como contaminantes emergentes em águas residuais e superficiais são conhecidas e representam uma ameaça potencial para as funções ecológicas dos corpos receptores (Styszko et al., 2020).

O termo “contaminantes emergentes” é utilizado para definir os riscos ambientais associados à descarga de novos poluentes com consequências imprevisíveis, porém com risco de danos graves (Rathi et al., 2021). Grandes avanços na identificação de contaminantes orgânicos de efluentes industriais incluem a criação de novos métodos analíticos para identificar novos contaminantes encontrados (Rathi et al., 2021).

De acordo com Styzko et al. (2020), os contaminantes são inseridos nos sistemas de água por diversas fontes, como esgoto, indústria, agricultura, lixiviado de aterro, etc. Trabalhos anteriores, mencionados pelo autor, indicaram que o efluente proveniente das estações de tratamento de águas residuais é um dos principais responsáveis pela descarga dos mesmos nos meios aquáticos.

Rathi et al. (2021) mostram que a principal fonte de contaminação por esses contaminantes é proveniente da indústria farmacêutica, produtos usados para higiene pessoal, despejos da produção de fertilizantes, hormônios, antibióticos, pesticidas, produtos de limpeza, cosmético e produtos de beleza, compostos fluorados, entre outros.

A maior preocupação quanto aos contaminantes é o que eles causam no organismo humano e no organismo da fauna aquática. A desregulação endócrina já foi observada e atribuída a essas substâncias, como por exemplo alquilfenóis, pesticidas, ftalatos, policlorados de bifenilas, bisfenol A, substâncias farmacêuticas, substâncias naturais como, estrogênios naturais e fitoestrogênios (Bila e Dezotti, 2007; Parida et al., 2021).

Muitos problemas são relatados na literatura por causa dessas substâncias. Visando um controle das mesmas, a União Européia e a USEPA, que são influências importantes para todo mundo, listaram diversas dessas substâncias para monitoramento, que podem ser consideradas na legislação como parâmetros de potabilidade de água em alguns anos. Assim, existe uma preocupação contínua com relação a presença destes compostos e seus efeitos a longo prazo.

## 3 | FÁRMACOS

Os fármacos prescritos ou não, podem ser consumidos em casa, como também podem ser medicamentos que são aplicados em clínicas e hospitais (Heberer, 2002). Somente uma parcela das substâncias são absorvidas pelo organismo. Mulroy (2001)



É interessante notar, a partir da Figura 1, que o destino é majoritariamente percorrido para os ambientes aquáticos superficiais, exceto quando a contaminação percola pelo solo, encontrando as águas subterrâneas. A fauna aquática é a mais atingida pela contaminação. Porém, as águas superficiais que são utilizadas para consumo humano, e passam apenas pelos tratamentos convencionais, também estão sujeitas a contaminação. Com base nestes estudos, surgiu na última década uma preocupação com relação aos efeitos destas substâncias nos organismos vivos a longo prazo.

Fonseca et al. (2021), encontraram nas águas estuárias da região do Tejo em Portugal, 66 resíduos farmacêuticos presentes nas águas superficiais e em algumas espécies da fauna aquática local. Dezesesseis dessas substâncias, de sete classes terapêuticas diferentes, com concentrações ambientais que variaram de 42 a 1762 ng/L, demonstrando que há um elevado risco ambiental de contaminação ecológica, principalmente devido a detecção do antibiótico amoxicilina e dos fármacos losartana e irbesartana.

### **3.1 Antibióticos**

Essa classe terapêutica é uma das mais usadas e conhecidas, levando em consideração que os antimicrobianos são substâncias tanto de origem natural quanto sintética (Mota et al., 2010). Segundo Kümmerer (2009), há mais de 250 substâncias químicas diferentes que estão catalogadas como antibióticos para uso na saúde humana e animal em todo o mundo. A partir da análise de dados da literatura científica e sistemas de vigilância nacionais e regionais de 71 países, o uso de antibióticos está crescendo constantemente em todo o mundo, ressaltando que o aumento se deve, principalmente, ao aumento da demanda em países em desenvolvimento (Gelband et al., 2015).

Bergman et al. (2012) evidenciam que os trabalhos disponíveis na literatura, em sua maioria, estudam os efeitos dos antibióticos presentes nos recursos hídricos. Os mesmos apresentam altos riscos ao ecossistema e a saúde humana, a médio e longo prazos, principalmente contribuindo no aumento dos patógenos resistentes.

O que muito preocupa os estudiosos quanto a falta de controle dessas substâncias no ambiente, é o surgimento de microrganismos patogênicos resistentes a antibióticos, são sabendo ao certo quais as consequências disso para o ecossistema (Lima et al., 2014).

A resistência das bactérias aos antibióticos tornou-se uma preocupação mundial. Pessoas infectadas por bactérias resistentes aos medicamentos são mais propensas a terem quadros clínicos piores e, possivelmente, virem à óbito. Isso acarreta também um problema social, pois serão consumidos mais recursos hospitalares e públicos para o tratamento das mesmas (OPAS, 2021).

Rodriguez-Mozaz et al. (2020) realizaram um amplo estudo de monitoramento de antibióticos presentes em efluentes já tratados, sendo monitoradas 53 substâncias de 10 classes distintas. As amostras foram coletadas em ETEs de 7 países sendo eles: Portugal, Espanha, Chipre, Irlanda, Alemanha, Finlândia e Noruega. De acordo com os autores, as

ETEs operavam em conformidade com os padrões estabelecidos pela União Européia (UE), porém, 17 das 53 substâncias foram detectadas. As concentrações variaram de 3 g/L até 5 ng/L (Rodriguez-Mozaz et al., 2020).

### 3.2 Desreguladores endócrinos

Os estudos sobre os efeitos dos desreguladores endócrinos, ou perturbadores endócrinos estão cada vez mais presentes na literatura. O efeito dessas substâncias no organismo dos seres vivos pode afetar o crescimento, a saúde e a reprodução dos mesmos. São substâncias que afetam diretamente os órgãos endócrinos, ou seja, que são esponsáveis pela produção e secreção de hormônios (Bila e Dezotti, 2007; García et al., 2020).

De acordo com a União Europeia (1991) “um desregulador endócrino é uma substância ou mistura exógena que altera as funções do sistema endócrino e, conseqüentemente, causa efeitos adversos à saúde num organismo intacto, ou na sua descendência, ou (sub) populações”.

Dentre inúmeras substâncias catalogadas, para este trabalho, o foco de interesse são os desreguladores endócrinos que estão presentes em produtos farmacêuticos, como as pílulas anticoncepcionais e os hormônios estrogênicos sintéticos. Serão considerados, também, os hormônios que são produzidos naturalmente pelos corpos de animais e seres humanos, por estarem associados, na maioria das vezes.

Rodgers-Gray et al. (2001), avaliaram uma anomalia nas gônadas da espécie de peixe *Rutilus rutilus*, a qual foi exposta a efluente tratado proveniente de uma ETE do Reino Unido. Foi constatado que houve uma feminilização dos dutos reprodutivos nos peixes masculinos e aumento dos níveis de vitelogenina (VTG), que é uma proteína plasmática dependente de estrogênio específica para fêmeas, relacionado a presença de estrogênios nesse efluente.

Guellard et al. (2020) testaram a exposição da espécie de peixes da espécie Góbio Redondo a uma dose supra-fisiológica de  $17\beta$ -estradiol, um estrogênio natural, a curto prazo. Os resultados demonstraram que, mesmo sendo a curto prazo, houve alterações na resposta fisiológica nas gônadas dos peixes, nas fases estudadas de pré-desova, desova, desova tardia e não desova, indicando que este estrogênio afeta os peixes na natureza.

Devido a diversos problemas relatados por autores mundialmente, Tang et al. (2021), fizeram uma análise da concentração média de  $17\alpha$ -etinilestradiol, em águas superficiais em todo o mundo, tendo como resultado, a classificação dos países em ordem decrescente: Vietnã (27,7 ng/L), Camboja (22,1 ng/L), China (21,5 ng/L), Laos (21,1 ng/L), Brasil (13,6 ng/L), Argentina (9,6 ng/L), Kuwait (9,5 ng/L), Tailândia (8,8 ng/L), Indonésia (7,6 ng/L) e Portugal (6,6 ng/L). Alguns países da Europa incidiram concentrações de 29 a 187 vezes o padrão de qualidade estabelecido.

## 4 | TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS PARA O TRATAMENTO DE CES

No Brasil, a resolução n° 357 do Conama de 2005 é que delibera sobre os padrões de qualidade e parâmetros ambientais para o enquadramento dos corpos de água em suas respectivas classes, também estabelece condições e padrões de lançamentos de efluentes. Esta resolução foi atualizada pela Resolução Conama m° 430 de 2011, sendo que suas alterações foram basicamente voltadas aos padrões de lançamento de efluentes, no entanto deve-se destacar que nenhum parâmetro relacionado a CEs foi inclusa nas alterações.

As águas superficiais são as mais utilizadas para o despejo de efluentes em todo o mundo, ao mesmo tempo que são as mais utilizadas para abastecimento de água para diversos fins (Masters e Ela, 2008). Problemas causados por fontes pontuais de contaminação por efluente despejado sem tratamento adequado, tanto sanitário quanto industrial, são demasiadamente preocupantes. Porém, as fontes de poluição por cargas difusas de lançamento de efluentes são muito mais difíceis de gerir, muitas vezes sendo desprezadas até mesmo por países mais desenvolvidos, já que nem sempre é possível medir, controlar ou identificar as mesmas (Biswas et al., 2009).

Lima et al. (2014) realizaram uma pesquisa de remoção dos contaminantes sulfametoxazol, diclofenaco, bisfenol-A, etinilestradiol, estrona e estriol, em águas naturais de baixa e alta turbidez, após os processos de coagulação, floculação e sedimentação. Os coagulantes utilizados foram cloreto de polialumínio e sulfato de alumínio, os resultados obtidos foram classificados como de baixa remoção e não eficiente, sendo os melhores: 40% estrona, 39% estradiol e 35% etinilestradiol, utilizando o cloreto de polialumínio, e 71 % de sulfametoxazol utilizando o sulfato de alumínio.

Adams et al. (2002) avaliaram a remoção de sete substâncias antibacterianas: carbadox, sulfaclopiridazina, sulfadimetoxina, sulfamerazina, sulfametazina, sulfatiazol, trimetoprim, de águas naturais do Rio Missouri, por diversos métodos de tratamento de água, inclusive pelo convencional de coagulação, floculação e sedimentação. Os coagulantes utilizados foram sulfato de alumínio e sulfato férrico, porém, os resultados indicaram baixa eficiência (0 a 5%). Choi et al. (2006) testaram diferentes métodos de remoção de bisfenol-A e nonilfenol, inclusive por clarificação, utilizando sulfato de alumínio, cloreto de polialumínio e sulfato de ferro como coagulantes. Os resultados obtidos ficaram entre 0 e 7% de remoção.

Já a pesquisa realizada em Galiza na Espanha, por Carballa et al. (2004), avaliou a eficiência de remoção de várias substâncias, sendo as de maior interesse dois anti-inflamatórios (ibuprofeno e naproxeno), dois hormônios estrogênicos naturais (estrona e 17  $\beta$ -estradiol) e um antibiótico (sulfametoxazol), pois foram identificadas em quantidades maiores. A remoção final foi de 60% para o sulfametoxazol, de 40-65% para os anti-inflamatórios e em torno de 65% de remoção para o 17  $\beta$ -estradiol. As concentrações de

estrona aumentaram devido a oxidação causada ao 17  $\beta$ -estradiol no tanque de aeração.

## 5 | PROCESSOS AVANÇADOS NA REMOÇÃO DE CES

### 5.1 POAs

Os processos oxidativos avançados são técnicas utilizadas para a degradação e/ou mineralização de compostos refratários. O princípio do bom funcionamento desses métodos é a geração de radicais livres reativos, principalmente o radical hidroxil ( $\text{OH}^*$ ), que possui características altamente oxidantes, apresentando potencial de oxidação de 2,8 V, sendo muito utilizados para a remoção ou degradação de substâncias não biodegradáveis (Araújo et al., 2016; Nascimento et al., 2017).

A pesquisa realizada por Witte et al. (2009) buscaram avaliar a remoção da substância ciprofloxacina utilizando um reator com colunas de bolhas, com três valores e pH diferentes (3, 7 e 11) pelos processos de ozonização e  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ . O melhor resultado obtido foi a remoção de 95% de ciprofloxacina no pH ajustado em 7, com tempo de contato de 65-70 minutos.

Jung et al. (2012) buscaram avaliar o comportamento do antibiótico ampicilina sob efeito da ozonização. Como resultado, a ampicilina foi removida em todas as condições estabelecidas, 35-42% de COT foi mineralizado em 90 minutos de ozonização e houve 80% de remoção da DQO em pH 9. Em pH 5, houve maior toxicidade dos subprodutos gerados da reação e uma menor biodegradabilidade, sugerindo que são necessárias condições de pH mais altas para a remoção da substância.

Yin et al. (2017) trazem uma proposta de utilização de óxidos de grafeno (OG) como catalizador do processo de remoção do antibiótico sulfametoxazol. Observou 62% de remoção em um processo apenas com  $\text{O}_3$ , cerca de 83% combinando  $\text{O}_3$  com OG reduzido, 95% quando da utilização combinando o  $\text{O}_3$  com OG dopado com nitrogênio e 99% de remoção quando realizou-se o consórcio com OG dopado com fósforo.

Lu et al. (2019) também estudaram a ozonização catalítica, utilizando  $\text{MgMnO}_3$  como catalisador bifuncional e radiação UV para desinfecção. Os antibióticos que foram avaliadas nesse estudo foram sulfametoxazol (50 mg/L), tetraciclina (50 mg/L), ciprofloxacina (25 mg/L) e trimetoprima (50 mg/L). Os resultados obtidos foram bastante interessantes, sendo 94,7% para sulfametoxazol, 88,4% para tetraciclina, 97,8% para ciprofloxacina e 76,3% para trimetoprima. O estudo ainda traz que a porcentagem de aumento de eficiência na remoção causada pelo catalisador que variou de 30,3% até 47,6%, para cada tipo de antibiótico.

Bautitz e Nogueira (2007) avaliaram a degradação de tetraciclina pelo processo de foto-Fenton, utilizando luz negra e irradiação solar, buscando entender qual a influência da fonte de ferro, do  $\text{H}_2\text{O}_2$  e a matriz. Utilizando três diferentes meios, sendo água pura,

água superficial e efluente de ETE. O processo metodológico foi desenvolvido utilizando como fonte de ferro o ferrioxalato de potássio e nitrato de ferro, o meio ácido foi preparado com ácido sulfúrico, e os efluentes foram coletados em cidades brasileiras. Os resultados obtidos foram bem satisfatórios, obtendo a degradação total da tetraciclina em 1 min de irradiação. Sob a luz negra, o nitrato de ferro tem maior eficiência, e na irradiação solar o ferrioxalato foi mais eficiente. As amostras de água pura e água superficial não tiveram diferença nos resultados pelos procedimentos testados, indicando que não houve nenhum tipo de interferência, porém, na amostra de efluente, obtiveram menor resultado utilizando luz negra e  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  (Bautitz e Nogueira, 2007).

Frontistis et al. (2011) utilizaram a tecnologia de foto-Fenton para avaliar a remoção do estrogênio 17 $\alpha$ -etinilestradiol de efluente de tratamento secundário. A substância foi completamente oxidada entre 5 e 10 minutos de irradiação, com pH da solução em 3, a concentração de 5 mg/L de  $\text{Fe}^{2+}$ , entre 4,3 e 15 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e concentração de 200 g/L de 17 $\alpha$ -etinilestradiol. Dois hormônios naturais, estrona e 17 $\beta$ - estradiol, também foram testados e seus valores de reatividade foram quase iguais a 17 $\alpha$ -etinilestradiol.

Yamal-Turbay et al. (2013) investigaram a oxidação de tetraciclina em solução aquosa pelo processo de foto-Fenton, o resultado foi de remoção total da tetraciclina e 77% de mineralização de COT da solução no período de tempo estudado dessa reação.

Novos estudos como o de Wang et al. (2019) trazem uma proposta diferente para os processos de foto-Fenton, que POAs baseados em sulfatos possuem potencial de redução igual ou superior ao método tradicional, há uma melhor seletividade, possui meia vida mais longa e pode-se trabalhar com ampla faixa de pH. Assim, esse estudo realizou a síntese controlável da microesfera porosa de óxido de manganês (MnOx) para ser utilizada como catalisador da reação. Obtendo pelo copolímero tri-bloco anfifílico P123 o direcionamento da estrutura da mesma, resultando em diversos produtos. O  $\text{H}_2\text{O}_2$  foi substituído pelo peroximonossulfato (PMS) como agente oxidante. Os antibióticos testados nesse estudo são do grupo químico das fluoroquinolonas: Os resultados obtidos indicam que 74,5% da ofloxacina, 79,4% da ciprofloxacina, 72,3% da enrofloxacina e 81,9% da levofloxacina podem ser degradados por P2-Mn $_3$ O $_4$  em 10 minutos, sob radiação solar simulada, e sob radiação UV, 99,5% de ofloxacina, 97,8% de ciprofloxacina, 99,1% de enrofloxacina e 98,5% de levofloxacina (Wang et al., 2019).

## 5.2 Adsorção

O processo de adsorção é descrito por Ruthven (1984) como sendo uma operação de transferência de massa, onde um ou mais constituintes, que são chamados adsorvatos ou adsorbatos, são transferidos de uma fase fluida para a superfície de uma fase sólida, chamada adsorvente. As moléculas que estão presentes na fase fluida são atraídas para a superfície, ou interior do material adsorvente devido à existência de forças de superfícies não balanceadas, sendo que o adsorbato fica retido no sólido (Vaclavik, 2010).

Li e Zhang (2010) propuseram um estudo, cujos objetivos foram: medir a eficiência de remoção de 11 antibióticos de seis classes. Duas séries de experimentos em lote, utilizando 5 reatores em batelada, foram conduzidos com amostras de efluente de tanques de aeração de duas estações de águas residuais, uma tratando esgoto salino e outra tratando esgoto de água doce, com tempos de retenção hidráulica de 10 e 17 h e tempo de retenção de lodo de 12 e 7 dias, respectivamente. As duas ETEs adotaram o processo de lodo ativado anóxico-aeróbio. A cefalexina e as duas sulfonamidas foram removidas predominantemente por biodegradação nos dois sistemas. Ampicilina, norfloxacin, iprofloxacin, ofloxacin, tetraciclina, roxitromicina e trimetoprima foram removidos principalmente por adsorção. A eritromicina não pode ser removida.

Rivera-Utrilla et al. (2010) estudaram a eficácia da ozonização aliada com carvão ativado granular para a remoção do antibiótico tinidazol. Comparando os resultados com a utilização de CAG, somente, o processo combinado demonstrou maior eficácia, como um menor tempo de contato entre os fluxos de tinidazol e O<sub>3</sub> antes de entrar na coluna de carvão ativado, permitindo que um volume muito maior de solução de tinidazol fosse tratado, reduzindo em 75% a quantidade de carvão ativado necessária por unidade de volume de água tratada. Porém, a matéria orgânica presente nos efluentes diminuiu consideravelmente a adsorção do contaminante no carvão ativado. Além disso, a presença de CAG durante a ozonização do tinidazol, aumentou a taxa de remoção, reduziu a toxicidade do subproduto da oxidação e reduziu a concentração de carbono orgânico total (Rivera-Utrilla, 2010).

Zhang et al. (2016) estudaram a remoção de 28 substâncias antibióticas utilizando carvão ativado em pó (CAP), utilizando água proveniente de uma ETA, adicionando os contaminantes posteriormente, em concentrações de 5000 ng/L. O resultado obtido nesse experimento foi de remoção de até 99,9% na água deionizada e 99,6% na água superficial nas condições ótimas com dosagem de CAP de 20 mg/L e tempo de contato de 120 minutos.

O estudo realizado por Tagliavini et al. (2017), avaliou os mecanismos de remoção e interação de estrona, estradiol, progesterona e testosterona, para diferentes tipos de carvão ativado esférico baseado em polímero (CAEBP). Averiguaram que a proporção entre o tamanho do contaminante (~0,8 nm) e o tamanho médio dos poros (1–2 nm) provou ser ideal para a adsorção do micropoluinte e a remoção de ácido húmico. Como resultado, obtiveram remoção superior a 90% um período de tempo mais rápido do que a utilização de CAG.

De Rezende et al. (2019) desenvolveram um estudo que avaliou a capacidade de remoção de Sulfametoxazol de sistemas aquosos utilizando argila de Pirangi (PIR) do estado de Sergipe (Brasil), em efluente sintético. Amostras de argila de pirangi foram tratadas a 100, 400 e 600 °C e modificadas com surfactante catiônico hexadeciltrimetilamônio (HDTMA). O processo de modificação utilizado baseou-se na organização estratificada da argila mineral, permitindo a intercalação do surfactante catiônico, proporcionando caráter hidrofóbico à argila. A argila de Pirangi tratada a 100 °C e modificada com HDTMA

apresentou capacidade de adsorção de 27,3 mg/g com remoção de 90% do sulfametoxazol em 100 min em pH 6. As moléculas de surfactante foram incorporadas na superfície da argila, demonstrando potencial para uso em filtros de ETA.

Conde-Cid et al. (2021) testaram a eficácia de nanopartículas de ferro verde zero valente (gnZVIs) para a remoção do antibiótico sulfadiazina (SDZ) da água por adsorção e redução, inclusive como catalisador nos processos de Fenton e foto-Fenton. Os gnZVIs foram sintetizados utilizando extratos de dois produtos naturais, folhas de chá preto e resíduos da poda dos vinhedos. Os resultados obtidos indicam que os gnZVIs foram capazes de remover até 58% de SDZ por meio de adsorção e até 69% por meio de adsorção mais redução. Além disso, gnZVIs mostrou forte eficácia como um catalisador para as reações de Fenton e foto-Fenton, com remoção completa em 8 h e 5 min, respectivamente.

### 5.3 Filtração por membranas

Os processos de separação por membranas funcionam como uma barreira seletiva, buscando sempre aperfeiçoar os métodos de fabricação, para que tenham sempre mais características de membranas naturais ou biológicas. Esse método não gera nenhuma reação química, as partículas simplesmente ficam retidas na membrana (Schneider e Tsutya, 2001).

Existem diversos tipos de membrana disponíveis no mercado e diversas outras são desenvolvidas ao passo que avançam os estudos. Os processos de separação que foram avaliados neste trabalho foram a microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa para a remoção de hormônios estrogênicos e substâncias antibióticas. No caso da microfiltração as partículas com tamanho entre 0,1 e 10  $\mu\text{m}$  ficam retidas como por exemplo as partículas suspensas, bactérias, algas e turbidez (Schneider e Tsutya, 2001). No método de ultrafiltração as partículas que ficam retidas têm entre 0,1 e 0,01  $\mu\text{m}$ , por exemplo os vírus, colóides, macromoléculas, enquanto a nanofiltração retém partículas com tamanho entre 0,01 e 0,001  $\mu\text{m}$  compostos orgânicos e íons bivalentes (Vijya et al., 2013).

Chang et al. (2002) realizaram estudo sobre a adsorção do estrogênio natural estrona em uma membrana de microfiltração de fibra oca. Pode-se perceber, que a membrana reteve uma grande quantidade de estrona, porém, a eficiência de filtração diminuía conforme aumentava a quantidade de estrona acumulada na membrana.

Li, Li e Wang (2004) elaboraram um sistema de osmose reversa e ultrafiltração para tratar um efluente proveniente de uma indústria farmacêutica, contendo o antibiótico oxitetraciclina, investigando também se era possível a recuperação da substância. Inicialmente as amostras do efluente continham oxitetraciclina residual de cerca de 1.000 mg/L e um COD de cerca de 10.000 mg/L. Pelo método de osmose reversa o conteúdo orgânico em seu permeado foi diminuído de 10.000 mg/L para menos de 200 mg/L, enquanto a oxitetraciclina foi reduzido de mais de 1000 mg/L para menos de 80 mg/L (membrana 99%).

Koyuncu et al. (2008) investigaram a remoção de várias substâncias antibióticas e hormônios pelo método de nanofiltração utilizando soluções mistas, buscando a melhor semelhança com um efluente real. Os resultados mais interessantes obtidos com esse experimento: em torno de 80% de adsorção de clorotetraciclina, 50% de adsorção de doxiciclina, já para os hormônios a adsorção foi mais baixa, entre 22 e 46%.

A eficácia dos processos combinados de nanofiltração e desinfecção foi estudada por Ramli et al. (2015), fazendo uma comparação entre a pré-desinfecção e a pós-desinfecção quando utilizadas junto com a nanofiltração. Quatro tipos de sulfonamida (sulfanilamida, sulfadiazina, sulfametoxazol e sulfadimetoxina) foram escolhidos como contaminantes, o hipoclorito de sódio foi utilizado como desinfetante. O sistema de nanofiltração com pré-desinfecção apresentou maior eficiência de remoção de sulfonamida em comparação com o sistema de nanofiltração e pós-cloração, sendo > 99,5% e > 89,5%, respectivamente. Notou-se, também, que o fluxo do sistema de alimentação tratado era consideravelmente maior do que no sistema de alimentação não tratado, o que foi ocasionado por um dano na membrana causado pelo cloro (Ramili, et al., 2015).

Liu et al. (2017) propuseram um estudo avaliando a eficiência de remoção da tetraciclina, utilizando nanomateriais de carbono, por diferentes estruturas e funcionalidades. Os materiais carbônicos demonstraram capacidade de adsorver corantes, antibióticos e íons de metais pesados em um método de adsorção natural, porém, é um processo demorado, necessitando desenvolver um método que acelere o processo de filtração e que a capacidade de adsorção seja melhorada. Assim, foram fabricadas e testadas membranas de carbono híbridas caseiras, incluindo óxido de grafeno espesso e carvão ativado, óxido de grafeno espesso e nanotubo de carbono, e nanotubo de carbono e carvão ativado. Foi constatado, a partir dos resultados obtidos, que uma membrana de óxido de grafeno espesso e carvão ativado com uma espessura de 15  $\mu\text{m}$  removeu efetivamente 98,9% do cloridrato de tetraciclina da água por filtração a vácuo.

De acordo com a pesquisa realizada por Liao et al. (2020), que avaliou a remoção de tetraciclina e 17 $\beta$ -Estradiol de um efluente sintético por uma membrana de ultrafiltração dual-funcional, que foi fabricada com nanoesferas de carbono mesoporosas ocas, incrustadas nos poros da camada de suporte da membrana de ultrafiltração polimérica. A membrana descrita demonstrou alta seletividade de ultrafiltração que removeu macromoléculas baseada no mecanismo de exclusão de tamanho e excelente capacidade de adsorção de micropoluentes em água. A remoção alcançada foi de 97% para a tetraciclina e 94% para 17 $\beta$ -Estradiol a uma baixa pressão (inferior a 0,15 bar) e tempo de residência inferior a 6 s.

## 6 | CONCLUSÃO

Os compostos emergentes, tais como, fármacos, produtos de higiene e agrotóxicos, estão sendo encontrados em águas residuárias e de abastecimento. Os CEs são detectados

em concentrações traço, contudo, os efeitos da exposição prolongada em seres humanos e no ambiente ainda não estão completamente elucidados. Os processos convencionais de tratamento de águas não foram projetados para a remoção dos CEs, se tornando ineficazes para solucionar essa problemática. Tecnologias avançadas, como adsorção, oxidação avançada e filtração por membranas, são processos altamente recomendados para a remover diferentes CEs. Esses processos podem ser empregados em estações de tratamento em uma etapa de polimento final.

## REFERÊNCIAS

ADAMS, C. et al. Removal of antibiotics from surface and distilled water in conventional water treatment processes. **Journal of Environmental Engineering**, v. 128, p. 253-260, 2002.

AHAMED, Y. et al. Simultaneous removal of antibiotic resistant bacteria, antibiotic resistance genes, and micropollutants by a modified photoFenton process. **Water Research**, v. 197, p. 117075, 2021.

ARAÚJO, K. S. de. et al. Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 2, p. 387-401, 2016.

BAUTITZ, I. R.; NOGUEIRA, R. F. P. Degradation of tetracycline by photo-Fenton process: Solar irradiation and matrix effects. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 187, n. 1, p. 33-39, 2007.

BERGMAN, Å. et al. **State of the science of endocrine disrupting chemicals**, Suíça: United Nations Environment Programme and the World Health Organization. 260p. 2012.

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

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 523-530, 2003.

BISWAS, A. K.; TORTAJADA, C.; IZQUIERDO, R. **Water management in 2020 and beyond**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

BOTTONI, P.; CAROLI, S.; CARACCILO, A. B. Pharmaceuticals as priority water contaminants. **Toxicological & Environmental Chemistry**, v. 92, n. 3, p. 549-565, 2010.

CARBALLA, M. et al. Behavior of pharmaceuticals, cosmetics, and hormones in a sewage treatment plant. **Water Research**, v. 38, p. 2918-2926, 2004.

CHANG, S. et al. Adsorption of trace steroid estrogens to hydrophobic hollow fibre membranes. **Desalination**, v. 146, n. 1-3, p. 381- 386, 2002.

CHOI, K. J. et al. Removal efficiencies of endocrine disrupting chemicals by coagulation/flocculation, ozonation, powdered/granular activated carbon adsorption, and chlorination. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 23, p. 399-408, 2006.

- CONDE-CID, M. et al. Sulfadiazine removal using green zero-valent iron nanoparticles: A low-cost and eco-friendly alternative technology for water remediation. **Environmental Research**, v. 198, p. 110451, 2021.
- DE REZENDE, J. C. T. et al. Assessment of sulfamethoxazole adsorption capacity on Pirangi clay from the State of Sergipe, Brazil, modified by heating and addition of organic cation. **Cerâmica**, v. 65, p. 626-634, 2019.
- FONSECA, V. F. et al. Environmental risk assessment and bioaccumulation of pharmaceuticals in a large urbanized estuary. **Science of The Total Environment**, v. 783, p. 147021, 2021.
- FRONTISTIS, Z. et al. Fast degradation of estrogen hormones in environmental matrices by photo-Fenton oxidation under simulated solar radiation. **Chemical Engineering Journal**, v. 178, p. 175-182, 2011.
- GARCÍA, J. et al. A review of emerging organic contaminants (EOCs), antibiotic resistant bacteria (ARB), and antibiotic resistance genes (ARGs) in the environment: Increasing removal with wetlands and reducing environmental impacts. **Bioresource Technology**, v. 307, p. 123228, 2020.
- GELBAND, H. et al. **Executive Summary: The State of the World's Antibiotics**. Center for Disease Dynamics, Economics and Policy, 2015.
- GUELLARD, T.; KALAMARZ-KUBIAK, H.; ARCISZEUSKI, B. Effect of short-term intermittent exposure to waterborne estradiol on the reproductive physiology of the round goby (*Neogobius melanostomus*). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 36799-36815, 2020.
- HEBERER T. Occurrence, Fate, and Removal of Pharmaceutical Residues in the Aquatic Environment: A Review of Recent Research Data. **Toxicology Letters**, v.131, p.5-17, 2002.
- KOYUNCU, I. et al. Removal of hormones and antibiotics by nanofiltration membranes. **Journal of membrane science**, v. 309, n. 1-2, p. 94-101, 2008.
- LI, S. Z.; LI, X. Y.; WANG, D. Z. Membrane (RO-UF) filtration for antibiotic wastewater treatment and recovery of antibiotics. **Separation and Purification Technology**, v. 34, n. 1-3, p. 109-114, 2004.
- LIAO, Z. et al. Low pressure operated ultrafiltration membrane with integration of hollow mesoporous carbon nanospheres for effective removal of micropollutants. **Journal of Hazardous Materials**, v. 397, p. 122779, 2020.
- LIMA, D. R. S. et al. Avaliação da remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em águas de abastecimento por clarificação. **Química Nova**, v. 37, n. 5, p. 783-788, 2014.
- LIMA, D. R. S. et al. Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrência e técnicas de remoção. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1043-1054, 2017.
- LU, J. et al. Efficient mineralization of aqueous antibiotics by simultaneous catalytic ozonation and photocatalysis using MgMnO<sub>3</sub> as a bifunctional catalyst. **Chemical Engineering Journal**, v. 358, p. 48-57, 2019.

LIU, M. K. et al. Effective removal of tetracycline antibiotics from water using hybrid carbon membranes. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2017.

JUNG, Y. J. et al. pH effect on ozonation of ampicillin: kinetic study and toxicity assessment. **Ozone: Science and Engineering**, v. 34, n. 3, p. 156-162, 2012.

MASTERS, G. M.; ELA., W. P. **Introduction to Environmental Engineering and Science**. Third Edition. USA: Prentice Hall, 2008.

MELO, S.A.S. et al. Degradação de fármacos residuais por processos oxidativos avançados. **Química Nova**, v. 32, n. 1, p. 188-197, 2009.

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.

MORAES, D. S. de L.; JORDAO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002.

MULROY, A. When the cure is the problem. **Water Environment Technology**. v. 13, p. 264-268, 2001.

NASCIMENTO, R. F. do. et al. **Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicações em matrizes ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2017, cap. 1, p. 11-40.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). **Resistência das bactérias**. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/topicos/resistenciaantimicrobiana>>. Acesso em: 17 ago. 2021.

PARIDA, V. K. et al. Emerging contaminants in wastewater: A critical review on occurrence, existing legislations, risk assessment, and sustainable treatment alternatives. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, p. 105966, 2021

KÜMMERER, K. Antibiotics in the aquatic environment - a review - part I. **Chemosphere**, v. 75, n. 4, p. 417-434, 2009.

RATHI, B. S.; KUMAR, P. S.; SHOW, P. A review on effective removal of emerging contaminants from aquatic systems: Current trends and scope for further research. **Journal of Hazardous Materials**, v. 409, 2021.

RAMLI, M. R. et al. Performance of chlorination process during nanofiltration of sulfonamide antibiotic. **Water Science and Technology**, v. 72, n. 9, p. 1611-1620, 2015.

RIVERA-UTRILLA, J. et al. Removal of tinidazole from waters by using ozone and activated carbon in dynamic regime. **Journal of hazardous materials**, v. 174, n. 1-3, p. 880-886, 2010.

RODGERS-GRAY, T. P. et al. Exposure of juvenile roach (*Rutilus rutilus*) to treated sewage effluent induces dose-dependent and persistente disruption in gonadal duct development. **Environmental Science Technology**, v. 35, n. 3, p. 462-470, 2001.

RODRIGUEZ-MOZAZ, S. et al. Antibiotic residues in final effluents of European wastewater treatment plants and their impact on the aquatic environment. **Environment International**, v. 140, p. 1–11, 2020.

RUTHVEN, D. M. **Principles of adsorption and adsorption process**. New York: John Wiley & Sons, 1984.

SANTOS, E. P. C. C. **Remoção de etinilestradiol no tratamento de água para consumo humano: estudo em escala piloto**. 2011. 150p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTYIA, M. T. **Membranas Filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso**. São Paulo: ABES, 2001. 233 p.

SILVA, R. F. et al. Identificação e quantificação de contaminantes emergentes em estações de tratamento de esgoto. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 3, p. 702-715, 2016.

STYSZKO, K. et al. Occurrence of pharmaceutical residues, personal care products, lifestyle chemicals, illicit drugs and metabolites in wastewater and receiving surface waters of Krakow agglomeration in South Poland. **Science of the Total Environment**, v. 768, 2020.

TAGLIAVINI, M. et al. Adsorption of steroid micropollutants on polymer-based spherical activated carbono (PBSAC). **Journal of hazardous materials**, v. 337, p. 126-137, 2017.

TANG, Z. et al. A review of 17 $\alpha$ -ethynylestradiol (EE2) in surface water across 32 countries: Sources, concentrations, and potential estrogenic effects. **Journal of Environmental Management**, v. 292, p. 1-8, 2021.

VACLAVIK, F. D. **Avaliação e otimização do uso de zeólitas no tratamento eciário de efluentes líquidos industriais**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Química Industrial) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010

VIJYA, P. et al. A review on various techniques and parameters signifying purity of water. **Innovare Journal of Food Sciences**, v. 1, n. 1, p. 8-14, 2013.

WANG, A. et al. Controllable synthesis of mesoporous manganese oxide microsphere efficient for photoFenton-like removal of fluoroquinolone antibiotics. **Applied Catalysis B: Environment**, v. 248, p. 298-308, 2019.

WITTE, B. de. et al. Ozonation and advanced oxidation by the peroxone process of ciprofloxacin in water. **Journal of Hazardous Materials**, v. 161, n. 2–3, p. 701-708, 2009.

YAMAL-TURBAY, E. et al. Enhanced photo-Fenton process for tetracycline degradation using eficiente hydrogen peroxide dosage. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 267, p. 11- 16, 2013.

YIN, R. et al. Heteroatoms doped graphene for catalytic ozonation of sulfamethoxazole by metal-free catalysis: performances and mechanisms. **Chemical Engineering Journal**, v. 317, p. 632-639, 2017.

ZHANG, X. et al. Performance evaluation of powdered activated carbon for removing 28 types of antibiotics from water. **Journal of Environmental Management**, v. 172, p. 193-200, 2016.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 102, 109, 118, 119, 120, 121

Agência Nacional de Águas - ANA 2

Agroindústria 77

Águas residuárias 4, 7, 77, 78, 80, 83, 84, 91, 92, 93, 94, 96, 98, 99, 100, 101, 103, 105, 106, 107, 121

Águas superficiais 4, 7, 33, 95, 109, 111, 113, 115

Água subterrânea 38, 43, 45, 47, 49

Água sulfúrea 38, 46, 47, 50

Áreas de Preservação Permanente - APP 2, 6

Aterros sanitários 28, 29, 33, 112

Atividades agropecuárias 27

Atividades ecológicas 14, 18

Atividades portuárias 14

Automedicação 27, 32, 33

### B

Bacias hidrográficas 4, 7, 58, 61, 62, 63, 66, 67

Barragens 1, 2, 13

Biocombustíveis 126, 127, 129, 131, 132, 136, 137, 138

Biodegradabilidade 29, 33, 109, 112, 116

Bioma 2, 3, 5, 9, 12, 13

Biomassa 7, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139

Biota aquática 109, 110

### C

Compensação ambiental 4, 6, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 13

Conselho Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco - CONSEMA/PE 4

Contaminação 7, 126, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139

Corpos hídricos 15, 93, 94

### D

Decantador 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85

Desenvolvimento sustentável 1, 12, 93, 107

Desreguladores endócrinos 109, 111, 114, 122, 123

## **E**

Ecosistema 14, 15, 18, 21, 53, 114

Educação Ambiental 27, 29, 32, 34, 35, 140

Efluentes domésticos 7, 109

Energia elétrica 52, 53, 54, 55, 56, 57

Energia solar 52, 53, 56, 57

Energias renováveis 53

Erosão 15, 25, 59, 61, 62, 65, 66, 67

Espécie humana 29, 35

Eutrofização 93, 94, 95

## **F**

Fármacos 27, 29, 33, 34, 110, 111, 112, 113, 121, 122, 123

Filtração por membranas 109, 119, 121

Flotação 77

## **G**

Geoambiental 16, 58, 60

Geológicos 38, 41, 51

Geomorfológicos 38, 41

## **H**

Hidrogeoambientais 6, 38, 43

Hidrogeofísicos 58

Hidrologia 50, 58, 67

Hormônios 4, 7, 109, 111, 114, 116, 117, 119, 120

Humo 7, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139

## **I**

Impactos ambientais 2, 4, 29, 30, 33, 53, 92

Indústrias farmacêuticas 28, 29, 31

Infecciones respiratorias 126, 128, 129, 132, 133

## **L**

Logística reversa 6, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37

## **M**

Macrófitas 93, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104

Mamão Papaya 7, 69

Manguezais 4, 6, 14, 15, 16, 21, 26

Medicamentos 4, 6, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 112, 114

Meio ambiente 4, 4, 12, 13, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 36, 37, 52, 53, 58, 69, 71, 72, 78, 90, 91, 93, 94, 109, 110, 111, 112, 113, 122, 124

Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV 77, 79

Mudanças Climáticas 4, 7, 39, 40, 58, 61, 62

## **P**

Patógenos 71, 109, 114

Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD 15, 26

Podridão Peduncular 69, 71, 72, 73, 74, 75

Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS 28, 30, 35, 37

Processos Oxidativos Avançados - POAs 4, 109, 116, 121, 123, 140

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA 28

## **R**

Reatores biológicos 77

Reatores de Leito Móvel com Biofilme - MBBR 7, 77

Reciclagem 28

Recuperação ecológica 4, 6, 14, 15, 26

Recursos hídricos 27, 29, 31, 33, 39, 78, 93, 109, 114, 123, 124

Rede de Drenagem 59, 61

Resolução CONAMA 2

Reutilizar 28

## **S**

Sistema de Confinamento Celular (Geocélulas) 6, 14, 15, 16, 17, 21, 25

Sistema Fotovoltaico 4, 6, 52, 53, 54, 55, 56, 57

Supressão vegetal 2, 4, 5, 11, 13

## **T**

Tratamento hidrotérmico 4, 7, 69, 70, 71, 74, 75, 76

## **U**

Usinas hidrelétricas 52, 53

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA AMBIENTAL



-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA AMBIENTAL

- 
-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
  -  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
  -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
  -  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)