



FACULDADE IRECÊ
CURSO DE BACHARELADO EM FARMÁCIA

JOICE ROSA MENDES
TARCÍSIO REZENE LOPES

**USO DE TÉCNICAS ALTERNATIVAS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS
CONTAMINADAS POR ANTI-INFLAMATÓRIOS NÃO ESTEROIDAIIS E
ANTIBIÓTICOS: UMA REVISÃO NARRATIVA**

IRECÊ-BA
2022

JOICE ROSA MENDES
TARCÍSIO REZENE LOPES

**USO DE TÉCNICAS ALTERNATIVAS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS
CONTAMINADAS POR ANTI-INFLAMATÓRIOS NÃO ESTEROIDAIS E
ANTIBIÓTICOS: UMA REVISÃO NARRATIVA**

Monografia apresentada ao Curso de Farmácia da Faculdade Irecê como requisito final para obtenção do título de Farmacêutico, sob a orientação da professora Dra. Joseane Damasceno Mota.

IRECÊ-BA

2022

JOICE ROSA MENDES
TARCÍSIO REZENE LOPES

**USO DE TÉCNICAS ALTERNATIVAS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS
CONTAMINADAS POR ANTI-INFLAMATÓRIOS NÃO ESTEROIDAIIS E
ANTIBIÓTICOS: UMA REVISÃO NARRATIVA**

Monografia apresentada ao Curso de Farmácia
da Faculdade Irecê como requisito final para
obtenção do título de Farmacêutico.

BANCA EXAMINADORA

Prof.(a) Joseane Damasceno Mota
Presidente da Banca Examinadora, Orientador – FAI

Prof.(a) Nadyma Souza Leite
Membro da banca examinadora

Prof.(a) Thiago Brito de Almeida
Membro da banca examinadora

IRECÊ

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaríamos de agradecer a Deus por ter nos concebido saúde, cumplicidade e determinação para atravessar os entraves encontrados durante o desenvolvimento deste trabalho. Agradecemos também a nossa família e amigos, por todo apoio no decorrer da graduação, amor, carinho e empenho para que este sonho tão almejado se torne real. Aos nossos amigos de turma, gratidão por todos os momentos compartilhados e por toda troca de conhecimentos durante essa jornada, vocês são incríveis.

À nossa querida e amada orientadora, Dra. Joseane Damasceno Mota, ser humano de luz que sempre nos incentivou e acreditou no nosso potencial desde o início. Muito obrigada por toda orientação, empenho e amor para conosco.

Ao Instituto Federal da Bahia (IFBA) na pessoa de Jainara Dias (técnica responsável pelo laboratório de biocombustíveis). Nara, gratidão por toda disponibilidade, empatia e paciência, sua colaboração foi imprescindível para realização deste trabalho.

À Faculdade Irecê – FAI, por seu comprometimento para com os discentes, além de sua contribuição na formação de excelentes profissionais.

À prof. Dra. Nadjma Souza Leite, por toda dedicação e envolvimento com o desenvolvimento deste trabalho. Gratidão enorme por toda sua contribuição e por ter aceitado compor nossa banca avaliadora.

À prof. Dra. Salvana Priscylla Manso Costa, agradecemos imensamente por todo entusiasmo, interesse e contribuição durante a construção deste trabalho.

Ao prof. Dr. José Marcos Teixeira de Alencar Filho, por toda disponibilidade, paciência e gentileza ao tirar dúvidas recorrentes durante o decorrer do trabalho.

Ao prof. Mestre Tiago Brito de Almeida, pela disponibilidade e entusiasmo ao aceitar participar da banca avaliadora do nosso trabalho.

Por fim, agradecemos um ao outro por toda parceria e união durante todo este período, assim como, as pessoas que não foram citadas, mas contribuíram direta ou indiretamente para concretização deste sonho. Gratidão!

“A persistência é o caminho do êxito.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

Em decorrência da disposição comercial, facilidade de obtenção e valor medicinal agregado, os medicamentos são portados pela população como artifício farmacológico prático e eficaz na terapia de doenças, o que conseqüentemente eleva seu uso exacerbado. Assim, ergue-se uma problemática de cunho socioambiental, uma vez que, o consumo excessivo e descarte gradual destes produtos farmacêuticos contribuem para a liberação de contaminantes deletérios para o meio ambiente, sobretudo, os ambientes aquáticos. Dessa forma, torna-se necessário a utilização de métodos de tratamento eficazes para o reestabelecimento da qualidade e purificação de corpos hídricos contaminados, como é o caso da adsorção, processos oxidativos avançados e biorreatores de membrana. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é discutir sobre a eficiência de utilização de três técnicas alternativas para o tratamento de águas residuais contaminadas por anti-inflamatórios não esteroidais (AINEs) e antibióticos. O trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica narrativa, de caráter básico e de cunho qualitativo e exploratório, qual foi desenvolvida por meio do viés eletrônico, com relevância em bases renomadas de dados acadêmicos e científicos, sendo que, de acordo com os critérios de inclusão foram selecionados artigos que abordassem em seu resumo os principais métodos empregados no tratamento de efluentes contaminados por fármacos e artigos publicados num recorte temporal de 10 anos, podendo ser na língua portuguesa e inglesa. Segundo as pesquisas referenciadas ao longo do trabalho, por intermédio da técnica de adsorção a taxa de remoção dos AINEs diclofenaco e ibuprofeno variou entre 70 a 85%, enquanto que, o percentual de remoção dos antibióticos eritromicina e claritromicina alternou entre 64 e 99%. Já na utilização de processos oxidativos avançados (POAs) para remoção de fármacos, os AINEs paracetamol, diclofenaco e ibuprofeno alcançaram um percentual de remoção entre 80 e 100%, ao passo que, o percentual dos antibióticos amoxicilina, trimetoprima e sulfametoxazol variou de 90 a 100%. No que se refere a remoção por biorreatores de membrana (BRMs), os anti-inflamatórios naproxeno, ibuprofeno e paracetamol atingiram uma taxa de remoção com variação entre 58,1 a 100%; em contrapartida os antibióticos amoxicilina e ciprofloxacino tiveram um percentual de 80 a 100%. Neste sentido, mediante o estudo realizado é possível constatar que as técnicas estudadas são eficientes na remoção dos contaminantes AINEs e antibióticos, dado que, as pesquisas utilizadas para construção do trabalho apresentaram bons percentuais de remoção. Assim, o emprego do método de adsorção, processos oxidativos avançados e biorreatores de membrana, se mostraram ser uma estratégia promissora a serem utilizadas na remoção desses contaminantes em águas residuais.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de águas residuais; Contaminação por fármacos; Adsorção; Processos oxidativos avançados; Biorreatores de membrana.

ABSTRACT

Due to their commercial availability, ease of obtaining and added medicinal value, drugs are carried by the population as a practical and effective pharmacological artifact in disease therapy, which consequently increases their exacerbated use. Thus, a socio-environmental problem arises, since the excessive consumption and gradual disposal of these pharmaceutical products contribute to the release of harmful contaminants into the environment, especially aquatic environments. Thus, the use of effective treatment methods to restore the quality and purification of contaminated water bodies, such as adsorption, advanced oxidative processes and membrane bioreactors, becomes necessary. In this context, the objective of this paper is to discuss the efficiency of using three alternative techniques for the treatment of wastewater contaminated by nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) and antibiotics. This work is a narrative bibliographic review, of a basic, qualitative and exploratory nature, which was developed through electronic bias, with relevance in renowned academic and scientific databases. According to the inclusion criteria, articles were selected that addressed in their abstracts the main methods used in the treatment of effluents contaminated by drugs and articles published over a period of 10 years in Portuguese and English. According to the researches referenced throughout the work, through the adsorption technique, the removal rate of NSAIDs diclofenac and ibuprofen ranged between 70 and 85%, while the percentage of removal of antibiotics erythromycin and clarithromycin alternated between 64 and 99%. In the use of advanced oxidative processes (AOPs) for drug removal, the NSAIDs paracetamol, diclofenac, and ibuprofen reached a removal percentage between 80 and 100%, while the removal percentage of the antibiotics amoxicillin, trimethoprim, and sulfamethoxazole ranged from 90 to 100%. With regard to removal by membrane bioreactors (BRMs), the anti-inflammatory drugs naproxen, ibuprofen, and paracetamol achieved a removal rate ranging from 58.1 to 100%; on the other hand, the antibiotics amoxicillin and ciprofloxacin had a percentage of 80 to 100%. In this sense, through the study carried out it is possible to verify that the techniques studied are efficient in the removal of the contaminants NSAIDs and antibiotics, given that the researches used for the construction of the work presented good removal percentages. Thus, the use of the adsorption method, advanced oxidative processes and membrane bioreactors proved to be a promising strategy to be used in the removal of these contaminants in wastewater.

KEYWORDS: Wastewater treatment; Drug contamination; Adsorption; Advanced oxidative processes; Membrane bioreactors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de evolução do mercado farmacêutico ao longo dos anos (PPP - Pharmacy Purchase Price ou Preço de Compra da Farmácia)	15
Figura 2 - Mecanismo de adsorção	18
Figura 3 - Mecanismo de reação dos POAs.....	21
Figura 4 - Biorreator de membrana de fluxo lateral (a) biorreator de membrana submerso (b)	22
Figura 5 - Critérios de inclusão utilizados.....	23
Figura 6 - Critérios de exclusão utilizados.....	24
Figura 7 - Resultados de remoção de contaminantes pela fotólise (teste controle) (A), processo fotocatalítico homogêneo (B) e heterogêneo (C)	28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Adsorção de AINEs e antibióticos a partir de bioadsorventes e carvão ativado	25
Quadro 2 - Estudos relacionados a utilização de POAs na remoção de fármacos	27
Quadro 3 - Percentual de remoção efetiva de anti-inflamatórios não esteroidais e antibióticos por biorreatores de membrana	31

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AINEs - Anti-inflamatórios não esteroidais;

POAs - Processos oxidativos avançados;

BRMs - Biorreatores de membrana;

CA – Carvão ativado;

pH - Potencial hidrogeniônico;

TRH - Tempo de retenção hidráulica;

TRSs - Tempo de retenção de sólidos;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Geral	14
2.2 Específicos	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Fármacos e a problemática ambiental.....	15
3.2 Processos utilizados na remoção de fármacos.....	17
3.2.1 Adsorção.....	17
3.2.1.1 Carvão ativado.....	19
3.2.1.2 Bioadsorventes utilizados no processo de adsorção de fármacos.....	19
3.2.2 Processos oxidativos avançados	20
3.2.3 Biorreatores com membranas	21
4 METODOLOGIA.....	23
4.1 Tipo e local da pesquisa	23
4.2 Coleta e análise de dados	23
4.2.1 Coleta.....	23
4.2.2 Critérios de inclusão e exclusão	23
4.2.3 Análise dos dados	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 Remoção de fármacos por adsorção	25
5.2 Remoção de fármacos empregando POAs	27
5.3 Remoção de fármacos utilizando BRMs.....	30
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

Há muito tempo que a indústria farmacêutica é tida como domínio comercial mais rentável a nível mundial. Em virtude da movimentação econômica associado ao aumento demográfico populacional, hodiernamente vem sendo empregados numerosos recursos no desenvolvimento técnico de novos fármacos, a fim de gerar respostas terapêuticas cada vez mais eficazes em intervenções paliativas de patologias e sintomatologias (GUERRA-JÚNIOR; ACURCIO, 2013; BOTELHO; MARTINS; REIS, 2018; ALDIERI *et al.*, 2020).

Em defluência da disposição comercial, facilidade de obtenção e valor medicinal agregado, os medicamentos são portados pela população como artifício farmacológico prático e eficaz na terapia de doenças, o que consequentemente eleva o uso irracional e exacerbado de tais compostos. Neste contexto, ergue-se uma problemática de cunho socioambiental, uma vez que, o consumo e descarte gradual destes produtos farmacêuticos contribuem dinamicamente para a liberação de contaminantes deletérios tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana (BHATNAGAR; SILLANPÄÄ; WITEK-KROWIAK, 2015; OFORI-ASENSO; AGYEMAN, 2016; GOMES; SILVA; GALVÃO, 2017).

Neste sentido, tal problemática vem desencadeando preocupação crescente, sobretudo, acerca dos ambientes aquáticos, rota circunscrita de proeminente contaminação. Dentre os principais poluentes emergentes encontrados em corpos hídricos, é plausível citar tanto os anti-inflamatórios não esteroidais (AINEs) como os antibióticos. Nesta perspectiva, os AINEs constituem uma das classes terapêuticas de medicamentos mais utilizadas universalmente, dado que, reúne em um único composto, propriedades anti-inflamatórias, analgésicas e antipiréticas. Por outro lado, os antibióticos são extensivamente empregues no tratamento de infecções bacterianas, devido seu alto potencial de suprimir ou eliminar o crescimento de bactérias (BRUNTON; CHABNER; KNOLLMANN, 2012; MILIĆ *et al.*, 2013; MLUNGUZA *et al.*, 2019; KEBEDE *et al.*, 2020).

Diante desse cenário, para que haja o reestabelecimento da qualidade e purificação de ambientes aquáticos que se encontram degradados por tais substâncias poluentes, diversas técnicas são apresentadas como opções no tratamento desses efluentes. Agregado a isso, as técnicas alternativas utilizadas nesses procedimentos incluem principalmente adsorção, processos oxidativos avançados e biorreatores de membrana (HOWE *et al.*, 2016; SUO *et al.*, 2019; CHEN *et al.*, 2020; KRISHNAN *et al.*, 2021).

Posto isso, o método de adsorção é descrito mundialmente como uma das metodologias largamente empregadas nos processos de purificação de águas contaminadas pelas mais diversas

classes de poluentes, inclusive produtos farmacêuticos. Com base nisso, o referido processo fundamenta-se nas ligações das moléculas contaminantes presentes nesses recursos hídricos ao material adsorvente, as quais, após difundirem-se ao composto poroso ambas se aderem tanto à área interna quanto à sua superfície externa do mesmo (ALI; ASIM; KHAN, 2012; HOWE *et al.*, 2016).

Outro método comumente empregado são os processos oxidativos avançados. Arelado a isso, a eficiência de tais processos se dá mediante a formação de compostos que possuem capacidade oxidativa, sendo o radical hidroxila ($\text{OH}^\bullet$) o mais utilizado devido seu alto potencial de oxidação. Dessa maneira, esses radicais agem ligando-se às moléculas contaminantes causando sua degradação e consequentemente, transformando-as em compostos menos tóxicos e mais simples como dióxido de carbono, água e íons inorgânicos (ARAÚJO *et al.*, 2016; TITCHOU *et al.*, 2021; KRISHNAN *et al.*, 2021).

Já os biorreatores de membrana (BRMs), consistem em uma junção do tratamento de membrana e biológico em uma única etapa para eliminar compostos farmacêuticos de corpos d'água contaminados. Determinados BRMs são constituídos por procedimentos como biodegradação, adsorção e processos de separação por membrana, o que origina um efluente com diminuta quantidade de sólidos totais e suspensos e consequentemente propicia maior qualidade terminal ao mesmo (TAHERAN *et al.*, 2016; VIEIRA *et al.*, 2020).

Neste contexto, em virtude dos riscos que o acúmulo de produtos farmacêuticos causa a longo tempo em corpos hídricos, torna-se extremamente necessário tanto a monitoração quanto a remoção destes compostos de determinados ambientes. Assim, considerando a relevância da qualidade do sistema aquoso, é viável correlacionar a utilização das técnicas supracitadas para o tratamento adequado e restauração da qualidade habitual de sistemas aquosos, ambiente incessantemente atingido pelo descarte incorreto de medicamentos e correlatos por parte da população. Diante disso, o presente estudo busca averiguar o quão promissor é a utilização de técnicas alternativas como adsorção, processos oxidativos avançados e biorreatores de membrana para o tratamento de águas contaminadas por AINEs e antibióticos, aspirando melhorias tanto para os organismos vivos desses ambientes quanto para a saúde humana.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Discutir sobre a eficiência de utilização de três técnicas alternativas para o tratamento de águas residuais contaminadas por AINEs e antibióticos.

2.2 Específicos

- Analisar estudos sobre a eficácia de remoção de AINEs e antibióticos de águas residuais através dos métodos de adsorção, processos oxidativos avançados e biorreatores de membrana.
- Avaliar a eficiência das referidas técnicas mediante percentuais de remoção dos fármacos.

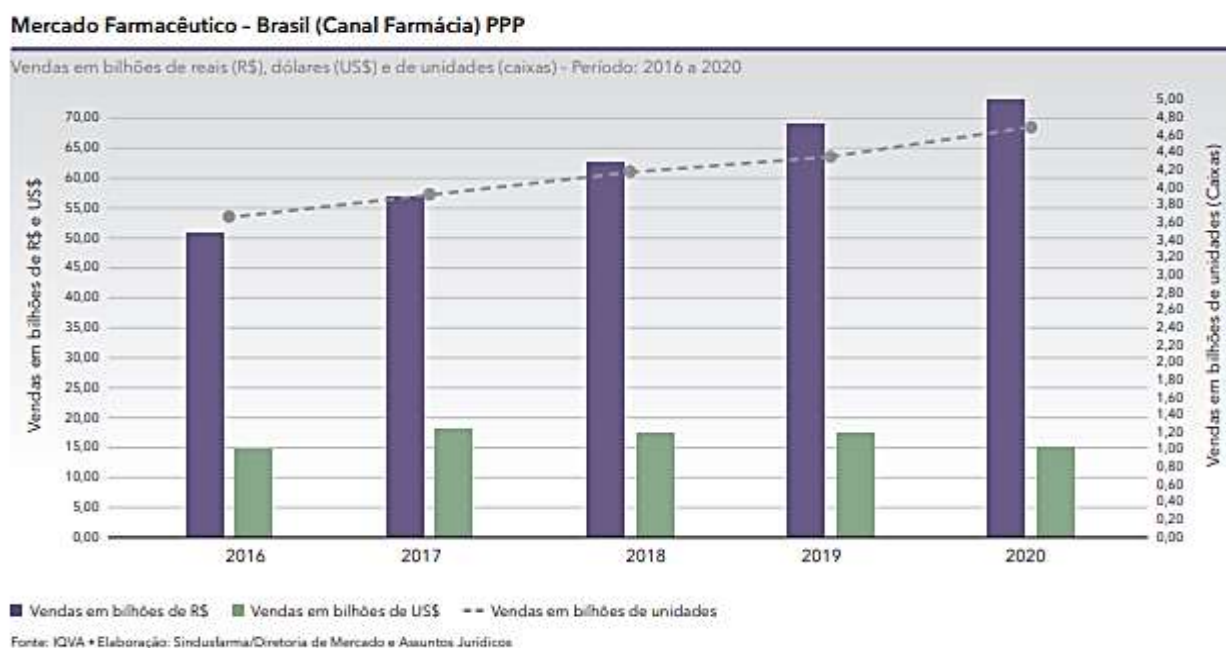
3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Fármacos e a problemática ambiental

Medicamentos são produtos farmacêuticos preparados de forma gradual para desempenhar funções farmacológicas específicas como parte de uma estratégia terapêutica. Por conseguinte, os medicamentos tornaram-se patrimônios sociais indispensáveis nos tratamentos de saúde que se destinam a suprimir patologias e moléstias que afetem adversamente a população, aspirando melhorias na qualidade de vida do paciente (ARRAIS *et al.*, 2016; BRASIL, 2017; KALLENBORN *et al.*, 2018).

Atualmente, o avanço tecnológico tem transformado o cenário farmacêutico mundial através da promoção intensiva de pesquisas e desenvolvimento de novos fármacos, colocando à disposição da sociedade um arsenal de recursos terapêuticos para atenuar inúmeras comorbidades (AKKARI *et al.*, 2016; TARPANI; AZAPAGIC, 2018). Por intermédio de tal progresso, é possível correlacionar um crescimento significativo na comercialização de medicamentos em farmácias e drogarias, como mostra o gráfico de evolução do mercado farmacêutico ao longo de cinco anos (figura 1).

Figura 1: Gráfico de evolução do mercado farmacêutico ao longo dos anos (PPP - Pharmacy Purchase Price ou Preço de Compra da Farmácia).



Fonte: Adaptado de Sindusfarma, 2020.

Como ilustrado na figura 1, segundo pesquisas realizadas pelo IQVIA (empresa global no fornecimento de informação, soluções tecnológicas inovadoras e serviços de investigação clínica) o valor das vendas do ano de 2020 foi igual a 76,97 bilhões de reais, cerca de 11,49% superior ao valor de vendas que corresponde ao ano de 2019. Já para as vendas em dólares, foram obtidos uma renda de 15,02 bilhões no ano de 2020, com um decréscimo significativo de aproximadamente 14,23% em comparação ao ano de 2019. No que se refere as vendas em bilhões de unidades, em 2020 foram vendidas 4,71 bilhões de caixas de medicamentos, o que demonstrou adição de 8,13% em relação ao ano de 2019 (SINDUSFARMA, 2020).

No Brasil, uma das classes terapêuticas de medicamentos mais consumidas são os anti-inflamatórios não esteroidais (AINEs) por possuírem um conjunto de propriedades analgésicas, antipiréticas e anti-inflamatórias, além de não requererem frequentemente de prescrição para serem adquiridos, o que os tornam muito mais atraentes. A facilidade de obtenção aliada ao desprovisionamento de informação acarreta no uso indiscriminado de tais medicamentos e oportuniza uma maior geração e descarte incorreto de resíduos oriundos destes compostos (SILVA; SILVA, 2012; SILVA *et al.*, 2013; ALENCAR *et al.*, 2014).

Outra classe terapêutica de medicamentos bastante utilizada pelas diferentes camadas populacionais e faixas etárias são os antibióticos. Tais medicamentos, são regularmente usados para prevenir ou tratar infecções bacterianas, entretanto um agravante no seu uso irracional tem gerado uma crescente preocupação, dado que, determinada utilização desordenada favorece a eliminação destes compostos como excretas pelo organismo humano que aliada a contribuição no despejo de fármacos por indústrias farmacêuticas no ambiente, propicia quantidades notáveis de antibióticos principalmente em sistemas aquosos (CONCEIÇÃO; MORAIS, 2012; MORAES; ARAÚJO; BRAGA, 2016; DU *et al.*, 2017).

Assim, definidas combinações de atividades, favorecem a disseminação desses poluentes através de fontes circunscritas, incluindo excreção após uso do paciente, descarte inadequado de agentes terapêuticos vencidos e excesso de resíduos gerados por indústrias farmacêuticas, provocando dessa forma, a propagação e bioacumulação de resíduos farmacológicos na atmosfera, solo e principalmente no abastecimento de água, dado que, as estações de tratamento de águas residuais não foram consumadas para reconhecer, dimensionar e tipificar tais efluentes, o que maleficia a remoção efetiva destes contaminantes (TARPANI; AZAPAGIC, 2018; PAREZANOVIĆ *et al.*, 2019; KEBEDE *et al.*, 2020).

À vista disso, a degradação ecossistêmica advinda de medicamentos transfigura-se uma problemática mundialmente significativa, uma vez que, as substâncias presentes nestes artigos farmacêuticos possuem um agregado de moléculas polares substancialmente solúveis em meio

aquoso, o que acaba elevando abruptamente a presença desses contaminantes em sistemas aquáticos e propiciando impactos toxicológicos deletérios tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente (SELLAOUI *et al.*, 2017; KALLENBORN *et al.*, 2018; PAREZANOVIĆ *et al.*, 2019).

3.2 Processos utilizados na remoção de fármacos

A contaminação de ambientes aquáticos por produtos farmacêuticos vem sendo uma problemática emergente que gera preocupação crescente, a qual advém dos potentes efeitos toxicológicos que essas moléculas farmacêuticas podem ocasionar, tanto aos habituais organismos vivos desse ambiente natural, quanto à saúde humana e também por desencadear modificações na qualidade desses efluentes (BHATNAGAR; SILLANPÄÄ; WITEK-KROWIAK, 2015; SEO *et al.*, 2016; SELLAOUI *et al.*, 2017; KEBEDE *et al.*, 2020).

Em suma, a poluição dessas águas superficiais e residuais são advindas das eventuais excretas humanas assim como das utilidades industriais despejados em redes de esgoto e posteriormente liberados nesses ambientes aquáticos. Entretanto, a adesão de medidas preventivas que assegurem a remoção desses contaminantes são crucias nesse processo, visto que, o tratamento ofertado pelas estações de tratamento convencionais não remove por completo esses poluentes e por esse motivo, o incremento de outros métodos tornam-se viáveis (SAUCIER *et al.*, 2015; SELLAOUI *et al.*, 2017).

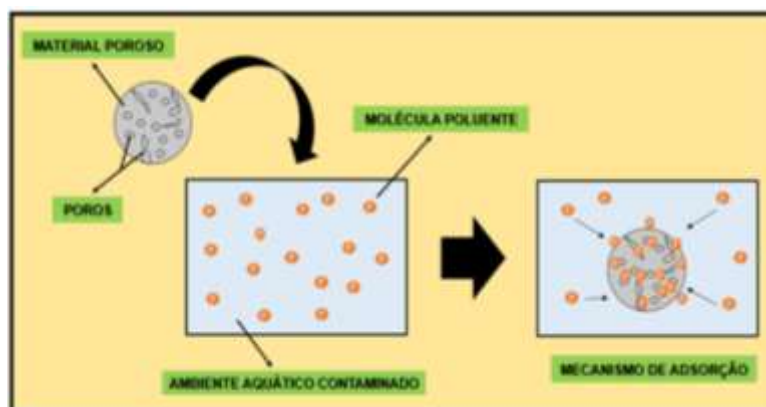
De acordo com a literatura, inúmeras metodologias são descritas como alternativas aplicáveis para tratar águas residuais poluídas por substâncias farmacêuticas, incluindo processos de oxidação, osmose reversa, eletro-diálise, métodos químicos e biológicos, adsorção e outros (SUO *et al.*, 2019; PEREIRA; CALISTO; SANTOS, 2019). Dessa forma, entre as técnicas citadas a adsorção (LIMA *et al.*, 2018), processos oxidativos avançados (ARAÚJO *et al.*, 2016), biorreatores com membranas (YOON, 2015) vem sendo estabelecidos como os métodos mais utilizados.

3.2.1 Adsorção

O método de adsorção é considerado uma técnica global na separação e purificação de recursos hídricos contaminados por poluentes orgânicos e inorgânicos. Neste contexto, o mecanismo (figura 2) deste processo baseia-se na transferência de massa, ou seja, as substâncias poluentes presentes nos efluentes serão transferidas para o material adsorvente sólido, que após

o contato serão aderidas à interface ou até mesmo à superfície externa do agente adsorvente (ALI; ASIM; KHAN, 2012; LIMA *et al.*, 2018). Cabe salientar que, o material que adsorve as moléculas contaminantes é denominado adsorvente e a espécie poluente adsorvida é nomeado como adsorvato ou adsorbato (HOWE *et al.*, 2016).

Figura 2: Mecanismo de adsorção.



Fonte: Própria, 2020.

Diante desse cenário, é plausível ressaltar que o fenômeno de adsorção pode ser caracterizado em consonância com o tipo de ligação que é exercida entre o agente adsorvente e o adsorbato, ambas descritas como interações químicas ou físicas. Desse modo, na adsorção que envolve a ligação química (quimissorção ou adsorção química) do adsorbato ao elemento adsorvente, a intensidade da ligação entre ambos é forte pois se comportam semelhantemente a uma reação química. Por outro lado, na adsorção que abrange a força de interação física (fisissorção ou adsorção física) entre os componentes dessa metodologia, a ligação existente é classificada como parcialmente fraca, sendo comparadas às forças de Van der Waals (HOWE *et al.*, 2016).

Ademais, compreende-se que alguns fatores incluindo pH (potencial hidrogeniônico), agitação, temperatura, características do adsorvente e adsorvato, tamanho da superfície, tempo de contato, entre outros, possivelmente podem ocasionar de certo modo, interferências na velocidade e eficiência da extração de tal processo e devido a essas propriedades, são parâmetros que necessitam ser considerados (ROCHA *et al.*, 2012; AICHOUR *et al.*, 2019).

3.2.1.1 Carvão ativado

Normalmente, o elemento adsorvente comumente empregado nos processos adsorptivos de componentes poluentes de águas superficiais e águas residuais, é o carvão ativado (CA) e essa propriedade deriva de sua vasta capacidade de adsorção. Todavia, alguns parâmetros podem estar diretamente relacionados com tais particularidades do CA como o tipo de material utilizado em sua produção, assim como, as circunstâncias experimentais de sua ativação (SAUCIER *et al.*, 2015; XIANG *et al.*, 2019).

Tal composto, apresenta em sua composição uma área superficial porosa com uma diversidade de tamanhos que por sua vez, viabiliza sua potente ação. O CA é sintetizado a partir de diversos compostos orgânicos, no entanto, sua produção comercial origina custos elevados e por esse motivo inviabiliza muitas vezes, sua adesão concomitante na purificação de efluentes (SINGH *et al.*, 2020; ROCHA *et al.*, 2012).

No procedimento de síntese, o CA torna-se ativo após ser submetido ao processo de ativação, este dividido em ativação química e física. Desse modo, nas ativações químicas são empregados ativadores inorgânicos como H_2SO_4 , H_3PO_4 , $ZnCl_2$, NaOH, KOH e outros. Por conseguinte, após adição conjunta do carvão inativo e elementos ativadores em solução aquosa, o composto resultante é submetido ao tratamento de secagem em estufa e posteriormente carbonizado sob temperaturas relativamente elevadas, contribuindo na formação dos poros. Visto que, ao final desse método, as substâncias ativadoras devem ser retiradas do CA, evidenciando um aumento da superfície do mesmo (SAUCIER *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2018; ALI; ASIM; KHAN, 2012).

3.2.1.2 Bioadsorventes utilizados no processo de adsorção de fármacos

Atualmente, nota-se uma busca incessante por matérias-primas de baixo custo e eficazes que possam ser aplicadas como adsorventes no tratamento de efluentes contaminados. Diante disto, os resíduos agrícolas vêm sendo postos como alternativa na produção de tais, e isso decorre, devido serem encontrados em ampla escala na natureza, assim como, sua fácil operacionalidade e não gerarem custos adicionais, além da presença de grupos quimicamente funcionais que agem ligando-se às moléculas contaminantes (BHATNAGAR; SILLANPÄÄ; WITEK-KROWIAK, 2015; KALARUBAN *et al.*, 2016; SINGH *et al.*, 2020).

Com base nisso, diversos produtos oriundos da produção agrícola podem ser utilizados como matérias-primas para a produção de bioadsorventes, dentre eles encontra-se a casca de

arroz, resíduos de frutas, casca de coco, palha de trigo, sabugo de milho, resíduos de grãos de café, bagaço de cana-de-açúcar, alguns frutos de árvores como as vagens e entre outros (ROCHA *et al.*, 2012; VELMURUGAN *et al.*, 2015; AICHOUR *et al.*, 2019; DHAOUADI *et al.*, 2021).

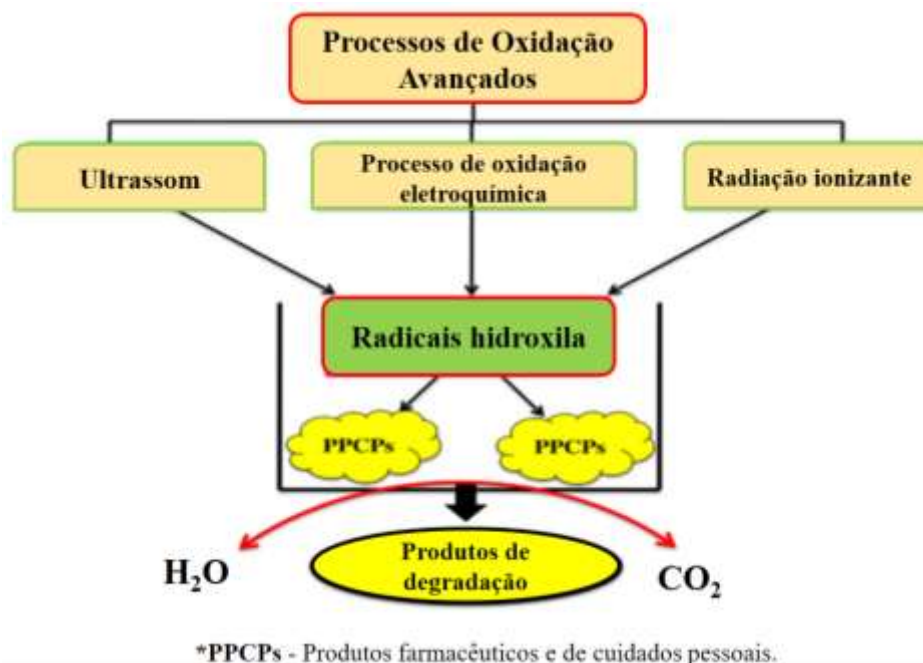
3.2.2 Processos oxidativos avançados

Ultimamente, os processos oxidativos avançados (POAs) têm se tornado uma das tecnologias com ampla aplicabilidade no que diz respeito ao tratamento de efluentes e águas residuais que se encontram degradados por diversas classes de contaminantes, inclusive fármacos. Nesse sentido, os POAs envolvem processos de ozonificação, métodos eletroquímicos, oxidação em ultravioleta (UV), fotólise, química de fenton, ultrassom, radiação ionizante, dentre outros. Esses processos estão relacionados ao emprego de substâncias com propriedades oxidativas como é o caso das espécies reativas de oxigênio e radicais livres reativos, visto que, a eficiência do referido método é dependente da formação desses compostos (ARAÚJO *et al.*, 2016; TITCHOU *et al.*, 2021; BRILLAS, 2022).

Dentre as substâncias com capacidade oxidativa utilizadas, o radical hidroxila ($\text{OH}^\cdot$) é descrito como um dos mais empregados nos POAs, uma vez que, o mesmo apresenta um potencial de oxidação igual a 2,8 V. Além disso, a importância desse radical nesses processos detém de suas particularidades como sua alta reatividade e por não ser seletivo a apenas um determinado grupo de poluentes (KRISHNAN *et al.*, 2021).

Diante disto, o mecanismo de reação dos POAs (figura 3) embasam-se na degradação das moléculas poluentes a partir da reação dos radicais hidroxila sob essas espécies orgânicas, que ao sofrerem a ação desse radical são transformadas em substâncias mais simples e menos tóxicas como água, dióxido de carbono e outros íons inorgânicos, por exemplo, permitindo assim a mineralização parcial ou total desses contaminantes, facilitando assim sua remoção (ARAÚJO *et al.*, 2016; KRISHNAN *et al.*, 2021).

Figura 3: Mecanismo de reação dos POAs.



Fonte: Adaptado de krishnan *et al.*, 2021.

3.2.3 Biorreatores com membranas

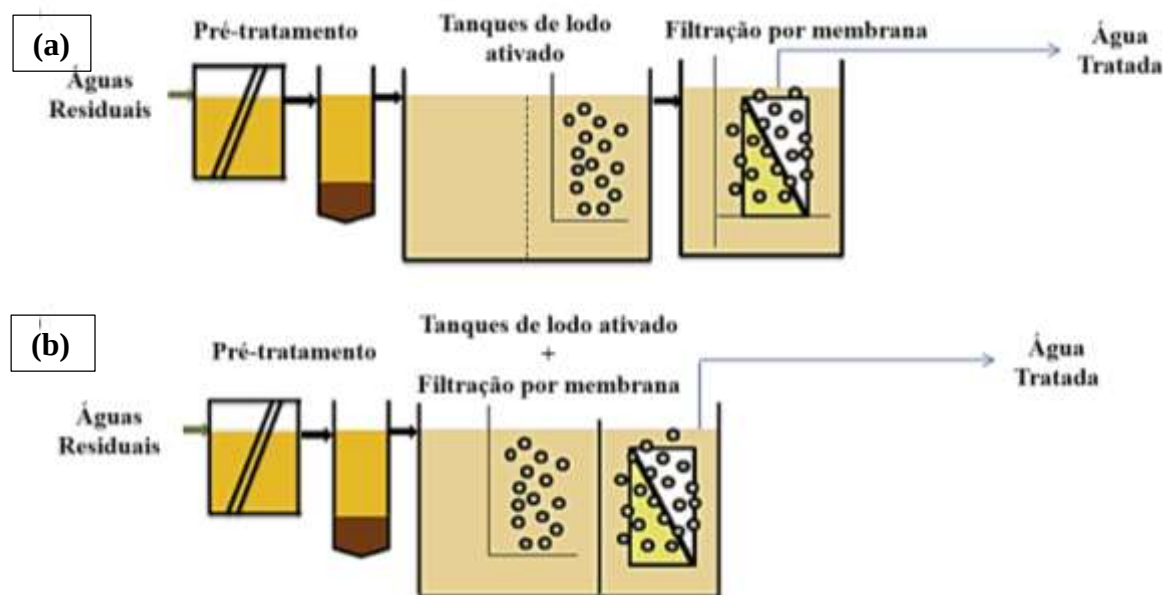
Extensivamente empregue como método significativo para o tratamento de águas residuais, o sistema de biorreatores com membranas (BRMs) é caracterizado como uma técnica que agrega a associação de tratamento biológico (comumente lodos ativados) e processo de separação física por membranas, que, por conseguinte o torna uma tecnologia única e bastante atrativa a nível mundial (FERRERO; RODA; COMAS, 2012; YOON, 2015).

Nesta perspectiva, a membrana utilizada em BRM é caracterizada como uma barreira semipermeável e seletiva entre duas fases distintas, desta forma, sua principal aplicabilidade neste processo é viabilizar a retenção de sólidos suspensos assim como de diferentes espécies químicas. A eficácia de remoção destes elementos dependerá da seleção do tipo de membrana, sendo as membranas de microfiltração e ultrafiltração as mais usadas em BRM (LIU *et al.*, 2022; YOON, 2015).

Os BRMs ainda podem ser categorizados quanto a sua conformação em: biorreator de membrana de fluxo lateral (figura 4 – a) e biorreator de membrana submerso (figura 4 – b). Neste seguimento, no modelo de BRM de fluxo lateral o líquido em suspensão perpassa de forma paralela a face exterior da membrana e a solução permeada é transportada transversalmente a mesma, já no tipo de BRM submerso, o feixe de membrana é imergido no tanque com circulação

de ar e o filtrado resultante é aspirado por meio das paredes da membrana (GOSWAMI *et al.*, 2018; RAULUSAITIS; GESUALDO, 2019).

Figura 4: Biorreator de membrana de fluxo lateral (a) biorreator de membrana submerso (b).



Fonte: Adaptado de Goswami *et al.*, 2018.

Devido proporcionar auxílio a sustentabilidade de recursos hídricos, os BRMs podem ser operados no tratamento de efluentes das mais diversas áreas industriais, principalmente a farmacêutica. Quanto as suas vantagens, esta tecnologia promove a produção de efluentes de alta qualidade, diminuta formação de lodo, menor área de instalação e maior facilidade de eliminação de micropoluentes. Em contrapartida, suas principais desvantagens giram em torno do acúmulo de resíduos nas membranas, bem como do custo necessário para realizar a limpeza destas membranas (LIN *et al.*, 2012; MUTAMIM *et al.*, 2013).

4 METODOLOGIA

4.1 Tipo e local da pesquisa

Concerne em uma revisão bibliográfica narrativa, de caráter básico e de cunho qualitativo e exploratório, a qual foi desenvolvida por meio do viés eletrônico, com relevância em bases renomadas de dados acadêmicos e científicos.

4.2 Coleta e análise de dados

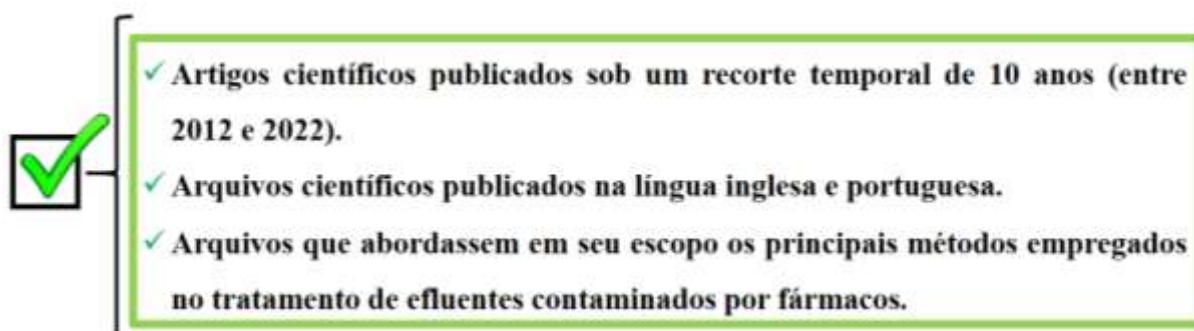
4.2.1 Coleta

O referido trabalho foi elaborado mediante artigos indexados em bases de dados como National Library of Medicine (PubMed), Scientific Eletronic Library Online (SciELO), Science Direct e Springer, bem como em livros virtuais disponíveis no acervo bibliotecário da Faculdade Ireçê- FAI. Para a pesquisa de publicações existentes na literatura, foram empregadas as seguintes palavras-chave: contamination of effluents by drugs, advanced oxidative processes, wastewater treatment, membrane bioreactors e adsorption.

4.2.2 Critérios de inclusão e exclusão

Em relação aos critérios de inclusão (figura 5), foram incluídos nessa pesquisa arquivos científicos que atendessem os seguintes critérios:

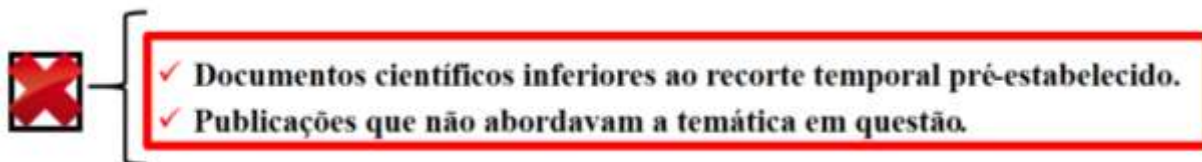
Figura 5: Critérios de inclusão utilizados.



Fonte: Própria, 2022.

No que diz respeito aos critérios de exclusão (figura 6), foram excluídos dessa pesquisa aqueles documentos científicos que não se enquadraram nos referidos requisitos:

Figura 6: Critérios de exclusão utilizados.



Fonte: Própria, 2022.

4.2.3 Análise dos dados

A análise dos dados foi realizada mediante a leitura de todos os arquivos científicos encontrados, desde o título e resumo até os resultados destas obras, em que foi observado a relevância dos mesmos para a construção dessa pesquisa e posterior seleção.

Ao final desse processo, realizou-se a construção de um quadro que teve por finalidade a inserção dos artigos selecionados como relevantes para subsequente discussão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Remoção de fármacos por adsorção

Em decorrência do seu simples desing, custo-benefício acessível e sua efetividade, o método de adsorção é visto como uma das tecnologias bastante utilizadas, no que diz respeito ao tratamento de matrizes aquosas contaminadas (DE ANDRADE *et al.*, 2018). Nesse sentido, no quadro 1 estão expostos os percentuais de remoção de fármacos por adsorção tanto em carvão ativado quanto em adsorventes naturais.

Quadro 1: Adsorção de AINEs e antibióticos a partir de bioadsorventes e carvão ativado.

Adsorventes	Fármacos	Classe Terapêutica	Remoção (%)	Autores
Resíduos de grãos de café	Diclofenaco	Anti-inflamatório não esteroideal	70%	Maged <i>et al</i> (2021)
Resíduos de descaroçamento de algodão/bagaço de guayule	Eritromicina	Antibiótico	74% / 64%	Ndoun <i>et al</i> (2021)
Carvão ativado	Claritromicina	Antibiótico	99%	Karelid; Larsson e Björleinius (2017)
	Ibuprofeno	Anti-inflamatório não esteroideal	85%	Iovino <i>et al</i> (2015)

Fonte: Própria, 2022.

Em uma pesquisa realizada por Maged e colaboradores (2021), foi avaliada a eficiência de resíduos de grãos de café ativados para a remoção de fármacos em um efluente de escala laboratorial, o que demonstrou percentual de remoção igual a 70% para o medicamento diclofenaco.

Determinada taxa de adsorção foi alcançada em pH 6, elucidando a influência positiva que o aumento da faixa de pH desencadeou, haja vista que, em defluência das características moleculares do referido fármaco, quando submetido a um pH de meio ácido ocorre uma diminuição significativa em seu potencial de remoção (ANDRADE *et al.*, 2020; MAGED *et al.*, 2021).

Nesse contexto, Ndoun *et al* (2021) analisou em um estudo a remoção do antibiótico eritromicina por adsorção empregando duas biomassas. Nos experimentos, o percentual de remoção do fármaco usando os resíduos de algodão com adsorvente (CG700) foi de 74%, enquanto que, o outro adsorvente de bagaço de guayule (GB500) o percentual foi de 64%. Perante a isso, os dois biocarvões demonstraram ser eficientes na remoção desse antibiótico.

De acordo com Kârelid *et al.*, (2017), em um estudo de desempenho da remoção de produtos farmacêuticos em escala piloto de três tanques com carvão ativado em pó, foi possível remover 99% do antibiótico claritromicina. O referido percentual foi atingindo sob um tempo de contato de 60 minutos, demonstrando que a variável tempo de contato atrelada ao adsorvente utilizado está diretamente relacionanda a uma taxa de remoção eficaz deste fármaco.

Enquanto isso, Iovino e colaboradores (2015) realizaram um estudo em batelada abordando a adsorção do ibuprofeno em carvão ativado granular. Em vista disso, o valor de remoção do fármaco em pH 2 foi 85%, ao passo que, quando em pH 10 a taxa de remoção foi reduzida consideravelmente. Além disso, a elevação da temperatura entre a faixa de 4 a 34°C contribuiu para uma maior adsorção do fármaco, desse modo, é demonstrado que esses fatores têm influência no processo repercutindo em sua eficiência.

Em comparação, Baccar e coautores (2012) também empregaram a adsorção utilizando como adsorvente o carvão ativado preparado a partir do bagaço de azeitona para remover quatro anti-inflamatórios não esteroidais, a qual mostrou-se eficiente. Deste modo, os parâmetros pH e temperatura foram investigados afim de observar alguma influência sob o potencial de remoção dos fármacos. Nessa perspectiva, a temperatura não teve influência significativa na remoção, já por outro lado, o pH teve uma elevada influência na capacidade de adsorção. Dado que, em pH 2,01 os resultados de remoção para o diclofenaco, naproxeno, cetoproreno foram acima de 90% e ibuprofeno 80%, ao passo que, em pH alcalino (8,61) os percentuais de remoção diminuíram, sendo diclofenaco acima de 80%, naproxeno acima de 60%, cetoprofeno acima de 50% e ibuprofeno superior a 30%.

5.2 Remoção de fármacos empregando POAs

O emprego de POAs na restauração de matrizes aquosas contaminadas tem se tornado frequente, uma vez que, os mesmos são tecnologias que englobam uma diversidade de técnicas (TAOUFIK *et al.*, 2021). Sob essas circunstâncias e com base na literatura, no quadro 2 a seguir, é apresentado os estudos selecionados de alguns dos POAs que são aplicados na remoção de fármacos.

Quadro 2: Estudos relacionados a utilização de POAs na remoção de fármacos.

POAs	Fármacos	Classe terapêutica	Resultados de remoção (%)	Autores
Foto-Fenton solar	Amoxicilina Paracetamol	Antibiótico Anti-inflamatório não esteroidal	Efluente sintético: acima de 90% Efluente real: 80%	Guerra <i>et al</i> (2019)
Fotocatálise homogênea (luz solar/H ₂ O ₂) e Fotocatálise heterogênea (luz solar/N- TiO ₂)	Diclofenaco Trimetoprima	Anti-inflamatório não esteroidal Antibiótico	<u>Luz solar/H₂O₂:</u> 100%; 85% <u>Luz solar/N- TiO₂:</u> 100%; 100% Respectivamente	Kowalska <i>et al</i> (2020)
Fenton	Sulfametoxazol	Antibiótico	99,99%	Dehghani <i>et al</i> (2013)
Ozonificação	Ibuprofeno	Anti-inflamatório não esteroidal	99%	Quero-Pastor <i>et al</i> (2014)

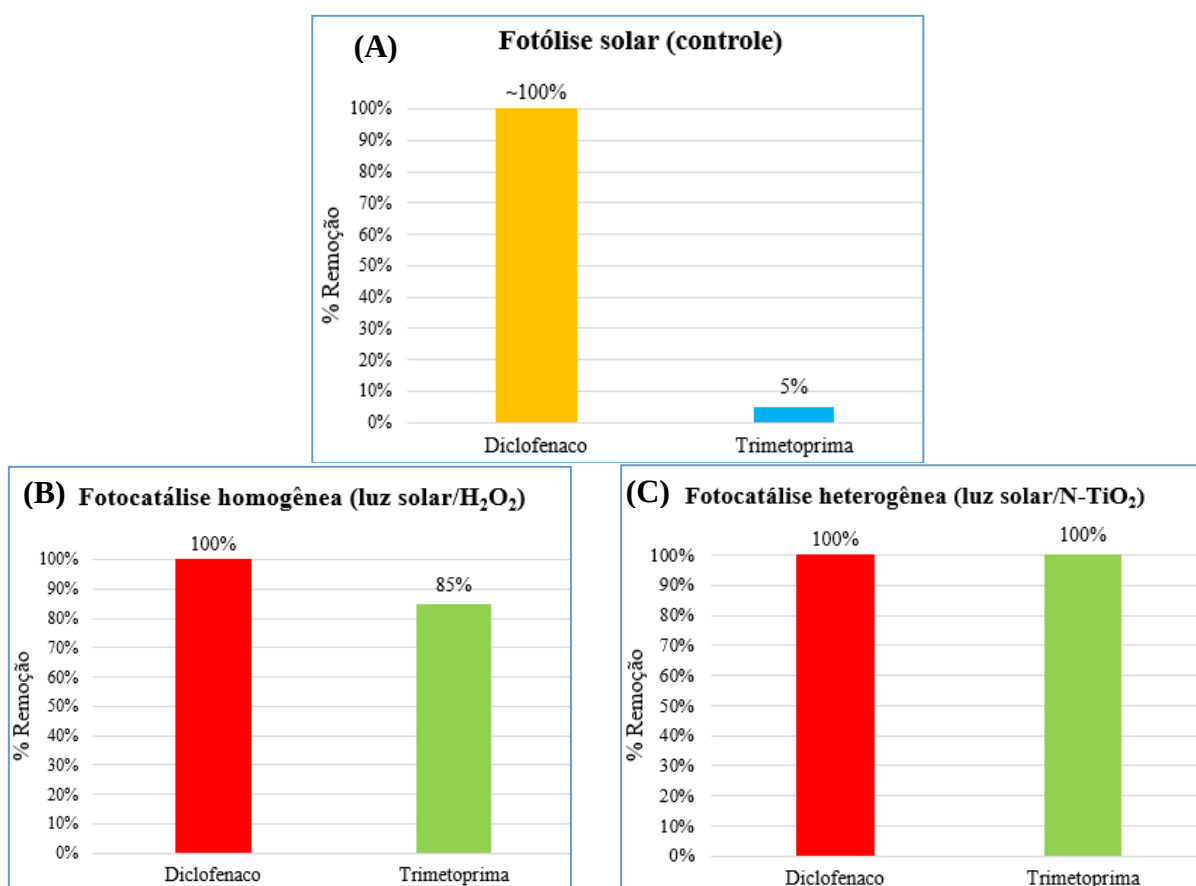
Fonte: Própria, 2022.

Com base nos achados elencados no quadro 2, Guerra e colaboradores (2019) removeram os fármacos amoxicilina e paracetamol em efluentes simulados e efluente real tratado utilizando o processo de oxidação foto-Fenton, o qual mostrou-se efetivo. Nessa perspectiva, os percentuais de degradação para efluentes sintéticos foram superiores a 90% com um tempo de retenção hidráulica (TRH) que variou de 9 a 50 minutos, enquanto que, as taxas de remoção no efluente real foi de 80% com o TRH entre 135 e 210 minutos. Diante disto, é notável que a taxa de remoção nos efluentes simulados foi maior ocorrendo também em tempos menores em relação a matriz aquosa tratada. Dessa forma, os autores associam essa diferença ao fato dos efluentes sintéticos possuírem menor quantidade de substâncias orgânicas do que o efluente real, facilitando assim a rápida degradação dos fármacos pela ação dos radicais hidroxila.

Assim como Guerra e colaboradores (2019), Alalm, Tawfik e Ookawara (2015) também utilizaram o processo oxidativo foto-Fenton solar na degradação de quatro fármacos individualmente em efluentes sintéticos sob diversas condições. Mediante a isso, o paracetamol e amoxicilina foram 100% degradados em respectivos 60 e 90 minutos, ao passo que, o diclofenaco e ampicilina foram 100% removidos em 120 minutos. Neste contexto, no presente estudo o método apresentou-se ainda mais eficaz quando comparado ao trabalho de Guerra *et al* (2019), sendo que, as possíveis distinções podem estar associadas as condições experimentais que são aplicados durante o processo como pH, adição dos reagentes de Fenton, TRH, dentre outros, já que esses podem acarretar alguma influência seja positiva ou negativa.

Em relação a fotocatalise, Kowalska *et al* (2020) em um estudo, empregaram o processo de fotocatalise homogênea (luz solar/H₂O₂) e heterogênea (luz solar/N-TiO₂) na eliminação dos fármacos diclofenaco e trimetoprima. Além disso, devido esse método dispor da luz solar, a mesma foi analisada e utilizada como teste controle (fotólise). Os resultados de remoção obtidos na fotólise solar (figura 7 (A)) sob o modelo cinético pseudo-primeira ordem para o diclofenaco foi quase 100% e trimetoprima 5% e o tempo de meia-vida 32 e 300 minutos, respectivamente.

Figura 7: Resultados de remoção de contaminantes pela fotólise (teste controle) (A), processo fotocatalítico homogêneo (B) e heterogêneo (C).



Fonte: Adaptado de Kowalska *et al.*, 2020.

Em comparação a fotólise solar, o processo de fotocatalise homogênea (luz solar/H₂O₂) (figura 7 (B)) a degradação de diclofenaco foi 100% e trimetoprima 85% e o tempo de meia-vida 27 e 128 minutos, respectivamente. Por outro lado, na fotocatalise heterogênea (luz solar/N-TiO₂) (figura 7 (C)) os fármacos analisados foram totalmente degradados (100%) diferindo somente no tempo de meia-vida que foi de 25 e 42 minutos para o diclofenaco e trimetoprima respectivamente. Em analogia, os dois processos fotocatalíticos se mostraram eficientes na remoção dos fármacos, pois, as taxas de remoção de trimetoprima em relação ao teste controle elevaram-se. Todavia, a fotocatalise empregando luz solar em associação com TiO₂ ligado ao nitrogênio mostrou-se mais eficiente tanto no percentual de degradação quanto no tempo, que foi menor quando comparado aos demais.

Deste modo, assim como os demais métodos reproduzidos no quadro 2, o processo oxidativo Fenton também foi utilizado na remoção de produtos farmacêuticos, este, evidenciado em uma pesquisa realizada por Dehghani e coautores (2013). Na mesma, condições ideais para o antibiótico sulfametoxazol foram estudadas e diante disto, obteve-se um elevado potencial de remoção do composto em condições ótimas, atingindo 99,99% em pH 4,5 e em apenas um tempo de contato igual a 15 minutos. Por outro lado, a taxa de mineralização foi parcial (64,7 a 70,67%). Diante desses resultados, é perceptível que o processo de Fenton é muito eficiente na remoção do sulfametoxazol, consequentemente, o mesmo torna-se uma alternativa para reestabelecimento da qualidade da água em sistemas que se encontram afetados por essa classe farmacológica.

Por outro lado, o processo oxidativo de ozonificação foi utilizado por Quero-Pastor e colaboradores (2014), neste estudo os autores utilizaram o referido método para avaliar a degradação do fármaco ibuprofeno, o qual obtiveram ótimos resultados. Nesse sentido, foram avaliados a influência de alguns parâmetros (pH, TRH, condutividade, uso ou não de labirintos de tubos) no processo de remoção do ibuprofeno, dado que, os dois últimos foram considerados pouco influentes nesse processo. Mediante a isso, as condições consideradas ótimas foram: pH=9, TRH= 20 minutos, resultando em 99% de degradação do fármaco, mostrando que a ozonificação é um método eficiente, no entanto, a mineralização completa não foi alcançada.

À vista disso, uma das desvantagens que o processo de ozonificação apresenta é a mineralização parcial das substâncias contaminantes, consequentemente, acaba favorecendo a formação de compostos intermediários que por sua vez, podem apresentar propriedades toxicológicas superiores aos próprios poluentes (GOMES *et al.*, 2017).

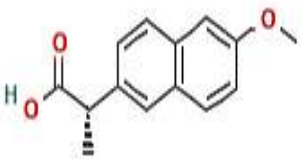
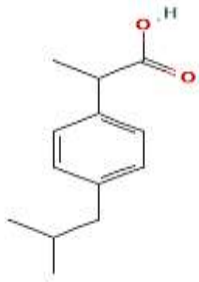
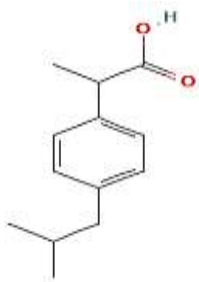
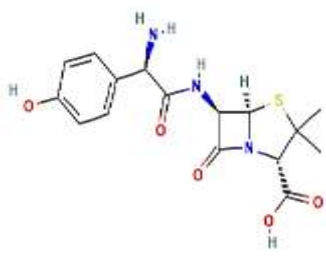
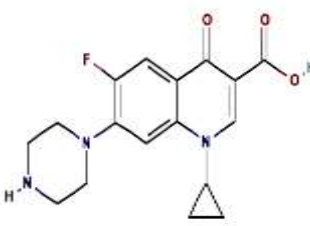
Partindo deste contexto, alguns estudos têm empregado catalisadores a esse processo oxidativo na tentativa de elevar os percentuais de mineralização dos compostos. Huang *et al* (2021) por exemplo, empregou a ozonificação associado ao ferrosilício 45# (catalisador) na remoção de ibuprofeno comparando-se os resultados de remoção e taxa de mineralização do fármaco entre o ozônio sozinho e em associação com o catalisador. Desse modo, os percentuais de degradação obtidos foram 75% para a ozonificação com o ferrosilício 45# e 37% o ozônio isolado, já no tocante a mineralização, a mesma não ocorreu totalmente, porém a ozonificação catalisada foi relativamente superior (31% maior) em relação a ozônio isolado.

Diante desses achados, é possível perceber que a associação de catalisadores à ozonificação favorece a potencialização da técnica no que diz respeito aos percentuais tanto de degradação quanto de mineralização de contaminantes farmacêuticos, permitindo ainda maior efetividade ao processo.

5.3 Remoção de fármacos utilizando BRMs

Em termos de proporção, a água é o recurso ambiental mais vasto e precioso do planeta Terra. Diante disso, cresce a preocupação sobre a ocorrência de compostos farmacêuticos e suas moléculas biologicamente ativas em corpos d'água, o que torna necessário a utilização e aprimoramento de técnicas de remoção eficazes para estes compostos, como é o caso dos BRMs (CHENG *et al.*, 2018; PAVITHRA *et al.*, 2017). Nesta perspectiva, o quadro 3 apresenta o percentual de remoção efetiva dos BRMs sob efluentes contaminados por AINEs e antibióticos.

Quadro 3: Percentual de remoção efetiva de AINEs e antibióticos por biorreatores de membrana.

Fármacos	Classe Terapêutica	Estrutura Química	Remoção (%)	Autores
Naproxeno	Anti-inflamatório não esteroidal		63,8 – 72,1%	Chen <i>et al</i> (2019)
Ibuprofeno	Anti-inflamatório não esteroidal		100%	Kim <i>et al</i> (2014)
Ibuprofeno	Anti-inflamatório não esteroidal		60 %	Ivars <i>et al</i> (2017)
Paracetamol	Anti-inflamatório não esteroidal		58,1%	Monsalvo <i>et al</i> (2014)
Amoxicilina	Antibiótico		80%	Matsubara <i>et al</i> (2020)
Ciprofloxacin	Antibiótico		100%	Zaviska <i>et al</i> (2013)

Fonte: Própria, 2022.

Em um estudo realizado por Chen e colaboradores (2019) através de um biorreator anaeróbio de membrana fluidizada (SAFMBR) em escala piloto com tempos de retenção hidráulica de 4,5 a 13,5 horas, foi avaliada a remoção de quatro compostos farmacêuticos em um esgoto municipal por 450 dias. Dentre os produtos farmacêuticos analisados, destaca-se o tratamento eficiente do fármaco naproxeno com 63,8 a 72,1% de remoção. Tal percentual de remoção, deriva-se da particularidade deste medicamento de conter grupo doador de elétrons em sua estrutura molecular, o que sugere uma boa biodegradabilidade do mesmo em SAFMBR em um tempo de contato relativamente curto.

Outra pesquisa desenvolvida por Kim *et al.*, (2014), busca analisar noventa e nove produtos farmacêuticos e de cuidados pessoais em efluente de uma estação de tratamento de efluentes utilizando biorreator de membrana. Foi averiguado o percentual de remoção de medicamentos anti-inflamatórios não esteroidais, como é o caso do ibuprofeno. Determinado fármaco obteve taxa de remoção igual a 100%, o que indica que as condições operacionais deste BRM foram eficazes, gerando uma água tratada de boa qualidade final.

Em analogia a proposta abordada por Kim e coautores (2014), Ivars *et al.*, (2017) investigaram a influência do pH na rejeição de vestígios de compostos farmacêuticamente ativos presentes em águas residuais municipais usando membranas de ultrafiltração de cerâmica fina, com tal pesquisa os autores observaram uma retenção maior de ibuprofeno em pH 8, sob estas condições determinado fármaco atingiu um percentual de remoção igual a 60%.

Dessa forma, é possível notar variação de 40% no percentual de remoção do mesmo fármaco sob condições de operação distintas. Tal afirmativa, confirma o fato de que mesmo se tratando do mesmo medicamento ou da mesma classe terapêutica os procedimentos de remoção de fármacos tendem a não seguir uma regra geral, haja vista que, o aporte relativo ao percentual de remoção está intimamente relacionado a constituição e origem do efluente analisado, características físicas e químicas dos fármacos, assim como condições de manuseio de BRMs (CIRJA *et al.*, 2008).

A exemplo, a remoção do anti-inflamatório supracitado também foi analisada durante a pesquisa de Prasertkulsak e colaboradores (2019). Mediante a influência de diferentes tempos de retenção de sólidos (TRSs), os responsáveis pelo estudo avaliaram mudanças no potencial de remoção do ibuprofeno por BRM quando submetido ao tempo de retenção infinito sem desperdício de lodo (R1), tempo de retenção de 30 dias (R2) e tempo de retenção de 15 dias (R3),

sendo que essas mudanças foram quantificadas por meio de separação física e filtração em série obtendo os resultados descritos na tabela 1.

Tabela 1: Remoção do ibuprofeno a partir de diferentes tempos de retenção de sólidos.

Fármaco	Tempo de Retenção de Sólidos (dias)	Percentual de Remoção
Ibuprofeno	R1 (infinito)	95,58%
	R2 (30)	96,55%
	R3 (15)	67,65%

Fonte: Adaptada de Prasertkulsak *et al.*, 2019.

Conforme evidenciado na tabela 1, com o tempo de retenção de sólido infinito (R1) o ibuprofeno foi altamente removido, obtendo uma taxa de remoção de 95,58%. No que se refere a mudança de R1 para um TRS de 30 dias (R2), este fármaco alcançou um percentual igual a 96,55%, demonstrando que neste caso a eficácia de remoção não foi afetada de forma negativa pela diminuição do tempo de retenção. Já quando esse SRT foi de 15 dias (R3), a eficiência de remoção decaiu para 67,65%.

Neste contexto, é possível notar que o percentual de remoção melhorou significativamente com o aumento do TRS, e ainda reafirmar mais uma vez que mesmo se tratando de um medicamento igual, o sistema de remoção não segue uma única regra e tende a variar de acordo com as individualidades de operação que o fármaco é submetido (ASIF *et al.*, 2019; PRASERTKULSAK *et al.*, 2019).

Retomando aos dados expressos no quadro 3, por intermédio de um biorreator de membrana anaeróbica o medicamento paracetamol atingiu remoção de 58,1%, o que atribui remoção biológica mediana para este anti-inflamatório sobre determinado sistema (MONSALVO *et al.*, 2014).

Quanto aos antibióticos listados, segundo Matsubara *et al.*, (2020), a eficiência de remoção da amoxicilina em um sistema piloto de biorreator de membrana de pré-desnitrificação de fluxo contínuo foi de 80%, este percentual foi alcançado com um TRH de 40 horas, em comparação, no mesmo estudo, quando a amoxicilina foi posta sob análise de TRH de 20 horas

sua remoção diminuiu para 54%, demonstrando que o aumento do TRH está diretamente relacionando a uma taxa de remoção maior deste fármaco.

Já o ciprofloxacino estudado por Zaviska e colaboradores (2013), foi totalmente removido no trigésimo quinto dia do experimento utilizando um biorreator de membrana de nanofiltração, o que ratifica sua alta adesão de remoção para o método.

Os trabalhos científicos citados relacionaram seu potencial de remoção com os fatores responsáveis por controlar os BRMs, como: tempo de retenção hidráulica, tempo retenção de sólidos, características químicas, pH, conformação dos produtos farmacêuticos, bem como acumulação de biomassa. Ambos forneceram informações relacionadas a eficiência eminente de bioreatores de membrana na remoção de compostos farmacêuticos e suas moléculas biologicamente ativas. Assim, seus benefícios relacionam-se ao potencial de atuar sobre elevadas cargas de alimentação de efluentes, é capaz de efetuar retenção integral de sólidos suspensos, possui controle preciso e também, produz um efluente final de excelente qualidade, trazendo dessa forma, numerosas vantagens para os ambientes aquáticos contaminados (FEMINA *et al.*, 2021; HAI; PRICE, 2020).

Paralelo a todas essas informações, todas as tecnologias de tratamento de águas residuais elencadas neste trabalho repercutiram resultados satisfatórios no que se refere a remoção tanto de AINEs quanto de antibióticos. Em comprovação, os percentuais de remoção para adsorção (carvão ativado e adsorventes naturais), POAs e BRMs observados foram relativamente elevados e semelhantes, demonstrando assim, que as técnicas de remoção empregadas são eficazes e postas como uma alternativa cabível a serem utilizadas frente a esse problema ambiental.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas informações obtidas, foi possível perceber que a contaminação de ambientes aquáticos por fármacos e outros poluentes ainda é um problema ambiental em ascensão e que desencadeia preocupação crescente. Desse modo, a aplicação de algumas tecnologias de tratamento desses efluentes tem se tornado frequente e bastante estudadas. Neste sentido, mediante o estudo realizado é possível constatar que as técnicas estudadas são eficientes na remoção dos contaminantes AINEs e antibióticos, dado que, os artigos referenciados ao longo do trabalho apresentaram bons percentuais de remoção.

Haja vista que, no Brasil não há registros de programas oficiais pensados especialmente para a problemática dos fármacos como contaminantes, o que favorece lacunas para que estes poluentes sejam lançados nos corpos hídricos, tornando-se necessário o estudo e aprimoramento de técnicas destinadas a remediar e prevenir a presença desses contaminantes nas diferentes matrizes ambientais, a fim de favorecer tanto a saúde humana quanto a ambiental. Assim, o emprego do método de adsorção, processos oxidativos avançados e biorreatores de membrana, se mostraram ser uma estratégia promissora a serem utilizadas na remoção desses contaminantes em águas residuais.

REFERÊNCIAS

- AICHOOR, A. *et al.* Low-cost, biodegradable and highly effective adsorbents for batch and column fixed bed adsorption processes of methylene blue. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 5, p. 103409, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343719305329>> Acesso em: 20 de Out. 2020.
- AKKARI, A. C. S. *et al.* Inovação tecnológica na indústria farmacêutica: diferenças entre a Europa, os EUA e os países farmaemergentes. **Gestão & Produção**, v. 23, n. 2, p. 365-380, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0104-530x2016000200365&script=sci_arttext&tlng=pt> Acesso em: 20 de Out. 2020.
- ALALM, M. G.; TAWFIK, A.; OOKAWARA, S. Degradation of four pharmaceuticals by solar photo-Fenton process: kinetics and costs estimation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, n. 1, p. 46-51, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343714002772>> Acesso em: 22 de Jan. de 2022.
- ALDIERI, L. *et al.* The future of pharmaceuticals industry within the triad: The role of knowledge spillovers in innovation process. **Futures**, v. 122, p. 102600, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016328720300902>> Acesso em: 15 de Nov. 2020.
- ALENCAR, T. O. S. *et al.* Descarte de medicamentos: uma análise da prática no Programa Saúde da Família. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, p. 2157-2166, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.org/article/csc/2014.v19n7/2157-2166/>> Acesso em: 20 de Out. 2020.
- ALI, I.; ASIM, M.; KHAN, T. A. Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater. **Journal of environmental management**, v. 113, p. 170-183, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479712004367>> Acesso em: 15 de Nov. 2020.
- ANDRADE, J. R. *et al.* Comparative adsorption of diclofenac sodium and losartan potassium in organophilic clay-packed fixed-bed: X-ray photoelectron spectroscopy characterization, experimental tests and theoretical study on DFT-based chemical descriptors. **Journal of Molecular Liquids**, v. 312, p. 113427, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732220316792>> Acesso em: 27 de Jan. de 2022.
- 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 & Água**, v. 11, p. 387-401, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/XjBbHvfYf4bXbDxYnX3xR3r/abstract/?lang=pt>> Acesso em: 16 de Jan. de 2022.
- ARRAIS, P. S. D. *et al.* Prevalência da automedicação no Brasil e fatores associados. **Revista de Saúde Pública**, v. 50, p. 13s, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.org/article/rsp/2016.v50suppl2/13s/pt/>> Acesso em: 20 de Out. 2020.

ASIF, M. B. *et al.* Understanding the mechanisms of trace organic contaminant removal by high retention membrane bioreactors: a critical review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 33, p. 34085-34100, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-3256-8>> Acesso em: 17 de Jan. de 2022.

BACCAR, R. *et al.* Removal of pharmaceutical compounds by activated carbon prepared from agricultural by-product. **Chemical engineering journal**, v. 211, p. 310-317, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894712012909>> Acesso em: 21 de Jan. de 2022.

BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, M.; WITEK-KROWIAK, A. Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification—A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 270, p. 244-271, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894715001746>> Acesso em: 15 de Nov. 2020.

BOTELHO, S. F.; MARTINS, M. A. P.; REIS, A. M. M. Análise de medicamentos novos registrados no Brasil na perspectiva do Sistema Único de Saúde e da carga de doença. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 23, p. 215-228, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.org/article/csc/2018.v23n1/215-228/pt/>> Acesso em: 15 de Nov. 2020.

BRASIL. **Manual das Denominações Comuns Brasileiras (DCB)**. 2. ed. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA): Brasília, 2017.

BRILLAS, E. A critical review on ibuprofen removal from synthetic waters, natural waters, and real wastewaters by advanced oxidation processes. **Chemosphere**, v. 286, p. 131849, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521023213>> Acesso em: 18 de Jan. de 2022.

BRUNTON, L. L.; CHABNER, B. A.; KNOLLMANN, B. C. **As bases farmacológicas da terapêutica de Goodman e Gilman**. 12. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

CHEN, M. *et al.* Enhanced removal of pharmaceuticals and personal care products from real municipal wastewater using an electrochemical membrane bioreactor. **Bioresource Technology**, v. 311, p. 123579, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852420308518>> Acesso em: 14 de Jan. de 2022.

CHEN, W. H. *et al.* Removals of pharmaceuticals in municipal wastewater using a staged anaerobic fluidized membrane bioreactor. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 140, p. 29-36, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964830518312009>> Acesso em: 23 de Jan. de 2022.

CHENG, D. *et al.* Anaerobic membrane bioreactors for antibiotic wastewater treatment: performance and membrane fouling issues. **Bioresource technology**, v. 267, p. 714-724, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852418310745>> Acesso em: 20 de Jan. de 2022.

CIRJA, M. *et al.* Factors affecting the removal of organic micropollutants from wastewater in conventional treatment plants (CTP) and membrane bioreactors (MBR). **Rev Environ Sci Biotechnol** 7:61–78, 2008. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-007-9121-8>> Acesso em: 21 de Jan. de 2022.

CONCEIÇÃO, S.; MORAIS, D. C. M. Automedicação com antibióticos em estabelecimento farmacêutico do município de Mogi Mirim, SP, Brasil. **FOCO: caderno de estudos e pesquisas**, n. 3, p. 23-34, 2012. Disponível em: <<http://revistafoco.inf.br/index.php/FocoFimi/article/view/3>> Acesso em: 21 de Jan. de 2022.

DE ANDRADE, J. R. *et al.* Adsorption of pharmaceuticals from water and wastewater using nonconventional low-cost materials: a review. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 57, n. 9, p. 3103-3127, 2018. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.iecr.7b05137>> Acesso em: 16 de Jan. de 2022.

DEHGHANI, S. *et al.* Sulfonamide antibiotic reduction in aquatic environment by application of fenton oxidation process. **Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering**, 2013, 10.1: 1-5. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1186/1735-2746-10-29>> Acesso em: 11 de Jan. de 2022.

DHAOUADI, F. *et al.* Application of a heterogeneous physical model for the adsorption of Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} and Cu^{2+} ions on flamboyant pods functionalized with citric acid. **Chemical Engineering Journal**, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894720340948>> Acesso em: 26 de Out. 2021.

DU, J. *et al.* Antibiotics in the coastal water of the South Yellow Sea in China: occurrence, distribution and ecological risks. **Science of the total environment**, v. 595, p. 521-527, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717308124>> Acesso em: 25 de Jan. de 2022.

FEMINA, C. C. *et al.* Analysis and removal of pharmaceutical residues from wastewater using membrane bioreactors: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 19, n. 1, p. 329-343, 2021. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-020-01068-9>> Acesso em: 19 de Jan. de 2022.

FERRERO, G.; RODA, I. R.; COMAS, J. Automatic control systems for submerged membrane bioreactors: A state-of-the-art review. **Water research**, v. 46, n. 11, p. 3421-3433, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135412002291>> Acesso em: 17 de Jan. de 2022.

GOMES, J. *et al.* Application of ozonation for pharmaceuticals and personal care products removal from water. **Science of the Total Environment**, 586: 265-283, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717302334>> Acesso em: 22 de Jan. de 2022.

GOMES, V. P.; SILVA, M. T.; GALVÃO, T. F. Prevalência do consumo de medicamentos em adultos brasileiros: uma revisão sistemática. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, p. 2615-2626, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.org/article/csc/2017.v22n8/2615-2626/pt/>> Acesso em: 15 de Nov. 2020.

GOSWAMI, L. *et al.* Membrane bioreactor and integrated membrane bioreactor systems for micropollutant removal from wastewater: A review. **Journal of Water Process Engineering**, 26(), 314–328, 2018. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714418306329>> Acesso em: 11 de Jan. de 2022.

GUERRA, M. M. H. *et al.* Oxidation mechanisms of amoxicillin and paracetamol in the photo-Fenton solar process. **Water research**, v. 156, p. 232-240, 2019. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135419301800>> Acesso em: 18 de Jan. de 2022.

GUERRA-JÚNIOR, A. A.; ACURCIO, F. A. **Políticas de Medicamentos e Assistência Farmacêutica**. Medicamentos: políticas, assistência farmacêutica, farmacoepidemiologia e farmacoconomia. Belo Horizonte: COOPMED, 2013. p. 13-73. Disponível em: <<https://www.rbfhss.org.br/sbrafh/article/view/219>> Acesso em: 15 de Nov. 2020.

HAI, F. I.; PRICE, W. E. Removal of pharmaceuticals from wastewater by membrane bioreactors: Factors, mechanisms, and perspectives. **Removal and Degradation of Pharmaceutically Active Compounds in Wastewater Treatment**, p. 223-238, 2020.

Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/698_2020_676> Acesso em: 16 de Jan. de 2022.

HOWE, K. J. *et al.* **Princípios de tratamento de água**. São Paulo: Cengage, 2016.

HUANG, Y. *et al.* Ozonation catalysed by ferrosilicon for the degradation of ibuprofen in water. **Environmental Pollution**, v. 268, p. 115722, 2021. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749120364113>> Acesso em: 14 de Jan. de 2022.

IOVINO, P. *et al.* A modeling analysis for the assessment of ibuprofen adsorption mechanism onto activated carbons. **Chemical Engineering Journal**, v. 277, p. 360-367, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894715005872>> Acesso em: 14 de Jan. de 2022.

IVARS, J. G. *et al.* Rejection of trace pharmaceutically active compounds present in municipal wastewaters using ceramic fine ultrafiltration membranes: Effect of feed solution pH and fouling phenomena. **Separation and Purification Technology**, v. 175, p. 58-71, 2017.

Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586616316264>> Acesso em: 24 de Jan. de 2022.

KALARUBAN, M. *et al.* Enhanced removal of nitrate from water using amine-grafted agricultural wastes. **Science of the Total Environment**, v. 565, p. 503-510, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716308968>> Acesso em: 27 de Out. 2020.

KALLENBORN, R. *et al.* Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in Arctic environments: indicator contaminants for assessing local and remote anthropogenic sources in a pristine ecosystem in change. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 33, p. 33001-33013, 2018. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017->

9726-6?iframeView=true&error=cookies_not_supported&code=5acd9afb-62f3-40c4-8e65-c4256cd38115> Acesso em: 01 de Nov. 2020.

KÅRELID, V.; LARSSON, G.; BJÖRLENIUS, B. Effects of recirculation in a three-tank pilot-scale system for pharmaceutical removal with powdered activated carbon. **Journal of environmental management**, v. 193, p. 163-171, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717301020>> Acesso em: 19 de Jan. de 2022.

KEBEDE, T. G. *et al.* Adsorption of antiretroviral (ARVs) and related drugs from environmental wastewaters using nanofibers. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, p. 104049, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343720303973>> Acesso em: 15 de Nov. 2020.

KIM, M. *et al.* Removal of pharmaceuticals and personal care products in a membrane bioreactor wastewater treatment plant. **Water science and technology**, v. 69, n. 11, p. 2221-2229, 2014. Disponível em: <<https://iwaponline.com/wst/article-abstract/69/11/2221/17471/Removal-of-pharmaceuticals-and-personal-care>> Acesso em: 29 de Jan. de 2022.

KOWALSKA, K. *et al.* Removal of carbamazepine, diclofenac and trimethoprim by solar driven advanced oxidation processes in a compound triangular collector based reactor: a comparison between homogeneous and heterogeneous processes. **Chemosphere**, v. 238, p. 124665, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653519318892>> Acesso em: 27 de Jan. de 2022.

KRISHNAN, R. Y. *et al.* Removal of emerging micropollutants originating from pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water and wastewater by advanced oxidation processes: A review. **Environmental Technology & Innovation**, v. 23, p. 101757, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186421004053>> Acesso em: 12 de Jan. de 2022.

LIMA, E. C. *et al.* Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 150, p. 1-17, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651317308618>> Acesso em: 27 de Out. 2020.

LIN, H. *et al.* Membrane Bioreactors for Industrial Wastewater Treatment: A Critical Review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 42(7), 677–740, 2012. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643389.2010.526494>> Acesso em: 10 de Jan. de 2022.

LIU, W. *et al.* Strategies to enhance micropollutant removal from wastewater by membrane bioreactors: Recent advances and future perspectives. **Bioresource Technology**, v. 344, p. 126322, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852421016643>> Acesso em: 10 de Jan. de 2022.

MAGED, A. *et al.* New mechanistic insight into rapid adsorption of pharmaceuticals from water utilizing activated biochar. **Environmental Research**, v. 202, p. 111693, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935121009877>> Acesso em: 25 de Jan. de 2022.

MATSUBARA, M. E. *et al.* Amoxicillin removal by pre-denitrification membrane bioreactor (A/O-MBR): Performance evaluation, degradation by-products, and antibiotic resistant bacteria. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 192, p. 110258, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014765132030097X>> Acesso em: 25 de Jan. de 2022.

MILIĆ, N. *et al.* Occurrence of antibiotics as emerging contaminant substances in aquatic environment. **International journal of environmental health research**, v. 23, n. 4, p. 296-310, 2013. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09603123.2012.733934>> Acesso em: 21 de Jan. de 2022.

MLUNGUZA, N. Y. *et al.* Adsorbents and removal strategies of non-steroidal anti-inflammatory drugs from contaminated water bodies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 3, p. 103142, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343719302659>> Acesso em: 15 de Nov. 2020.

MONSALVO, V. M. *et al.* Removal of trace organics by anaerobic membrane bioreactors. **Water research**, v. 49, p. 103-112, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135413009378>> Acesso em: 21 de Jan. de 2022.

MORAES, A. L.; ARAÚJO, N. G. P.; BRAGA, T. L. Automedicação: revisando a literatura sobre a resistência bacteriana aos antibióticos. **Revista Eletrônica Estácio Saúde**, v. 5, n. 1, p. 122-132, 2016. Disponível em: <<http://revistaadmmade.estacio.br/index.php/saudesantacatarina/article/view/2234>> Acesso em: 23 de Jan. de 2022.

MUTAMIM, N. S. A. *et al.* Membrane bioreactor: applications and limitations in treating high strength industrial wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 225, p. 109-119, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894713003690>> Acesso em: 21 de jan. de 2022.

National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 3672, Ibuprofen. 2022. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ibuprofen>>. Acesso em: 20 de Jan. de 2022.

National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 2764, Ciprofloxacin. 2022. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ciprofloxacin>>. Acesso em: 20 de Jan. de 2022.

National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 156391, Naproxeno. 2022. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Naproxen>>. Acesso em: 20 de Jan. de 2022.

National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 1983, Acetaminophen. 2022. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Acetaminophen>>. Acesso em: 20 de Jan. de 2022.

National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 33613, Amoxicillin. 2022. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Amoxicillin>> Acesso em: 20 de jan. de 2022.

NDOUN, M. C. *et al.* Adsorption of pharmaceuticals from aqueous solutions using biochar derived from cotton gin waste and guayule bagasse. **Biochar**, v. 3, n. 1, p. 89-104, 2021. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s42773-020-00070-2>> Acesso em: 20 de jan. de 2022.

OFORI-ASENSO, R.; AGYEMAN, A. A. Irrational use of medicines—a summary of key concepts. **Pharmacy**, v. 4, n. 4, p. 35, 2016. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2226-4787/4/4/35>> Acesso em: 15 de Nov. 2020.

PAREZANOVIĆ, G. Š. *et al.* Environmental transformation of pharmaceutical formulations: a scientific review. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 77, n. 2, p. 155-161, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00244-019-00630-z>> Acesso em: 01 de Nov. 2020.

PAVITHRA, K. G. *et al.* Sources and impacts of pharmaceutical components in wastewater and its treatment process: A review. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 34, n. 11, p. 2787-2805, 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11814-017-0255-2>> Acesso em: 20 de Jan. 2022.

PEREIRA, J. M.; CALISTO, V.; SANTOS, S. M. Computational optimization of bioadsorbents for the removal of pharmaceuticals from water. **Journal of Molecular Liquids**, v. 279, p. 669-676, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732218357131>> Acesso em: 01 de Nov. 2020.

PRASERTKULSAK, S. *et al.* Removals of pharmaceutical compounds at different sludge particle size fractions in membrane bioreactors operated under different solid retention times. **Journal of hazardous materials**, v. 368, p. 124-132, 2019. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389419300573>> Acesso em: 15 de Jan. 2022.

QUERO-PASTOR, M. J., *et al.* Ozonation of ibuprofen: a degradation and toxicity study. **Science of the Total Environment**, 466: 957-964, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969713008486>> Acesso em: 17 de Jan. 2022.

RAULUSAITIS, G.; GESUALDO, F. D. V. Desenvolvimento de biorreator para tratamento de efluentes das indústrias cervejeiras. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 04, Ed. 10, Vol. 12, pp. 91-120, 2019. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/biorreator-para-tratamento>> Acesso em: 14 de Jan. 2022.

ROCHA, O. R. S. *et al.* Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R. **Química nova**, v. 35, n. 7, p. 1369-1374, 2012. Disponível em: < https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422012000700016&script=sci_arttext&tlng=pt> Acesso em: 08 de Nov. 2020.

SAUCIER, C. *et al.* Microwave-assisted activated carbon from cocoa shell as adsorbent for removal of sodium diclofenac and nimesulide from aqueous effluents. **Journal of Hazardous Materials**, v. 289, p. 18-27, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389415001144>> Acesso em: 08 de Nov. 2020.

SELLAOUI, L. *et al.* Adsorption of diclofenac and nimesulide on activated carbon: statistical physics modeling and effect of adsorbate size. **Journal of physics and chemistry of solids**, v. 109, p. 117-123, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022369717303645>> Acesso em: 29 de Nov. 2020.

SEO, P. W. *et al.* Adsorptive removal of pharmaceuticals and personal care products from water with functionalized metal-organic frameworks: remarkable adsorbents with hydrogen-bonding abilities. **Scientific reports**, v. 6, p. 34462, 2016. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/srep34462>> Acesso em: 29 de Nov. 2020.

SILVA, A. F.; SILVA, D. A. Fármacos Anti-inflamatórios não esteroidais mais dispensados em uma farmácia comercial do município de Itaocara, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 3, n. 2, p. 1-14, 2012. Disponível em: <<https://www.actabiomedica.com.br/index.php/acta/article/view/41>> Acesso em: 29 de Nov. 2020.

SILVA, J. A. C. *et al.* Prevalência de automedicação e os fatores associados entre os usuários de um Centro de Saúde Universitário. **Rev Bras Clin Med**, v. 11, n. 1, p. 27-30, 2013. Disponível em: <<http://files.bvs.br/upload/S/1679-1010/2013/v11n1/a3385.pdf>> Acesso em: 30 de Nov. 2020.

SINDUSFARMA. 2020. Relatório Anual de Atividades 2020. s.l.: Sindicato da Indústria de Produtos Farmacêuticos, 2020. Disponível em: <https://sindusfarma.org.br/uploads/Publicacoes/RAA_Sindusfarma_2020_LD_abr21.pdf>. Acesso em: 27 de Jan. 2022.

SINGH, S. *et al.* Current advancement and future prospect of biosorbents for bioremediation. **Science of The Total Environment**, v. 709, p. 135895, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719358905>> Acesso em: 30 de Nov. 2020.

SUO, F. *et al.* Mesoporous activated carbon from starch for superior rapid pesticides removal. **International journal of biological macromolecules**, v. 121, p. 806-813, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813018341163>> Acesso em: 15 de Nov. 2020.

TAHERAN, M. *et al.* Membrane processes for removal of pharmaceutically active compounds (PhACs) from water and wastewaters. **Science of the Total Environment**, v. 547, p. 60-77,

2016. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969715312948>> Acesso em: 16 de Jan. 2022.

TAOUFIK, N. *et al.* Comparative overview of advanced oxidation processes and biological approaches for the removal pharmaceuticals. **Journal of Environmental Management**, 2021, 288: 112404. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721004667>> Acesso em: 16 de Jan. 2022.

TARPANI, R. R. Z.; AZAPAGIC, A. A methodology for estimating concentrations of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in wastewater treatment plants and in freshwaters. **Science of The Total Environment**, v. 622, p. 1417-1430, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717334782>> Acesso em: 30 de Nov. 2020.

TITCHOU, F. E. *et al.* Removal of organic pollutants from wastewater by advanced oxidation processes and its combination with membrane processes. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification**, v. 169, p. 108631, 2021. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S025527012100324X>> Acesso em: 16 de Jan. 2022.

VELMURUGAN, P. *et al.* Extraction, characterization, and catalytic potential of amorphous silica from corn cobs by sol-gel method. **Journal of industrial and engineering chemistry**, v. 29, p. 298-303, 2015. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226086X15001367>> Acesso em: 30 de Nov. 2020.

VIEIRA, W. T. *et al.* Removal of endocrine disruptors in waters by adsorption, membrane filtration and biodegradation. A review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, n. 4, p. 1113-1143, 2020. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-020-01000-1>> Acesso em: 13 de Jan. 2022.

XIANG, Y. *et al.* Carbon-based materials as adsorbent for antibiotics removal: mechanisms and influencing factors. **Journal of environmental management**, v. 237, p. 128-138, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719302191>> Acesso em: 12 de Jan. 2022.

YOON, S. H. **Membrane bioreactor processes: principles and applications**. CRC press, 2015.

ZAVISKA, F. *et al.* Nanofiltration membrane bioreactor for removing pharmaceutical compounds. **Journal of Membrane Science**, v. 429, p. 121-129, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037673881200840X>> Acesso em: 12 de Jan. 2022.