



## **Tecnologias estudadas para remoção de micropoluentes emergentes no Brasil**

Priscila Pauly Ribas<sup>1</sup>; Erickson Oliveira dos Santos<sup>2</sup>; Cleideane Cunha Costa<sup>3</sup>; Pedro Luiz Sosa Gonzáles<sup>4</sup>

### **Resumo**

O termo micropoluentes emergentes ou contaminantes emergentes refere-se a centenas de substâncias orgânicas, minerais, ou ainda microrganismos que têm sido detectados em diferentes matrizes ambientais em concentrações muito baixas, na ordem de microgramas ou nanogramas por litro. As pesquisas no assunto são relativamente recentes, uma vez que há pouco foram desenvolvidas tecnologias confiáveis para a detecção e quantificação dessas substâncias no ambiente. Estudos em tecnologias empregadas na remoção de micropoluentes emergentes são ainda mais recentes e restritos, sendo realizados em sua grande maioria, em regiões onde estas substâncias são monitoradas, como Europa e Estados Unidos da América. No Brasil, estudos que visem a remoção dessas substâncias são precursores e extremamente relevantes, antecipando um futuro, onde estas substâncias também serão monitoradas no país. Assim, esta revisão visa realizar um levantamento bibliográfico sobre os estudos envolvendo remoção de micropoluentes emergentes, realizadas no Brasil, no período de 2012 a 2020. Embora muitos artigos consultados sejam de revisão bibliográfica baseados em estudos realizados ao redor do mundo, já se pode encontrar pesquisas experimentais envolvendo transformação biológica, processos físico-químicos e processos oxidativos avançados sendo realizados no Brasil. Com estes dados, será possível traçar o cenário das pesquisas publicadas sobre remoção de micropoluentes emergentes no Brasil, e identificar possíveis ações para ampliação do conhecimento técnico na área.

**Palavras-Chave:** tratamento de esgoto; tratamento de águas; transformação biológica, processos físico-químicos, processos oxidativos avançados.

**Studied technologies for emerging micropollutants removal in Brazil.** The term emerging micropollutants or emerging contaminants refers to hundreds of organic substances, minerals, or even microorganisms that have been detected in different environmental matrices at exceptionally low concentrations, in the order of micrograms or nanograms per liter. The researches on the subject are relatively recent, since reliable technologies for the detection and quantification of these substances in the environment have recently been developed. Studies

---

<sup>1</sup> Analista de projetos de P&D – Samsung Research & Development Institute Brazil (SRBR). SAMSUNG Eletrônica da Amazônia, Avenida dos Oitis, nº 1.460, Distrito Industrial, CEP: 69.007-002, Manaus, AM - [priscila.p@samsung.com](mailto:priscila.p@samsung.com) (autor para correspondência)

<sup>2</sup> Analista de projetos de P&D – Samsung Research & Development Institute Brazil (SRBR) - [erickson.o@samsung.com](mailto:erickson.o@samsung.com)

<sup>3</sup> Analista ambiental – Samsung Research & Development Institute Brazil (SRBR) – [cleide.c@samsung.com](mailto:cleide.c@samsung.com)

<sup>4</sup> Chefe de P&D em Desenvolvimento Ambiental – Samsung Research & Development Institute Brazil (SRBR) – [pedro.sosa@samsung.com](mailto:pedro.sosa@samsung.com)



on technologies used to remove emerging micropollutants are even more recent and restricted, being carried out, in the great majority, in regions where these substances are monitored, such as Europe and the United States of America. In Brazil, studies aiming remove these substances are precursors and extremely relevant, anticipating a future, where these substances will also be monitored in the country. Thus, this review aims to carry out a bibliographic survey on studies involving emerging micropollutants removal, carried out in Brazil, in the period from 2012 to 2020. Although many consulted articles are bibliographic reviews based on studies carried out around the world, experimental research involving biological transformation, physicochemical processes and advanced oxidative processes can already be found in Brazil. With these data, it will be possible to outline the published research on the removal of emerging micropollutants in Brazil scenario, and identify possible actions to improve the technical knowledge in the area.

**Keywords:** sewage treatment; water treatment; biological transformation, physical-chemical processes, advanced oxidative processes.

## 1. Introdução

O termo micropoluentes emergentes ou contaminantes emergentes refere-se a centenas de substâncias orgânicas, minerais, ou ainda, microrganismos que têm sido detectados em diferentes matrizes ambientais, tais como, solo, sedimentos e águas superficiais, subterrâneas e residuais, que podem impactar o ecossistema (Da Silva and Collins 2011; Boni et al. 2012; NORMAN, n.d.; Water 2015)

Os micropoluentes emergentes são categorizados em mais de 20 classes relacionadas com sua origem. O NORMAN Project (*Network of Reference Laboratories, Research Centres and Related Organisations for Monitoring of Emerging Environmental Substances*) disponibiliza em sua página na internet uma lista, atualizada em 2016, com 1036 substâncias listadas como contaminantes emergentes (NORMAN, n.d.). Dentre as classes de compostos químicos pertencentes aos contaminantes emergentes estão os pesticidas, os fármacos, os produtos de higiene pessoal, as drogas ilícitas, os

aditivos alimentares, os desreguladores endócrinos e os subprodutos do processo de desinfecção de águas (Dulio et al. 2018; Bila and Dezotti 2007). Grande parte dos micropoluentes emergentes atuam como interferentes endócrinos ou disruptores endócrinos (DE) pois possuem capacidade de interferir no metabolismo endócrino no organismo e principalmente por causar distúrbios prejudiciais à reprodução de animais selvagens e seres humanos (Bila and Dezotti 2007; World Health Organization 2012). Segundo Bila & Dezotti (2007), os DE podem ser divididos em substâncias sintéticas ou naturais. As sintéticas são denominadas xenoestrogênios, como os alquilfenóis, pesticidas, ftalatos, bifenilas policloradas (PCB), bisfenol A e agentes farmacêuticos (17 $\alpha$ -etinilestradiol); e as naturais são denominadas como estrogênios (estrone e 17 $\beta$ -estradiol), androgênios (dihidrotestosterona) e fitoestrogênios.

Todos os compostos considerados micropoluentes emergentes podem ter tanto origem antrópica (presentes em efluentes domésticos,



industriais, hospitalares e aqueles provenientes das atividades agrícola e pecuária), quanto natural (presentes em diferentes espécies de plantas, por exemplo) (Boni et al. 2012). As principais fontes de introdução dos contaminantes orgânicos no ambiente provêm das atividades antrópicas, principalmente através dos efluentes das estações de tratamento de esgoto, as quais compreendem os efluentes sanitários e industriais (De Jesus Gaffney et al. 2014). O escoamento superficial e o vazamento de fossas sépticas e aterros sanitários também atuam como fontes de dispersão desses contaminantes orgânicos (Fairbairn et al. 2016).

A presença dessas substâncias no meio ambiente pode apresentar efeitos adversos ao ecossistema e a saúde humana. Os efeitos adversos causados por micropoluentes emergentes incluem toxicidade aquática; genotoxicidade; aumento a resistência bacteriana a antibióticos; aumento na incidência de câncer, como câncer de mama e próstata; endometriose e diversas desordens endócrinas (De Jesus Gaffney et al. 2014; Aquino, Brandt, and Chernicharo 2013; Buarque et al. 2019). Assim, uma maneira de minimizar os efeitos causados pelos micropoluentes emergentes é através

do desenvolvimento de processos efetivos na remoção dessas substâncias, que possam também atender aos requerimentos ambientais, serem compactos, com baixo custo operacional e de instalação, além de operarem com flexibilidade, para que possam ser aplicados em diferentes sistemas de tratamento (Aquino, Brandt, and Chernicharo 2013; Buarque et al. 2019).

**2.** O Brasil dispõe de muitas tecnologias de tratamento de água e efluentes, desenvolvidas no campo da engenharia ambiental e sanitária que oferecem conhecimento e competência para estudos aplicados de remoção de micropoluentes (Pinho et al. 2018). Assim, buscando identificar o cenário das tecnologias estudadas para a remoção de micropoluentes emergentes no Brasil, essa revisão se propõe a realizar um levantamento teórico sobre os estudos relacionados, publicados no Brasil, no período de 2012 a 2020.

### 3. Metodologia

A pesquisa bibliográfica que subsidiou a presente revisão foi baseada na consulta de trabalhos publicados nos últimos 8 anos (2012 a 2020), conforme as palavras chaves e base de dados, apresentados a seguir (Tabela 1).

Tabela 1. Palavras-chaves e número de trabalhos encontrados das respectivas bases de dados

Palavras-chave	Google Acadêmico	Periódicos Capes	SciELO
Tratamento; remoção; micropoluentes	8	1	4
Tratamento; remoção; contaminantes emergentes	2	1	1
Total de artigos analisados			17

Para seleção de trabalhos foram utilizados os seguintes critérios de inclusão: 1) artigos científicos in-

dexados nas seguintes bases de dados: Google acadêmico, Periódicos Capes e SciELO 2) Idiomas: inglês e português; 3) Tópicos escolhidos



(palavras-chave ou tópicos): tratamento, remoção, micropoluentes, contaminantes emergentes; 4) artigos publicados no período de 2012 a 2020. Os critérios de exclusão foram: por exemplo 1) teses, dissertações, comunicações em congresso, livros e referências de trabalho; 2) outros idiomas; 3) anos anteriores ao definido para pesquisa; 4) demais termos ou tópicos apresentados nas buscas nas bases de dados.

Outros trabalhos foram utilizados na revisão para embasar as análises realizadas para os 17 artigos selecionados.

#### **4. Resultados**

As tecnologias estudadas nos últimos anos para a remoção de micropoluentes emergentes no Brasil seguem uma tendência mundial a realizar testes com processos já utilizados no tratamento de água e esgoto, como transformação biológica, processos físico-químicos, e processos oxidativos avançados (Odabasi and Buyukgungor 2016).

De modo geral, observa-se que os processos físicos exigem mais de uma etapa de tratamento, uma vez que os micropoluentes apenas sofrem uma transferência de fase e necessitam ser tratados posteriormente. Um fenômeno semelhante ocorre com os tratamentos biológicos, uma vez que nem todas as substâncias são passíveis de decomposição e permanecem ativas nas lagoas de tratamento (Gama 2012). Entretanto, os processos oxidativos avançados têm sido apontados como uma alterna-

tiva viável na remoção de micropoluentes emergentes em matrizes aquosas (Terra et al. 2020; Pinho et al. 2018; Soares and Leão 2015; Alves, Girardi, and Pinheiro 2017; A. C. L. Dias et al. 2018; Gama 2012; Raserá et al. 2015; Napoleão et al. 2015; Santos et al. 2018).

Uma síntese da pesquisa bibliográfica realizada está apresentada na Tabela 2.

Aproximadamente 47% dos artigos pesquisados se referem a referências bibliográficas sobre as tecnologias empregadas para a remoção de micropoluentes emergentes nas diferentes matrizes ambientais (Gama 2012; Aquino, Brandt, and Chernicharo 2013; Soares and Leão 2015; Bittencourt et al. 2016; Alves, Girardi, and Pinheiro 2017; da Cunha et al. 2017; A. C. L. Dias et al. 2018; Pinho et al. 2018). Dentre os artigos que apresentaram dados de pesquisas experimentais, os processos físico-químicos foram empregados em testes para a remoção de oito micropoluentes emergentes (Bueno et al. 2016; Borges et al. 2016; A. E. H. Machado et al. 2000; Monteiro Neto et al. 2020), enquanto a transformação biológica foi testada na remoção de sete micropoluentes (Buarque et al. 2019) e os processos oxidativos avançados na remoção de cinco micropoluentes (Raserá et al. 2015; Napoleão et al. 2015; Santos et al. 2018; Terra et al. 2020). Os micropoluentes estudados foram o agrotóxico carbofurano (CBF), os químicos industriais fenol (FNL), Bisfenol A (BNL), e, os fármacos diclofenaco de sódio (DFS), ibuprofeno (IBF), amoxicilina (AMX), 17- $\beta$ -estradiol), dipirona (DPN), ácido gálico (ACG), paracetamol (PCM), cloridrato de norfloxacino (NFC), estrona



(EST), sulfametoxazole (SMF), trimethoprim (TMP). A eficiência de remoção de cada um deles em cada

processo de tratamento pode ser observada na Figura 1.

Tabela 2 - Seleção de estudos em remoção de micropoluentes emergentes no Brasil, publicados entre 2012 a 2020

<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Matriz</b>
Enhanced removal of emerging micropollutants by applying micro aeration to an anaerobic reactor	Buarque et al., 2019	Efluente sintético
Ocorrência e remoção de estrogênios por processos de tratamento biológico de esgotos	Da Cunha et al., 2017	Esgoto sanitário
Avaliação da nanofiltração e da osmose inversa na remoção de carbofurano em águas de abastecimento	Bueno et al., 2016	Água de abastecimento
Sorção de poluentes orgânicos emergentes em lodo de esgoto	Bittencourt et al., 2016	Esgoto sanitário
Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura	Aquino; Brandt; Chernicharo, 2013	Esgoto sanitário
Uso de filtros de carvão ativado granular associado a microrganismos para remoção de fármacos no tratamento de água de abastecimento	Borges et al., 2016	Água de abastecimento
Avaliação da adsorção de Fenol e Bisfenol A em carvões ativados comerciais de diferentes matrizes carbonáceas	Machado et al., 2015	Solução aquosa sintética
Fotodegradação de dipirona por catálise heterogênea empregando TiO <sub>2</sub> /UV	Terra et al., 2020	Água ultrapura e água superficial
Tratamento de esgoto sanitário contendo micropoluentes no Brasil: revisão	Pinho et al., 2018	Esgoto sanitário
Contaminação dos mananciais por micropoluentes e a precária remoção desses contaminantes nos tratamentos convencionais de água para potabilização	Soares; Leão, 2015	Água de abastecimento
Micropoluentes orgânicos: ocorrência, remoção e regulamentação	Alves; Girardi; Pinheiro, 2017	Esgoto sanitário, hospitalar e agropecuário
Ocorrência de Atrazina em águas no Brasil e remoção no tratamento da água: uma revisão sistemática	Dias et al., 2018	Águas superficiais, subterrâneas e tratadas
Processos Fenton como alternativa na remoção de interferentes endócrinos e outros micropoluentes ambientais	Gama, 2012	Matrizes aquosas
Remoção da atividade estrogênica por cloração	Monteiro Neto et al., 2020	Água subterrânea
Estudo de remoção de micropoluentes de águas residuais da indústria	Rasera et al., 2015	Água residual industrial
Degradação do contaminante emergente paracetamol empregando processos oxidativos avançados	Napoleão et al., 2015	Solução aquosa sintética
Utilização de fotocatalise heterogênea para a degradação de contaminantes emergentes: cloridrato de norfloxacino	Santos et al., 2018	Solução aquosa sintética



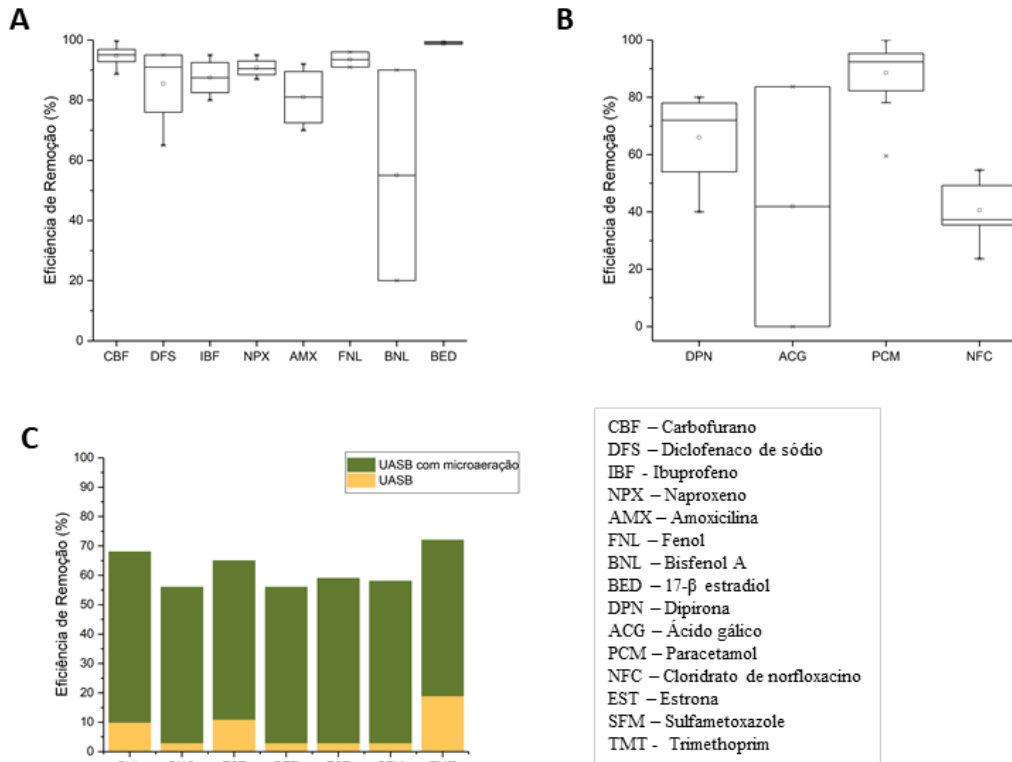


Figura 1 - Eficiência de remoção de micropoluentes emergentes usando Processos Oxidativos Avançados (A), Processos Físico-Químicos (B) e por Transformação Biológica (C)

A descrição das diferentes formas de remoção pode ser observada nos itens que seguem.

### 3.1 Transformação biológica

A biodegradação é um processo em que microrganismos transformam ou alteram, por meio de uma rota metabólica ou ação enzimática, a molécula introduzida no meio ambiente (OECD 2008). Não existem detalhes disponíveis dos mecanismos de degradação biológica e de seus produtos formados para a grande maioria dos micropoluentes emergentes. Devido às baixas concentrações encontradas *in loco* é assumido que a degradação dos

micropoluentes emergentes não contribui significativamente para o crescimento microbiano. Ao invés disso, especula-se que alguns micropoluentes estão sendo degradados por enzimas produzidas para outros fins primários, como o cometabolismo (Ternes and Joss 2006).

Muitos fatores podem afetar a biodegradabilidade de uma substância. Em resumo, a taxa de transformação biológica de cada substância depende: das propriedades de cada substância (como a biodegradabilidade e a polaridade), da biodiversidade da biomassa ativa, da idade do lodo e da temperatura do



efluente (Ternes and Joss 2006). Alguns estudos relatam que a biodegradabilidade é maior em condições aeróbicas do que em anaeróbicas (Virukyte, Varma, and Jagatheesan 2010; da Cunha et al. 2017). Entretanto, uma pesquisa realizada no Brasil mostrou que a eficiência de remoção dos compostos pode passar de 10% para mais de 50% quando empregada a microaeração em reatores anaeróbicos (Figura 1C), sem comprometer a estrutura da microbiota formada por bactérias e Archaea, nem alterar sua organização funcional (Buarque et al. 2019).

A transformação biológica também contribui para a remoção de micropoluentes em sistemas de filtros biológicos, como por exemplo, em associação com carvão ativado (Borges et al. 2016). Segundo os autores, o uso de filtros biológicos de carvão pode representar uma técnica promissora para a remoção de fármacos e outros compostos recalcitrantes, conhecidos como micropoluentes. O sucesso desse tratamento pode estar associado ao fato de o carvão ativado reduzir a citotoxicidade do efluente em aproximadamente 61%, possibilitando que um maior número de microrganismos atue na degradação dos micropoluentes (Stalter et al. 2011).

## **3.2 Processos Físico-químicos**

### **3.2.1 Carvão ativado**

No Brasil, uma das tecnologias de remoção de micropoluentes mais estudada é a adsorção em carvão ativado (Bittencourt et al. 2016). Isto ocorre pois, quando se trata em adsorção, o carvão ativado é mais eficiente do que outros materiais alternativos (A. C. L. Dias et al. 2018). O carvão ativado é definido como uma forma de carvão com estrutura altamente porosa, que proporciona uma grande área superficial. É um

material quimicamente inerte. Existem duas formas principais de carvão ativado: a pulverizada (em pó) e a granulada, com as suas distintas aplicações (Calgon 2020; Alves, Girardi, and Pinheiro 2017; Pinho et al. 2018).

Suas propriedades dependem da matéria-prima, do processo e do tempo de ativação utilizados, além da forma final do carvão. Avaliando carvões ativados com diferentes matrizes carbonáceas na adsorção de micropoluentes emergentes, percebeu-se que matrizes betuminosas são mais eficientes do que as vegetais (C. R. A. Machado et al. 2015). Valores elevados de coeficiente de partição octagonal/água ( $K_{ow}$ ) e logaritmo do coeficiente de distribuição sólido-líquido ( $\log K_d$ ) podem contribuir para que uma substância seja adsorvida (Aquino, Brandt, and Chernicharo 2013).

Nas pesquisas realizadas no Brasil, a eficiência do carvão ativado para a remoção de micropoluentes emergentes pode alcançar 96% de remoção, sendo os melhores resultados encontrados para diclofenaco de sódio, ibuprofeno, naproxeno e fenol (A. E. H. Machado et al. 2000; Borges et al. 2016).

### **3.2.3. Cloração**

Outro processo bem estabelecido no tratamento de água é a cloração. O cloro possui excelente poder oxidante, característica que pode levar à remoção de micropoluentes emergentes (C. G. Dias, Librantz, and Santos 2020). Alguns micropoluentes orgânicos podem ser significativamente transformados em dióxido de cloro ( $ClO_2$ ) e cloro ( $HOCl$ ) durante a cloração. No entanto, a eficiência de transformação de micropoluentes orgânicos pode ser afetada por amônia, nitrito e brometo em matrizes ambientais. Além disso, haletos e matéria orgânica natural em a fonte de água pode reagir com o cloro, levando à geração de numerosos subprodutos



de desinfecção prejudiciais, que podem causar citotoxicidade, genotoxicidade e afetam a atividade estrogênica/antiestrogênica (Li et al. 2021).

No Brasil, uma pesquisa mostrou que a cloração é eficiente para diminuir a atividade estrogênica do hormônio 17- $\beta$ -estradiol em  $98,6 \pm 1,1\%$  usando uma dose de  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$  de cloro e tempo de contato de 30 minutos. (Monteiro Neto et al. 2020). Na mesma pesquisa, com uma dose de  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  obteve-se  $99,5 \pm 0,1\%$  no mesmo tempo. Segundo os autores, a formação de subprodutos durante o processo de oxidação dos compostos estrogênicos pode ocorrer e as substâncias formadas podem ser recalcitrantes no tratamento por cloração. A presença de substância com efeito estrogênico pode apresentar risco de efeitos adversos na saúde humana, considerando o consumo de água contaminada (do Nascimento et al. 2018).

#### **3.2.4. Separação através de membranas**

O uso de tecnologias de separação através de membranas vem tornando-se uma alternativa frequente no tratamento de água e efluentes no Brasil. Assim, as membranas de separação são apontadas como uma tecnologia viável para o tratamento e a reutilização de águas, destacando-se por conceder a separação seletiva de partículas, com fluxo contínuo, de estrutura compacta e com operação simples, produzindo água com qualidade superior em relação as resultantes dos tratamentos convencionais (Bueno et al. 2016; Pinho et al. 2018). As membranas usadas

em processos de separação podem ser classificadas como microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa (Alves, Girardi, and Pinheiro 2017). As membranas de osmose reversa e microfiltração são muito estudadas para a remoção de micropoluentes emergentes em matrizes aquosas (A. C. L. Dias et al. 2018).

Segundo Bueno et al., (2016), o uso de membranas de nanofiltração e membranas de osmose reversa, ambas de filme fino composto (FFC), com a camada de separação em poliamida, mostraram-se eficientes na remoção de carbofurano, com remoção de 98,4% e 99,7% respectivamente. As membranas são eficientes, uma vez que possuem a capacidade de interagir com micropoluentes com diferentes características físico-químicas, como tamanho, carga, solubilidade, difusividade e hidrofobicidade, pois o processo de filtração envolve mecanismos fundamentais de eletrostática, interação, exclusão de tamanho e interação hidrofóbica (Khanzada et al. 2020).

#### **3.3 Processos Oxidativos Avançados**

Os processos oxidativos avançados (POAs) são reconhecidos como uma das mais eficazes tecnologias para a degradação de substâncias químicas em matrizes aquáticas. O processo está baseado na geração do radical hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ), radicais superóxido ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ) e radicais hidro-



peroxila ( $\text{HO}_2^\bullet$ ), que tem alto poder oxidante, para promover uma degradação mais efetiva do poluente a ser tratado, em um período de tempo relativamente curto (Machado et al. 2000; Pinho et al. 2018; de Brito and Silva 2012)

A fotodegradação é um dos POAs empregados na remoção de micropoluentes emergentes, com efeitos significativos encontrados em pesquisas internacionais (Yuval et al. 2017). Em 2015, uma pesquisa realizada no Estado de Santa Catarina mostrou que a fotólise com radiação UV pode remover micropoluentes com uma eficiência superior a 80% (Rasera et al. 2015). Em comparação, o processo de foto-Fenton, mostrou-se superior a degradação apresentada pelo uso de UV-C e conseguiu remover 100% de paracetamol (Napoleão et al. 2015). O processo de foto-fenton provoca a fotólise dos íons  $\text{Fe}^{3+}$ , resultando na redução a  $\text{Fe}^{2+}$  pela ação de radiação UV/visível. O  $\text{Fe}^{2+}$  então, reage com peróxido de hidrogênio liberando radicais hidroxilas que atuam na degradação dos micropoluentes emergentes (Nogueira et al. 2007; Gama 2012).

O processo conhecido como fotocatalise heterogênea, envolve reações redox induzidas pela radiação, na superfície, de semicondutores minerais catalisadores como, por exemplo,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{BiO}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Ferreira and Daniel 2004). Esse processo vem apresentando resultados satisfatórios na oxidação de micropoluentes emergentes

(Santos et al. 2018). Quando aplicada na remoção de fármacos, sua eficiência varia entre 70% e 80%, utilizando  $\text{TiO}_2/\text{O}_2/\text{UV}$  solar e  $\text{TiO}_2/\text{O}_2/\text{UV}$  artificial, respectivamente (Terra et al. 2020).

## 5. Considerações finais

Os micropoluentes emergentes são um desafio crescente no tratamento de efluentes, instigando os pesquisadores a desenvolver sistemas para a remoção completa ou parcial dessas substâncias, que causam preocupações quanto aos impactos no ecossistema em geral, afetando direta e indiretamente a saúde humana. As tecnologias estudadas no Brasil estão seguindo a tendência mundial de empregar sistemas de tratamento já conhecidos, visando a remoção dos micropoluentes emergentes. Nessa revisão bibliográfica, foi possível identificar que os estudos utilizam tecnologias conhecidas, como adsorção em carvão ativado, biodegradação por processos aeróbicos e anaeróbicos, cloração, sistemas de separação através de membranas e ainda de forma mais contida, os processos oxidativos avançados.

São poucas as pesquisas experimentais realizadas no país. Parte dos artigos científicos analisados tratam apenas de revisões sobre o assunto, baseadas em pesquisas realizadas, em sua maioria, em outros países. O cenário é positivo para a realização de novos estudos visando a remoção de micropoluentes emergentes no Brasil, já que é possível desenvolver sistemas utilizando tecnologias conhecidas e pensando em diferentes estratégias de remoção, como tratamento combinado, utilizando mais de uma tecnologia, e



emprego de novas tecnologias baseadas em pesquisas sobre os processos.

## 6. Agradecimentos

Artigo resultante de projeto de pesquisa e desenvolvimento realizado pela equipe de desenvolvimento ambiental da SAMSUNG Eletrônica da Amazônia LTDA em decorrência da Lei de Informática. A base legal para tal é o artigo 48º do Decreto 6.008/2006, nos termos da Lei Federal nº 8.387/1991.

## 7. Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. O(s) autor(es) e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

## 8. Referências

Alves, Thiago, Rubia Girardi, and Adilson Pinheiro. 2017. "Micropoluentes Orgânicos: Ocorrência, Remoção e Regulamentação." *Revista de Gestão de Água Da América Latina* 14 (0). <https://doi.org/10.21168/rega.v14n0.p0-1>.

Aquino, Sérgio Francisco, Emanuel Manfred Freire Brandt, and Carlos Augusto de Lemos Chernicharo. 2013. "Remoção de Fármacos e Desreguladores Endócrinos Em Estações de Tratamento de Esgoto: Revisão Da Literatura." *Engenharia Sanitária e Ambiental* 18 (3): 187–204.

Bila, Daniele Maia, and Márcia Dezotti. 2007. "Desreguladores Endócrinos No Meio Ambiente: Efeitos e Conseqüências." *Química Nova* 30 (3): 651–66. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422007000300027>.

Bittencourt, Simone, Miguel Mansur Aisse, Beatriz Monte Serrat, and Júlio César

Rodrigues de Azevedo. 2016. "Sorção de Poluentes Orgânicos Emergentes Em Lodo de Esgoto." *Engenharia Sanitária e Ambiental*. <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100119334>.

Boni, M. R., S. Scaffoni, P. Tedesco, and M. Vaccari. 2012. "Mass Balance of Emerging Organic Micropollutants in a Small Wastewater Treatment Plant." In , 345–56. <https://doi.org/10.2495/WP120301>.

Borges, Rívea Medri, Alessandro Minillo, Eliana Gertrudes de Macedo Lemos, Heloiza Ferreira Alves do Prado, and Edson Pereira Tangerino. 2016. "Uso de Filtros de Carvão Ativado Granular Associado a Microrganismos Para Remoção de Fármacos No Tratamento de Água de Abastecimento." *Engenharia Sanitária e Ambiental* 21 (4): 709–20. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016118787>.

Brito, Núbia Natália de, and Victor Borges Marinho Silva. 2012. "Processo Oxidativo Avançado e Sua Aplicação Ambiental." *REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil*.

Buarque, Patrícia Marques Carneiro, Ricardo Bruno Pinheiro de Lima, Carla Bastos Vidal, Hugo Leonardo de Brito Buarque, Paulo Igor Milen Firmino, and André Bezerra dos Santos. 2019. "Enhanced Removal of Emerging Micropollutants by Applying Microaeration to an Anaerobic Reactor." *Engenharia Sanitária e Ambiental* 24 (4): 667–73. <https://doi.org/10.1590/s1413-4152201920190030>.

Bueno, Marcelo Zawadzki, Lucila Adriani Coral, Mauricio Luiz Sens, and Flávio Rubens Lapolli. 2016. "Avaliação Da Nanofiltração e Da Osmose Inversa Na Remoção de Carbofurano Em Águas de Abastecimento." *Engenharia Sanitária e Ambiental* 21 (3): 447–58. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016121729>.

Calgon. 2020. "So, What Is Activated Carbon?" Calgon Carbon. 2020. <https://www.calgoncarbon.com/activated-carbon/>.

Cunha, Danieli Lima da, Lícia Murito de Paula, Samuel Muylaert Camargo da Silva, Daniele Maia Bila, Estefan Monteiro da Fonseca, and Jaime Lopes da Mota Oliveira. 2017. "Ocorrência e Remoção de



- Estrogênios Por Processos de Tratamento Biológico de Esgotos." *Revista Ambiente e Agua*. <https://doi.org/10.4136/ambiagua.1992>.
- Dias, Agata Cristina Lima, Juliana Mattos Bohrer Santos, Ana Sílvia Pereira Santos, Sue Ellen Costa Bottrel, and Renata De Oliveira Pereria. 2018. "OCORRÊNCIA DE ATRAZINA EM ÁGUAS NO BRASIL E REMOÇÃO NO TRATAMENTO DA ÁGUA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA." *Revista Internacional de Ciências* 8 (2): 149–68. <https://doi.org/10.12957/ric.2018.34202>.
- Dias, Cleber Gustavo, André Felipe Henriques Librantz, and Fábio Cosme Rodrigues dos Santos. 2020. "Modelagem e Simulação de Um Sistema Inteligente Para Controle de Dosagem Da Pós-Cloração Em Estações de Tratamento de Água." *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 25 (2): 323–32. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020173961>.
- Dulio, Valeria, Bert van Bavel, Eva Brorström-Lundén, Joop Harmsen, Juliane Hollender, Martin Schlabach, Jaroslav Slobodnik, Kevin Thomas, and Jan Koschorreck. 2018. "Emerging Pollutants in the EU: 10 Years of NORMAN in Support of Environmental Policies and Regulations." *Environmental Sciences Europe* 30 (1): 5. <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0135-3>.
- Fairbairn, David J., M. Ekrem Karpuzcu, William A. Arnold, Brian L. Barber, Elizabeth F. Kaufenberg, William C. Koskinen, Paige J. Novak, Pamela J. Rice, and Deborah L. Swackhamer. 2016. "Sources and Transport of Contaminants of Emerging Concern: A Two-Year Study of Occurrence and Spatiotemporal Variation in a Mixed Land Use Watershed." *Science of The Total Environment* 551–552 (May): 605–13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.056>.
- Ferreira, Ivete Vasconcelos Lopes, and Luiz Antonio Daniel. 2004. "Fotocatálise Heterogênea Com TiO<sub>2</sub> Aplicada Ao Tratamento de Esgoto Sanitário Secundário." *Engenharia Sanitaria e Ambiental*. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522004000400011>.
- Gama, Mariana Roberto. 2012. "Fenton Processes as an Alternative to the Removal of Endocrine Disruptors and Other Environmental Pollutants." *Revista Virtual de Química* 4 (6). <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20120056>.
- Jesus Gaffney, Vanessa De, Vitor Vale Cardoso, Alexandre Rodrigues, Elisabete Ferreira, Maria João Benoliel, and Cristina M.M. Almeida. 2014. "Análise de Fármacos Em Águas Por Spe-Uplc-Esi-MS/MS." *Quimica Nova*. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422014000100023>.
- Khanzada, Noman Khalid, Muhammad Usman Farid, Jehad A. Kharraz, Jungwon Choi, Chuyang Y. Tang, Long D. Nghiem, Am Jang, and Alicia Kyoungjin An. 2020. "Removal of Organic Micropollutants Using Advanced Membrane-Based Water and Wastewater Treatment: A Review." *Journal of Membrane Science* 598 (March): 117672. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.117672>.
- Li, Xiuwen, Aimin Li, Zekai Li, Hongfang Sun, Peng Shi, Qing Zhou, and Chendong Shuang. 2021. "Organic Micropollutants and Disinfection Byproducts Removal from Drinking Water Using Concurrent Anion Exchange and Chlorination Process." *Science of The Total Environment* 752 (January): 141470. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141470>.
- Machado, Antonio E.H., Aline M. Furuyama, Sandra Z. Falone, Reinaldo Ruggiero, Denilson Da Silva Perez, and Alain Castellan. 2000. "Photocatalytic Degradation of Lignin and Lignin Models, Using Titanium Dioxide: The Role of the Hydroxyl Radical." *Chemosphere*. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00269-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00269-6).
- Machado, Carla Rênes Alencar, Yuri Gomes Leite e Silva, Luiza Penna Santos Pereira, Enrico Mendes Saggiaro, and Juacyara Carbonelli Campos. 2015. "Avaliação Da Adsorção de Fenol e Bisfenol A Em Carvões Ativados de Diferentes Matrizes Carbonáceas." *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 10 (4). <https://doi.org/10.4136/ambi>



agua.1698.

Monteiro Neto, João, Juliana Palermo Evangelista Dos Santos, Taiza dos Santos Azevedo, Thamara Costa Resende, Nayara Coury De Rezende, Ann Honor Munteer, Sue Ellen Costa Bottrel, and Renata de Oliveira Pereira. 2020. "Remoção Da Atividade Estrogênica Por Cloração." *Principia: Caminhos Da Iniciação Científica* 19 (2): 11. <https://doi.org/10.34019/2179-3700.2019.v19.29920>.

Napoleão, Daniella Carla, Léa Elias Mendes Carneiro Zaidan, Júlia Barbosa de Almeida Salgado, Renata Vitória de Lima Salas, and Valdinete Lins da Silva. 2015. "Degradação Do Contaminante Emergente Paracetamol Empregando Processos Oxidativos Avançados." *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* 19 (3): 725–34. <https://doi.org/10.5902/2236117018577>.

Nascimento, Marília Teresa Lima do, Ana Dalva de Oliveira Santos, Louise Cruz Felix, Giselle Gomes, Mariana de Oliveira e Sá, Danieli Lima da Cunha, Natividade Vieira, Rachel Ann Hauser-Davis, José Antonio Baptista Neto, and Daniele Maia Bila. 2018. "Determination of Water Quality, Toxicity and Estrogenic Activity in a Nearshore Marine Environment in Rio de Janeiro, Southeastern Brazil." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 149 (March): 197–202. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.045>.

Nogueira, Raquel F. Pupo, Alam G. Trovó, Milady Renata A. da Silva, Ricardo D. Villa, and Mirela C. de Oliveira. 2007. "Fundamentos e Aplicações Ambientais Dos Processos Fenton e Foto-Fenton." *Química Nova*. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422007000200030>.

NORMAN. n.d. "NORMAN." Network of Reference Laboratories, Research Centres and Related Organisations for Monitoring of Emerging Environmental Substances. <https://www.norman-network.net/>.

Odabasi, Sevde Ustun, and Hanife Buyukgungor. 2016. "Removal of Micropollutants in Water with Advanced Treatment Processes." In *1st International Black Sea Congress on Environmental*

*Sciences*, 1–7.

OEDC. 2008. "OECD Glossary of Statistical Terms." *OECD Glossary of Statistical Terms*. <https://doi.org/10.1787/9789264055087-en>.

Pinho, Eliane Alves, Luiz Fernando Romanholo Ferreira, Juliana Heloísa Piné Américo-Pinheiro, and Nádia Hortense Torres. 2018. "Tratamento de Esgoto Sanitário Contendo Micropoluentes No Brasil: Revisão." *Bioenergia Em Revista: Diálogos (ISSN: 2236-9171)*.

Rasera, Fernanda, Andrei Goldbach, Ricardo Manuel, and Nunes Salgado. 2015. "Estudo de Remoção de Micropoluentes de Águas Residuais Da Indústria de Cortiça," 43–52.

Santos, Miriã Cristina, Ingrid De Mello Oehninger, Julia Caroline Manzano Willig, and Mauricio Ferreira Rosa. 2018. "Utilização de Fotocatálise Heterogênea Para a Degradação de Contaminantes Emergentes: Cloridrato de Norfloxacin." *Revista de Química Industrial*, 25–35.

Silva, Carla Grazieli Azevedo Da, and Carol H. Collins. 2011. "Aplicações de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência Para o Estudo de Poluentes Orgânicos Emergentes." *Química Nova*. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000400020>.

Soares, Alexandra Fátima Saraiva, and Monia Maria Diniz Leão. 2015. "Contaminação Dos Mananciais Por Micropoluentes e a Precária Remoção Desses Contaminantes Nos Tratamentos Convencionais de Água Para Potabilização." *Doutrina Internacional* 14 (24): 36–85.

Stalter, Daniel, Axel Magdeburg, Martin Wagner, and Jörg Oehlmann. 2011. "Ozonation and Activated Carbon Treatment of Sewage Effluents: Removal of Endocrine Activity and Cytotoxicity." *Water Research* 45 (3): 1015–24. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.10.008>.

Ternes, T., and A. Joss. 2006. *Human Pharmaceuticals, Hormones and Fragrances - The Challenge of Micropollutants in Urban Water Management. Water Intelligence Online*. <https://doi.org/10.2166/9781780402468>.



Ciências Ambientais

Terra, Svia Del Vale, Bianca Veloso Goulart, Patrícia Maralyne Lopes Lisboa Fagundes, Denis Henrique Silva Nadaleti, and Márcia Matiko Kondo. 2020. "Fotodegradao de Dipirona Por Catlise Heterogênea Empregando TiO<sub>2</sub>/UV." *Research, Society and Development* 9 (1): e73911646. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1646>.

Virkutyte, Jurate, Rajender S. Varma, and V. Jagatheesan. 2010. "Treatment of Micropollutants in Water and Wastewater." *Water Intelligence Online* 9: 503. <https://doi.org/10.2166/9781780401447>.

Water, U N. 2015. "Water for a Sustainable World." *The United Nations World Water*

*Development Report.*

World Health Organization. 2012. "Pharmaceuticals in Drinking-Water." [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/pharmaceuticals\\_2011\\_0601.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/pharmaceuticals_2011_0601.pdf).

Yuval, Alfiya, Friedler Eran, Westphal Janin, Olsson Oliver, and Dubowski Yael. 2017. "Photodegradation of Micropollutants Using V-UV/UV-C Processes; Triclosan as a Model Compound." *Science of The Total Environment* 601–602 (December): 397–404. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.172>.