



# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## TÉCNICAS DE REMOÇÃO DE MICROPOLUENTES EMERGENTES PRESENTES NA ÁGUA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Augusto César Rezende Azevedo <sup>1</sup>

Anderson de Jesus Lima <sup>1</sup>

\* Denise Conceição de Gois Santos Michelan <sup>1</sup>

## TECHNIQUES FOR REMOVING EMERGING MICROPOLLUTANTS IN WATER: A SYSTEMATIC REVIEW

Recibido el 9 de septiembre de 2022. Aceptado el 10 de abril de 2023

### Abstract

*Emerging micropollutants (MPE) are substances detected in the environment, be it water and soil, which can in no way alter these systems, in addition to human health. Water treatment processes framed as conventional are generally inefficient in removing contaminants. Thus, alternative technologies of effective removal for this treatment are sought. For this, a systematic review of the literature was carried out that aimed to show a perspective on the MPE considered elements of the studies, as well as applied treatment techniques and efficiencies achieved, based on three international data platforms, with selection of acceptance criteria and rejection based on the protocol under review. The study included the bibliographic portfolio composed of 35 primary articles, with citation of 109 MPE, belonging to 39 groups, exposed to 44 techniques aimed at treatment. As a result of the data, these were synthesized in an abacus. A significant diversity of active ingredients was observed, removed by multiple treatment techniques, requiring studies to incorporate techniques that will act associated with conventional treatment in a viable manner.*

**Keywords:** microcontaminants, water treatment, endocrine disruptors, drugs, micropollutants abacus.

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, Brasil.

\* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe/ Brasil. Avenida Marechal Rondon s/n – Bairro Rosa Elze, São Cristóvão, Sergipe/Brasil. CEP: 49100-000. Brasil. Email: [denise\\_gois@yahoo.com.br](mailto:denise_gois@yahoo.com.br)

## Resumo

Micropoluentes emergentes (MPE) são substâncias detectadas no meio ambiente, seja água e solo, que podem alterar, de alguma forma, estes sistemas, além da saúde do ser humano. Os processos de tratamento de água enquadrados como convencionais, geralmente, são ineficientes para remover os contaminantes. Assim, busca-se tecnologias alternativas de remoção efetiva para esse tratamento. Para isso, realizou-se uma revisão sistemática da literatura que objetivou exibir uma perspectiva sobre os MPE considerados elementos dos estudos, assim como técnicas de tratamento aplicadas e eficiências alcançadas, pautada em três plataformas de dados internacionais, com seleção de critérios de aceitação e rejeição fundamentado em protocolo de revisão. O estudo englobou o portfólio bibliográfico composto por 35 artigos primários, com citação de 109 MPE, pertencentes a 39 grupos, expostos a 44 técnicas voltadas ao tratamento. Como resultante dos dados, sintetizou-se estes em um ábaco. Observou-se significativa diversidade de princípios ativos, removidos por múltiplas técnicas de tratamento, necessitando de estudos para incorporação de técnicas que venham atuar associado ao tratamento convencional, de forma viável.

**Palavras-chave:** microcontaminantes, tratamento de água, desreguladores endócrinos, fármacos, ábaco de micropoluentes.

---

## Introdução

Ao monitorar água destinado ao consumo humano, depara-se com contaminantes presentes na água ainda localizada na natureza (meio ambiente), oriundos de ações antrópicas (agrotóxico, atividades agrícolas, efluentes, fármaco, pecuária etc.). Desreguladores endócrinos, fármacos e poluentes orgânicos persistentes (POP) são substâncias investigadas, principalmente por causa dos efeitos negativos aos organismos humanos expostos (Bila; Dezotti, 2007). Segundo Ramakrishnan *et al.* (2015) considera-se micropoluentes (MP) os produtos utilizados nos cuidados pessoais (Pharmaceuticals and personal care products – PPCPs), exemplificados como analgésicos, antibióticos, antidepressivos, antimicrobicas, antipiréticos, cosméticos, desinfetantes, esteroides, fragrâncias, estimulantes e outras substâncias químicas utilizadas diariamente pelo ser humano, adentram nos meios aquáticos, por exemplo, através da aspersão de fertilizantes, presença de lixiviações existente em aterros sanitários, ou mesmo na descarga de esgotos, ocasionando a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Entretanto, apenas após estudos baseados em técnicas de detecção, conhecimento dos efeitos e frequência dos MP na água, é que se tornaram preocupação emergente (E). Assim, foi assinalado o termo micropoluentes emergentes (MPE). Apesar de ter sido percebido há muito tempo na água disposta ainda na natureza, não foram identificados com acuidade no grau de importância, por serem sensíveis de detecção. Assim, na atualidade, busca-se investigar o termo emergente associado à necessidade urgente de estudo (Vettorello *et al.*, 2017).

Diante do contexto, durante o desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso a nível de graduação de um dos autores da presente obra, observou-se a preocupação com a existência dos

MPE, estendendo-se desde décadas anteriores até os dias atuais, e que, no decorrer dos anos, são estudados mundialmente, na detecção em sistemas aquáticos, e em também nas Estações de Tratamento de Água (ETA) (Montagner; Vidal; Acayaba, 2017).

Perante a identificação, mesmo após o tratamento, é possível detectar a presença de MPE na água tratada, porém em baixas concentrações (Tröger *et al.*, 2021), assim processos alternativos de tratamento são incorporados ou ajustados nas ETAs, exemplificado por filtração por carvão ativado granulado (GAC) e ozonização, (Borrull *et al.*, 2021; Guillon *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2020), buscando a efetiva remoção desses contaminantes.

Assim, com base no exposto, o estudo objetivou elaborar a revisão sistemática, fundamentada no panorama sobre técnicas de remoção de MPE da água, associada às eficiências de remoção obtidas, de modo a compilar estes dados em um ábaco.

### Metodologia

A revisão sistemática baseou-se nas publicações científicas voltadas à temática de técnicas de remoção de MPE da água. Realizou-se a varredura por artigos nas plataformas de dados internacionais: ScienceDirect, Scopus e Web of Science, na qual seguiu-se com as etapas: criação de protocolo de pesquisa, levantamento e identificação de artigos, seleção dos artigos com base em critérios de inclusão e exclusão, e, por fim, extração de dados dos artigos selecionados, análise e síntese dos mesmos.

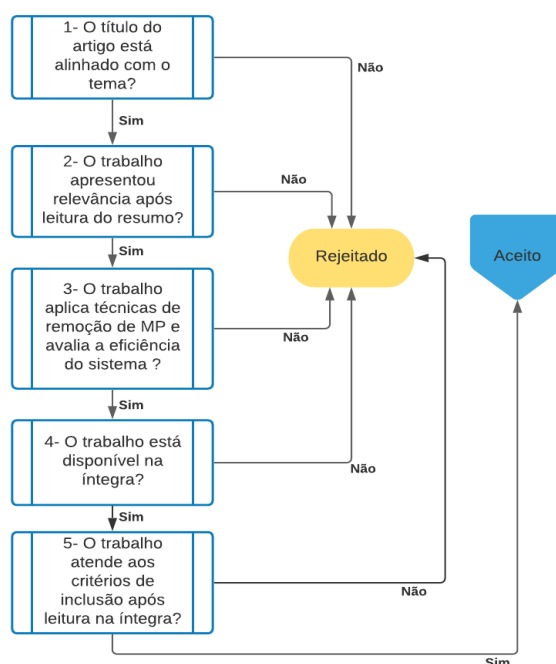
O protocolo de pesquisa registrou as indagações e definições para busca, seleção e extração dos artigos, norteada pelos questionamentos: (1) Quais MP são objetos desse estudo? (2) Quais técnicas de tratamento foram utilizadas? (3) Quais eficiências obtidas pelas técnicas?

A busca nas plataformas de dados limitou-se a artigos primários com caráter prático, na linguagem espanhol, inglês e português, de forma atemporal para a publicação, e sem filtros quanto ao tipo de acesso aos trabalhos e área do conhecimento.

De forma inicial, definiu-se as Strings de busca de cada plataforma de dados. O processo de escolha das palavras para compor as Strings de busca apoiou-se em pesquisas no Google Acadêmico, para compor as palavras-chave. As Strings de pesquisa utilizadas na Scopus e Web of Science foram semelhantes, com inserção do asterisco (\*), de modo a incorporar a variação de termos ou palavras (singular / plural): ("emerging micropollutant\*" OR "emerging micropollutant\*") AND (water). As Strings de pesquisa para a base de dados Science Direct apresentaram flexão dos termos (singular ou plural): ("emerging micropollutant" OR "emerging micropollutant" OR "emerging micropollutants" OR "emerging micropollutants") AND (water).

Definida as Strings, buscou-se os artigos nas respectivas bases de dados, obtendo-se: 117 na Scopus, 42 na Science Direct e 133 na Web of Science, que resultou em 292 publicações científicas.

Após essa busca, 143 artigos foram excluídos por estarem duplicados. Realizada a análise a partir do título e resumo dos remanescentes, rejeitou-se 96 publicações. Concluída essa etapa, realizou-se leitura integral nos 48 artigos, pois cinco não estavam indisponíveis. Nessa etapa, rejeitou-se outros 13 artigos por não terem resposta positiva (sim) aos três questionamentos condicionantes, conforme se observa no fluxograma ilustrado na Figura 1, dos quais sete foram considerados pouco relevantes após análise integral e seis foram excluídos por não avaliar a eficiência do sistema, objeto de estudo.



**Figura 1.** Critérios inclusivo e de exclusão dos artigos.

A definição de inclusão ou exclusão dos trabalhos considerados completos, e que não foram rejeitados na etapa anterior à varredura pelos artigos, necessitou de análise a partir dos critérios citados na Figura 1.

Assim, o portfólio bibliográfico (PB) da revisão sistemática (RS) foi composto por 35 artigos (periódicos). Posteriormente à elaboração do portfólio e seleção dos artigos, concebeu-se o formulário extração dos dados, seguido da análise dos artigos. A relevância do formulário fundamentou-se nas informações pertinentes à temática, composta pelo título, autoria, ano e nome da revista de publicação, MP estudados, tipos dos MP, técnicas de remoção aplicada e eficiência de remoção.

## Resultados e discussão

Os artigos que fizeram parte do PB estão listados no Quadro 1, numerados em função do título em ordem alfabética, ano e nome do periódico publicado e respectiva autoria.

**Quadro 1.** Artigos pertencente ao portfólio bibliográfico em estudo.

Artigo	Ano de publicação	Título	Nome do Periódico	Autoria
01	2018	Application of silica and germanium dioxide nanoparticles/polyether sulfone blend membranes for removal of emerging micropollutants from water	Physics and Chemistry of the Earth	Wanda <i>et al.</i>
02	2020	Biodegradation and adsorption of micropollutants by biological activated carbon from a drinking water production plant	Journal of Hazardous Materials	Piai <i>et al.</i>
03	2021	Comparative removal of imidacloprid, bisphenol-S, and azithromycin with ferrate and FeCl <sub>3</sub> and assessment of the resulting toxicity	Journal of Chemical Technology and Biotechnology	Zhang e Jiang
04	2016	Competitive adsorption of a pool of pharmaceuticals onto a raw clay mineral	RSC Advances	Thiebault <i>et al.</i>
05	2019	Cross-Linked Magnetic Chitosan/Activated Biochar for Removal of Emerging Micropollutants from Water: Optimization by the Artificial Neural Network	Water	Mojiri <i>et al.</i>
06	2016	Elimination of persistent emerging micropollutants in a suspended photocatalytic reactor: influence of operating conditions and combination with aerobic biological treatment	Photochemical & Photobiological Sciences	Pronina <i>et al.</i>
07	2014	Emerging micropollutants in water/wastewater: growing demand on removal technologies	Environmental Science and Pollution Research	Trapido <i>et al.</i>
08	2018	Environmental mineralization of caffeine micropollutant by Fe-MFI zeolites	Environmental Science and Pollution Research	Motuzas <i>et al.</i>
09	2017	Graphene: A new activator of sodium persulfate for the advanced oxidation of parabens in water	Water Research	Bekris <i>et al.</i>
10	2018	Graphene Oxide/Iron Oxide Nanocomposites for Water Remediation	ACS Applied Nano Materials	Mura <i>et al.</i>
11	2020	High-flux robust ceramic membranes functionally decorated with nanocatalyst for emerging micropollutant removal from water	Journal of Membrane Materials	Wang <i>et al.</i>
12	2020	High-performance of activated biocarbon based on agricultural biomass waste applied for 2,4-D herbicide removing from water: adsorption, kinetic and thermodynamic assessments	Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Foodcontaminants and Agricultural Wastes	Brito <i>et al.</i>
13	2016	Ibuprofen photodegradation in aqueous solutions	Environmental Science and Pollution Research	Iovino <i>et al.</i>
14	2019	Immobilized Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> photocatalyst for micropollutants removal in a continuous flow annular photoreactor	Catalysis Today	Petala <i>et al.</i>

Artigo	Ano de publicação	Título	Nome do Periódico	Autoria
15	2014	Innovative reactive layer to enhance soil aquifer treatment: Successful installation in the Ilobregat aquifer (Catalonia, ne Spain)	Boletin Geologico y Minero	Hernández <i>et al.</i>
16	2016	Investigation on the removal of the major cocaine metabolite(benzoylecgonine) in water matrices by UV254/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> process by using aflow microcapillary film array photoreactor as an efficient experimental tool	Water Research	Russo <i>et al.</i>
17	2017	Morphological tunable three-dimensional flower-like zinc oxides with high photoactivity for targeted environmental Remediation: Degradation of emerging micropollutant and radicals trapping experiments	Journal of the Taiwan Institute of Chermical Engineers	Chang <i>et al.</i>
18	2018	Nanocomposite Au NP/TiO <sub>2</sub> thin film in the efficient remediation of aqueous solutions contaminated with emerging micro-pollutants	Environmental Science and Pollution Research	Nil <i>et al.</i>
19	2018	Nanocomposite thin films Ag NP/TiO <sub>2</sub> in the efficient removal of micro-pollutants from aqueous solutions: A case study of tetracycline and sulfamethoxazole removal	Journal of Environmental Management	Tiwari <i>et al.</i>
20	2017	Nitrogen-Doped Carbon Nanotubes/Polyether sulfone Blend Membranes for Removing Emerging Micropollutants	Clean-Soil Air Water	Wanda <i>et al.</i>
21	2019	Non-Parametric Regression Analysis of Diuron and Gabapentin Degradation in Lake Constance Water by Ozonation and Their Toxicity Assessment	Water	Goswami <i>et al.</i>
22	2015	Novel Water Treatment Processes Based on Hybrid Membrane-Ozonation Systems: A Novel Ceramic Membrane Contactor for Bubbleless Ozonation of Emerging Micropollutants	Journal of Chenistry	Stylianou <i>et al.</i>
23	2017	Oxidative degradation of emerging micropollutant acesulfame in aqueous matrices by UVA-induced H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sub>2</sub> <sup>+</sup> and S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup> /Fe <sub>2</sub> <sup>+</sup> processes	Chemosphere	Kattel <i>et al.</i>
24	2010	"Ozone" and "GAC filtration" synergy for removal of emerging micropollutants in a drinking water treatment plant?	Water Science and Technology: Water Supply	Boucherie <i>et al.</i>
25	2017	Photocatalytic degradation of clofibrac acid by g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /P25 composites under simulated sunlight irradiation: The significant effects of reactive species	Chemosphere	Chen <i>et al.</i>
26	2019	Photocatalytic performance of Ag <sub>2</sub> O towards sulfamethoxazole degradation in environmental samples	Journal of Environmental Chemical Engineering	Tomara <i>et al.</i>
27	2013	Photodegradation of emerging micropollutants using the medium-pressure UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Advanced Oxidation Process	Water Research	Shu <i>et al.</i>
28	2013	Preparation, Characterization of C/Fe-Bi <sub>2</sub> WO <sub>6</sub> Nanosheet Composite and Degradation Application of Norfloxacin in Water	Journal of Nanoscience and Nanotechnology	Chen <i>et al.</i>
29	2014	Removal of emerging micropollutants from water using cyclodextrin	Science of the Total Environment	Nagy <i>et al.</i>

Artigo	Ano de publicação	Título	Nome do Periódico	Autoria
30	2013	Removal of pesticides from water combining low pressure UV photolysis with nanofiltration	Separation and Purification Technology	Sanches <i>et al.</i>
31	2010	Retention of emerging micropollutants from UP water and a municipal secondary effluent by ultrafiltration and nanofiltration	Chemical Engineering Journal	Acero <i>et al.</i>
32	2019	Sorption and Degradation Potential of Pharmaceuticals in Sediments from Stormwater Retention Pond	Water	Liu <i>et al.</i>
33	2015	Sunlight photodegradation of marbofloxacin and enrofloxacin adsorbed on clay minerals	Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemistry	Sturini <i>et al.</i>
34	2018	Ultrasonic degradation of aqueous phenolsulfonphthalein (PSP) in the presence of nano-Fe/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Ultrasonics Sonochemistry	Ayanda <i>et al.</i>
35	2020	Uptake of micropollutant-bisphenol A, methylene blue and neutral red onto a novel bagasse-beta-cyclodextrin polymer by adsorption process	Chemosphere	Mpatani, <i>et al.</i>

Como resposta à varredura para compor o PB, observou-se registro de publicação por artigos entre 2010 e 2021. Possivelmente, o registro dos artigos entre os anos supracitados ocorreu por causa da detecção e quantificação nas análises dos MP ser através de procedimentos analíticos mais sensíveis e complexos, dos quais, anos anteriores a 2010 essas técnicas eram escassas nos laboratórios (Vettorello *et al.*, 2017).

Quanto à extração dos 35 artigos do PB, identificou-se 109 MPE, citados no Quadro 2 (enumerados por código disposto em ordem alfabética), que integram 39 grupos, e analisados em 44 técnicas de tratamento para identificação da remoção dos MP, identificadas pela letra “T” e ordenadas também alfabeticamente (Quadro 3).

Estudos voltados para remoção de micropoluentes por meio de técnicas de Adsorção (Nagy *et al.*, 2014; Brito *et al.*, 2020; Thiebault *et al.*, 2016; Mojiri *et al.*, 2019), conforme comentado no Quadro 3, foram identificados, seja por meio de polímero de bagaço-β-ciclodextrina como otimizador, utilização de resíduos de biomassa, GAC, oxidação fotocatalítica utilizando argila montmorilonita SWy-2 como geoabsorvente ou via quitosana magnética reticulada/biochar ativado. Nagy *et al.* (2014) desenvolveram estudo em escala reduzida por meio de filtro comercial recheado com carvão ativado (tamanho do grão de 0.5–2.4 mm) e resina de troca iônica, com 60% de teor de β-ciclodextrina, tamanho do grão de 0.1-0.3 mm, volume de inchaço de 5 mL/g e areia de quartzo tamanho do grão (90%): 0.2-0.8 mm.

**Quadro 2.** Micropoluentes identificados no estudo.

Código MP	Micropoluyente	Código MP	Micropoluyente
MPE01	Acessulfame	MPE56	Fenofibrato
MPE02	Acetocloro	MPE57	Fenolsulfonftaleína
MPE03	Ácido (4-cloro-2-metilfenoxi) acético	MPE58	Flumequina
MPE04	Ácido 2,4-diclorofenoxiacético	MPE59	Fluquiconazol
MPE05	Ácido Aminometilfosfórico	MPE60	Flusinazol
MPE06	Ácido clofibrico	MPE61	Furosemida
MPE07	Ácido salicílico	MPE62	Gabapentina
MPE08	Alacloro	MPE63	Galaxolide
MPE09	Amitrol	MPE64	Gemfibrozil
MPE10	Amoxicilina	MPE65	Glifosato
MPE11	Antipireno	MPE66	Guanilureia
MPE12	Atrazina	MPE67	Hexametilenoctetramina
MPE13	Azitromicina	MPE68	Hidroxiapatrazina
MPE14	Azoxistrobina	MPE69	Hidroxibifenil
MPE15	Azul metila	MPE70	Ibuprofeno
MPE16	Azul Metileno	MPE71	Imazamethabenz-metil
MPE17	Bentazone	MPE72	Imidacloprida
MPE18	Benzoilecgonina	MPE73	Iopamidol
MPE19	Benzotriazol	MPE74	Iopromida
MPE20	Bezafibrato	MPE75	Isoproturon
MPE21	Bisfenol-A	MPE76	Marbofloxacina
MPE22	Bisfenol-S	MPE77	Mecoprop
MPE23	Bromuconazol	MPE78	Melanina
MPE24	Cafeína	MPE79	Metazachlore
MPE25	Carbamazepina	MPE80	Metformina
MPE26	Carbendazine	MPE81	Metolachlore
MPE27	Carbetamida	MPE82	Metoprolol
MPE28	Carbofurano	MPE83	Naproxen
MPE29	Cetoprofeno	MPE84	Nonilfenol
MPE30	Cetorolaco	MPE85	Norfloxacina
MPE31	Ciproflexacina	MPE86	Ofloxacino
MPE32	Clofervinfos	MPE87	Paracetamol
MPE33	Cloridazona	MPE88	Piclorame
MPE34	Clortoluron	MPE89	Pirazol
MPE35	Colesterol	MPE90	Prednisolona
MPE36	Deetilatraxina	MPE91	Prochloraze
MPE37	Deetilpropilatrazina	MPE92	Propanolol
MPE38	Deilterbumetone	MPE93	Propazina
MPE39	Deisopropilatrazina	MPE94	Propilparabeno
MPE40	Desphenyl-chloridazon	MPE95	Propoxicarbazona Sódica
MPE41	Dicloroprop	MPE96	Roxitromicina
MPE42	Diclofenaco	MPE97	Sulfacloropiridazina
MPE43	Difenoconazol	MPE98	Sulfamerazina
MPE44	Dimetachlore	MPE99	Sulfametizol
MPE45	Diuron	MPE100	Sulfametoxanol
MPE46	Doxiciclina	MPE101	Tetraciclina
MPE47	Endosulfan	MPE102	Tilosina
MPE48	Enrofloxacina	MPE103	Triclosan
MPE49	Eritromicina	MPE104	Tonalide
MPE50	Espiramicina	MPE105	Vermelho Neutro
MPE51	Estriol	MPE106	17B - estradiol
MPE52	Eter metil terc-butílico (MTBE)	MPE107	2,4-Diclorofenol
MPE53	Etinilestradiol	MPE108	2,4-diclorofenoxiacético
MPE54	Etofumesato	MPE109	3,4-diclorofenil-metilureia
MPE55	Fenazona		



**Quadro 3.** Técnicas de remoção utilizadas nos trabalhos do portfólio.

Código Técnica de Tratamento	Técnica de remoção
T1	Adsorção com polímero de bagaço- $\beta$ -ciclodextrina como otimizante
T2	Adsorção com utilização de resíduos de biomassa
T3	Adsorção por GAC
T4	Adsorção por oxidação fotocatalítica
T5	Adsorção utilizando argila montmorilonita SWy-2 como geoabsorvente
T6	Adsorção via quitosana magnética reticulada / biochar ativado
T7	Biodegradação por GAC biologicamente ativo (bGAC)
T8	Degradação Catalítica por incorporação de Zeólitas Fe-MFI
T9	Degradação Fotocatalítica por $Ag_2O$
T10	Degradação ultrassônica
T11	Degradação ultrassônica com dosagem de $H_2O_2$
T12	Degradação ultrassônica com dosagem de nano-Fe
T13	Degradação ultrassônica com dosagem de nano-Fe/ $H_2O_2$
T14	Filtração com sorventes de polímero de grânulo de B-ciclodextrina (BCDP)
T15	Filtração e biodegradação por incorporação de uma camada de carbono orgânico
T16	Filtração por Membrana de mistura de nanotubos de carbono dopados com nitrogênio / polietersulfona (N-CNT/PES)
T17	Filtragem por membranas de mistura polietersulfona (PES) incorporadas com nanopartículas de sílica e dióxido de germânio
T18	Floculação e filtração com ferrato e $FeCl_3$
T19	Fotocatalização com nanocompósito Au NP / $TiO_2$
T20	Fotocatalização por fosfato de prata imobilizado ( $Ag_3PO_4$ )
T21	Fotocatalização por nanoplacas $Bi_2WO_6$
T22	Fotocatalização sob irradiação de luz solar simulada
T23	Fotodegradação
T24	Fotodegradação a luz do sol dos micropoluentes emergentes adsorvidos em argilas montmorilonita (MMT) e caulinita (KAO)
T25	Fotodegradação por nanoestruturas de ZnO
T26	Fotólise $H_2O_2$
T27	Fotólise indireta ultravioleta (UV)
T28	Fotólise Simples
T29	Fotólise UV
T30	Fotólise UV de baixa pressão seguida de Nanofiltração
T31	Oxidação catalítica <i>in-situ</i> com separação por membrana
T32	Oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio
T33	Oxidação induzida por ultravioleta A (UVA)
T34	Oxidação orgânica catalítica
T35	Oxidação por Fotólise por média pressão e ultravioleta (MP-UV) e MP-UV / $H_2O_2$
T36	Oxidação seguida por cromatografia líquida
T37	Ozonização
T38	Ozonização com membrana cerâmica
T39	Ozonização seguida de Filtração GAC
T40	Processo de Foto-Fenton
T41	Processo Fenton
T42	Processo UV $H_2O_2$
T43	Sorção seguida de Degradação assistida por micro-ondas
T44	Ultrafiltração e Membranas de Nanofiltração

Com estudo em batelada, Brito *et al.* (2020), por meio da utilização de biocarvões ativados produzidos a partir de resíduos de biomassa (bagaço de cana de açúcar, casca de coco e endocarpo de coco babaçu) buscaram remover micropoluentes através de biocarbonos ativados caracterizados por espectroscopia de ressonância magnética nuclear de  $^{13}\text{C}$  no estado sólido, difração de raio-x e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Também com experimento em batelada, Thiebault *et al.* (2016) utilizaram compostos farmacêuticos ativos (PhAC) nas concentrações de 1.0, 0.5 e 0.1 mg/L, para remoção em argilas minerais, para massa total de argila de 50, 200, 300, 500, 700, 800 mg e 1 g, respectivamente, por tempo total de 12 horas, agitadas por 2 horas a 500 rpm em agitador magnético antes e depois de cada adição de argila. Outro exemplo com Adsorção com experimento em batelada têm-se Mojiri *et al.* (2019) que utilizaram solução aquosa via quitosana magnética reticulada/biocarvão ativado (CMCAB), para dosagem de adsorvente de 1.6 g/L e tempo de adsorção de 1.5h.

Zhang e Jiang (2021), em filtros de leito fixo estudaram a biodegradação por GAC biologicamente ativo (bGAC) para remoção de micropoluentes, em sistema de batelada, à  $5^{\circ}\text{C}$  e  $20^{\circ}\text{C}$ , com mensuração dos micropoluentes em equipamentos de cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa de alta resolução (ionização por eletropulverização positiva).

Quanto à técnica de remoção dos micropoluentes por Degradação, estudiosos investigaram via Fotocatalítica por  $\text{Ag}_2\text{O}$  (Tiwari *et al.*, 2018; Tomara *et al.*, 2019), via Catalítica por incorporação de Zeólitas Fe-MFI (Motuzas *et al.*, 2018), via Ultrassônica (Mura *et al.*, 2018; Ayanda *et al.*, 2018). Motuzas *et al.* (2018) utilizaram a cafeína (concentrações de 10, 20 e 50 ppm em solução a  $25^{\circ}\text{C}$ ) como material degradativo para as zeólitas Fe-MFI em catalisador. Amostras líquidas foram colhidas após 1 h de escurecimento adsorção e 1, 3, 7 e 22 h após a adição de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

A degradação fotocatalítica foi associada à adição de óxido de prata ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ) para verificar a remoção dos micropoluentes (Tiwari *et al.*; 2018; Tomara *et al.*, 2019). Enquanto Motuzas *et al.* (2018) utilizaram equipamento de espectroscopia de raio-x por dispersão de energia, Tiwari *et al.* (2018) e Tomara *et al.* (2019) utilizaram a MEV para a identificação de imagens e informações morfológicas nos estudos fotocatalíticos.

Quanto à Degradação Ultrassônica, seja com dosagem de nano-Fe (Mura *et al.*, 2018) seja por nano-Fe/ $\text{H}_2\text{O}_2$  (Ayanda *et al.*, 2018), ambos identificaram a remoção dos micropoluentes por meio da MEV, análise de microscopia eletrônica de transmissão (TEM), difração de raio-x. Mura *et al.* (2018) verificaram o desempenho do estudo por meio de HPLC.

Pesquisadores que utilizaram a Filtração para obter remoção de micropoluentes, que fizeram parte do estudo, a exemplo de Zhang e Jiang (2021), Wanda *et al.* (2017) e Wanda *et al.* (2018) aprofundaram estudos em parceria da floculação e com membranas. Zhang e Jiang (2021) em estudo em escala de

bancada, utilizaram o *jar test* para simular o floculador, em dosagens destes para 10 µg/L e 100 µg/L, 1000 µg/L, ao passo a etapa de filtração foi por meio de membrana de celulose de 0.45 µm, filtrada a vácuo. Posteriormente utilizou-se cromatografia de fase reversa para detecção dos micropoluentes. Wanda *et al.* (2017; 2018) utilizaram membranas dopadas e misturadas com polietersulfona, respectivamente. Ambos os estudos foram desenvolvidos com coletada de água *in loco*. Wanda *et al.* (2017), por meio de membranas misturadas a nanotubos de carbono dopadas de nitrogênio e polietersulfona analisaram os estudos por meio de cromatografia gasosa bidimensional acoplada à espectrometria de massa, enquanto que Wanda *et al.* (2018) estudaram essas membranas enriquecidas de mistura de polietersulfona incorporadas à nanopartículas de sílica e dióxido de germânio utilizaram raio-X espectroscopia de fotoelétrons a 45 W para identificar a remoção. A composição elementar ocorreu na espectroscopia de raio-x por dispersão de energia acoplada ao MEV.

A técnica de Fotocatalização foi utilizada em escala laboratorial, seja por meio de nanocompósitos enriquecido de ouro e óxido de titânio (Pronina *et al.*, 2016; Nil *et al.*, 2018), seja por meio do uso do fosfato de prata imobilizado (Petala *et al.*, 2019) em estudo com fluxo contínuo, também em escala laboratorial. Pronina *et al.* (2016) baseou-se em reator fotocatalítico protegido da irradiação UVA com leite suspenso em escala laboratorial usando grânulos de argila expandida revestidos por sol-gel de TiO<sub>2</sub> como material de leite.

A utilização da Oxidação como técnica de remoção foi explorada por pesquisadores por diversos caminhos. Dentre estes, a indução por radiação ultravioleta (UVA) estudada por Kattel *et al.* (2017) por meio dos processos UVA/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup> e UVA/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>/Fe<sup>2+</sup> para degradar dentre outras matrizes, água subterrânea, através do tempo de degradação e mineralização de 75 µM e determinação da concentração dos micropoluentes quantificada em HPLC. Russo *et al.* (2016) também quantificaram os micropoluentes em HPLC, porém utilizaram a fotólise direta com radiação UV em 254 nm e o processo de oxidação avançada (POA) com a mesma radiação UV.

O emprego da Ozonização também se destacou como fruto de artigo pertencentes ao portfólio bibliográfico, uma vez que a diversidade de caminhos combinados à Ozonização foi identificada. Estudo desenvolvido com dosagens de ozônio 0.69 ± 0.01, 0.85 ± 0.03 e 0.95 ± 0.06 mgO<sub>3</sub>/L em sistema de semibatelada foi observado o ozônio residual por período de 60 a 100 segundos após a coleta da amostra. O sistema foi agitado a 85 rpm e acompanhamento de registro do pH (Goswami *et al.*, 2019). Em parceria com as membranas cerâmicas, Stylianou *et al.* (2015) utilizaram a ozonização para tratar compostos refratários, na qual as concentrações de ozônio na fase gasosa foram determinadas pelo método de iodeto, enquanto as concentrações de ozônio dissolvido foram mensuradas por método Indigo. Para Boucherie *et al.* (2010) após exposição do composto à ozonização-desozonização, primeira etapa da unidade piloto, o composto seguia para coluna de filtração GAC. A geometria do sistema piloto era um tanque retangular, com razão de eficiência hidráulica de 0.701 e tempo de residência hidráulica de 17 minutos para um fluxo médio

taxa de  $12\text{m}^3/\text{h}$ . As análises foram processadas em HPLC ou Cromatografia Gasosa (GC) métodos seguidos de fluorescência ou massa espectrometria ou detecção de UV.

Também se observou que estudos que geraram radicais de hidroxila por meio de sais de ferro e peróxido de hidrogênio, geralmente catalisados em radiação UV (processo Foto-Fenton), foram abordados por Trapido *et al.* (2014) em sistema de batelada por meio de soluções não tamponada à temperatura período de 120 min. A reação de Fenton ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ) ocorreu por adição de peróxido de hidrogênio. O fluxo de fótons de radiação UV incidente foi de  $3.6 \pm 0.18 \mu \text{ Einstein s}^{-1}$  a 254 nm. A fotólise UV direta, UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$  e a foto-Fenton ocorreram no mesmo reator utilizando as mesmas condições de tratamento que as utilizadas para os experimentos de Fenton com a lâmpada UV localizada dentro do reator.

Como não poderia faltar, Acero *et al.* (2010) utilizaram várias membranas comerciais de chapa plana, todas com área de superfície de  $28\text{cm}^2$ , incluindo ultrafiltração (2000, 5000 e 20.000 Da) e nanofiltração na faixa de 150 a 300 Da. O sistema funcionou em recipiente de armazenamento pressurizado ( $500 \text{ cm}^3$ ), com acoplamento de bomba para impulsionar o fluxo. A pressão transmembrana (TMP) foi aplicada por pressurização a base de nitrogênio, com variação da velocidade tangencial e constância da temperatura (T).

Diante da diversidade de técnicas aplicadas para a remoção de micropoluentes emergentes supracitadas observou-se que, em virtude do grau de sensibilidade dos mesmos, utiliza-se para detecção caminhos considerados não convencionais, o que mostra viabilidade de aplicação pela importância da necessidade de remoção dos micropoluentes da água em estudo.

Com base nas informações apresentadas no Quadro 2 e Quadro 3, correlacionou-os para obtenção do resultado exposto no Quadro 4 (MPE x técnica de remoção), agrupados em função do uso. Assim, este quadro relaciona o grupo do MPE (G), em qual trabalho foi citado e qual a técnica de remoção utilizada naquele grupo dos compostos. Deste quadro, destacou-se os grupos mais representativos (quantitativamente) nos artigos do PB: antibióticos, antiinflamatórios, herbicidas e xenoestrogênios.

Os antiinflamatórios (G14) presentes na análise de 14 artigos do PB foi avaliado em 15 técnicas de remoção em oito MPE, com realce para as técnicas de fotólise, adsorção, ozonização e oxidação, o que resultou em 87.5% de todas análises do grupo G14, com taxa de remoção superior a 90% (Piai *et al.*, 2020; Thiebault *et al.*, 2016; Mojiri *et al.*, 2019; Pronina *et al.*, 2016; Trapido *et al.*, 2014; Mura *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2020; Iovino *et al.*, 2016; Chang *et al.*, 2017; Boucherie *et al.*, 2010; Shu *et al.*, 2013; Nagy *et al.*, 2014; Acero *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2019).

**Quadro 4.** Grupos dos compostos dos micropoluentes emergentes, trabalho em que foi citado e técnica de tratamento aplicada.

Grupos	Código Grupo	Trabalho(os)	Técnica(as)
Aditivo para combustível	G01	22	T32
Adoçante Artificial	G02	23	T33
Agente de contraste	G03	2	T3;T7
Agente Hipolipemiante	G04	24	T39
Almíscar sintético	G05	1;20	T16;T17
Analgésico	G06	4;24;31	T5;T39;T44
Antibacteriano	G07	24	T39
Antibiótico	G08	3;6;7;14;18;19; 24;26;28;31;32;33	T4;T9;T18-T21;T24;T26;T28; T29;T39-T41; T43;T44
Anticonvulsivante	G09	21	T37
Antidiabético	G10	2	T3;T7
Antiepiléptico	G11	1;4;15;20;24;27;32	T5;T15-T17;T39;T35;T43
Antifúngico	G12	24	T39
Anti-hipertensivo	G13	24	T39
Antiinflamatório	G14	2;4;5;6;7;10;11;13; 17;24;27;29;31;32	T3-T6;T14;T23;T25;T26;T29; T31;T35;T36;T39-T41;T43;T44
Antilipêmico	G15	4;15;27	T5;T15;T35
Antisséptico	G16	18	T19;T28
Biocida	G17	31	T44
Bloqueador	G18	24;31	T39;T44
Composto Aromático	G19	2	T3
Composto Orgânico	G20	2;3;24	T3;T18;T39
Corante	G21	1;11;20;35	T1;T16;T17;T31
Diurético	G22	32	T43
Estimulante	G23	1;8;16;20;27;31	T8;T16;T17;T27;T35;T42;T44
Fármaco Semissintético	G24	24	T39
Fungicida	G25	24	T39
Herbicida	G26	7;12;21;22;24; 25;27;30;31	T2;T22;T26;T29;T30; T35;T37-T41;T44
Hormônios	G27	29	T14
Indicador de pH	G28	34	T10-T13
Inibidor de Corrosão	G29	2	T3
Inibidor de Proteína	G30	35	T1
Inseticida	G31	22	T38
Lipídio	G32	29	T14
Metabólico	G33	2	T3
Pesticidas	G34	3;24;30;31	T18;T30;T39;T44
Proteína	G35	2	T3
Regulador lipídico	G36	24;32	T39;T43
Subproduto da biodegradação de herbicidas	G37	24	T39
Subproduto da biodegradação de metformina	G38	2	T3;T7
Xenoestrogênios	G39	1;7;9;14;20;29;35	T1;T14;T16;T17;T20; T26;T29;T 34;T40;T41

Observou-se que os antibióticos (G08) foram aplicados em 16 técnicas de remoção em estudo de 16 MPE, com registro em 55% desses estudos e taxa de eficiência  $\geq 90\%$ , com destaque para a ozonização e fotólise (Zhang e Jiang, 2021 Pronina *et al.*, 2016; Trapido *et al.*, 2014; Petala *et al.*, 2019; Nil *et al.*, 2018; Tiwari *et al.*, 2018; Boucherie *et al.*, 2010; Tomara *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2016; Acero *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2019; Sturini *et al.*, 2015).

Sendo estudado em nove artigos do PB, 12 técnicas foram aplicadas para obtenção de eficiência, os herbicidas (G26), englobaram 27 MPE com média  $\geq 90\%$  em 48.5% das análises e predominância para a técnica de ozonização (Trapido *et al.*, 2014; Brito *et al.*, 2020; Goswami *et al.*, 2019; Stylianou *et al.*, 2015; Boucherie *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2017; Shu *et al.*, 2013; Sanches *et al.*, 2013; Acero *et al.*, 2010).

Outro grupo representativo foram os xenoestrogênios (G39) citados em MPE, analisados em dez técnicas diferentes de remoção, dispostos em sete trabalhos distintos (Wanda *et al.*, 2018; Trapido *et al.*, 2014; Bekris *et al.*, 2017; Petala *et al.*, 2019; Wanda *et al.*, 2017; Nagy *et al.*, 2014; Mpatani, *et al.*, 2020), representado em 84.5% das análises realizadas por todas técnicas aplicadas no grupo G39 e com remoção  $\geq 90\%$ , e ênfase para as técnicas de fotólise e filtração.

Diante da gama de informações encontradas, elaborou-se o compilado denominado de ábaco (Apêndice A) com informações dos MPE e técnicas estudados para o tratamento com remoção dos contaminantes. Para melhor entendimento do ábaco, elaborou-se o Quadro 5 como guia para entendimento do mesmo, denominado de legenda do ábaco: primeira linha corresponde ao nome do MP com o código do grupo ao qual pertence, segunda linha é o número do artigo estudado, na terceira linha é apresentado o código da técnica de tratamento utilizada e, por fim, a remoção (%), ilustrado como maior valor inteiro.

**Quadro 5.** Legenda adotada por micropoluente inserido no ábaco.

Micropoluente (Código Grupo)
Código Trabalho
Código Técnica
Remoção (%)

Observou-se que sete MP se destacam no ábaco. O Sulfametoxazol (MP100), citado em 20% dos artigos do PB, removidos em 11 técnicas distintas, das quais a Sorção seguida de degradação assistida por microondas (T43) e a Fotocatalização com nanocompósito Au NP/TiO<sub>2</sub> (T9) foram estudados por Liu, Nielsen e Vollertsen (2019) e Tomara *et al.* (2019), obtiveram remoção de aproximadamente 100% e 99%, respectivamente, se destacaram.

O MPE Diclofenaco (MP42) foi citado em oito artigos, que utilizaram 11 técnicas, alcançaram remoção de 99% nos artigos 4 e 10, para as técnicas de Adsorção com argila montmorilonita (T5) e Oxidação associada a cromatografia líquida (T36), estudados pelos autores Thiebault *et al.* (2016) e Mura *et al.* (2018), respectivamente. De forma semelhante, para a remoção obtida no artigo 4, a Carbamazepina (MP25) esteve presente em 20% dos estudos, submetidos a sete técnicas para remoção, com destaque para a Adsorção com argila montmorilonita SWy-2 como elemento geoabsorvente (T5), aplicado no estudo de Thiebault *et al.* (2016).

O MP Bisfenol-A (MP21) foi estudado em cinco trabalhos, analisado em cinco técnicas de remoção distintas, com destaque para remoção em 98% no trabalho 19 (Tiwari *et al.*, 2018) por meio da técnica Filtração por membrana N-CNT/PES (T16). Comportamento semelhante de remoção no trabalho 8, para estudo com cafeína (MPE24), desenvolvido por Motuzas *et al.* (2018), no uso da técnica Degradação catalítica com incorporação de zeólitas Fe-MFI (T8).

Estudos desenvolvidos por Piai *et al.* (2020) nas técnicas de remoção Adsorção por GAC (T3) e Biodegradação por GAC ativado biologicamente (T7) identificaram 10 MPE para a remoção de 99%.

O estudo do MP Naproxen (MP83) foi identificado em cinco trabalhos, através de cinco técnicas de remoção diferentes. As remoções mais expressivas superaram eficiência de 98%, obtida por meio de técnicas Adsorção com argila montmorilonita SWy-2 como geoabsorvente (T5) e Sorção associada à degradação assistida por microondas (T43), estudadas nos trabalhos 4 e 32, respectivamente, idealizados por Thiebault *et al.* (2016) e Liu, Nielsen, Vollertsen (2019).

Com cinco MP objeto de estudo, o trabalho 32, citado por Liu Nielsen e Vollertsen (2019), utilizou a técnica de remoção Sorção associada à degradação assistida por microondas (T43). Como resposta, dois dos cinco MP apresentaram remoção < 60%, enquanto os outros três MP indicaram remoção > 90%, com destaque para o Sulfametoxazol (MP100), com remoção de 99%.

Observa-se que as diversas técnicas aplicadas nos artigos do PB são pertinentes às análises individuais em alguns periódicos necessitam de atenção para alguma particularidade.

### Conclusão

A revisão sistemática desenvolvida contabilizou no portfólio bibliográfico 35 publicações embasadas na utilização de 44 técnicas de remoção de micropoluentes emergentes na matriz água (predominância da adsorção, filtração, ozonização, oxidação e fotólise), agrupados em 39 tipos de substâncias, o que totalizou 109 micropoluentes emergentes, cujo produto resultante desse compilado foi a sintetização do ábaco.

Esse quantitativo ilustrou que, apesar do tema ser estudado há 50 anos, ainda é pertinente, principalmente no tocante à remoção de micropoluentes emergentes da água destinada ao consumo humano, razão pela qual adicionou-se o termo emergente.

Diante da presença dos micropoluentes emergentes na água ainda na natureza, têm-se significativas preocupações na atualidade. Assim, tendo em vista a ampliação das possibilidades de detecção nos mananciais (superficiais e subterrâneos) e também nas águas para abastecimento humano, o conhecimento e aplicação de técnicas efetivas na remoção dos

micropoluentes emergentes deve fazer parte do arcabouço técnico-científico para o tratamento de água. Desse modo, o estudo se torna útil aos pesquisadores da área, além de mostrar lacunas de pesquisas voltadas para as diversas técnicas realizadas e remoções obtidas.

### Referências bibliográficas

- Acero, J.L., Benitez, F.J., Teva, F., Leal, A.I. (2010) Retention of emerging micropollutants from UP water and a municipal secondary effluent by ultrafiltration and nanofiltration. *Chemical Engineering Journal*, **163**(3), 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.07.060>
- Ayanda, O.S., Nelana, S.M. and Naidoo, E.B. (2018) Ultrasonic degradation of aqueous phenolsulfonphthalein (PSP) in the presence of nano-Fe/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Ultrasonics Sonochemistry*, **47**: 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.04.012>
- Bekris, L., Frontistis, Z., Trakakis, G., Sygellou, L., Galiotis, C., Mantzavinos D. (2017). Graphene: A new activator of sodium persulfate for the advanced oxidation of parabens in water. *Water Research*, **126**: 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.09.020>
- Bila, D.M., Dezotti, M. (2007) Desreguladores endócrinos no meio ambiente: efeitos e conseqüências. *Química Nova*, **30**(3), 651–666. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000300027>
- Borrull, J., Colom, A., Fabregas, J., Borrull, F., Pocurull, E. (2021) Presence, behaviour and removal of selected organic micropollutants through drinking water treatment. *Chemosphere*, **276**, 130023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130023>
- Boucherie, C., Lecarpentier, C., Fauchon, N., Djafer, M., Heim, V. (2010) “Ozone” and “GAC filtration” synergy for removal of emerging micropollutants in a drinking water treatment plant? *Water Supply*, **10**(5), 860–868. <https://doi.org/10.2166/ws.2010.837>
- Brito, G. M., Roldi, L.L., Schetino Jr, M.A., Freitas, J.C.C., Coelho, E.R.C. (2020) High-performance of activated biocarbon based on agricultural biomass waste applied for 2,4-D herbicide removing from water: adsorption, kinetic and thermodynamic assessments. *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Foodcontaminants and Agricultural Wastes*. **55**: 767-782. <https://doi.org/10.1080/03601234.2020.1783178>
- Chang, J.S., Tan, J.k., Shah, C.N., Mateblowski, A., Pahik, J.S. (2017) Morphological tunable three-dimensional flower-like zinc oxides with high photoactivity for targeted environmental Remediation: Degradation of emerging micropollutant and radicals trapping experiments. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **81**:206-217. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.10.030>
- Chen, S., Li, Y., Lu, R., Wang, P. (2013) Preparation, Characterization of C/Fe-Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> Nanosheet Composite and Degradation Application of Norfloxacin in Water. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **13**(5): 5624-5630. <https://doi.org/10.1166/jnn.2013.7486>
- Chen, P., Wang, F., Zhang, Q., Su, Y., Shen, L., Yao, K., Chen, Z., Liu, Y., Cai, Z., Lv, W., Liu, G. (2017) Photocatalytic degradation of clofibrac acid by g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/P25 composites under simulated sunlight irradiation: The significant effects of reactive species. *Chemosphere*, **172**: 193-200. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.015>
- Goswami, A., Jiang, J.Q., Petri, M. (2019) Non-Parametric Regression Analysis of Diuron and Gabapentin Degradation in Lake Constance Water by Ozonation and Their Toxicity Assessment. *Water*, **11**(4): 852. <https://doi.org/10.3390/w11040852>
- Guillon, A., Videloup, C., Leroux, C., Bertin, H., Philibert, M., Baudin, I., Bruchet, A., ESPERANZA, M. (2019) Occurrence and fate of 27 triazines and metabolites within French drinking water treatment plants. *Water Supply*, **19**(2), 463–471. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2018.091>
- Hernández, M., Gilbert, O., Bernant, X., Valhondo, C., Köck-Schulmeyer, M., Fontanela, M.H., MV, C. (2014) Innovative reactive layer to enhance soil aquifer treatment: Successful installation in the llobregat aquifer (Catalonia, ne Spain). *Boletín Geológico y Minero*, **125**(2): 157-172.



- Iovino, P., Chianese, S., Canzano, S., Prisciandaro, M., Musmarra, D. (2016) Ibuprofen photodegradation in aqueous solutions. *Environmental Science and Pollution Research*, **23**(22), 22993–23004. <http://doi.org/10.1007/s11356-016-7339-0>
- Kattel, E., Trapido, M., Dulova, N. (2017) Oxidative degradation of emerging micropollutant acesulfame in aqueous matrices by UVA-induced  $H_2O_2/Fe^{2+}$  and  $S_2O_8^{2-}/Fe^{2+}$  processes. *Chemosphere*, **171**: 528-536. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.104>
- Kumar, P., Pérez, J.A.E., Cledon, M., Brar, S.K., Duy, S.V., Sauvé, S., Knystautas, É. (2020) Removal of microcystin-LR and other water pollutants using sand coated with bio-optimized carbon submicron particles: Graphene oxide and reduced graphene oxide. *Chemical Engineering Journal*, **397**, 125398. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2020.125398>
- Liu, F., Nielsen, A., Vollertsen, J. (2019) Sorption and Degradation Potential of Pharmaceuticals in Sediments from a Stormwater Retention Pond. *Water*, **11**(3), 526. <http://dx.doi.org/10.3390/w11030526>
- Mojiri, A., Kazeroon, R.A., Gholami, A. (2019) Cross-Linked Magnetic Chitosan/Activated Biochar for Removal of Emerging Micropollutants from Water: Optimization by the Artificial Neural Network. *Water*, **11**(3): 551. <https://doi.org/10.3390/w11030551>
- Montagner, C.C., Vidal, C., Acayaba, R. D. (2017) Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. *Química Nova*. **40**(9), 1094-1110. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170091>
- Motuzas, J., Drobek, M., Martens, D.L., Vallicari, C., Julbe, A., Diniz Da Costa, J.C. (2018) Environmental mineralization of caffeine micro-pollutant by Fe-MFI zeolites. *Environmental Science and Pollution Research*, **25**(4), 3628–3635. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0530-0>.
- Mpatani, F.M., Aryee, A.A., Kani, A.N., Gui, Q., Dovi, E., Qu, L., Li, Z., Han, R. (2020) Uptake of micropollutant-bisphenol A, methylene blue and neutral red onto a novel bagasse-beta-cyclodextrin polymer by adsorption process. *Chemosphere*, **259**: 127439. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127439>
- Mura, S., Jiang, Y., Vassalini, I., Gianoncelli, A., Alessandri, I., Granozzi, G., Calvillo, L., Senes, N., Enzo, S., Innocenzi, P., Malfatti, L. (2018) Graphene Oxide/Iron Oxide Nanocomposites for Water Remediation. *ACS Applied Nano Materials*, **1**(12), 6724–6732. <http://dx.doi.org/10.1021/acsanm.8b0154>
- Nagy, Z.M., Molnár, M., Fekete-Kertész, I., Molnár-Perl, I., Fenyvesi, É., Gruiz, K. (2014) Removal of emerging micropollutants from water using cyclodextrin. *Science of The Total Environment*, **485–486**: 711–719. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.003>
- Nil, L., Tiwari, A., Shukla, A., Tiwari, D., Lee, S. M. (2018) Nanocomposite Au NP/TiO<sub>2</sub> thin film in the efficient remediation of aqueous solutions contaminated with emerging micro-pollutants. *Environmental Science and Pollution Research*, **25**(20): 20125–20140.
- Petala, A., Spyrou, D., Frontistis, Z., Mantzavinos, D., Kondarides, D. I. (2019) Immobilized Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> photocatalyst for micro-pollutants removal in a continuous flow annular photoreactor. *Catalysis Today*, **328**: 223–229.
- Piai, L., Blokland, M., Wal, A. V. D., Langenhoff, A. (2020) Biodegradation and adsorption of micropollutants by biological activated carbon from a drinking water production plant. *Journal of Hazardous Materials*, **388**, 122028. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122028>
- Pronina, N., Klauson, D., Rudenko, T., Künnis-Beres, K., Kamenev, I., Kamenev, S., Moiseev, A., Deubener, J., Krichevskaya, M. (2016) Elimination of persistent emerging micropollutants in a suspended-bed photocatalytic reactor: influence of operating conditions and combination with aerobic biological treatment. *Photochemical & Photobiological Sciences*, **15**(12): 1492–1502. <https://doi.org/10.1039/c6pp00319b>
- Ramakrishnan, A., Blaney, L., Kao, J., Tyagi, R.D., Zhang, T.C., Surampalli, R. Y. (2015) Emerging contaminants in landfill leachate and their sustainable management. *Environmental Earth Sciences*, **73**(3), 1357–1368. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3489-x>.
- Russo, D., Spasiano, D., Vaccaro, M., Cochran, K.H., Richardson, S., Andreozzi, R., Puma, G.L., Reis, N.M., Marotta, R. (2016) Investigation on the removal of the major cocaine metabolite (benzoylecgonine) in water matrices by UV254/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process by using a flow microcapillary film array photoreactor as an efficient experimental tool. *Water Research*, **1**(89): 375-383. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.059>

- Sanches, S., Penetra, A., Rodrigues, A., Cardoso, A.A., Ferreira, E., Benoliel, M.J., Barreto Crespo, M.T., Crespo, J.G., Pereira, V.J. (2013) Removal of pesticides from water combining low pressure UV photolysis with nanofiltration. *Separation and Purification Technology*, **115**: 73-82. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.04.044>
- Shu, Z., Bolton, J.R., Mohamed, M.B., Din, E. (2013) Photodegradation of emerging micropollutants using the medium-pressure UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Advanced Oxidation Process. *Water Research*, **47**(8): 2881-2889. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.02.045>
- Sturini, M., Speltini, A., Maraschi, F., Rivagli, E., Pretali, L., Malavasi, L., Profumo, A., and Albini, A. (2015) Sunlight photodegradation of marbofloxacin and enrofloxacin adsorbed on clay minerals. *Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemistry*, **299**: 103-109. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2014.11.015>
- Stylianou, S., Szymanska, K., Katsoyiannis, I., Zouboulis, A. (2015) Novel Water Treatment Processes Based on Hybrid Membrane-Ozonation Systems: A Novel Ceramic Membrane Contactor for Bubbleless Ozonation of Emerging Micropollutants. *Journal of Chemistry*, **2015**:1-12. <https://doi.org/10.1155/2015/214927>
- Thiebault, T., Boussafir, M., LE Forestier, L., LE Milbeau, C., Monnin, L., Guégan, R. (2016) Competitive adsorption of a pool of pharmaceuticals onto a raw clay mineral. *RSC Advances*, **6**(69), 65257–65265. <http://dx.doi.org/10.1039/C6RA10655B>
- Tiwari, A., Shukla, A., Lalliansanga, Tiwari, D., Mok Lee, S. (2018) Nanocomposite thin films AgO(NP)/TiO<sub>2</sub> in the efficient removal of micro-pollutants from aqueous solutions: A case study of tetracycline and sulfamethoxazole removal. *Journal of Environmental Management*, **220**, 96–108. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.019>
- Tomara, T., Frontistis, Z., Petala, A., Mantzavinos, D. (2019) Photocatalytic performance of Ag<sub>2</sub>O towards sulfamethoxazole degradation in environmental samples. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **7**(3), 103177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2019.103177>
- Trapido, M., Epold, I., Bolobajev, J., Dulova, N. (2014) Emerging micropollutants in water/wastewater: growing demand on removal technologies. *Environmental Science and Pollution Research*, **21**(21): 12217–12222. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3020-7>
- Tröger, R., Ren, H., Yin, D., Postigo, C., Nguyen, P. D., Baduel, C., Golovko, O., Been, F., Joerss, H., Boleda, M. R., Polesello, S., Roncoroni, M., Taniyasu, S., Menger, F., Ahrens, L., Yin Lai, F., Wiberg K. (2021) What's in the water? - Target and suspect screening of contaminants of emerging concern in raw water and drinking water from Europe and Asia. *Water Research*, **198**, 117099. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2021.117099>
- Vettorello, G., Brandt, V.V., Dallazen, M.C., Kuhn, D., Etgeton, H.P., Spellmeyer, J.G., Carlesso, W.M., Hoehne, L. (2017) Micropoluentes em água – O novo desafio emergente. *Revista Caderno Pedagógico*, **14**(1), 72-83. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1410>
- Wanda, E.M.M., Mamba, B.B., Msagati, T.A.M. (2017) Nitrogen-Doped Carbon Nanotubes/Polyether sulfone Blend Membranes for Removing Emerging Micropollutants. *Clean-Soil Air Water*. **45**(4): 1500889. <https://doi.org/10.1002/clean.201500889>
- Wanda, E.M.M., Nyoni, H., Mamba, B.B., Msagati, T.A.M. (2018) Application of silica and germanium dioxide nanoparticles/polyether sulfone blend membranes for removal of emerging micropollutants from water. *Physics and Chemistry of the Earth*, **108**: 28-47. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.08.004>
- Wang, X., Li, Y., Yu, H., Yang, F., Tang, C., Quan, X., Dong, Y. (2020) High-flux robust ceramic membranes functionally decorated with nanocatalyst for emerging micro-pollutant removal from water. *Journal of Membrane Materials*, **611**: 118281. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118281>
- Zhang, S., Jiang, J.Q. (2021) Comparative removal of imidacloprid, bisphenol-S, and azithromycin with ferrate and FeCl<sub>3</sub> and assessment of the resulting toxicity. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **96**(1): 99-112. <https://doi.org/10.1002/jctb.6515>

**Apêndice A. Ábaco explicativo dos micropoluentes emergentes estudados, artigos, grupos, técnicas de remoção e eficiências alcançadas.**

Sulfametoxazol (G08)	Carbamazepina (G11)	Naproxen (G14)	Isoproturon (G34)	Galaxolide (G05)	Benzoilecgonina (G23)	Propoxicarbazona Sódica (G26)	Cloridazona (G26)	Dimetachlore (G26)	Hidroxiapatrazina (G34)	Propanolol (G13)	Desphenyl-chloridazon (G33)	Doxiciclina (G08)	Eter metil ter-butílico(G01)	Etinilestradiol (G27)	Enrofloxacin (G08)								
24 T39 98%	7 T26;T29;T40;T41 98%	4 T39 98%	5 T17 91%	24 T39 96%	30 T30 95%	1 T17 98%	20 T16 99%	16 T27;T42 70%;95%	7 T26;T29;T40;T41 90%	24 T39 93%	24 T39 73%	24 T39 27%	24 T39 95%	2 T3 99%	6 T4 98%	22 T32 65%	29 T14 97%	33 T24 85%					
14 T20 75%	18;19 T19;T28 75%;30%;57%;18%	4 T5 99%	15 T15 85%	27 T35 90%	29 T14 85%	31 T44 83%	-	Mecoprop (G26) 24 T39 67%	27 T35 90%	2 T3;T7 77%;79%	34 T10;T11;T12;T13 11%;42%;72%;96%	24 T39 91%	24 T39 95%	2 T3 23%	6 T4 57%	23 T33 100%	29 T14 99%	33 T24 85%	17B-estradiol (G27) 29 T14 99%	Marbofloxacin (G08) 33 T24 85%			
26 T9 100%	31 T44 97%	20 T16 88%	27 T35 90%	32 T43 98%	-	Gemfibrozil (G15) 4 T5 96%	15 T15 60%	Metformina (G10) 2 T3;T7 30%;99%	Acetocloro (G26) 24 T39 71%	Bezafibrato (G04) 24 T39 99%	Deetilatrastazina (G26) 24 T39 -	Espiramicina (G08) 24 T39 94%	Isoproturon (G34) 24 T39 96%	Roxitromicina (G24) 24 T39 93%	Melanina (G35) 2 T3 94%	Sulfametizol (G08) 7 T4 8%	Ácido clofibrato (G26) 25 T22 85%	Clofervinos (G34) 30 T30 99%	Azul Metileno (G30) 35 T1 99%				
32 T43 99%	- T43 -	32 T43 64%	- T39 -	Atrazina (G26) 24 T39 99%	22 T38 -	27 T35 -	-	Propilparabeno (G39) 9 T34 95%	Ácido acético (G26) 14 T20 60%	Bromuconazol (G26) 24 T39 61%	Deetilisopropil-atrazina (G26) 24 T39 -	Etofumesato (G26) 24 T39 65%	Metazachlore (G34) 24 T39 85%	Sulfaclopiridazina (G09) 24 T39 99%	Pirazol (G19) 2 T39 51%	Azul metila (G21) 12 T31 99%	Ácido 2,4-diclorofenoacético (G26) 27 T35 90%	Iopamidol (G03) 3 T3;T7 90%;68%	Triclosan (G16) 18 T19;T28 71%;25%				
Diclofenaco (G14) 24 T39 98%	Bisfenol A (G39) 2 T3 97%	1 T17 95%	14 T20 65%	30 T30 99%	31 T44 91%	Diuron (G26) 24 T39 99%	21 T44 99%	9 T34 95%	14 T20 60%	24 T39 88%	24 T39 61%	24 T39 -	24 T39 65%	24 T39 85%	24 T39 99%	2 T39 51%	12 T31 99%	27 T35 90%	3 T3;T7 90%;68%	18 T19;T28 71%;25%			
4 T5 99%	5 T16 96%	20 T16 98%	29 T14 94%	Alacloro (G26) 24 T39 88%	30 T30 99%	100%	-	1 T17 94%	20 T16 98%	24 T39 88%	24 T39 95%	24 T39 16%	24 T39 96%	24 T39 63%	24 T39 95%	3 T18 95%	12 T2 99%	27 T35 90%	31 T44 88%	31 T44 95%			
10 T36 99%	7 T26;T29;T40;T41 90%	35 T1 90%	-	88% T39 99%	99% T39 99%	97% T39 99%	-	Vermelho Neutro (G21) 35 T1 99%	Amitrol (G20) 31 T44 83%	Carbetamida (G34) 24 T39 91%	Deisopropilatrastazina (G26) 24 T39 80%	Fluquiconazol (G26) 24 T39 86%	Ofloxacino (G08) 24 T39 83%	Tilosina (G08) 24 T39 96%	Bisfenol-S (G20) 3 T18 99%	Tetraciclina (G08) 19 T19;T28 74%;32%	Norfloxacin (G08) 28 T21 97%	Flumequina (G08) 31 T44 94%	-				
27 T35 90%	31 T44 99%	1 T17 90%	9 T8 98%	Cafeína (G23) 4 T5 97%	17 T25 97%	4 T39 99%	4 T5 99%	Ácido salicílico (G14) 4 T5 97%	Paracetamol (G06) 17 T25 97%	31 T39 99%	31 T44 99%	30 T30 95%	31 T44 83%	24 T39 91%	24 T39 98%	24 T39 45%	24 T39 73%	24 T39 40%	24 T39 45%	3 T18 78%	21 T37 100%	29 T14 75%	31 T44 100%
1 T17 97%	7 T26;T29;T40;T41 90%	20 T16 87%	27 T35 90%	Nonifenol (G39) 24 T39 70%	4 T5 99%	Metoprolol (G18) 34% T39 92%	31 T44 -	30 T30 95%	31 T44 83%	24 T39 91%	24 T39 98%	24 T39 45%	24 T39 73%	24 T39 40%	24 T39 45%	3 T18 78%	21 T37 100%	29 T14 75%	31 T44 100%	31 T44 100%			
20 T16 98%	- T44 -	31 T44 85%	- T39 -	24 T39 72%	32 T43 96%	24 T39 92%	31 T44 100%	Fenofibrato (G36) 24 T39 92%	31 T44 100%	2 T3;T7 93%;92%	-	24 T39 92%	24 T39 82%	24 T39 79%	24 T39 91%	24 T39 86%	2 T4 32%	22 T38 100%	29 T14 94%	32 T43 66%	LEGENDA Micropoluente (Grupo) Cód. Trabalho Cód. Técnica % Remoção		