

Contaminantes de preocupação emergente no Brasil na década 2010-2019 – Parte II: tecnologias de tratamento e eficiências de remoção em ETES e ETAS

Contaminants of emerging concern in Brazil in the 2010-2019 decade - Part II: treatment technologies and removal efficiencies in ETPS and WTPS

Cindy Deina Farto¹ , Gilson Barbosa Athayde Júnior¹ , Rennio Félix de Sena¹ , Raul Rosenhaim¹

¹Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, PB, Brasil. E-mails: cindy.deina@academico.ufpb.br, gilson@ct.ufpb.br, rennio@ct.ufpb.br, raulrosenhaim@gmail.com

Como citar: Farto, C. D., Athayde Júnior, G. B., Sena, R. F., & Rosenhaim, R.. (2021). Contaminantes de preocupação emergente no Brasil na década 2010-2019 – Parte II: tecnologias de tratamento e eficiências de remoção em ETES e ETAS. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 18, e7. <https://doi.org/10.21168/rega.v18e7>

RESUMO: O objetivo deste estudo foi realizar uma comparação das eficiências de remoção de contaminantes de preocupação emergente (CPEs) em estações de tratamento de esgotos (ETEs) e em estações de tratamento de água (ETAs) no Brasil. Trata-se de um artigo de revisão bibliográfica, no qual buscou-se trabalhos científicos publicados entre os anos de 2010 e 2019. No total foram analisados 16 trabalhos referentes as eficiências de remoção desses compostos, sendo 7 deles em ETEs e 9 em ETAs. Nas ETAs, a adsorção em carvão ativado foi uma das mais estudadas para a remoção de CPEs e se mostra muito promissora, uma vez que, por meio dela, não existe a formação de subprodutos de degradação e sua eficiência é superior ou igual a outras técnicas de tratamento. Nas ETEs, os biorreatores de membrana apresentaram as melhores porcentagens de remoção dos CPEs investigados, especialmente para os agrotóxicos.

Palavras-chave: Contaminantes de Preocupação Emergente; Tecnologias de Tratamento; ETEs; ETAs; Eficiências de Remoção.

ABSTRACT: The aim of this study was to discuss the state of the art about treatment technologies and Contaminants of emerging concern (CECs) removal efficiencies in effluent treatment plants (ETP) and water treatment plants (WTP). Scientific studies published between 2010 and 2019 were researched. In total, 16 studies were analyzed regarding the removal efficiencies of these compounds, 7 of them in ETP and 9 in WTP. For WTP, adsorption in activated carbon was one of the most studied technologies for the removal of several CECs and is very promising, since, through it, there is no formation of degradation by-products and their efficiency is higher or equal to other treatment techniques. For ETP, the membrane bioreactors showed the best percentages of removal of the investigated CECs, especially for pesticides.

Keywords: Contaminants of Emerging Concern; Treatment Technologies; ETP; WTP; Removal Efficiencies.

INTRODUÇÃO

Este artigo dá continuidade ao intitulado “Contaminantes de preocupação emergente no Brasil na década 2010-2019 – parte I: ocorrência em diversos ambientes aquáticos”, no qual se discorreu sobre o estado da arte em relação à ocorrência de contaminantes de preocupação emergente (CPEs) em coleções hídricas no Brasil. No referido artigo, constatou-se que a ocorrência de diversos CPEs em águas do território brasileiro é uma realidade. Em geral, ocorre um decréscimo na concentração destes contaminantes ao longo da seguinte sequência de ambientes aquáticos: esgoto bruto, esgoto tratado,

Recebido: Fevereiro 23, 2021. Revisado: Abril 21, 2021. Aceito: Maio 19, 2021.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a [licença Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

águas superficiais (rios) e águas de abastecimento público (ETA). Dessa maneira, para uma melhoria do cenário dos CPEs em águas superficiais e de ETAs, faz-se necessário um aumento no percentual de esgotos tratados no Brasil.

Nesta parte II, serão abordadas as tecnologias de tratamento de água e esgotos para remoção de CPEs, além das respectivas eficiências de remoção.

Em relação às estações de tratamento de esgoto (ETEs), estas não foram projetadas especificamente para remover CPEs, tornando estas espécies químicas capazes de serem transportadas através do sistema de tratamento sem sofrer ação dos mecanismos de remoção. Geralmente, são empregados nas ETEs processos de tratamento a nível primário, secundário e, ocasionalmente, processos terciários. Este último é utilizado quando se faz necessário um efluente de melhor qualidade para certos propósitos, como reuso de água, por exemplo (Alves et al., 2017).

Em relação às ETAs, a presença de CPEs em águas que chegam às mesmas representa um desafio às companhias de saneamento, pois as investigações sobre a qualidade da água geralmente se concentram em nutrientes, poluentes microbianos, metais pesados e poluentes prioritários (Rodríguez-Narvaez et al., 2017). Além disso, os processos de atenuação natural e tratamento convencional não são capazes de remover esses contaminantes das águas e alguns estudos relatam bioacumulação em macro invertebrados, em outros organismos na cadeia alimentar aquática e em humanos (Annamalai & Namasivayam, 2015; Huerta et al., 2015; Ruhí et al., 2016; Wee & Aris, 2017).

Dessa maneira, as implicações resultantes da descarga de CPEs no ambiente aquático indicam a necessidade de encontrar processos complementares ou alternativos, eficientes e economicamente viáveis. Devido à existência de outros tipos de contaminação que não havia ou não se conhecia há poucos anos, hoje há a necessidade de inclusão de CPEs em programas de monitoramento ambiental e nas normativas ou instrumentos legais de controle ambiental (Araújo et al., 2019).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma comparação das eficiências de remoção de contaminantes de preocupação emergente em estações de tratamento de esgotos e em estações de tratamento de água no Brasil.

METODOLOGIA

Esta revisão foi realizada mediante busca eletrônica de artigos que tratavam sobre as técnicas de detecção, tecnologias de tratamento e eficiências de remoção de CPEs em ETEs e ETAs, indexados nas seguintes bases de dados: *Web of Science*, *Science Direct*, *SciELO* e *Scopus*. Tais bases de dados científicas foram escolhidas conforme relevância e expressão no meio científico, com amplo acervo na área de engenharias. As buscas foram realizadas a partir dos seguintes descritores: “Contaminantes de preocupação emergente”, “Tecnologias de tratamento”, “Águas residuárias”. Esses descritores foram interligados pelo operador booleano “AND” e “OR” para favorecer a busca dos estudos pelas bases de dados.

Quanto aos critérios de inclusão, foram incluídos textos completos disponíveis eletronicamente, no idioma português, inglês e espanhol, no período de janeiro de 2010 a dezembro de 2019, e que apresentavam a temática proposta no título, no resumo ou nos descritores. Quando considerado pertinente, outras bibliografias foram consultadas a partir de referências dos artigos previamente analisados. Sendo assim, neste trabalho de revisão foram considerados algumas dissertações e teses, bem como trabalhos publicados em revistas não indexadas, a fim de se obter uma maior quantidade de dados para representar mais seguramente o cenário brasileiro no tocante aos CPEs.

Os critérios de exclusão foram: trabalhos que não foram publicados no período considerado, além dos artigos que não realizaram algum tipo de análise nesse âmbito, ou seja, não abordaram sobre as técnicas de detecção, tecnologias de tratamento e suas eficiências de remoção.

A Figura 1 apresenta a evolução temporal dos estudos publicados de acordo com a matriz aquática estudada. No total foram analisados 16 estudos referentes a presença dos CPEs, sendo 7 deles em ETEs e 9 em ETAs.

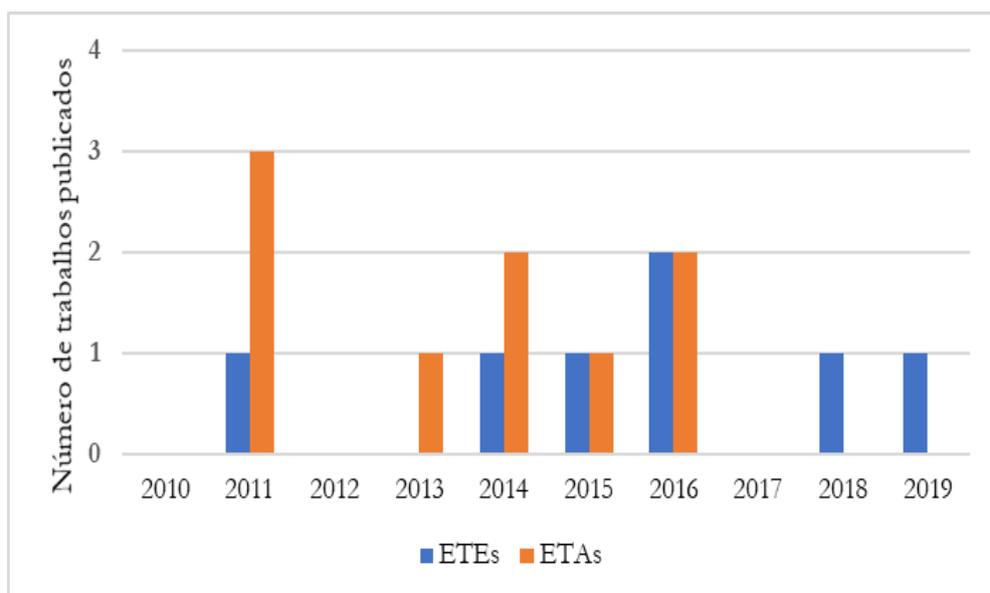


Figura 1. Evolução temporal dos trabalhos publicados de acordo com a matriz aquática

Os resultados da busca realizada referente as tecnologias de tratamento e eficiências de remoção em ETEs e ETAs foram apresentados sob a forma de quadros. As variáveis para elaboração dos resultados foram: composto, classe, concentração inicial, concentração final, porcentagem de remoção, tecnologia de tratamento utilizada, localidade/estado e referências. Estes itens foram considerados suficientes para descrever os resultados de maneira sucinta e relevante ao objeto de estudo.

Os resultados foram analisados e interpretados conforme a própria publicação e outros estudos na área, além de uma comparação entre estudos.

TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO E EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO EM ETES E ETAS

Diversas tecnologias têm sido testadas para remoção de CPEs. Os Quadros 1 e 3 apresentam algumas dessas tecnologias utilizadas no Brasil, tanto para tratamento de efluentes, quanto para tratamento de água, bem como suas eficiências de remoção.

REMOÇÃO DE CPEs EM ETES

O que se percebe na análise do Quadro 1 é que as informações disponíveis sobre a eficiência de remoção de CPEs nas diferentes tecnologias de tratamento de efluentes são limitadas. Foram utilizadas informações de estudos que apresentassem dados do monitoramento de estações de tratamento de esgoto em escala real ou em escala piloto sobre as eficiências de remoção encontradas.

Os estudos que avaliaram eficiências de remoção de CPEs em ETEs em escala real foram os seguintes: Froehner et al. (2011), Pescara (2014), Campanha (2015), Silva et al. (2016), Grosseli (2016) e Lima et al. (2018).

Os resultados do estudo realizado por Silva et al. (2016) demonstraram a ineficiência dos sistemas de tratamento de duas ETEs localizadas no estado de Pernambuco, sendo uma composta pelo sistema de lodos ativados e a outra composta pelo sistema de lagoa aerada, em termos de degradação dos contaminantes nonilfenol, progesterona e 17α -etinilestradiol.

Pescara (2014) avaliou a eficiência de remoção de atrazina, bisfenol, cafeína e triclosan, na ETE SeMAE de São José do Rio Preto/SP, composta por reatores anaeróbios de fluxo ascendente (RAFA) seguido de reatores de lodo ativado. A ETE possuía uma vazão de 1.100 L s^{-1} , tempo de detenção hidráulica de 22 horas e uma etapa de desinfecção do efluente antes do seu lançamento no corpo receptor. As eficiências de remoção global de cafeína foram maiores que 98%. Do mesmo modo, as taxas de remoção de triclosan foram superiores a 99%. Diferentemente do encontrado para cafeína e triclosan, não se observou um perfil de remoção para bisfenol A e atrazina.

Quadro 1. Tecnologias de tratamento e eficiências de remoção de contaminantes de preocupação emergente determinados em ETEs no Brasil

Composto	Classe	Porcentagem de remoção (%)	Técnica de tratamento utilizada	Localidade/Estado	Referência
2,4-D	Agrotóxico	56,00	BRM com inserção de CAP	João Pessoa/PB	Lopes (2019)
		>99,90	BRM + carvão ativado		
		98,80	BRM + osmose reversa		
		81,60	BRM + ozonização		
Atrazina		75,00	BRM com inserção de CAP		
		>99,90	BRM + carvão ativado		
		>99,90	BRM + osmose reversa		
		91,30	BRM + ozonização		
		Não houve remoção	RAFA + reatores de lodo ativado	ETE SeMAE, São José do Rio Preto/SP	Pescara (2014)
Carbendizam		98,00	BRM com inserção de CAP	João Pessoa/PB	Lopes (2019)
		>99,90	BRM + carvão ativado		
		98,70	BRM + osmose reversa		
	99,40	BRM + ozonização			
Diuron	94,00	BRM com inserção de CAP			
	>99,90	BRM + carvão ativado			
	97,90	BRM + osmose reversa			
	96,50	BRM + ozonização			
Cafeína	Estimulante	>98,00	RAFA + reatores de lodo ativado	ETE SeMAE, São José do Rio Preto/SP	Pescara (2014)
		>99,90	MBR - biorreator acoplado a sistema de membranas de ultrafiltração	EPAR Capivari II Campinas/SP	Lima et al. (2018)
		>99,80	Reator UASB seguido de floculação química e flotores por ar dissolvido	ETE Anhumas, Campinas/SP	
		>98,00	Reator UASB seguido de lodos ativados e flotores por ar dissolvido	ETE Piçarrão, Campinas/SP	
		>99,90	Reator UASB seguido de câmara anóxica,	ETE Capivari I, Campinas/SP	

Quadro 1. Continued...

Composto	Classe	Porcentagem de remoção (%)	Técnica de tratamento utilizada	Localidade/Estado	Referência
			filtro biológico aerado submerso e decantador secundário		
Caféina	Estimulante	>97,50	Lodos ativados em lagoas aeradas em série seguidas de decantadores secundários	ETE Samambaia, Campinas/SP	Lima et al. (2018)
		97,10	Lagoa de estabilização	ETE CSJ Jundiaí/SP	Grosseli (2016)
		74,5	Reator UASB seguido por flotores por ar dissolvido	ETE Monjolinho/SP	Campanha (2015)
		63			
		≅100	Lodos ativados	Curitiba/PR	Froehner et al. (2011)
		≅100	Reator UASB		
		99,60	Lagoas de estabilização		
Bisfenol A	Plastificante	Não houve remoção	RAFA + reatores de lodo ativado	ETE SeMAE, São José do Rio Preto/SP	Pescara (2014)
		57,00	Lodos ativados em lagoas aeradas em série seguidas de decantadores secundários	ETE Samambaia, Campinas/SP	Lima et al. (2018)
		92,40	Reator UASB seguido de floculação química e flotores por ar dissolvido	ETE Anhumas, Campinas/SP	
		59,00	Reator UASB seguido de lodos ativados e flotores por ar dissolvido	ETE Piçarrão, Campinas/SP	
		99,90	Lodos ativados	Curitiba/PR	Froehner et al. (2011)
		≅ 100	Reator UASB		
		≅ 100	Lagoas de estabilização		
Estríol	Hormônio	>57,00	MBR - biorreator acoplado a sistema de membranas de ultrafiltração	EPAR Capivari II Campinas/SP	Lima et al. (2018)
		93,80	Reator UASB seguido de floculação química e flotores por ar dissolvido	ETE Anhumas, Campinas/SP	
Triclosan	Fármaco	97,60	Reator UASB seguido de floculação química e	ETE Anhumas, Campinas/SP	

Quadro 1. Continued...

Composto	Classe	Porcentagem de remoção (%)	Técnica de tratamento utilizada	Localidade/Estado	Referência
			flotadores por ar dissolvido		
		>99,00	Reator UASB seguido de flotadores por ar dissolvido	ETE Monjolinho/SP	Campanha (2015)
		≥99,00	RAFA + reatores de lodo ativado	ETE SeMAE, São José do Rio Preto/SP	Pescara (2014)
17 α - Etilnil estradiol	Hormônio	2,40	Lodos ativados	Pernambuco	Silva et al. (2016)
		44,10	Lodos ativados	Curitiba/PR	Froehner et al. (2011)
		≅ 100	Reator UASB		
		≅ 100	Lagoas de estabilização		
17- β -estradiol	Hormônio	63,10	Lodos ativados	Curitiba/PR	Froehner et al. (2011)
		66,50	Reator UASB		
		56,50	Lagoas de estabilização		
Estrona		≅ 100	Lodos ativados		
		≅ 100	Reator UASB		
		≅ 100	Lagoas de estabilização		
Naproxeno	Fármaco	<50,00	Reator UASB seguido por flotadores por ar dissolvido	ETE Monjolinho/SP	Campanha (2015)
		96,40	Lagoa de estabilização	ETE CSJ Jundiaí/SP	Grosseli (2016)
		61,60	Reator UASB seguido por flotadores por ar dissolvido	ETE Monjolinho/SP	
Ibuprofeno		65,50	Lagoa de estabilização	ETE CSJ Jundiaí/SP	
		0	Reator UASB seguido por flotadores por ar dissolvido	ETE Monjolinho/SP	
Diclofenaco		26,20	Lagoa de estabilização	ETE CSJ Jundiaí/SP	
		0	Reator UASB seguido por flotadores por ar dissolvido	ETE Monjolinho/SP	
Carbamazepina		0	Lagoa de estabilização	ETE CSJ Jundiaí/SP	
		0,85	Reator UASB seguido por flotadores por ar dissolvido	ETE Monjolinho/SP	
Propranolol		0	Reator UASB seguido por flotadores por ar dissolvido	ETE Monjolinho/SP	Campanha (2015)
Nonilfenol	0	Lagoa Aerada	Pernambuco	Silva et al. (2016)	
Progesterona	Hormônio				0

BRM: biorreator de membrana; CAP: carvão ativado em pó; EPAR: Estação produtora de água de reuso; RAFA: Reatores anaeróbios de fluxo ascendente; UASB: reatores anaeróbicos de manta de lodo. ND: não detectado.

Já no trabalho realizado por Froehner et al. (2011), os autores encontraram remoções de bisfenol A acima de 90% para ETE que empregavam diferentes tratamentos aeróbios e anaeróbios. Aponta-se que o mecanismo de remoção desse contaminante ocorre por meio de adsorção por partição no material particulado, devido a sua baixa solubilidade em água.

Ainda no estudo de Froehner et al. (2011), as taxas de remoção global de cafeína encontradas para três ETEs da cidade de Curitiba foram superiores a 99%, o que indica que este composto possui remoções eficientes tanto em tratamentos aeróbios quanto anaeróbios. Além da cafeína e do bisfenol A, foram investigadas as remoções de três hormônios (17- β estradiol, estrona e etinilestradiol), em três diferentes ETEs na cidade de Curitiba/PR. A primeira estação possui uma vazão média de 1.100 L s⁻¹, atende uma população de aproximadamente 500.000 habitantes, e após o esgoto passar por tratamento preliminar, o líquido flui para dois tanques de aeração. A segunda estação possui uma vazão média de 1.400 L s⁻¹ e atende a aproximadamente 580.000 habitantes. O tratamento é baseado em reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) combinados com precipitação química e flotação por ar dissolvido (FAD). A terceira estação opera usando uma combinação de lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação. Esta planta pode atender 200.000 habitantes. Os TDH para os tratamentos 1, 2 e 3 foram 36 h, 12 h e 24 dias, respectivamente. Nas três ETE estudadas, as remoções de estrona, cafeína e bisfenol A foram superiores a 99%, mesmo quando o processo de tratamento foi baseado em lagoas de estabilização.

Boon et al. (2008), mencionam que o TDH de um sistema de tratamento é essencial para a remoção de bisfenol, uma vez que esse é essencial na remoção de compostos químicos do esgoto. O TDH aumentado, aumenta a quantidade de remoção. Como os resultados mostraram, compostos solúveis são eliminados de esgoto facilmente a uma taxa superior a 97%. Pequenas diferenças podem ser atribuídas ao TDH e não ao mecanismo de tratamento (Froehner et al., 2011). No entanto, para o hormônio 17- β -estradiol, a maior remoção encontrada foi de 66,50% na estação que operava com reatores UASB seguidos por DAF. Nas lagoas de estabilização, cujo processo é essencialmente anaeróbico/facultativo, a remoção foi de aproximadamente 56,50%.

Lima et al. (2018) avaliaram eficiências de remoção de CPEs em quatro ETEs da cidade de Campinas/SP, cada uma com um sistema de tratamento diferente, e em uma Estação Produtora de Água de Reuso (EPAR). A EPAR Capivari II recebe esgoto doméstico de cerca de 175.000 habitantes. A estação adota o sistema de tratamento por biorreator de membranas (BRM), que consiste em um tratamento biológico em lagoas de desoxigenação, anaeróbia e aerada, capazes de remover nitrogênio e fósforo, seguidas por tanques com membranas de ultrafiltração. É a primeira planta em grande escala da América Latina a utilizar BRM com tratamento biológico terciário (remoção de nitrogênio e fósforo) para tratamento de esgoto doméstico. Possui capacidade instalada para tratar 360 L s⁻¹. As capacidades de remoção de cafeína foram semelhantes para todas as estações de tratamento estudadas, incluindo a EPAR. Para bisfenol A e estriol, as maiores remoções foram obtidas na ETE Anhumas, a qual opera utilizando reator UASB seguido de floculação química e flotação por ar dissolvido. As taxas de remoção para esses dois contaminantes foi de 92,40 e 93,80%. Na EPAR, a taxa de remoção de estriol foi na faixa de 57%.

Lopes (2019) avaliou eficiências de remoção de agrotóxicos de formas individual e combinada com outras tecnologias de tratamento em escala piloto. O efluente utilizado foi proveniente de uma indústria de processamento de frutas. O autor avaliou o potencial da inserção de carvão ativado em pó (CAP) em um biorreator de membrana (BRM), que proporcionou remoções superiores à 94% para carbendazim e diuron. No entanto, a mesma eficácia não foi obtida para 2,4-D e atrazina. Além disso, foi observada uma perda gradual das eficiências, no decorrer do tempo experimental, em virtude da possível saturação do CAP. Por fim, dentre as tecnologias híbridas constituídas pelo BRM e as alternativas de pós-tratamento disponíveis na ETE piloto, o sistema BRM/adsorção em carvão ativado granular (CAG) gerou os melhores resultados, com eficiências de remoção acima de 98,60% para todos os agrotóxicos estudados, seguido pela junção entre BRM e osmose reversa, que apresentou desempenho ligeiramente inferior (remoções > 94,5%). Estes sistemas podem ser utilizados para fins de remoção de agrotóxicos.

No Quadro 2 é apresentado uma síntese das eficiências de remoção de CPEs por tecnologia de tratamento de esgotos. O reator UASB/RAFA foi a tecnologia mais estudada, porém, a que apresentou melhores porcentagens de remoção foi BRM, variando de 56 a 100%.

Quadro 2. Eficiências de remoção de CPEs por tecnologia de tratamento de esgotos

Tecnologia de tratamento	CPE	Faixa de eficiências encontrada (min - máx)	Referências
BRM	2,4D	56,00 - 99,90	Lopes (2019)
	Atrazina	75,00 - 99,90	
	Carbendizam	98,00 - 99,90	
	Diuron	94,00 - 99,90	
	Cafeína	99,90	Lima et al. (2018)
	Estriol	57,00	
UASB/RAFA	Atrazina	0	Pescara (2014)
	Cafeína	63,00 - 100	Froehner et al. (2011), Pescara (2014), Campanha (2015), Grosseli (2016), Lima et al. (2018)
	Bisfenol A	0 - 100	Froehner et al. (2011), Pescara (2014), Lima et al. (2018)
	Estriol	93,80	Lima et al. (2018)
	Triclosan	97,60 - 99,90	Pescara (2014), Campanha (2015), Lima et al. (2018)
	17 α - Etil estradiol	100	Froehner et al. (2011)
	17- β -estradiol	66,50	
	Estrona	100	
	Naproxeno	50,00 - 61,60	Campanha (2015), Grosseli (2016)
	Propanolol	0	Grosseli (2016)
	Diclofenaco	0	
	Carbamazepina	0,85	
	Ibuprofeno	0	
Lagoas de estabilização	Cafeína	97,10 - 99,60	Froehner et al. (2011), Grosseli (2016);
	Bisfenol A	100	Froehner et al. (2011)
	17 α - Etil estradiol	100	
	17- β -estradiol	56,30	
	Estrona	100	
	Nonilfenol	0	Silva et al. (2016)
	Progesterona	0	Grosseli (2016)
	Naproxeno	96,40	
	Ibuprofeno	65,50	
	Carbamazepina	0	
Diclofenaco	26,20		
Lodos ativados	Cafeína	97,50 - 100	Froehner et al. (2011), Lima et al. (2018)
	Bisfenol A	57,00 - 99,90	Froehner et al. (2011), Lima et al. (2018)
	17 α - Etil estradiol	0 - 44,10	Froehner et al. (2011), Silva et al. (2016)
	17- β -estradiol	63,10	Froehner et al. (2011)
	Estrona	100	

Na Espanha, Jelic et al. (2011) investigaram a capacidade de remoção de 43 fármacos pelos tratamentos adotados em três ETE. Cada estação empregava diferentes combinações de tratamentos. A primeira ETE realizava um tratamento preliminar físico, seguido de tratamento biológico, em

sistema anaeróbio e aeróbio, depois físico-químico, com coagulação e floculação, posteriormente clarificação por microfiltração e, finalmente, uma etapa de desinfecção. A segunda ETE empregava um tratamento preliminar físico seguido de um tratamento biológico com lodo ativado. Já a terceira ETE um tratamento inicial físico e depois um tratamento biológico anaeróbio. Neste trabalho foram encontrados 32 dos compostos estudados em esgoto bruto e 29 em efluente tratado. Para alguns compostos, como os anti-inflamatórios cetoprofeno e naproxeno, as taxas de remoções foram superiores a 80%. Ainda, para as três ETEs, as taxas de remoção para diclofenaco, carbamazepina, trimetoprim, matronidazol e benzodiazepina foram inferiores a 30%.

Na China, diferentes processos de tratamento foram avaliados na remoção de CE, principalmente fármacos. Os compostos-alvo não puderam ser eliminados por filtração em areia, mas os processos de ozonização e microfiltração seguido de osmose reversa empregados em duas ETEs foram muito eficazes para removê-los, mostrando suas principais contribuições para a remoção de tais micropoluentes em águas residuais (Sui et al., 2010).

Um sistema de nanofiltração (NF) em escala piloto com capacidade de 50 m³ foi investigado para remoção de CPEs no estudo de Xu et al. (2020), realizado na China. Os compostos bezafibrato, indometacina, ciprofloxacina e norfloxacino não foram detectados no efluente, mostrando 100% de remoção pelo sistema de escala piloto. As rejeições do diclofenaco, sulfametazina, sulfametazol, sulfadiazina, bisfenol A e ácido clofibrico por NF foram todos superiores a 85%.

No cenário internacional, assim como no Brasil, os sistemas de tratamento de efluentes em escala real que utilizam tecnologias de tratamento primário e secundário, as remoções de CPEs não são eficientes. Por outro lado, os tratamentos terciários, tanto em escala real, como em escala piloto, apresentaram remoções satisfatórias para a maioria dos compostos investigados.

REMOÇÃO DE CPEs EM ETAs

As informações acerca de remoção de CPEs em ETAs são apresentadas no Quadro 3. Foram utilizadas informações de estudos em escala de bancada ou em escala piloto sobre as eficiências de remoção encontradas.

Os estudos em escala piloto foram os de Santos (2011), Voltan (2014) e Simões (2016). Já os estudos de Pereira (2011), Peres (2011), Rigobello et al. (2013), Souza (2015), Santos et al. (2015) e Borges et al. (2016) foram em escala de bancada.

Das técnicas complementares ao tratamento convencional de água, diversas pesquisas têm privilegiado o emprego do carvão ativado granular (CAG), utilizado como filtro após a etapa de clarificação. Os resultados encontrados no estudo de (Rigobello et al., 2013), mostraram que a adsorção com CAG resultou em elevada remoção (>90%) para os compostos estudados, destacando o CAG de casca de coco utilizado neste estudo que, além de apresentar a maior remoção (99,70% para diclofenaco) dentre os CAG estudados, é um resíduo agrícola com alta disponibilidade no país.

Quadro 3. Tecnologias de tratamento e eficiências de remoção de contaminantes de preocupação emergente determinados em ETAs no Brasil

Composto	Classe	Porcentagem de remoção (%)	Tecnologia de tratamento utilizada	Localidade/Estado	Referência
Diclofenaco	Fármaco	≈ 90,00	Filtro de carvão ativado associado a microrganismos	São Paulo/SP	Borges et al. (2016)
		99,70	Filtro de carvão ativado granular	Bertioga/SP	Rigobello et al. (2013)
		34,00	Oxidação com cloro	Ilha Solteira/SP	Souza (2015)
Ibuprofeno	Fármaco	≈ 99,00	Filtro de carvão ativado associado a microrganismos	São Paulo/SP	Borges et al. (2016)
		>90,00	POA (TiO ₂ /UV-C)	Belo Horizonte/MG	Santos et al. (2015)

Quadro 3. Continued...

Composto	Classe	Porcentagem de remoção (%)	Tecnologia de tratamento utilizada	Localidade/Estado	Referência
Naproxeno		≈ 90,00	Filtro de carvão ativado associado a microrganismos	São Paulo/SP	Borges et al. (2016)
Amoxicilina		≈ 90,00	Filtro de carvão ativado associado a microrganismos		
Norfloxacino		100	POA (UV/H ₂ O ₂)	Belo Horizonte/MG	Santos et al. (2015)
	60,00	POA (H ₂ O ₂ /Fe ²⁺)			
Estrona	Hormônio	98,00	Ozonização	São Carlos/SP	Pereira (2011)
		97,50	Oxidação com cloro		
		93,00	Ozonização		
		99,60	Oxidação com cloro	Campinas/SP	Peres (2011)
17β-estradiol		90,90	Adsorção em carvão ativado em pó		
		24,00	Oxidação com cloro		
17α-etinilestradiol		93,50	Adsorção em carvão ativado em pó	Campinas/SP	Peres (2011)
		≈ 80,00	Tratamento convencional seguido de ultrafiltração	Belo Horizonte/MG	Santos (2011)
		≈ 90,00	Tratamento convencional seguido de filtração em carvão ativado granular		
		≈ 90,00	Tratamento convencional precedido de oxidação com cloro		
		≈ 89,00	Tratamento convencional utilizando carvão ativado em pó		
Bisfenol A	Plastificante	≈ 0	Membrana de UF (GS-5101U-S4)	Brasília/DF	Simões (2016)
		54,00	Membrana de NF (NF270)		
		≈ 100	Membrana de NF (NF90)		
		≈ 100	Membrana de TW (TW30)		
		>90,00	POA (TiO ₂ /UV-C)	Belo Horizonte/MG	Santos et al. (2015)

Quadro 3. Continued...

Composto	Classe	Porcentagem de remoção (%)	Tecnologia de tratamento utilizada	Localidade/Estado	Referência
Diuron	Agrotóxico	94,80	Adsorção em carvão ativado pulverizado	São Carlos/SP	Voltan (2014)
Hexazinona		73,80	Adsorção em carvão ativado pulverizado		
Sulfametoxazol	Fármaco	11,00	Oxidação com cloro	Ilha Solteira/SP	Souza (2015)
4-nonilfenol	Hormônio	100	Adsorção em carvão ativado em pó	Campinas/SP	Peres (2011)

POA: processo oxidativo avançado; UV: ultravioleta; H2O2: peróxido de hidrogênio; Fe2+: Ferroso; TiO2: dióxido de titânio; UF: ultrafiltração; NF: nanofiltração; TW: osmose inversa.

No estudo de Peres (2011), os interferentes endócrinos 4-nonilfenol, 17 β -estradiol e 17 α -etinilestradiol foram satisfatoriamente removidos por adsorção em carvão ativado em pó. Considerando a relevância dos interferentes endócrinos, embora ainda não contemplados no padrão de potabilidade vigente no Brasil, e tendo em vista a ocorrência destes compostos em bacias hidrográficas densamente ocupadas, industrializadas e, na maioria dos casos, com baixo nível de tratamento de esgoto, recomenda-se, pelo princípio da precaução, a permanente aplicação do CAP em estações de tratamento de água cujo manancial apresente histórico de ocorrência de compostos orgânicos potencialmente nocivos à saúde humana (Peres, 2011).

Sobre as condições empregadas no estudo de Borges et al. (2016), foi constatada a elevada capacidade de remoção dos compostos farmacológicos nos filtros testados. A filtração em carvão ativado, nas condições empregadas neste estudo, demonstrou ser viável para absorção e remoção de fármacos. O carvão ativado mostrou seu potencial como suporte para o desenvolvimento de microrganismos (biofilme) capazes de metabolizar os compostos farmacológicos testados, sua superfície porosa é acessível para fixação e colonização microbiológica. As bactérias foram predominantes no biofilme formado no filtro durante o experimento, indicando seu potencial para compor processos de biofiltração em ETA (Borges et al., 2016). De acordo com os mesmos autores, o uso de filtros biológicos de carvão pode representar uma técnica promissora para a remoção de fármacos e outros compostos recalcitrantes presentes nos mananciais de abastecimento público.

Além disso, existem diferentes estudos que abordam técnicas complementares de tratamento que, embora apresentem um custo maior, frequentemente resultam em elevada eficiência de remoção de microcontaminantes. Dentre essas técnicas, destacam-se filtração em membranas de nanofiltração, ultrafiltração e osmose reversa e os processos oxidativos avançados (POA) que envolvem a geração de radicais hidroxilas em sistemas que empregam radiação UV, peróxido de hidrogênio ou ozônio (Lima et al. 2017).

Em relação aos POA, a eficiência de remoção de microcontaminantes varia em função da técnica utilizada para gerar os radicais hidroxilas. No estudo de Pereira (2011), a oxidação com ozônio, acoplado ou não ao peróxido, apresentou remoção de microcontaminantes de 90 a 100% em doses de oxidante superiores a 1 mg L⁻¹.

De acordo com de Santos et al. (2015), a geração de radicais oxidantes pela radiação ultravioleta (UV-A ou UV-C) pode ser feita em processos heterogêneos, em que normalmente se utiliza dióxido de titânio (TiO₂) como catalisador, ou em processos homogêneos, utilizando peróxido de hidrogênio uso da fotocatalise heterogênea com TiO₂ e UV-C resultou em eficiente remoção (>90%) de bisfenol A e ibuprofeno em tempo de contato relativamente pequeno (2h). Da mesma forma, o uso de processo homogêneo de geração de radicais hidroxilas com H₂O₂/UV levou à remoção total de norfloxacin, ao passo que tal contaminante foi apenas moderadamente removido (60%) pelo processo Fenton, que emprega H₂O₂/Fe²⁺.

Os processos de separação por membranas (PSM) vêm sendo estudados quanto a sua capacidade de remover microcontaminantes orgânicos, apresentando resultados promissores. Segundo Simões (2016), o desenvolvimento de membranas mais eficientes e seletivas, com custos de aquisição e operação cada vez menores tem contribuído para a disseminação dos PSM, que também apresentam como vantagem a facilidade de implementação e ampliação.

No experimento realizado por Simões (2016), a remoção de bisfenol A pelas membranas TW30 e NF90 foi praticamente 100%, enquanto, a membrana NF270 apresentou remoção entre 43% e 54%. Ao contrário, a remoção de bisfenol A pela membrana de UF foi praticamente inexistente. De acordo com o autor deste estudo, entre as membranas de alta pressão estudadas, a membrana NF90 seria a mais indicada para o tratamento avançado de águas para o consumo humano contendo o microcontaminante bisfenol A, pela sua eficiência em relação à remoção desse contaminante, praticamente 100%, e pela superioridade em relação ao desempenho operacional.

Para Simões (2016), a propriedade do conhecimento sobre o assunto é essencial para despertar o interesse dos órgãos públicos e das empresas de saneamento do país na aplicação dessas tecnologias para o tratamento de água de abastecimento, trazendo dessa forma, novas ferramentas para a produção segura de água para o consumo humano.

No Quadro 4 é apresentada uma síntese das eficiências de remoção de CPEs por tecnologia de tratamento de águas.

Quadro 4. Eficiências de remoção de CPEs por tecnologia de tratamento de água

Tecnologia de tratamento	CPE	Faixa de eficiências encontrada (min - máx)	Referências
Adsorção em carvão ativado	Diclofenaco	90,00 - 99,70	Rigobello et al. (2013), Borges et al. (2016)
	Ibuprofeno	99,00	Borges et al. (2016)
	Naproxeno	90,00	
	Amoxicilina	90,00	
	17 β -estradiol	90,90	Peres (2011)
	17 α -etinilestradiol	89,00 - 93,50	Peres (2011), Santos (2011)
	Diuron	94,80	Voltan (2014)
	Hexazinona	73,80	
	4-nonilfenol	100	Peres (2011)
POA	Ibuprofeno	90,00	Santos et al. (2015)
	Norfloxacino	60,00 - 100	
	Bisfenol A	90,00	
Oxidação com Cloro	Diclofenaco	34,00	Souza (2015)
	Estrona	97,50	Pereira (2011)
	17 β -estradiol	24,00 - 99,60	Pereira (2011), Souza (2015)
	Sulfametoxazol	11,00	Souza (2015)
Ozonização	Estrona	98,00	Pereira (2011)
	17 β -estradiol	93,00	
BRM	17 α -etinilestradiol	80,00	Santos (2011)
	Bisfenol A	0 - 100	Simões (2016)

Através do Quadro 4, percebe-se que a adsorção em carvão ativado foi a tecnologia mais estudada e a que apresentou melhores porcentagens de remoção, variando de 73,8 a 100%. Além disso, a maioria dos CPEs apresentaram remoções superiores a 90% para essa tecnologia de tratamento em ETAs.

Padhye et al. (2014) avaliaram a ocorrência de 30 CPEs em água bruta e as taxas de remoções destes compostos por uma ETA nos Estados Unidos. O tratamento da água era realizado por uma etapa de pré-ozonização, seguida por coagulação e sedimentação, outra etapa de ozonização, depois uma etapa de filtração em carvão ativado e, posteriormente, uma etapa de cloração. Neste estudo foi possível calcular as taxas de remoção para 19 compostos. A menor remoção média foi encontrada para o antimicrobiano eritromicina, que foi de 21%. Para bisfenol A foi encontrada uma taxa de remoção média de 37%. Remoções inferiores a 60% foi encontrada para triclosan, trimetoprim e naproxeno. Cafeína, atrazina e o pesticida N,N-dietiltoluamida (DEET) foram removidos em aproximadamente

70%. Para carbamazepina, claritomicina, ibuprofeno, levofloxacino, metoprolol e sulfametazol as taxas de remoção foram superiores a 80%.

No estudo de Huerta-Fontela et al. (2011), uma ETA na Espanha foi monitorada para se estudar a remoção de estrógenos. A ETA capta água no rio Llobregat e abastece cerca de um milhão de habitantes. O tratamento possui as seguintes etapas: pré-cloração, coagulação, sedimentação, filtração em areia, ozonização, filtração em CAG e pós cloração. As remoções de estrona, estriol e 17 α -etinilestradiol foram de 80, 93,5, 94,1%, respectivamente. Para o fármaco hidroclorotiazida as remoções foram superiores a 98%. Já para 17 α -etinilestradiol, estriol e estrona, as remoções foram 94,10%, 93,50% e 80%, respectivamente.

Vulliet et al. (2011) avaliaram oito diferentes ETAs da França que realizavam tratamento convencional da água e detectaram remoções de progesterona, testosterona e levonorgestrel que variaram de 0 a 50%, mostrando que esses compostos não foram eficientemente removidos nas ETAs estudadas.

No estudo piloto realizado por Cuhorka et al. (2020), foram avaliadas as remoções de ibuprofeno e diclofenaco por membranas de nanofiltração. As remoções alcançadas para esses compostos variaram de 89 a 97% para ibuprofeno e de 91 a 99,4% para diclofenaco.

O que se observa no cenário internacional é que, assim como no Brasil, nas ETAs estudadas utilizando tratamento convencional, as remoções de CPEs para a maior parte dos compostos não foram eficientes. Por outro lado, técnicas de tratamento avançadas apresentaram remoções satisfatórias para a maioria dos compostos investigados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível se constatar a necessidade de ampliação e aprofundamento de estudos sobre a remoção de CPEs em ETEs e ETAs no Brasil, principalmente em outras regiões brasileiras, além do Sudeste, uma vez que tais estudos se concentram notadamente na mencionada região. Tendo em vista a comprovação da contaminação em diversas matrizes aquáticas, tratamentos mais adequados para efluentes e águas poderão ser desenvolvidos, tendo-se como base os níveis de concentração destas substâncias nas matrizes aquáticas investigadas.

Em relação às ETEs, os processos de separação por membranas e os reatores UASB/RAFA vêm sendo estudados quanto a sua capacidade de remover diversos CPEs, apresentando resultados promissores. Apesar dos reatores terem sido a tecnologia mais estudada, os biorreatores de membrana apresentaram as melhores porcentagens de remoção dos CPEs investigados, especialmente os agrotóxicos.

Com relação às ETAs, para serem capazes de remover os CPEs, foram apresentados vários métodos de tratamento, sendo a adsorção em carvão ativado uma das tecnologias mais estudadas e se mostrando com as melhores porcentagens de remoção. Por meio da adsorção em carvão ativado, não existe a formação de subprodutos de degradação e sua eficiência é superior ou igual as outras técnicas de tratamento.

Tanto no cenário nacional quanto internacional, a obtenção de elevadas eficiências de remoção de CPEs em sistemas de tratamento de esgoto e de água passa pela adoção de sistemas de tratamento terciário, que empregam processos físico-químicos, tais como a adsorção em carvão ativado e os biorreatores de membrana. No entanto, a utilização de tais sistemas de tratamento complementares envolve uma análise de custo-benefício que ainda depende da avaliação criteriosa dos riscos desses contaminantes no ambiente, principalmente o impacto na saúde humana.

REFERÊNCIAS

- Alves, T., Girardi, R., & Pinheiro, A. (2017). Micropoluentes orgânicos: ocorrência, remoção e regulamentação. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 14(1), 1-10.
- Annamalai, J., & Namasivayam, V. (2015). Endocrine disrupting chemicals in the atmosphere: their effects on humans and wildlife. *Environment International*, 76, 78-97.
- Araújo, R. K., Wolff, D. B., & Carissimi, E. (2019). Fármacos em águas residuárias: efeitos ambientais e remoção em wetlands construídos. *Revista DAE*, 67(218), 137-155.
- Boon, N., Pauwels, B., Wille, E. K., Noppe, H., Brabander, H., & Van De Wiele, T. (2008). 17 α -ethinylestradiol cometabolism by bacteria degrading estrone, 17 β -estradiol and estriol. *Biodegradation*, 19, 683-693.

- Borges, R. M., Minillo, A., & Lemos, E. G. M.; DO PRADO, H. F. A.; TANGERINO, E. P. (2016). Uso de filtros de carvão ativado granular associado a microrganismos para remoção de fármacos no tratamento de água de abastecimento. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 21(4), 709-720.
- Campanha, M. B. (2015). *Contaminantes emergentes: ocorrência e distribuição espaço-temporal no rio do Monjolinho e avaliação da remoção pela estação de tratamento de esgotos de São Carlos* (Tese de doutorado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- Cuhorka, J., Wallace, E., & Mikulášek, P. (2020). Removal of micropollutants from water by commercially available nanofiltration membranes. *The Science of the Total Environment*, 720, 1-11.
- Froehner, S., Piccioni, W., Machado, K. S., & Aisse, M. M. (2011). Removal capacity of caffeine, hormones, and bisphenol by aerobic and anaerobic sewage treatment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 216(1-4), 463-471.
- Grosseli, M. G. (2016). *Contaminantes emergentes em estações de tratamento de esgoto aeróbia e anaeróbia* (Tese de doutorado). Centro de Ciências e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- Huerta, B., Jakimska, A., Llorca, M., Ruhí, A., Margoutidis, G., Acuña, V., Sabater, S., Rodriguez-Mozaz, S., & Barceló, D. (2015). Development of an extraction and purification method for the determination of multi-class pharmaceuticals and endocrine disruptors in freshwater invertebrates. *Talanta*, 132, 373-381.
- Huerta-Fontela, M., Galceran, M. T., & Ventura, F. (2011). Occurrence and removal of pharmaceuticals and hormones through drinking water treatment. *Water Research*, 45, 1432.
- Jelic, A., Gros, M., Ginebreda, A., Cespedes-Sánchez, R., Ventura, F., Petrovic, M., & Barcelo, D. (2011). Occurrence, partition and removal of pharmaceuticals in sewage water and sludge during wastewater treatment. *Water Research*, 45, 1165-1176.
- Lima, D. R. S., Tonucci, M. C., Libânio, M., & Aquino, S. F. (2017). Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrência e técnicas de remoção. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22(6), 1043-1054.
- Lima, E. F., & Montagner, C. C., & Cantusio Neto, R. (2018). Determinação da capacidade de remoção de contaminantes emergentes em estação produtora de água de reúso que emprega o sistema de tratamento MBR. In *Anais do 48º Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE*. Fortaleza, Ceará.
- Lopes, T. S. A. (2019). *Avaliação da remoção de agrotóxicos por biorreator de membrana e pós-tratamentos de carvão ativado, osmose reversa e ozonização* (Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- Padhye, L. P., & Yao, H., Kung'u, F. T., & Huang, C.-H. (2014). Year-long evaluation on the occurrence and fate of pharmaceuticals, personal care products, and endocrine disrupting chemicals in an urban drinking water treatment plant. *Water Research*, 51, 266-276.
- Pereira, R. O. (2011). *Formação de subprodutos do estrona e 17β-estradiol na oxidação utilizando cloro e ozônio na água* (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Peres, M. R. (2011). *Remoção dos interferentes endócrinos 17-etinilestradiol, 17-estradiol e 4-nonilfenol por adsorção em carvão ativado em pó em água de abastecimento público* (Dissertação de mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Pescara, I. G. (2014). *Ocorrência e remoção de contaminantes emergentes por tratamentos convencionais de água e esgoto* (Tese de doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Rigobello, E. S., Dantas, A. D. B., Di Bernardo, L., & Vieira, E. M. (2013). Removal of diclofenac by conventional drinking water treatment processes and granular activated carbon filtration. *Chemosphere*, 92(2), 184-191.
- Rodriguez-Narvaez, O. M., Peralta-Hernandez, J. M., Goonetilleke, A., & Bandala, E. R. (2017). Treatment technologies for emerging contaminants in water: a review chemical. *Engineering Journal (New York)*, 323, 361-380.
- Ruhí, A., Acuña, V., Barceló, D., Huerta, B., Mor, J. R., Rodríguez-Mozaz, S., & Sabater, S. (2016). Bioaccumulation and trophic magnification of pharmaceuticals and endocrine disruptors in a Mediterranean river food web. *The Science of the Total Environment*, 540, 250-259.
- Santos, E. P. C. C. (2011). *Remoção de etinilestradiol no tratamento de água para consumo humano: estudo em escala piloto* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Santos, L. V. S., Meireles, A. M., & Lange, L. C. (2015). Degradation of antibiotics norfloxacin by Fenton, UV and UV/H2O2. *Journal of Environmental Management*, 154, 8-12.
- Silva, R. F., Silva, G. L., Silva, P. T. S., & Silva, V. L. (2016). Identification and quantification of emerging contaminants in sewage treatment plants. *Revista Virtual de Química*, 8(3), 702-715.

- Simões, C. P. P. (2016). Avaliação operacional e remoção de bisfenol-A no tratamento de água por diferentes tipos de membranas: avaliação em escala piloto (Dissertação de mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- Souza, B. P. (2015). *Avaliação da remoção de sulfametoxazol, diclofenaco e 17β-estradiol em água por meio de processo oxidativo com cloro* (Dissertação de mestrado). Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP, Ilha Solteira.
- Sui, Q., Huang, J., Deng, S., Yu, G., & Fan, Q. (2010). Occurrence and removal of pharmaceuticals, caffeine and DEET in wastewater treatment plants of Beijing, China. *Water Research*, 44, 417.
- Voltan, P. (2014). *Remoção de diuron e hexazinona por meio de adsorção em carvão ativado, oxidação e tratamento em ciclo completo* (Tese de doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Vulliet, E., Cren-Olivé, C., & Grenier-Loustalot, M. F. (2011). Occurrence of pharmaceuticals and hormones in drinking water treated from surface waters. *Environmental Chemistry Letters*, 9, 114.
- Wee, S. Y., & Aris, A. Z. (2017). Endocrine disrupting compounds in drinking water supply system and human health risk implication. *Environment International*, 106, 207-233.
- Xu, R., Qin, W., Tian, Z., He, Y., Wang, X., & Wen, X. (2020). Enhanced micropollutants removal by nanofiltration and their environmental risks in wastewater reclamation: a pilot-scale study. *The Science of the Total Environment*, 744, 20.

Contribuições dos autores:

Cindy Deina Farto: busca e seleção de artigos, planejamento e preparação e revisão do manuscrito.

Gilson Barbosa Athayde Júnior: planejamento e preparação e revisão do manuscrito.

Rennio Félix de Sena: revisão do manuscrito.

Raul Rosenhaim: revisão do manuscrito.