

MONITORAMENTO E REMOÇÃO DE ANTI-INFLAMATÓRIOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

MONITORING AND REMOVAL OF ANTI-INFLAMMATORY DRUGS IN SEWAGE TREATMENT PLANT WITH STABILIZATION POND

Bruna Ragassi 

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Ilha Solteira (SP), Brasil.

**Juliana Heloisa Pinê
Américo-Pinheiro** 

Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Ilha Solteira (SP), Brasil. Professora titular do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil (UNIVBRASIL) – São Paulo (SP), Brasil.

William Deodato Isique 

Pós-doutorando na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Ilha Solteira (SP), Brasil.

**Osmar Pereira
da Silva Junior** 

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Ilha Solteira (SP), Brasil.

Endereço para correspondência:

Bruna Ragassi – Rua das Acácias, 443, Bairro Palmeiras II – CEP 17900-000 – Dracena (SP), Brasil –
E-mail: bruna_ragassi@hotmail.com

Recebido em: 15/08/2019

Aceito em: 02/12/2019

RESUMO

O monitoramento dos fármacos residuais no ambiente vem ganhando atenção, pois são frequentemente detectados em estações de tratamento de esgoto (ETE) e atingem os corpos hídricos. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a presença, a concentração e a porcentagem de remoção de anti-inflamatórios em amostras de esgoto bruto e efluente tratado da ETE do município de Dracena (SP). Foram avaliados dois pontos de coletas na ETE denominados de P1 (esgoto bruto) e P2 (efluente tratado). As coletas e análises foram realizadas nos meses de março de 2017 a fevereiro de 2018. As amostras foram preparadas por microextração líquido-líquido dispersiva e analisadas por cromatografia líquida de alta eficiência. A presença dos fármacos diclofenaco, ibuprofeno e naproxeno foi detectada nos dois pontos analisados da ETE. O ibuprofeno foi o composto que apresentou a maior concentração no esgoto bruto (95,92 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). Nos meses de inverno, foram registradas as menores concentrações dos anti-inflamatórios no esgoto bruto e as menores porcentagens de remoção dos fármacos na ETE. No mês de julho, o ibuprofeno e o naproxeno não foram detectados em P1 nem em P2. A presença desses fármacos no esgoto bruto é atribuída ao descarte de medicamentos em pias e vasos sanitários, além da excreção via fezes e urina com resíduos de fármacos que não são totalmente absorvidos pelo organismo humano. O tratamento de esgoto doméstico por meio de lagoas de estabilização não remove totalmente esses anti-inflamatórios, propiciando o aporte dessas substâncias nas águas superficiais, alterando sua qualidade.

Palavras-chave: diclofenaco; ibuprofeno; naproxeno.

ABSTRACT

The monitoring of residual drugs in the environment has been gaining attention, as they are frequently detected in sewage treatment plants (STP) and reach the water bodies. Therefore, the aim of this study was to evaluate the presence, concentration and percentage of anti-inflammatory removal in samples of raw sewage and treated effluent from the sewage treatment plant of Dracena-SP. Two collection points were assessed at the STP named P1 (raw sewage) and P2 (treated effluent). The collections and analyses were performed from March 2017 to February 2018. The samples were prepared by dispersive liquid-liquid microextraction and analyzed by high performance liquid chromatography. The presence of the drugs diclofenac, ibuprofen and naproxen was detected in the two analyzed points of the STP. Ibuprofen was the compound with the highest concentration in raw sewage (95.92 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). In winter months, the lowest concentrations of anti-inflammatory drugs in the raw sewage and the lowest percentages of drug removal in the STP were recorded. In July, ibuprofen and naproxen were not detected in P1 nor P2. The presence of these drugs in raw sewage is attributed to the disposal of

medicines in sinks and toilets, as well as excretion via faeces and urine with drug residues that are not fully absorbed by the human body. The treatment of domestic sewage through stabilization ponds does not completely remove these anti-inflammatories, providing the input of these substances in surface waters, altering their quality.

Keywords: diclofenac; ibuprofeno; naproxen.

INTRODUÇÃO

A contaminação dos corpos hídricos por resíduos de fármacos ocorre em todo o mundo, despertando o interesse da comunidade científica em função dos possíveis efeitos prejudiciais que podem causar à saúde humana e ao meio ambiente (GONZÁLEZ-ALONSO *et al.*, 2017; GUMBI *et al.*, 2017; VERAS *et al.*, 2019).

Os anti-inflamatórios são uma classe de fármacos que recebem atenção especial, pois são permanentemente liberados no meio ambiente por meio das águas cinzas (derivadas de chuveiros, lavatórios e lavanderias), águas negras (excretas de indivíduos que podem conter medicamentos) e pelo descarte de medicamentos não utilizados ou com prazos de validade expirados nas instalações sanitárias (AQUINO; BRAUDT; CHERNICHARO, 2013). Assim, a ocorrência de anti-inflamatórios em águas superficiais é associada ao lançamento de efluente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e esgoto bruto em águas naturais (CARMONA; ANDREU; PICÓ, 2014; AMÉRICO-PINHEIRO *et al.*, 2017).

Na maioria dos países, inclusive no Brasil, os anti-inflamatórios não necessitam de prescrições médicas para serem adquiridos nas farmácias (BISOGNIN; WOLFF; CARISSIMI, 2018). Nesse contexto, os idosos são responsáveis pelo consumo de mais de 50% de todos os medicamentos, e mais de 80% deles consomem pelo menos uma medicação diária e 75% não comunicam seus médicos quanto a seus tratamentos não convencionais (CASAS-VÁSQUEZ; ORTIZ-SAAVEDRA; PENNY-MONTENEGRO, 2016). Esses fatores favorecem o consumo desses fármacos e contribuem para o aumento de suas concentrações no esgoto bruto e sua detecção em águas superficiais.

Uma vez liberados no ambiente, os fármacos estão sujeitos a processos bióticos e abióticos (oxidação, hidrólise ou fotólise) que favorecem a sua degradação (GAFFNEY *et al.*, 2014). Nas ETE, além de remoção por processos físico-químicos, diferentes transformações podem ocorrer com os fármacos, podendo haver a

formação de diferentes produtos de degradação, com comportamento ambiental e características ecotoxicológicas distintas do composto original (SECONDES *et al.*, 2014).

A remoção de fármacos do esgoto em ETE depende das propriedades físico-químicas das moléculas, das configurações dos sistemas de tratamento e das condições operacionais aplicadas às unidades de tratamento. No caso dos fármacos mais frequentemente detectados no esgoto, esperam-se eficiências de remoção que variam de intermediária (20 a 80%) à baixa (< 20%). A porcentagem de remoção dependerá da capacidade de sorção do composto e dos parâmetros operacionais aplicados aos sistemas de tratamento, como a idade do lodo e o tempo de detenção hidráulica (AQUINO; BRAUDT; CHERNICHARO, 2013).

O monitoramento de fármacos residuais no meio ambiente indica a frequente presença dessas substâncias em efluentes de ETE e águas superficiais em concentrações na faixa de $\mu\text{g.L}^{-1}$ e ng.L^{-1} (STELATO *et al.*, 2016; CUNHA *et al.*, 2017; SHARMA *et al.*, 2019). Mesmo em concentrações baixas (ng.L^{-1}), essas substâncias podem causar efeitos adversos aos seres vivos. Estudos mostram que a presença de anti-inflamatórios em ecossistemas aquáticos pode comprometer a saúde e o metabolismo de peixes, moluscos e microcrustáceos (GRÖNER *et al.*, 2017; LIU *et al.*, 2017; FONTES *et al.*, 2018).

Portanto, tendo em vista que os produtos farmacêuticos são originalmente fabricados para causar efeitos biológicos específicos e que ainda não há regulamentação abrangente para concentrações no meio ambiente (GARZA-CAMPOS *et al.*, 2016), esses compostos têm despertado crescente preocupação entre pesquisadores devido a sua ocorrência, sua persistência e seu potencial ecotoxicológico no meio ambiente e para a saúde dos seres humanos (BISOGNIN; WOLFF; CARISSIMI, 2018).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a presença, a concentração e a porcentagem de remoção de anti-inflamatórios em amostras de es-

goto bruto e efluente tratado da ETE do município de Dracena (SP), constituída de um sistema de lagoas de estabilização.

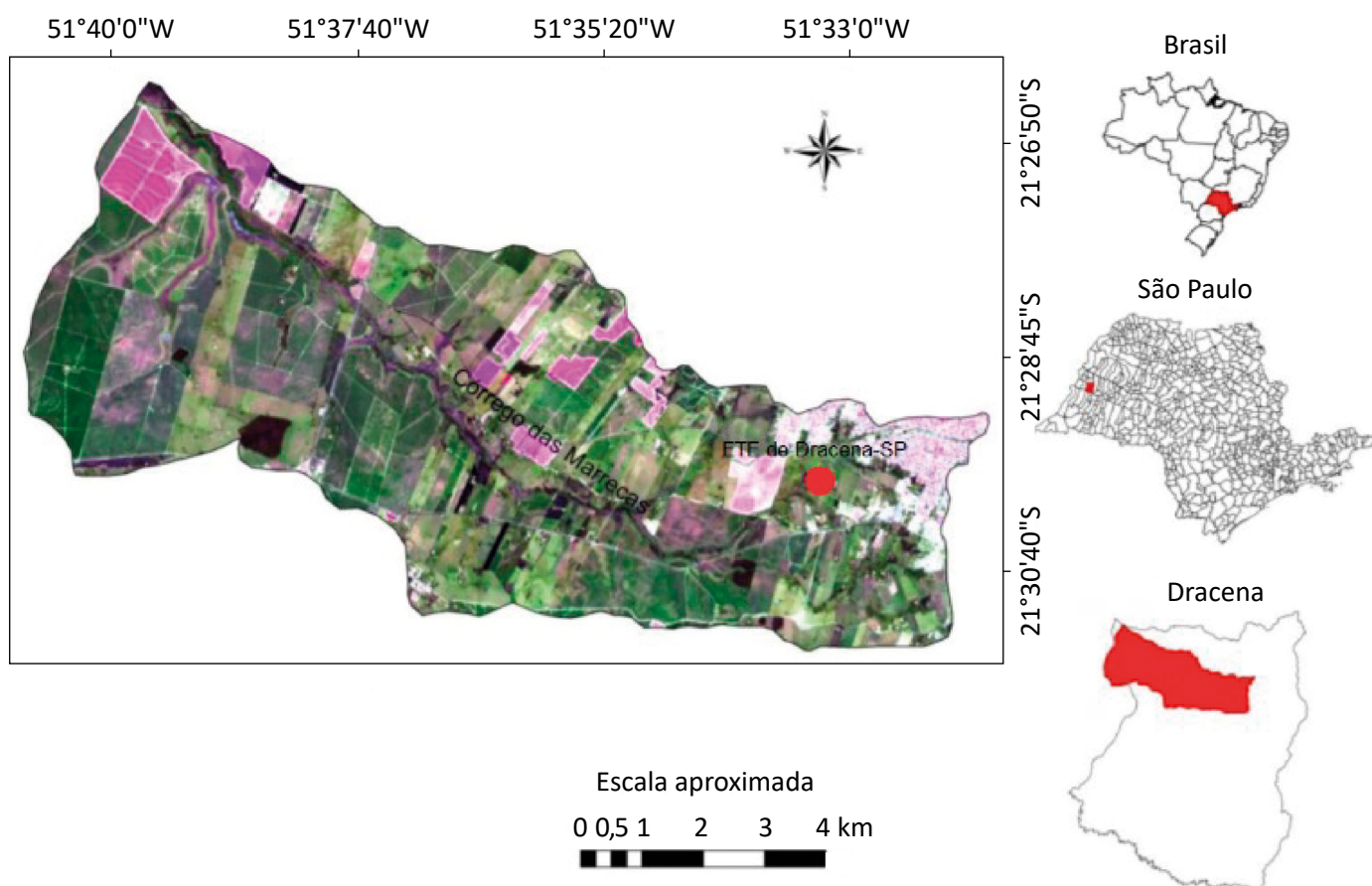
MATERIAIS E MÉTODOS

A ETE deste estudo está localizada no município de Dracena (SP) (21°29'52,4"S e 51°33'19,9"W), conforme Figura 1. Essa ETE começou a operar em 1972 e seu sistema, também chamado de sistema australiano ou de lagoas de estabilização, é constituído por tratamentos preliminar, primário e secundário (EMDAEP, 2019).

O tratamento preliminar é composto de gradeamento e caixa de areia; o primário é formado por uma lagoa anaeróbia que se utiliza das bactérias que proliferam em ambiente anaeróbio para a decomposição da matéria orgânica presente no esgoto; e o secundário é constituído de uma lagoa facultativa que utiliza as bactérias anaeróbias facultativas que atuam na estabilização da

matéria orgânica, no qual a introdução de oxigênio no sistema é proveniente da fotossíntese realizada pelas algas. De acordo com EMDAEP (2019), em 2002, a ETE passou por uma limpeza do lodo de fundo e foi construída uma terceira lagoa (semelhante às anteriores), para auxiliar no processo de remoção de carga orgânica.

Atualmente, a ETE possui uma vazão de entrada de 30 L.s⁻¹ e trata 45% do esgoto sanitário do município de Dracena (SP), gerado por aproximadamente 22 mil habitantes. Os outros 55% do esgoto são encaminhados para outra ETE (com sistema de lagoas de estabilização), que não foi estudada neste trabalho (21°27'14,9"S; 51°33'22,9"W) também localizada no município de Dracena (EMDAEP, 2019).



Fonte: Medeiros; Miguel; Brugmolli (2014).

Figura 1 – Localização da estação de tratamento de esgoto no município de Dracena (SP).

Com base nessas informações, foram selecionados dois pontos de amostragem na ETE estudada, denominados de P1 (esgoto bruto) e P2 (efluente tratado). O P1 está localizado na entrada da lagoa anaeróbia, ou seja, são amostras do esgoto *in natura* que chegam até a ETE para tratamento; já o P2 se encontra na saída da segunda lagoa facultativa, e suas amostras representam o efluente tratado que será lançado no Córrego das Marrecas. Nesses pontos, foram verificadas a presença e a concentração dos anti-inflamatórios diclofenaco, ibuprofeno e naproxeno durante os meses de março de 2017 a fevereiro de 2018 (Figura 2).

Coleta e preparo das amostras

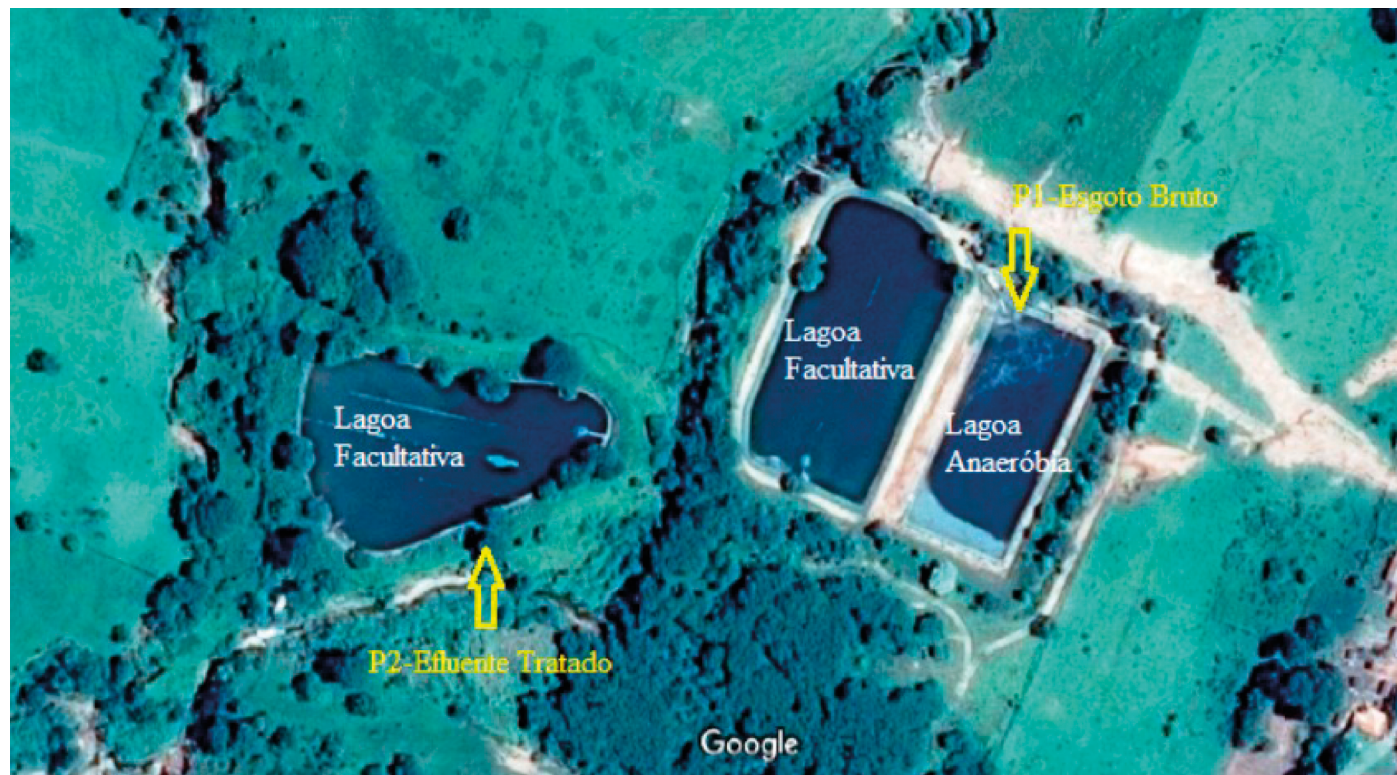
Foram coletados mensalmente 1.000 mL de amostra de P1 e P2 da ETE, os quais, com o auxílio de baldes graduados, foram armazenados em frascos âmbar, devidamente lavados e secos à temperatura ambiente. As amostras foram transportadas em caixas térmicas contendo gelo para

serem analisadas no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira (SP). Uma vez no laboratório, as amostras foram preparadas por microextração líquido-líquido dispersiva (MLLD) e analisadas por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).

Procedimento de microextração líquido-líquido dispersiva

A MLLD dos anti-inflamatórios foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Martins *et al.* (2012), que se baseia na injeção de solventes, sendo um dispersor (n-hexano) e um extrator (acetonitrila), na amostra aquosa. Após a injeção dos solventes, os tubos contendo as amostras foram agitados (vórtex)

e centrifugados (2500 RPM por 3 minutos). A fase orgânica permaneceu na superfície, foi retirada com o auxílio de uma microseringa e, posteriormente, levada à total *secura* sob fluxo de nitrogênio gasoso. A ressuspensão do eluato foi efetuada com 300 μ L de metanol.



Fonte: Google Maps (2019).

Figura 2 – Pontos de amostragem na estação de tratamento de esgoto do município de Dracena (SP).

Cromatografia líquida de alta eficiência

Para a identificação dos anti-inflamatórios presentes nas amostras, utilizou-se a metodologia proposta por Nebot, Gibb e Boyd (2007), um cromatógrafo líquido de alta eficiência (Shimadzu), contendo um detector *PhotodiodeArray* (SPD-M20A), e duas bombas de alta pressão (LC-20AT e LC-20AD), empregando o *software LCsolution*. As fases móveis foram constituídas de metanol (100 %) e água Milli-Q (acrescida de 0,1% de ácido trifluoracético). O volume de injeção das amostras foi de 25 μL^{-1} , utilizando os comprimentos de onda (Co) de 260 a 330 nm para a detecção dos picos cromatográficos. O tempo de retenção (Tr) foi utilizado para a identificação de cada fármaco, assim como seu respectivo perfil espectrofotométrico (Figura 3).

A validação do método para cada fármaco foi realizada por meio de curvas analíticas (Figuras 4, 5 e 6), elaboradas de acordo com os limites de detecção e quantificação, conforme proposto por Ribeiro *et al.* (2008).

O limite de detecção é a menor quantidade do analito presente em uma amostra que pode ser detectada sob condições experimentais estabelecidas. O limite de quantificação é a menor quantidade de analito que pode ser determinada com precisão e exatidão aceitáveis sob condições experimentais estabelecidas (ANVISA, 2003b).

A partir dos dados obtidos com a regressão linear (Figuras 4, 5 e 6), foram determinados os limites de detecção (LD), quantificação (LQ), percentual de recuperação (% Rec) e desvio padrão relativo (DPR) (Tabela 1), por meio da planilha de validação do método proposto por Ribeiro *et al.* (2008).

A ANVISA (2003a) admite que o DPR seja $\leq 20\%$ para o LQ, não sendo superior a 15% para os demais níveis. O método analítico foi linear na faixa composta dos parâmetros de sensibilidade (LD e LQ), encontrados por meio das curvas analíticas dos padrões (Figuras 4, 5 e 6), nos quais os coeficientes de regres-

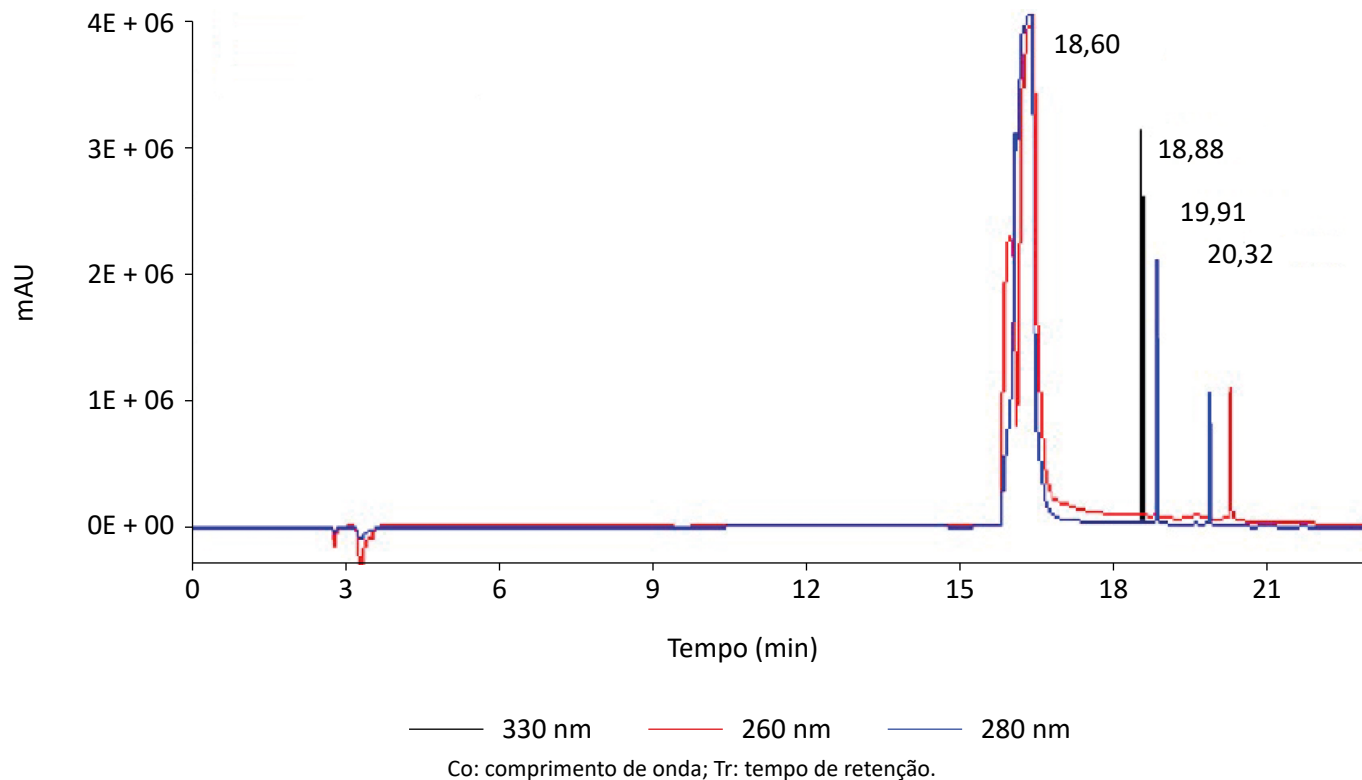


Figura 3 – Perfil cromatográfico dos anti-inflamatórios e seus respectivos comprimentos de onda e tempos de retenção. Naproxeno (Co: 330 nm; Tr: 18,88), diclofenaco (Co: 280 nm; Tr: 19,91) e ibuprofeno (Co: 260 nm; Tr: 20,32).

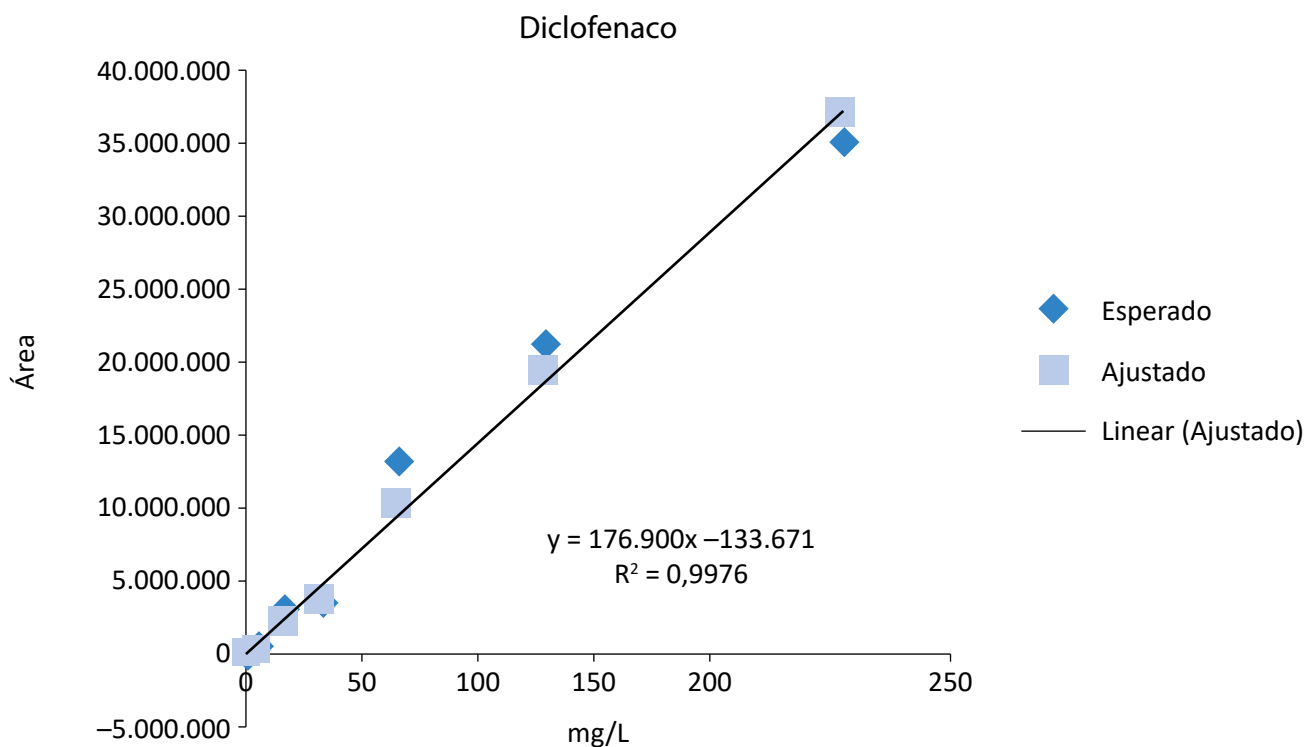


Figura 4 – Curva analítica do anti-inflamatório diclofenaco.

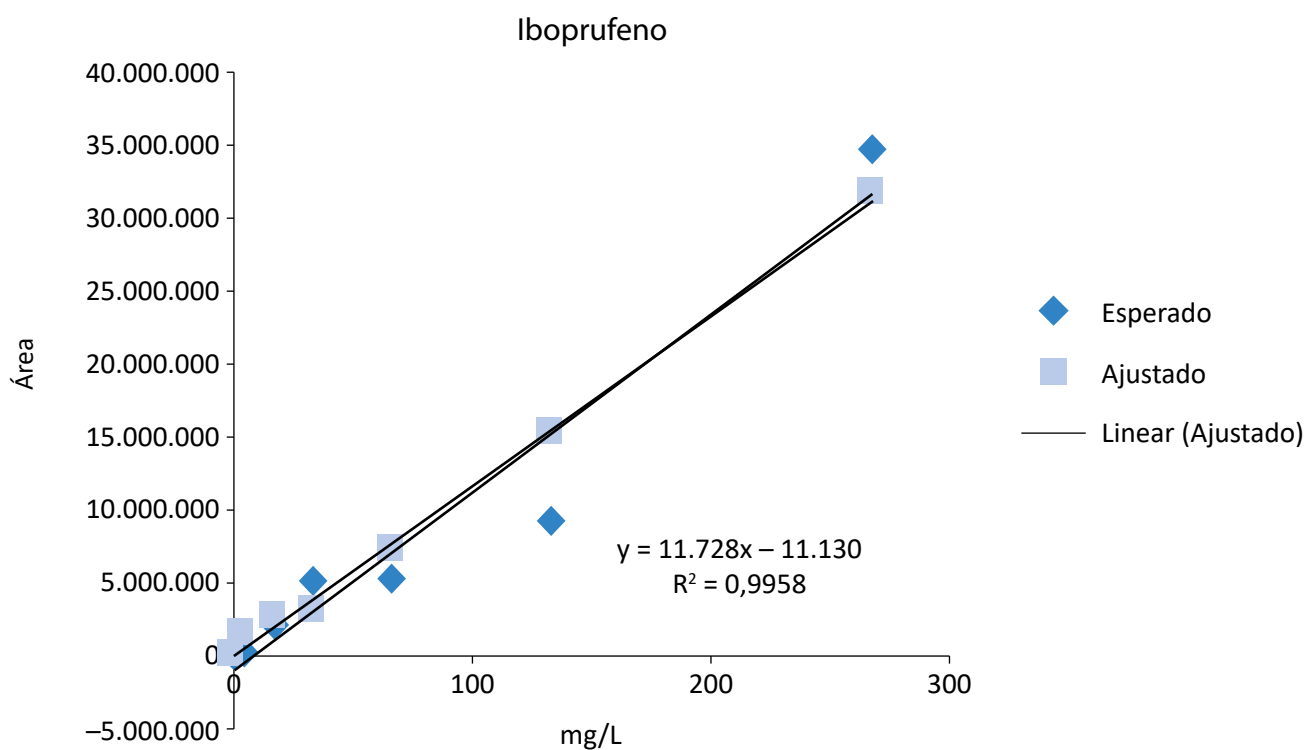


Figura 5 – Curva analítica do anti-inflmatório ibuprofereno.

são linear (R2) resultaram em valores maiores que 0,99. O R2 da curva analítica referente o diclofenaco, ibuprofeno e naproxeno foi, respectivamente, de 0,9976, 0,9958 e 0,9996. O coeficiente de correlação é um parâmetro que permite uma estimativa da qualidade da curva obtida, pois quanto mais próximo de 1,0, menor será a dispersão do conjunto de pontos experimentais. A ANVISA (2003b) recomenda um coeficiente de correlação maior ou igual a 0,99, e os valores de correlação linear obtidos neste experimento

estão acima de 0,99, sendo, então, a curva analítica considerada linear.

O estudo de recuperação por MLLD por meio de três alíquotas de diclofenaco, ibuprofeno e naproxeno, com concentrações de 50,0; 150,0 e 250,0 µg.L⁻¹, demonstrou que os valores de DPR também são adequados. Dessa forma, os resultados indicam que, nessa faixa, o método analítico para quantificação e separação cromatográfica é seguramente adequado para a determinação dos analitos de interesse.

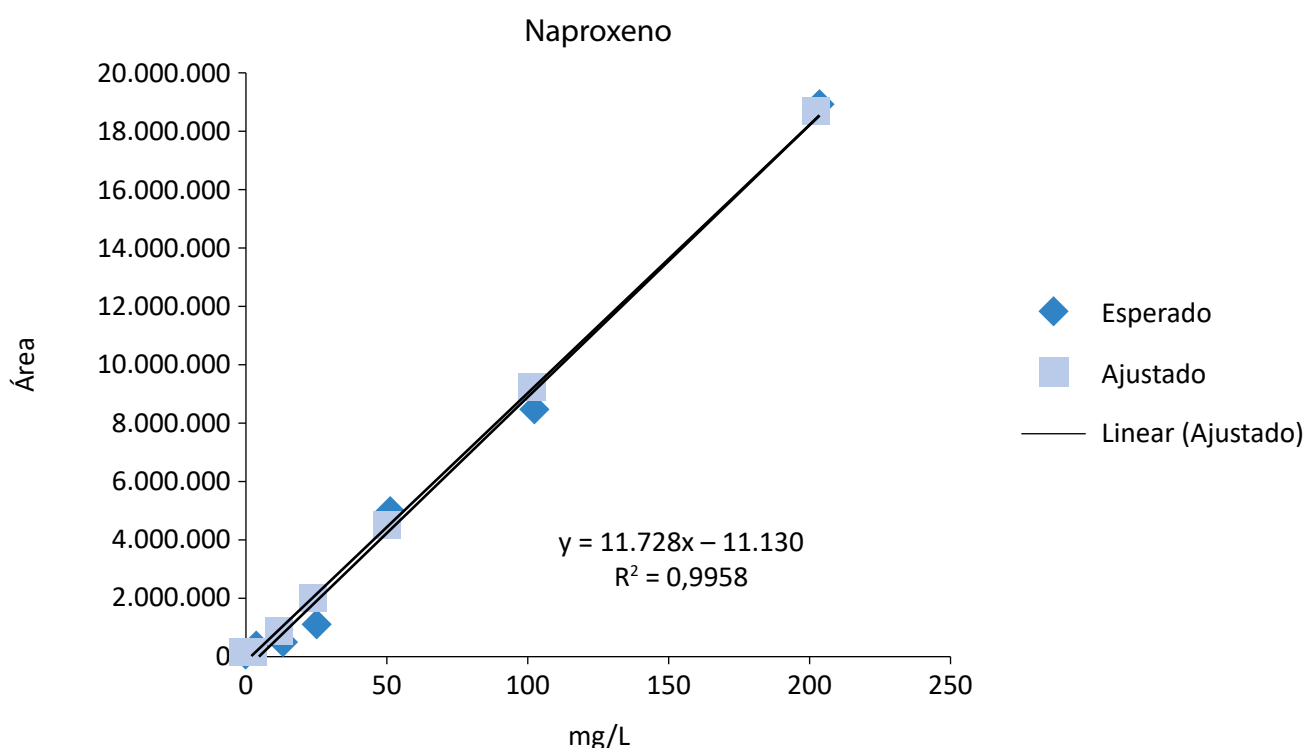


Figura 6 – Curva analítica do anti-inflamatório naproxeno.

Tabela 1 – Limites de quantificação e de detecção, percentual de recuperação e desvio padrão relativo para os fármacos avaliados na estação de tratamento de esgoto de Dracena (SP).

Fármaco	LQ (µg.L ⁻¹)	LD (µg.L ⁻¹)	% Rec	DPR
Diclofenaco	0,0044	0,0015	106,7	1,23
Ibuprofeno	0,0431	0,0144	102,3	0,86
Naproxeno	0,0042	0,0014	98,9	2,35

LQ: limite de quantificação; LD: limite de detecção; % Rec: percentual de recuperação; DPR: desvio padrão relativo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os três anti-inflamatórios analisados neste estudo foram detectados em P1 e em P2 da ETE do município de Dracena. O ibuprofeno foi o composto que apresentou a maior concentração no esgoto bruto ($95,92 \mu\text{g.L}^{-1}$) em relação aos demais fármacos. Nos meses de inverno, foram registradas as menores concentrações dos anti-inflamatórios no esgoto bruto e as menores porcentagens de remoção dos fármacos na ETE. No mês de julho, o ibuprofeno e o naproxeno não foram detectados em P1 e em P2 (Tabela 2).

Nas amostras de esgoto bruto da ETE, o ibuprofeno apresentou a maior concentração média ($36,92 \mu\text{g.L}^{-1}$) em relação aos outros fármacos. Esse fato pode estar associado ao maior consumo desse medicamento pela população do município e à dose recomendada para ibuprofeno. Segundo Bifarma (2019), a quantidade re-

comendada na bula para esse composto varia de 1.800 a 2.400 mg por dia, dependendo do tipo de tratamento e dos sintomas. Essa dose utilizada é maior em relação aos demais anti-inflamatórios estudados.

As concentrações médias dos fármacos registradas nos esgotos bruto e tratado na ETE de Dracena são superiores às concentrações encontradas em ETE de outros países. Na Espanha, Fernández-López *et al.* (2016) detectaram, em esgoto bruto, $2,80 \mu\text{g.L}^{-1}$ de ibuprofeno, $1,66 \mu\text{g.L}^{-1}$ de diclofenaco e $1,18 \mu\text{g.L}^{-1}$ de naproxeno.

As concentrações dos fármacos detectadas por Papa-georgiou, Kosma e Lambropoulou (2016) foram inferiores às encontradas na ETE de Dracena. Os autores analisaram a ocorrência de anti-inflamatórios em estações

Tabela 2 – Concentração dos anti-inflamatórios ($\mu\text{g.L}^{-1}$) registradas no esgoto bruto e tratado da estação de tratamento de esgoto de Dracena (SP), no período de março de 2017 a fevereiro de 2018.

Meses de coleta	Esgoto bruto (P1)			Efluente tratado (P2)			% de remoção		
	DIC	IBU	NAP	DIC	IBU	NAP	DIC	IBU	NAP
Março	30,69	14,04	18,79	6,58	3,16	16,39	78,56	77,49	12,77
Abril	21,38	95,92	22,86	3,36	7,97	13,32	84,28	91,69	41,73
Mai	51,72	67,25	14,81	7,51	13,18	12,83	85,48	80,4	13,37
Junho	10,46	60,02	13,19	8,63	19,08	12,48	17,5	68,21	5,38
Julho	5,88	N.D	N.D	4,53	N.D	N.D	22,96	----	----
Agosto	5,80	10,74	15,47	2,81	5,77	12,29	51,55	46,28	20,56
Setembro	2,70	51,84	11,21	2,70	33,47	11,12	0,00	35,44	0,80
Outubro	5,61	21,65	9,97	5,32	18,26	9,67	5,17	15,66	3,00
Novembro	3,85	15,96	14,06	3,85	8,78	13,85	0,00	44,99	1,49
Dezembro	5,04	16,11	10,32	5,04	16,05	10,30	0,00	0,37	0,19
Janeiro	10,65	25,19	11,51	5,02	4,17	11,22	52,86	83,45	2,51
Fevereiro	12,32	27,43	12,24	4,13	9,48	11,37	66,48	65,44	7,10
Média	13,84	36,92	14,04	4,96	12,67	12,26			
DP	14,45	27,75	3,90	1,84	8,80	1,87			
CV (%)	104	75	28	37	69	15			

DIC: diclofenaco; IBU: ibuprofeno; NAP: naproxeno; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; N.D: não detectado.

com sistemas de lodos ativados na região de Volos, na Grécia, e verificaram concentrações de $4,87 \mu\text{g.L}^{-1}$ para diclofenaco, $0,79 \mu\text{g.L}^{-1}$ para ibuprofeno e o composto naproxeno não foi detectado.

Américo-Pinheiro *et al.* (2017) verificaram que o lançamento de esgoto bruto e efluente de ETE aumentam as concentrações de fármacos em águas superficiais. Em seu estudo, a maior concentração de diclofenaco ($8,25 \mu\text{g.L}^{-1}$) foi detectada em amostra de água superficial coletada a jusante da estação de Três Lagoas (MS).

A presença de anti-inflamatórios em ETE pode diferir de acordo com a região geográfica onde a estação de tratamento está inserida. Essa variação decorre dos padrões social e econômico da região, assim como do consumo de medicamentos pela população e da existência ou não da obrigatoriedade da prescrição médica (GROSSELI, 2016).

Na região de Valença, na Espanha, o ibuprofeno não foi detectado em amostras de efluentes de ETE e o naproxeno foi encontrado na concentração de $0,10 \mu\text{g.L}^{-1}$. Pode-se observar que as concentrações do efluente da ETE de Dracena são superiores às encontradas na Espanha (CARMONA; ANDREU; PICÓ, 2014).

Samaras *et al.* (2013) verificaram a concentração dos compostos diclofenaco, ibuprofeno e naproxeno em duas ETE na Grécia. A primeira, localizada em Atenas, apresentou, para amostras de efluente, os resultados de $0,05 \pm 0,03 \mu\text{g.L}^{-1}$ para naproxeno e $0,41 \pm 0,26 \mu\text{g.L}^{-1}$ para diclofenaco. A segunda, localizada em Mytilene, expôs, para amostras de efluente, os resultados de $0,04 \pm 0,05 \mu\text{g.L}^{-1}$ para naproxeno e $0,80 \pm 0,39 \mu\text{g.L}^{-1}$ para diclofenaco. Nas duas ETE, o ibuprofeno não foi detectado, pois se encontrava abaixo do limite de detecção. As concentrações encontradas por Samaras *et al.* (2013) são inferiores às detectadas na estação de tratamento de Dracena.

Com relação às concentrações dos fármacos avaliados no esgoto bruto e no efluente no fim do processo de tratamento submetido na ETE de Dracena, observou-se que ocorreu maior redução de ibuprofeno (91,69% em abril), seguido de diclofenaco (85,48% em maio) e naproxeno (41,73% em abril). De forma geral, as maiores porcentagens de remoção dos anti-inflamatórios na ETE ocorreram nos meses de verão (janeiro, fevereiro, março, abril e maio).

De acordo com Américo-Pinheiro *et al.* (2017), a temperatura da água influencia de forma inversamente proporcional a concentração dos anti-inflamatórios diclofenaco e naproxeno na água. Segundo os autores, a temperatura da água é um parâmetro que está intimamente relacionado com a incidência de luz solar, que desencadeia o processo de fotodegradação de muitos compostos.

A remoção dos contaminantes orgânicos em ETE envolve complexos processos com diversos mecanismos químicos, físicos e biológicos. A eficiência na remoção pode ser comprometida em função das condições operacionais da ETE e composição do esgoto, assim como pelas características físico-químicas do contaminante (hidrofobicidade, biodegradabilidade e volatilidade) (GROSSELI, 2016).

Os mesmos fármacos deste estudo foram detectados em uma ETE no Brasil que utiliza reator anaeróbico de leito fluidizado (RALF) seguido de tratamento físico-químico, e o processo obteve eficiência de remoção de 89% do fármaco diclofenaco, 90% para o ibuprofeno e 98% para o naproxeno (AMÉRICO *et al.*, 2012).

Fernández-López *et al.* (2016) avaliaram a eficiência de remoção de anti-inflamatórios em ETE com sistema de lodos ativados na região de Volos, na Grécia, sendo 45% para o diclofenaco, 72% para o ibuprofeno e 84% para o naproxeno. Pode-se observar que as eficiências de diclofenaco e ibuprofeno encontradas por Fernández-López *et al.* (2016) são inferiores às verificadas na ETE de Dracena (SP).

Para obtenção de elevada eficiência (> 90%) de remoção de fármacos em sistemas de tratamento de esgoto, é necessário utilizar sistemas de tratamento terciário, que adotem processos físico-químicos, tais como a adsorção em carvão ativado e a oxidação química (AQUINO; BRAUDT; CHERNICHARO, 2013). Pode-se notar que, na ETE de Dracena, a eficiência de remoção variou de baixa (< 20%) a intermediária (20 a 80%), de acordo com a classificação dos autores supracitados.

A taxa de remoção dos fármacos em ETE também pode variar de acordo com as características do composto, o tipo do processo de tratamento, os tempos de retenção de sólidos e hidráulica, a diluição de esgoto bruto e a temperatura. A eficiência de remoção de fármacos é menor durante os meses de inverno por causa de chu-

vas fortes e baixa temperatura da água, as quais levam a taxas mais lentas de biodegradação (LUO *et al.*, 2014). Portanto, a remoção dos anti-inflamatórios pode variar significativamente dentro de uma ETE em diferentes períodos de tempo e de ETE para ETE.

Um desafio a ser enfrentado em relação à presença e à remoção de fármacos do esgoto é a ausência de

legislação que estabeleça limites de lançamento para esses contaminantes no ambiente, ainda que as discussões sobre o tema e os estudos têm contribuído significativamente, fornecendo subsídios para tomadas de decisões. Entretanto, a falta de regulamentações deixa lacunas para que esses fármacos sejam lançados nos corpos d'água (ESCHER *et al.*, 2019).

CONCLUSÃO

Os anti-inflamatórios diclofenaco, ibuprofeno e naproxeno foram detectados no esgoto bruto e no efluente da ETE de Dracena. A presença dessas substâncias no primeiro é atribuída à não absorção total desses compostos pelo organismo humano os quais, consequentemente, são eliminados via fezes e urina ou por meio do descarte de medicamentos com prazo de validade expirado em instalações sanitárias.

O tratamento de esgoto baseado em lagoas de estabilização não remove totalmente esses fármacos que, posteriormente, vão contaminar as águas superficiais que recebem o despejo de efluentes. Esse tipo de tra-

tamento de esgoto tem uma eficiência de remoção que varia de baixa à intermediária.

O aumento constante de fármacos em águas superficiais representa um problema mundial na questão da qualidade das águas destinadas para o consumo humano e quanto aos riscos que o ambiente aquático pode sofrer com a introdução dessas substâncias. Portanto, algumas mudanças e melhorias devem ser realizadas para que a remoção desses compostos seja total, reduzindo a sua transferência para os ambientes aquáticos e, por conseguinte, diminuindo seus riscos ao meio ambiente e à saúde humana.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). *Guia para validação de métodos analíticos e bioanalíticos métodos analíticos*. ANVISA, 2003a. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

_____. *Resolução nº 899, de 23 de maio de 2003*. ANVISA, 2003b. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RE_899_2003_COMP.pdf/ff6fdc6b-3ad1-4d0f-9af2-3625422e6f4b>. Acesso: 9 mar. 2019.

AMÉRICO, J.H.P.; ISIQUE, W.D.; MINILLO, A.; CARVALHO, S.L.; TORRES, N.H. Fármacos em Uma Estação de Tratamento de Esgoto na Região Centro-Oeste do Brasil e os Riscos aos Recursos Hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 3, p. 61-67, 2012. <http://doi.org/10.21168/rbrh.v17n3.p61-67>

AMÉRICO-PINHEIRO, J.H.P.; ISIQUE, W.D.; TORRES, N.H.; MACHADO, A.A.; CARVALHO, S.L.; VALÉRIO FILHO, W.V.; FERREIRA, L.F.R. Ocorrência de diclofenaco e naproxeno em água superficial no município de Três Lagoas (MS) e a influência da temperatura da água na detecção desses anti-inflamatórios. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 3, p. 429-435, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017128719>

AQUINO, S.F.; BRAUDT, E.M.F.; CHERNICHARO, C.A.L. Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, n. 3, p. 187-204, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522013000300002>

BIFARMA. *Manual do ibuprofeno*. Disponível em: <<https://www.bifarma.com.br/manual/ibuprofeno-600mg-com-20-comprimidos-manual.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

BISOGNIN, R.P.; WOLFF, D.B.; CARISSIMI, E. Revisão sobre fármacos no ambiente. *Revista DAE*, São Paulo, v. 66, n. 210, p. 78-95, 2018. <http://doi.org/10.4322/dae.2018.009>

- CARMONA, E.; ANDREU, V.; PICÓ, Y. Occurrence of acidic pharmaceuticals and personal care products in Turia River Basin: from waste to drinking water. *Science of the Total Environment*, v. 484, p. 53-63, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.085>
- CASAS-VÁSQUEZ, P.; ORTIZ-SAAVEDRA, P.; PENNY-MONTENEGRO, E. Estrategias para optimizar el manejo farmacológico en el adulto mayor. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, v. 33, n. 2, p. 335-341, 2016. <http://dx.doi.org/10.17843/rpmpesp.2016.332.2153>
- CUNHA, D.L.; PAULA, L.M.; SILVA, S.M.C.; BILA, D.M.; FONSECA, E.M.; OLIVEIRA, J.L.M. Ocorrência e remoção de estrogênios por processos de tratamento biológico de esgotos. *Ambiente e Água*, v. 12, n. 2, p. 249-262, 2017. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1992>
- EMPRESA DE DESENVOLVIMENTO DE ÁGUA, ESGOTO E PAVIMENTAÇÃO DE DRACENA (EMDAEP). *Lagoa Mirassol*. EMDAEP. Disponível em: <<http://www.emdaep.com.br/index.php?pagina=lagoa&id=3>>. Acesso em: 30 out. 2019.
- ESCHER, M.A.S.; AMÉRICO-PINHEIRO, J.H.P.; TORRES, N.H.; FERREIRA, L.F.R. A problemática ambiental da contaminação dos recursos hídricos por fármacos. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 51, p. 141-148, 2019. <http://doi.org/10.5327/Z2176-947820190469>
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, C.; GUILLÉN-NAVARRO, J.M.; PADILLA, J.J.; PARSONS, J.R. Comparison of the removal efficiencies of selected pharmaceuticals in wastewater treatment plants in the region of Murcia, Spain. *Ecological Engineering*, v. 95, p. 811-816, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.093>
- FONTES, M.K.; GUSSO-CHOUERI, P.K.; MARANHO, L.A.; DE SOUZA ABESSA, D.M.; MAZUR, W.A.; DE CAMPOS, B.G.; GUIMARÃES, L.L.; DE TOLEDO, M.S.; LEBRE, D.; MARQUES, J.R.; FELICIO, A.A.; CESAR, A.; ALMEIDA, E.A.; PEREIRA, C.D.S. A tiered approach to assess effects of diclofenac on the brown mussel *Perna perna*: a contribution to characterize the hazard. *Water Research*, v. 132, p. 361-370, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.077>
- GAFFNEY, V.J.; CARDOSO, V.V.; RODRIGUES, A.; FERREIRA, E.; BENOLIEL, M.J.; ALMEIDA, C.M.M. Análises de fármacos em águas por SPE-UPLC-ESI-MS/MS. *Química Nova*, v. 37, n. 1, p. 138-149, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422014000100023>
- GARZA-CAMPOS, B.; BRILLAS, E.; HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, A.; EL-GHENYMY, A.; GUZMÁN-MAR, J.L.; RUIZ-RUIZ, E.J. Salicylic acid degradation by advanced oxidation processes. Coupling of solar photoelectro-Fenton and solar heterogeneous photocatalysis. *Journal of Hazardous Materials*, v. 319, n. 1, p. 34-42, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.02.050>
- GOOGLE MAPS. *Estação de Tratamento de Esgoto de Dracena – SP*. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-21.497876,-51.5554313,423m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 11 mar. 2019.
- GONZÁLEZ-ALONSO, S.; MERINO, L.M.; ESTEBAN, S.; ALDA, M.L.; BARCELÓ, D.; DURÁN, J.J.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; ACEÑA, J.; PÉREZ, S.; MASTROIANNI, N.; SILVA, A.; CATALÁ, M.; VALCÁRCEL, Y. Pollution Occurrence of pharmaceutical, recreational and psychotropic drug residues in surface water on the northern Antarctic Peninsula region. *Environmental Pollution*, v. 229, p. 241-254, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.060>
- GRÖNER, F.; HÖHNE, C.; KLEINER, W.; KLOAS, W. Chronic diclofenac exposure affects gill integrity and pituitary gene expression and displays estrogenic activity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Chemosphere*, v. 166, p. 473-481, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.116>
- GROSSELI, G.M. *Contaminantes emergentes em estações de tratamento de esgoto aeróbia e anaeróbia*. 139f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.
- GUMBI, B.P.; MOODLEY, B.; BIRUNGI, G.; NDUNGU, P.G. Detection and quantification of acidic drug residues in South African surface water using gas chromatography-mass spectrometry. *Chemosphere*, v. 168, p. 1042-1050, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.105>

- LIU, Y.; WANG, L.; PAN, B.; WANG, C.; BAO, S.; NIE, X. Toxic effects of diclofenac on life history parameters and the expression of detoxification-related genes in *Daphnia magna*. *Aquatic Toxicology*, v. 183, p. 104-113, 2017. <http://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.12.020>
- LUO, Y.; GUO, W.; NGO, H.H.; NGHIEM, L.D.; HAI, F.I.; ZHANG, J.; LIANG, S.; WANG, X.C. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, v. 473-474, p. 619-641, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065>
- MARTINS, M.L.; PRIMEL, E.G.; CALDAS, S.S.; PRESTES, O.D.; ADAIME, M.B.; ZANELLA, R. Microextração Líquido – Líquido Dispersiva (DLLME): fundamentos e aplicações. *Scientia Chromatographica*, v. 4, n.1, p. 35-51, 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/sc.2012.004>
- MEDEIROS, R.B.; MIGUEL, A.E.S.; BRUGMOLLI, C.A.C. Caracterização Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Córrego das Marrecas, Dracena/SP. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 10, n. 2, p. 41-56, 2014. <http://dx.doi.org/10.17271/198008271022014860>
- NEBOT, C.; GIBB, S.W.; BOYD, K.G. Quantification of human pharmaceuticals in water samples by high performance liquid chromatography– tandem mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, v. 598, n. 1, p. 87-94, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.07.029>
- PAPAGEORGIOU, M.; KOSMA, C.; LAMBROPOULOU, D. Seasonal occurrence, removal, mass loading and environmental risk assessment of 55 pharmaceuticals and personal care products in a municipal wastewater treatment plant in Central Greece. *Science of the Total Environment*, v. 543, parte A, p. 547-569, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.047>
- RIBEIRO, F.A.L.; FERREIRA, M.M.C.; MORANO, S.C.; SILVA, L.R.; SCHNEIDER, R.P. Planilha de validação: uma nova ferramenta para estimar figuras de mérito na validação de métodos analíticos univariados. *Química Nova*, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 164-171, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422008000100029>
- SAMARAS, V.G.; STASINAKIS, A.S.; MAMAI, D.; THOMAIDIS, N.S.; LEKKAS, T.D. Fate of selected pharmaceuticals and synthetic endocrine disrupting compounds during wastewater treatment and sludge anaerobic digestion. *Journal of Hazardous Materials*, v. 244-245, p. 259-267, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.11.039>
- SECONDES, M.F.N.; NADDEO, V.; BELGIORNO, V.; BALLESTEROS JR., F. Removal of emerging contaminants by simultaneous application of membrane ultrafiltration, activated carbon adsorption, and ultrasound irradiation. *Journal of Hazardous Materials*, v. 264, p. 342-349, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.11.039>
- SHARMA, B.M.; BEČANOVÁ, J.; SCHERINGER, M.; SHARMA, A.; BHARAT, G.K.; WHITEHEAD, P.G.; KLÁNOVÁ, J.; NIZZETTO, L. Health and ecological risk assessment of emerging contaminants (pharmaceuticals, personal care products, and artificial sweeteners) in surface and groundwater (drinking water) in the Ganges River Basin, India. *Science of the Total Environment*, v. 646, p. 1459-1467, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.235>
- STELATO, E.S.; OLIVEIRA, T.G.; STUNGES, G.M.; SILVA, E.C.P.; CUBA, R.M.F.; MINILLO, A.; ISIQUE, W.D. Avaliação da presença de resíduos de anti-inflamatórios não esteroides nos córregos veado e cedro do município de Presidente Prudente (SP), Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 39, p. 97-113, 2016. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820160050>
- VERAS, T.B.; PAIVA, A.L.R.; DUARTE, M.M.M.B.; NAPOLEÃO, D.C.; CABRAL, J.J.S.P. Analysis of the presence of anti-inflammatory drugs in surface water: A case study in Beberibe river - PE, Brazil. *Chemosphere*, v. 222, p. 961-969, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.167>

