

Ecotoxicidade de efluentes contendo fármacos em organismos terrestres: Avaliação do tratamento em biorreatores anaeróbios (UASB)

Vinicius Silveira Leite; Érika Barbosa Oliveira; Matheus Neves de Araujo;
Marcelo Zaiat; Allan Pretti Ogura

Resumo

Apesar do amplo uso de fármacos, esses compostos podem causar danos ambientais, incluindo efeitos tóxicos em diferentes organismos. Porém, reatores anaeróbios já apresentaram potencialidades na remoção de fármacos em estações de tratamento de esgoto sanitário. O presente trabalho avaliou a ecotoxicidade de amostras de efluentes de reatores anaeróbios alimentados com água residuária sintética contendo oito contaminantes emergentes. Para tal, os enquitreídeos da espécie *Enchytraeus crypticus* e a espécie de hortaliça *Eruca sativa* foram utilizados como bioindicadores. Não foram identificados efeitos significativos na sobrevivência e reprodução de *E. crypticus*. As plântulas de *E. sativa* apresentaram maior crescimento (parte aérea e raiz) quando expostas às amostras tratadas em comparação com as amostras brutas. Apesar da ausência de efeito de toxicidade, outros *endpoints* devem ser avaliados como a bioacumulação dos compostos-alvo.

Palavras-chave: Bioindicadores; Micropoluentes; Tratamento de Efluentes.

Abstract

Despite the widespread use of pharmaceuticals, these compounds can cause environmental damage, including toxic effects on different organisms. However, anaerobic reactors have already shown potential in the removal of pharmaceuticals in wastewater treatment plants. This work evaluated the ecotoxicity of effluent samples from anaerobic reactors supplies with synthetic wastewater containing eight emerging contaminants. For this, the enchytraeid species *Enchytraeus crypticus* and the vegetable species *Eruca sativa* were applied as bioindicators. No significant effects on the survival and reproduction of *E. crypticus* were identified. *E. sativa* seedlings showed greater growth (both shoots and roots) when exposed to treated samples compared to raw samples. Despite the absence of toxic effects, other endpoints must be evaluated, such as the bioaccumulation of the target compounds.

Keywords: Bioindicators; Micropollutants; Wastewater Treatment.

Introdução

Os fármacos são contaminantes emergentes que têm sido detectados em diversas matrizes aquáticas e terrestres e que podem causar riscos aos ecossistemas devido à sua ecotoxicidade e potencial bioacumulação (MONTAGNER *et al.*, 2017). Esses compostos não são totalmente removidos pelas estações de tratamento de esgoto (ETE) convencionais e seus danos ambientais ainda não são completamente compreendidos (BERTIN *et al.*, 2020). Sistemas anaeróbios apresentam potencial de remoção para diversos contaminantes emergentes, sendo uma alternativa para a mitigação dos efeitos deletérios destes compostos (CARNEIRO *et al.*, 2020). Apesar do lançamento de esgoto *in natura* ou tratado de maneira inadequada poder afetar o equilíbrio dos ambientes terrestres (DA SILVA *et al.*, 2021), os estudos acerca dos efeitos de contaminantes emergentes em organismos do solo são limitados, principalmente considerando compostos farmacêuticos (PINO *et al.*, 2015).

O presente trabalho visou à avaliação da ecotoxicidade de amostras decorrentes da corrente afluente e efluente de sistemas que utilizaram a configuração UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanker Reactor*) como unidade biológica de tratamento. O enquadrídeo *Enchytraeus crypticus* e a espécie de hortaliça *Eruca sativa* L. foram utilizados como bioindicadores a fim de avaliar os efeitos ecotoxicológicos de oito compostos farmacêuticos comumente detectados em ETE em escala plena, os quais consistiram em: atenolol, carbamazepina, diclofenaco, ibuprofeno, propranolol, cafeína, naproxeno e acetaminofeno.

Material e Métodos

O esgoto sintético foi preparado conforme Torres (1992), com Demanda Química de Oxigênio [DQO] alvo de 500 mg L⁻¹. O tratamento foi feito por meio de um sistema de reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8h, que foi mantido em câmara mesofílica com temperatura controlada a 25°C. O inóculo utilizado foi o lodo granular anaeróbio do reator UASB da ETE instalado na avícola Pereiras-SP, o qual é responsável pelo tratamento da água residuária gerada no abate de aves e que também opera sob condições mesofílicas de temperatura. A concentração inicial dos compostos-alvo estabelecida com base na mediana das concentrações (em µg L⁻¹) encontradas nas amostras da ETE-Monjolinho, atenolol (6,4), carbamazepina (0,34), diclofenaco (0,4), ibuprofeno (1,2), propranolol (0,27), cafeína (92), naproxeno (6) e acetaminofeno (80), conforme GROSSELI

(2016). Após o tratamento no reator anaeróbio, foram verificados parâmetros como pH, demanda química de oxigênio (DQO), carboidratos totais e proteínas totais (APHA, 2018).

Os testes com *E. sativa* (com potencial de germinação de 98%, segundo o fabricante Feltrin®) foram adaptados de USEPA (1996) e avaliaram a porcentagem de germinação e os comprimentos da parte aérea de sementes expostas a amostras de efluente tratado e não-tratado. Os experimentos foram feitos em placas de Petri, em triplicata, com um papel filtro esterilizado como meio suporte, 10 sementes e 1 mL da amostra. Os ensaios foram mantidos na ausência de luz por 96 h a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e considerados válidos com germinação acima de 70% no controle. Os testes com *E. crypticus* identificaram alterações na sobrevivência e reprodução dos organismos expostos, conforme a NBR 16387 (ABNT, 2023), considerando as amostras de efluente tratado e não-tratado. Em cada réplica ($n = 5$), foram transferidos 10 organismos com clitelo bem desenvolvido, indicando a fase reprodutiva. No solo, foi adicionado o alimento umidificado com uma gota de água. A cada semana, as amostras foram abertas para permitir a troca gasosa, os organismos foram alimentados e a umidade foi reposta, quando necessário. O teste foi encerrado após 21 dias e o número total de organismos foi quantificado sob lupa óptica, com auxílio do corante Rosa de Bengala, separando os organismos adultos e os juvenis.

As análises estatísticas foram feitas no software Jamovi. Inicialmente, foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk e Levene para verificar a normalidade e homogeneidade dos dados, respectivamente. A partir disso, foi feita a Análise de Variância [ANOVA], seguida do teste post hoc de Fisher (LSD), para comparação das diferenças entre os tratamentos (comparação múltipla), considerando diferenças significativas quando $p < 0,05$.

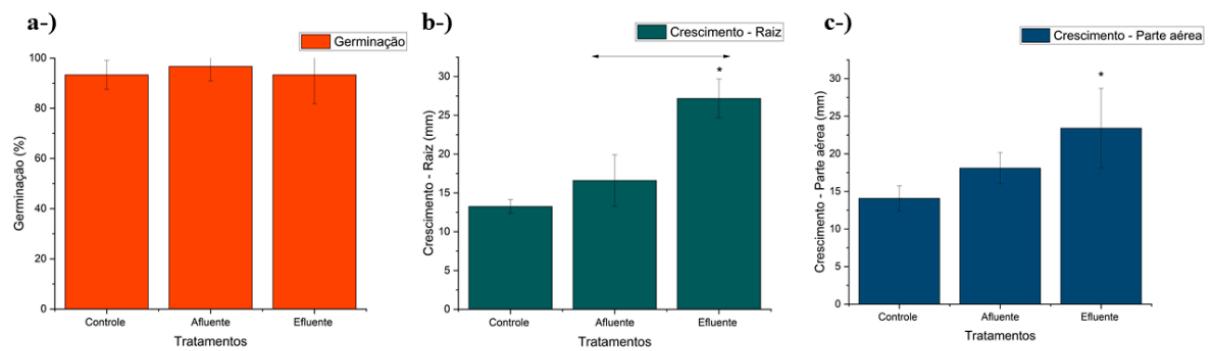
Resultados e discussão

Os parâmetros indicam que houve diferenças nas características das correntes afluente e efluente do reator operado com TDH de 8h. A remoção de matéria orgânica (DQO) de 85% foi observada a partir de 537,3 mg O₂ L⁻¹ no afluente. Houve redução de 97% dos carboidratos totais em relação ao afluente (58,4 mg L⁻¹) e redução de 78% das proteínas totais a partir de 58,4 mg L⁻¹ no afluente. O pH manteve-se próximo no afluente (7,5) e no efluente (7,2).

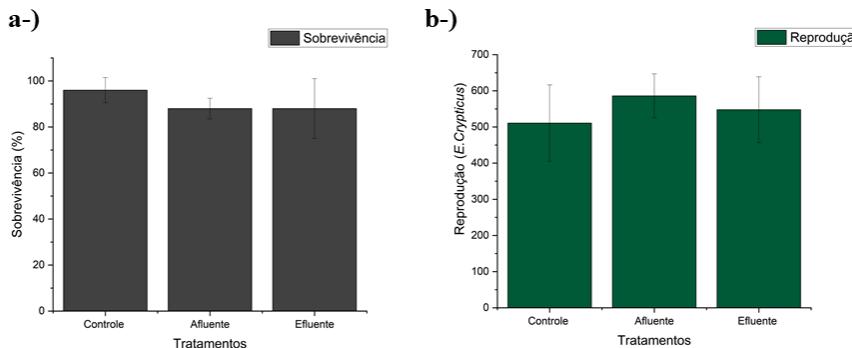
Os testes de germinação considerando o efluente do reator demonstraram crescimento estatisticamente significativo da parte aérea e da raiz ($p < 0,05$) (Figura 1). As plantas expostas ao efluente apresentaram maior desenvolvimento quando comparadas aos tratamentos expostos ao afluente. No entanto, os fármacos acrescentados não demonstraram

efeitos tóxicos que inibiram a germinação e o crescimento das plantas. Conforme PINO *et al.* (2015), a concentração capaz de causar efeito em plantas expostas a fármacos está na faixa de mg L^{-1} , uma escala superior às concentrações registradas por GROSSELI (2016) na faixa de ng L^{-1} a $\mu\text{g L}^{-1}$. Porém, HUMA *et al.* (2013) analisaram os efeitos de efluentes domésticos e de uma indústria de produtos farmacêuticos em diferentes espécies de plantas e verificaram efeitos significativos na germinação, no crescimento da raiz e da parte aérea de espécies como a *Nigella sativa* e *Coriandrum sativum*.

Figura 1 – Teste de germinação de *E. sativa*: (a) germinação, (b) crescimento da parte aérea e (c) crescimento da raiz. Asterisco (*) indica diferença significativa em relação ao controle e seta sobre as barras indica diferença significativa entre os tratamentos.



A disposição inadequada de efluentes contaminados com os compostos-alvo não foi suficiente para influenciar a sobrevivência e reprodução dos enquirtreídeos ($p > 0,05$) (Figura 2), uma vez que a exposição às amostras afluente e efluente não causou efeitos tóxicos, nem favoreceram os *endpoints* analisados. Esse resultado está em conformidade com a literatura, que reporta concentrações de efeito de fármacos em invertebrados terrestres acima da faixa testada (de ng L^{-1} a $\mu\text{g L}^{-1}$). OLIVEIRA *et al.* (2015) verificaram que a carbamazepina (entre 0,04 e 40 mg kg^{-1}) foi capaz de induzir alterações bioquímicas no colêmbolo *Folsomia candida* mesmo em testes de 96 h de exposição.

Figura 2 – Dados do teste com os enquitreídeos *E. crypticus*: (a) Sobrevida; (b) Reprodução.

Conclusão

A disposição inadequada de efluentes contaminados com fármacos no solo pode causar riscos devido à ecotoxicidade. Porém, as concentrações de composto-alvo estabelecidas não foram suficientes para causar efeitos tóxicos significativos aos organismos testados. Variações na composição de outros tipos de efluentes, como domésticos ou hospitalares, podem apresentar efeitos diferentes aos observados em testes com amostras de esgoto sintético. Ademais, é necessário que o potencial de bioacumulação seja analisado em pesquisas futuras, uma vez que pode traduzir os riscos de outras vias de contaminação.

Referências Bibliográficas

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Qualidade do solo - Efeitos de poluentes em Enchytraeidae (*Enchytraeus* spp.) - Determinação de efeitos sobre reprodução e sobrevivência. NBR 16387, 2023.
- APHA, 2018. American Public Health Association. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition.
- BERTIN *et al.* Enantiospecific behaviour of chiral drugs in soil. **Environmental Pollution**. 262, 114364, 2020.
- CARNEIRO *et al.* Acidogenesis is a key step in the anaerobic biotransformation of organic micropollutants. **Journal of Hazardous Materials**. 389, 121888, 2020.
- DA SILVA *et al.* Evaluation of toxicity and estrogenicity in UASB - Treated municipal sewage. **Chemosphere** 268, 128778, 2021.
- GROSSELI. Contaminantes emergentes em estações de tratamento de esgoto aeróbia e anaeróbia. Universidade Federal de São Carlos, 2016.
- HUMA *et al.* Effects of domestic and industrial wastewater on germination and seedling growth of some plants, **Current Opinion in Agriculture**, 1, 24–27, 2012.

MONTAGNER *et al.* Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: Cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**. 40, 1094–1110, 2017.

OLIVEIRA, M. et al. Effects of short-term exposure to fluoxetine and carbamazepine to the collembolan *Folsomia candida*. **Chemosphere**, v. 120, p. 86-91, 2015.

PINO *et al.* Acute toxicological effects on the earthworm *Eisenia fetida* of 18 common pharmaceuticals in artificial soil. **Science of the Total Environment**. 518–519, 225–237, 2015.

TORRES. Desempenho de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) de bancada no tratamento de substrato sintético simulando esgotos sanitários. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Ecological Effects Test Guidelines, OPPTS 850.4200, Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test, 1996.