



## REMOÇÃO DE FÁRMACOS DE EFLUENTES POR PROCESSO FOTOCATALÍTICO

**Bianca Trindade Oldoni**

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) e bolsista do CNPq

**Yago Vitório Colares Pinto**

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) e bolsista CAPES

**Eduardo Pavan Korf**

Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

**Rogério Marcos Dallago**

Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Regional e Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI)

**Gean Delise Leal Pasquali**

Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)  
bianca.oldoni@gmail.com

### 1. Introdução

Com o crescimento populacional, o consumo descontrolado de fármacos tornou-se uma preocupação crescente, o que resultou na presença de resíduos farmacêuticos no meio ambiente, principalmente em águas e efluentes domésticos e industriais, muitas vezes por descarte inadequado ou eliminação de substâncias não metabolizadas (Bermúdez et al., 2021; Roslan et al., 2024).

Em 2023, mais de 30 milhões de toneladas de remédios foram consumidas no mundo (Vora et al., 2023) e são comprovados que 60 a 80% desses produtos são excretados pela urina e pelas fezes (Patel et al., 2020). Entre alguns dos medicamentos identificados estão os antidepressivos e ansiolíticos, como o bromazepam. Estudos relatam a presença dessas drogas psicoativas em concentrações que variam de 0,14 a 840.000 ng/L (ppb) em águas superficiais, subterrâneas e efluentes, sendo pesquisas referentes a sua remoção pouco relatadas na literatura (Cunha et al., 2017; Cunha et al., 2022).

Estes fármacos são considerados poluentes emergentes orgânicos devido à sua alta



persistência, contaminação contínua e em larga escala. Quando detectados em ecossistemas aquáticos estão presentes em baixa concentração, não possuindo uma regulamentação específica por conta da incerteza do impacto ambiental que podem causar, podendo afetar a fauna e provocar até disfunções hormonais nos seres vivos devido a sua estabilidade, não biodegradabilidade e bioacumulação (Martínez-Sánchez et al., 2022; Roslan et al., 2024).

Os processos de tratamento de efluentes convencionais, como os físico-químicos e biológicos, são ineficazes na remoção de muitos medicamentos por conta de sua resistência, mantendo-os ativos em baixas concentrações (Martínez-Sánchez et al., 2022). Os processos oxidativos avançados (POAs) vêm como alternativas promissoras na retirada destes compostos devido à alta eficiência, rápida ação reacional, simplicidade e boa reprodutibilidade, formando dióxido de carbono ou subprodutos que podem ser mais biodegradáveis do que os compostos originais, tornando-os mais adequados para consumo por microrganismos no estágio de tratamento biológico convencional (Pandis et al., 2022; Babuponnusami, A. et al., 2023).

As principais técnicas dos POAs incluem a fotocatalise, ozonização, oxidação eletroquímica, ultrassonicação, radiação ionizante, processos de peroxidação e processos combinados como radiação ultravioleta, eletro-Fenton e foto-Fenton (Bermúdez et al., 2021). O método fotocatalítico tem se mostrado um dos processos mais eficientes no tratamento de efluentes devido a sua elevada compatibilidade ambiental e o uso de espécies altamente oxidantes, como os radicais hidroxila (Ruziwa et al., 2023). Nessa técnica os materiais (fotocatalisadores) são expostos à radiação ultravioleta ou visível, gerando regiões ativas em sua superfície, promovendo a formação de radicais superóxido e hidroxila, responsáveis pela degradação e mineralização dos poluentes emergentes orgânicos. Entre os semicondutores mais utilizados está o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) por sua estabilidade, custo acessível e baixa toxicidade (Pandis et al., 2022; Roslan et al., 2024). As hidrotalcitas (HDLs) também são excelentes adsorventes de diversos contaminantes (Almoisheer et al., 2019). A associação da HDL com o  $\text{TiO}_2$  pode proporcionar um sinergismo na remoção dos poluentes, com a HDL favorecendo a adsorção dos poluentes aniônicos, que serão degradados fotocataliticamente pelo  $\text{TiO}_2$ .

Mediante o exposto, o presente estudo irá avaliar a eficácia do processo de

fotocatálise na remoção de bromazepam presente em amostras de efluentes.

## 2. Metodologia

### 2.1. Caracterização das amostras de efluentes

Serão coletadas as amostras de efluentes sanitário bruto e estas serão caracterizadas antes e após o tratamento fotocatalítico.

Quanto às análises físico-químicos, serão determinados o pH, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), sólidos totais, cloro residual e fósforo total. Para os parâmetros microbiológicos, serão avaliadas a presença/ausência de coliformes totais e *Escherichia Coli*. Em relação ao bromazepam, será conduzida a sua identificação através dos equipamentos de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) e Cromatografia Gasosa (GC-MS). Também será identificada e quantificada a toxicidade através de organismos aquáticos, neste caso o microcrustáceo *Artemia salina*.

### 2.2. Ensaios fotocatalíticos e determinação dos parâmetros operacionais

Serão conduzidos os processos de fotocatalise em reator de lâmpada UV, conforme a Figura 1, empregando os catalisadores HDL (composto hidróxido duplo lamelar - hidrotalcita) e  $\text{TiO}_2$  (dióxido de titânio – se necessário pode ser sintetizado), combinados e separados. Será realizado um estudo de adsorção e antes das análises dos parâmetros será feita uma cinética para fixar um tempo reacional.





### Figura 1: Reator de lâmpada UV

Fonte: acervo do autor

A massa de HDL empregada será de 0,2 g para cada 30 mL de efluente (fator fixo). Os testes serão realizados através de planejamento fatorial do tipo composto central  $2^3$ , onde as variáveis escolhidas são o pH (6,5 a 8,5), baseando-se que 6,5 é o pH da maioria das águas superficiais, temperatura (20 a 40°C) e concentração de bromazepam (1 a 3 mg/L), ou seja, envolve 3 fatores e pontos axiais face-centrados ( $\alpha=1$ ) (Tabela 1).

**Tabela 1:** Planejamento de experimentos.

Variáveis de controle	Níveis controláveis		
	-1	0	+1
pH	6,5	7,5	8,5
Temperatura (°C)	20	30	40
[Bromazepam] (mg/L)	1	2	3

Fonte: acervo do autor

### 2.3. Análise estatística

Os resultados serão avaliados estatisticamente utilizando software STATISTIC versão 8.0 (Statsoft Inc, USA) pela análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 95% de confiança.

### 3. Resultados esperados e considerações finais

Espera-se que o processo fotocatalítico promova a remoção eficaz do bromazepam presente nas amostras de efluente. Além da degradação do fármaco, também será buscada a mineralização completa de seus subprodutos, convertendo-os em compostos como dióxido de carbono e água, e reduzindo assim parâmetros como DQO, COT e toxicidade.

Os resultados obtidos poderão contribuir no desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis no tratamento de efluentes, promovendo maior segurança ambiental e proteção da saúde pública.

### Referências

ALMOISHEER, N. et al. Adsorption and anion exchange insight of indigo carmine onto CuAl-LDH/SWCNTs nanocomposite: kinetic, thermodynamic and isotherm analysis.





RSC **advances**, v. 9, n.1, p. 560-568, 2019.

BABUPONNUSAMI, A. et al. Advanced oxidation process (AOP) combined biological process for wastewater treatment: A review on advancements, feasibility and practicability of combined techniques. **Environmental Research**, v. 237, p. 116944–116944, nov. 2023.

BERMÚDEZ, L. A. et al. Effectiveness of Advanced Oxidation Processes in Wastewater Treatment: State of the Art. **Water**, v. 13, n. 15, p. 2094, jul. 2021.

CUNHA, D. L.; DE ARAUJO, F. G.; MARQUES, M. Psychoactive drugs: occurrence in aquatic environment, analytical methods, and ecotoxicity—a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 31, p. 24076–24091, 23 set. 2017.

CUNHA, D. L. et al. Optimization of Ozonation Process to Remove Psychoactive Drugs from Two Municipal Wastewater Treatment Plants. **Water Air & Soil Pollution**, v. 233, n. 2, 1 fev. 2022.

MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C.; ROBLES, I.; GODÍNEZ, L. A. Review of recent developments in electrochemical advanced oxidation processes: application to remove dyes, pharmaceuticals, and pesticides. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 19, p. 12611–12678, 6 jan. 2022.

PANDIS, P. K. et al. Key Points of Advanced Oxidation Processes (AOPs) for Wastewater, Organic Pollutants and Pharmaceutical Waste Treatment: A Mini Review. **ChemEngineering**, v. 6, n. 1, p. 8, 18 jan. 2022.

PATEL, S. et al. Treatment of a Pharmaceutical Industrial Effluent by a Hybrid Process of Advanced Oxidation and Adsorption. **ACS Omega**, v. 5, n. 50, p. 32305–32317, dez. 2020.

ROSLAN, N. N. et al. Recent Advances in Advanced Oxidation Processes for Degrading Pharmaceuticals in Wastewater—A Review. **Catalysts**, v. 14, n. 3, p. 189, 1 mar. 2024.

RUZIWA, D. T. et al. Pharmaceuticals in wastewater and their photocatalytic degradation using nano-enabled photocatalysts. **Journal of Water Process Engineering**, v. 54, p. 103880, 1 ago. 2023.

STEPNOWSKI, P.; ZALESKA, A. Comparison of different advanced oxidation processes for the degradation of room temperature ionic liquids. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 170, n. 1, p. 45–50, fev. 2005.

VORA, L. K. et al. Artificial Intelligence in Pharmaceutical Technology and Drug Delivery Design. **Pharmaceutics**, v. 15, n. 7, p. 1916–1916, 2023.

## Agradecimentos



Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq), FAPERGS e a Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS/Campus Erechim – RS.