REMOÇÃO DE IBUPROFENO NO TRATAMENTO DE ÁGUA POR CICLO COMPLETO ASSOCIADO À ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO

Maria Eduarda Entringer Dumont[(1)]
Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Cuiabá (UFMT).
Rodrigo Rodrigues Leiva[(2)]
Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Cuiabá (UFMT).
Eduardo Beraldo de Morais[(3)]
Biólogo pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Mestre e Doutor em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Docente do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso.
Amanda Alcaide Francisco Fukumoto[(4)]
Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina (UTFPR). Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Docente do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso.

Endereço[(1)]**:** Rua Z-4, Número 24, Quadra 9 – Bairro: Parque Cuiabá – Cuiabá – MT - CEP: 78095-446 - Brasil- Tel: +55 (65) 99962-1868 - e-mail: maria.dumont@sou.ufmt.br.

RESUMO

O aumento da presença de contaminantes emergentes, como fármacos, em corpos hídricos tem se tornado um desafio ambiental significativo. Dentre esses compostos, o ibuprofeno se destaca devido ao seu amplo consumo, alta solubilidade em água e persistência no ambiente, o que dificulta sua remoção em estações de tratamento convencionais. Este trabalho avaliou a eficiência da associação entre o tratamento convencional de água (coagulação, floculação, sedimentação e filtração) e a adsorção com carvão ativado pulverizado (CAP) e granular (CAG) na remoção de ibuprofeno em ensaios de bancada. Foram realizados experimentos comparando o desempenho do tratamento convencional isolado e com a combinação deste processo à adsorção com CAP e CAG. Os resultados demonstraram que o tratamento convencional apresentou eficiência limitada na remoção do ibuprofeno (32,75%). A introdução do carvão ativado elevou significativamente a remoção do fármaco, com destaque para o CAG 1, que alcançou 77,21% de eficiência, enquanto o CAP1 obteve 70,64% na dosagem ótima de 24,9 mg/L de CAP. Dentre os resultados obtidos, conclui-se que o carvão ativado granular (CAG1) foi a opção mais eficiente, destacando-se como tecnologia complementar viável para a remoção de ibuprofeno.

PALAVRAS-CHAVE: Abastecimento público; contaminantes emergentes; Carvão ativado;

INTRODUÇÃO

Durante as últimas duas décadas, o crescimento rápido da industrialização, juntamente com as atividades humanas, tem contribuído para o aumento significativo da poluição de ambientes aquáticos, em que se destaca os produtos farmacêuticos e de cuidados pessoais, tornando-os uma preocupação global. Essas substâncias químicas, junto com seus metabólitos, são introduzidas nos corpos d'água por meio de diversas fontes como residências, hospitais, atividades agropecuárias, fábricas e estações de tratamento de esgoto doméstico resultando em impactos negativos na qualidade da água, além de causar danos consideráveis aos ecossistemas aquáticos (DAVARNEJAD et al. 2018; SOPHIA; LIMA, 2018).
Dentre os medicamentos de ampla utilização, tem-se o ibuprofeno, que é um anti-inflamatório não esteroidal, que também atua como agente antipirético. Estudos indicam que aproximadamente 85% do ibuprofeno consumido é eliminado na urina de seres vivos e corresponde a concentrações da ordem de 0,22 μg/L presente nos efluentes domésticos. Devido à presença de grupos funcionais de ácido carboxílico e benzeno no

ibuprofeno, ele apresenta alta mobilidade e solubilidade em água (DAVARNEJAD et al., 2018; SOPHIA; LIMA, 2018).

Estudos recentes demonstram que o tratamento convencional de água por ciclo completo, composto pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, apresenta eficiência limitada na remoção de ibuprofeno, com taxas inferiores a 30% (SILVA et al., 2022). Diante dessa limitação, a adsorção em carvão ativado (CA) surge como tecnologia complementar promissora alcançando eficiências superiores a 90% na remoção de ibuprofeno (COSTA et al., 2024).

Dentre as diversas tecnologias disponíveis que atuam de forma complementar ao tratamento de água por ciclo completo, tem-se a adsorção em carvão ativado (CA), que se destaca como um dos adsorventes mais eficientes, podendo ser aplicado tanto na forma pulverizada quanto granular. Ambas as configurações demonstraram elevada capacidade de remoção de contaminantes orgânicos, incluindo compostos farmacêuticos (DI BERNARDO et al., 2017).

Diante desse cenário, torna-se essencial desenvolver e aprimorar tecnologias de tratamento capazes de remover eficientemente o ibuprofeno e outros fármacos presentes em mananciais de abastecimento. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia da remoção do fármaco ibuprofeno da água, associando Carvão Ativado Pulverizado (CAP) e Carvão Ativado Granular (CAG) ao tratamento convencional de ciclo completo, simulados em ensaios de bancada.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência do tratamento de água composto pelas etapas de coagulação, floculação, sedimentação e filtração associado ou não à adsorção em carvão ativado pulverizado e granular, em escala de bancada, para remoção de ibuprofeno.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a eficiência do tratamento de água pela técnica de ciclo completo na remoção de ibuprofeno;

Avaliar o desempenho do carvão ativado pulverizado (CAP) na adsorção de Ibuprofeno, em diferentes de dosagem e tipos de CAP;

Avaliar o desempenho do carvão ativado granular (CAG) na adsorção de Ibuprofeno, em diferentes tipos de CAG;

Comparar o desempenho do tratamento de água por ciclo completo com o tratamento de água em conjunto à adsorção em CAP e CAG.

METODOLOGIA

A etapa experimental deste trabalho foi conduzida nos laboratórios do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Os ensaios físico-químicos foram realizados no Laboratório de Físico-Química de Água e Resíduos (LAFQAR), enquanto as análises da concentração de ibuprofeno foram desenvolvidas no Laboratório de Microbiologia Sanitária e Ambiental (LAMSA). O estudo foi realizado conforme o fluxograma apresentado na Figura 01.

A água utilizada para o estudo foi coletada no dia 26 de fevereiro de 2025 nas coordenadas: Latitude 15º 37’9’’ S e Longitude 56º 5’ 60’’ No Rio Cuiabá, o ponto de coleta está situado próximo ao limite do perímetro urbano de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso.

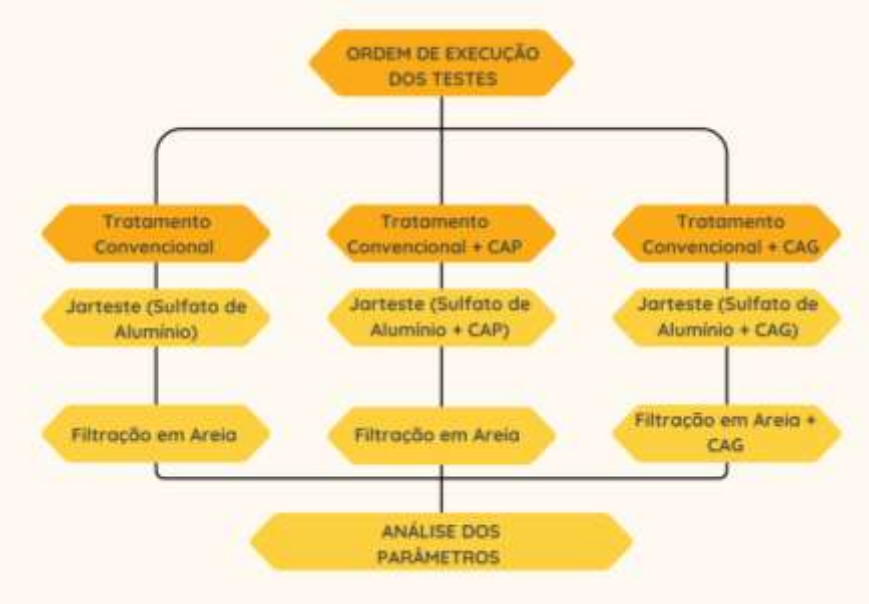
Para a coleta da água, foram utilizados três galões de 20 litros cada, totalizando 60 litros de amostragem. Os recipientes foram previamente limpos e higienizados com álcool 100%, seguidos de enxágue com água destilada, de forma a garantir a não contaminação das amostras e a preservação de suas características originais. Após a higienização, os galões foram devidamente reservados até o momento da coleta, a fim de evitar qualquer tipo de contaminação externo.

O material adsorvente utilizado no estudo foi o carvão ativado, que conforme Santos et al. (2023) é um material carbonáceo poroso com elevada área superficial específica (500-1500 m^2/g), produzido predominantemente a partir de matérias-primas lignocelulósicas (contêm lignina, celulose e hemicelulose). Sua estrutura porosa hierárquica, contendo microporos (<2 nm), mesoporos (2-50 nm) e macroporos (>50 nm), confere propriedades adsortivas para uma ampla gama de contaminantes orgânicos, incluindo fármacos emergentes (OLIVEIRA et al., 2022).

Para o presente estudo, foram utilizados 4 carvões ativados, disponíveis no mercado nacional, com diferentes origens e características. Dentre as características avaliadas, destaca-se o número de iodo, que está associado aos microporos presentes na amostra de carvão, sendo estes um dos responsáveis pela capacidade de adsorção de moléculas pequenas, como o ibuprofeno. Além disso, para os CAs empregados no tratamento de água de abastecimento, a NBR 11834/ 1991, determina o limite mínimo de 600 mg g-1, logo todos os adsorventes atendem a este requisito.

Para a realização dos ensaios, foram preparadas suspensões com concentração de 3000 mg/L para os CAPs, sendo estes aplicados durante a coagulação, permitindo o contato dos adsorventes direto com o IBP antes da filtração. Já os CAGs foram empregados em filtros de coluna na etapa final do tratamento.

Figura 1 – Fluxograma de realização do estudo.



Fonte: Autores, 2025.

Estudos recentes evidenciam que o ibuprofeno está presente em ambientes aquáticos em concentrações vestigiais, geralmente na faixa de 10 a 600 ng/L (0,01 -0,6 µg/L) em matrizes como rios, lagos e efluentes de estações de tratamento de esgoto (SILVA et al., 2022; PEREIRA et al., 2023). Nesse contexto e devido à limitação da sensibilidade de detecção e quantificação de IBP do espectrofotômetro disponível no laboratório, foi necessário realizar a contaminação controlada da água utilizada nos experimentos. As amostras coletadas foram intencionalmente enriquecidas com solução de ibuprofeno para obter concentrações da ordem de (20 mg/L), de modo a garantir que os valores estivessem dentro da faixa de detecção do equipamento.

A análise e determinação da concentração de ibuprofeno foi realizada no Laboratório de Microbiologia Sanitária e Ambiental (LAMSA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA). Para tanto foi utilizado o equipamento espectrofotômetro UV-Vis, modelo DR 6000, da marca Hach, em que a quantificação foi determinada em curva de calibração específica para ibuprofeno, previamente construída e validada por Santos et al. (2022), adotando-se o comprimento de onda de 221 nanômetros.

Em seguida, antes da realização dos ensaios de jarteste (teste do jarro), foi necessário realizar a caracterização físico-química da água utilizada no estudo para estabelecer a faixa de dosagem ideal do coagulante, conforme metodologia proposta por Bezerra et al. (2019). As análises de caracterização seguiram os procedimentos padronizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* e incluíram a determinação de parâmetros como turbidez, cor aparente, pH, alcalinidade e dureza, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos analisados.

Parâmetros	Unidade	Técnica	Referência	Equipamento
Alcalinidade	mg/L de $CaCO_3$	2320 B	APHA AWWA, WEF (2012)	Titulador de ácido
Cor Aparente	uH	2120 C		Espectofotômetro Hach DR6000
Dureza	mg/L de $CaCO_3$	2340 B		Titulador EDTA
pH	-	4500-H+B		PHmetroPhox Modelo P1000
Turbidez	NTU	2130 B		Turbidímetro Hach modelo 2100Q
Ibuprofeno	mg/L	Espectrofotométrico		Espectrofotômetro Hach DR 6000

Fonte: Autores, 2025.

RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras de água coletadas no Rio Cuiabá foram acondicionadas em frascos de polietileno previamente lavados e mantidas sob refrigeração até a realização das análises físico-químicas no dia seguinte, conforme as diretrizes estabelecidas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Esse procedimento garantiu a preservação das características originais da água, minimizando alterações em parâmetros como pH, turbidez e cor. Após as análises iniciais, as amostras foram fortificadas com ibuprofeno resultando em uma concentração de 15,36 mg/L, simulando um cenário de contaminação por fármacos para avaliação da eficiência do tratamento proposto. Os resultados de caracterização físico-química da água de estudo estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos da água bruta fortificada.

Parâmetros	Equipamento
Cor Aparente	193 uH
Turbidez	89,97 NTU
Dureza	110 mg/L de $CaCO_3$
Alcalinidade	90 mg/L de $CaCO_3$
pH	7,32
Ibuprofeno	15,36 mg/L

Fonte: Autores, 2025.

Os valores de cor aparente (193 uH) e turbidez (89,97 NTU) da água bruta analisada indicam um elevado grau de contaminação por materiais dissolvidos e particulados. A cor aparente elevada sugere a presença significativa de substâncias orgânicas dissolvidas, apresentando valor muito superior ao máximo permitido para águas de abastecimento, com VMP de 15 uH, segundo a legislação vigente. Já a turbidez extremamente alta, cerca de 18 vezes superior ao limite máximo permitido pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (5 NTU para água potável), evidencia uma grande carga de partículas em suspensão, como argilas e coloides orgânicos, que comprometem a qualidade da água (APHA, 2012).

Os valores de dureza (110 mg/L de $CaCO_3$), alcalinidade (90 mg/L de $CaCO_3$) e pH (7,32) revelam características importantes para o processo de tratamento da água bruta contaminada. A dureza indica uma concentração significativa de íons cálcio e magnésio, que podem influenciar na eficiência dos coagulantes químicos e na formação de flocos durante o tratamento. Segundo Von Sperling (2014), a alcalinidade, está dentro da faixa considerada adequada para processos de coagulação, (50-150 mg/L de $CaCO_3$), atuando como um sistema tampão, garantindo a estabilidade do pH durante as etapas de tratamento químico. O pH ligeiramente alcalino (7,32) encontra-se na faixa ideal (6,5-8,5) para a maioria dos processos convencionais de tratamento de água, favorecendo a coagulação (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciam que o tratamento convencional apresenta eficiência limitada na remoção de ibuprofeno (32,75%), embora tenha sido altamente eficaz na redução de turbidez (96%) e cor de cor aparente (97,56%). Por outro lado, a introdução de carvão ativado, tanto na forma pulverizada (CAP) quanto granular (CAG), elevou significativamente a remoção do ibuprofeno para valores entre 61,59% e 77,21%, comprovando sua importância como tecnologia complementar.

Entre as formulações testadas, o carvão ativado granular tipo 1 (CAG 1) destacou- se como o mais eficiente, atingindo 77,21% de remoção do contaminante, além de proporcionar melhor desempenho na redução da cor aparente (97,4%). Já o carvão ativado pulverizado (CAP) mostrou que a dosagem influencia diretamente sua eficiência, com a concentração de 24,9 mg/L da solução CAP1 alcançando 70,64% de remoção.

Este trabalho reforça a importância de tecnologias complementares para a remoção de contaminantes emergentes, sugerindo que futuras pesquisas avaliem a combinação de carvão ativado com métodos de tratamento convencionais para garantir água segura para consumo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMED, M. B. et al. Progress in the preparation and application of modified biochar for emerging contaminant removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 4, 105803, 2021.

2. ALMEIDA, C. A. P. et al. Adsorção de fármacos em águas utilizando carvão ativado: uma revisão. *Revista Virtual de Química*, v. 7, n. 4, p. 1396-1414, 2015.

3. ALMEIDA, R. et al. Eficiência do CAP na remoção de fármacos. *Revista de Química Aplicada*, v. 42, p. 210-225, 2023.

4. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23. ed. Washington, DC: APHA Press, 2017.

5. ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Tratamento de água para pequenas comunidades*. Brasília: ANA, 2019.

6. ANDRADE, R. S. et al. Biomass-derived activated carbons for ibuprofen removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 11, n. 2, p. 109432, 2023.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR

8. 11834:1991 – Carvão ativado granular – Determinação do número de iodo – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

9. BEZERRA, M. F. et al. Otimização da coagulação em águas superficiais: uma abordagem prática. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, n. 3, p. 589-598, 2019. BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. *Química Nova*, v. 30, n. 3, p. 651-666, 2007.

10. BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021*. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, ed. 85, seção 1, p. 127, 7 maios 2021.

11. BRILLAS, E. A review on the degradation of ibuprofen by advanced oxidation processes. *Catalysis Today*, v. 404, p. 50–64, 2022.

12. CASTRO, J. et al. CAG de casca de coco para remoção de fármacos. *Journal of Cleaner Production*, v. 382, p. 135214, 2023.

13. CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Tecnologias de tratamento de água*. São Paulo: CETESB, 2018.

14. CHOPRA, S.; KUMAR, D. Ibuprofen as an emerging contaminant of concern in the environment: A review on distribution, toxicity, transformation, and remediation. *Environmental Research*, v. 183, p. 109–126, 2020.

15. COSTA, A. B. et al. Adsorção de ibuprofeno em carvão ativado: eficiência e mecanismos em sistemas de tratamento de água. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 29, e20240000, 2024.

16. COSTA, J. et al. (2024). "Advanced strategies for emerging contaminants removal in water treatment". *Water Research*, 250, 121045.

17. DAVARNEJAD, R. et al. A review on the removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) using advanced oxidation processes. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 62, p. 1–19, 2018.

18. DI BERNARDO, L. et al. *Tratamento de água para abastecimento por filtração em múltiplas etapas*. São Carlos: Rima, 2017.

19. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. *Métodos e técnicas de tratamento de água*.
2. ed. São Paulo: Rima, 2005.
20. DINIZ, K. M. et al. Carvão ativado como adsorvente para contaminantes emergentes: eficiência e desafios. *Química Nova*, v. 45, p. 112-125, 2022.

21. HELLER, L.; PÁDUA, V. L. *Abastecimento de água para consumo humano*. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

22. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada*. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2021.

23. LIBÂNIO, M. *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água*. 5. ed. Campinas: Átomo, 2019.

24. LI, W. et al. Agricultural waste-based activated carbons. *Chemosphere*, v. 274, p. 129736, 2021.

25. LIMA, R. et al. Remoção de ibuprofeno por carvão ativado granular (CAG) em sistemas de tratamento de água: avaliação de parâmetros operacionais. *Water Research*, v. 215, p. 118234, 2022.

26. MARTINS, R. et al. (2020). "Coagulation optimization for pharmaceutical removal". *Journal of Environmental Management*, 265, 110532.

27. MENDES, P. et al. Adsorção em colunas de CAG. *Journal of Hazardous Materials*,
v. 424, p. 127374, 2022.

28. MESTRE, A. S. et al. Activated carbons from sisal waste by chemical activation with K_2HPO_4: Preparation, characterization and ibuprofen adsorption. *Chemical Engineering Journal*, v. 133, n. 1–3, p. 1–11, 2007.

29. NASCIMENTO, C. et al. Efeito da matéria orgânica na adsorção por CAP. *Ciência e* 42
Tecnologia Ambiental, v. 19, p. 112-128, 2024.

30. OLIVEIRA, J. E. et al. Custos e viabilidade de carvão ativado em ETAs. *Saneamento Ambiental*, v. 18, n. 2, p. 89-102, 2022.