

AVALIAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DO CAROÇO DE AÇAÍ COMO ADSORVENTE APLICADO À REMOÇÃO DE IBUPROFENO

EVALUATION OF ACTIVATED CARBON PRODUCED FROM AÇAÍ SEED AS ADSORBENT APPLIED TO REMOVAL OF IBUPROFEN

Luan Ramalho Pinheiro^{ab}, Bruna Rafaela Silva Diniz^a, Rafaela Salvador Souza Lemos^a, Bárbara Caroline Ricci^a, Laura Hamdan de Andrade^a

^aPUC Minas, ^bUniversidade Federal de Minas Gerais – UFMG

brunarafaeladiniz@gmail.com, rafaella.lemos1999@gmail.com, barbararicci.eq@gmail.com, lauraandrade@pucminas.br, luanrp77@gmail.com

Submissão: 05 de dezembro de 2022

Aceitação: 19 de outubro de 2023

Resumo

O avanço farmacêutico, em conjunto com o aumento populacional ocorrido nas últimas décadas, promoveu um progressivo aumento na produção e consumo de medicamentos disponíveis para o tratamento e prevenção de doenças. Contudo, diversos medicamentos, por não serem completamente metabolizados pelo organismo, são excretados no meio ambiente gerando acúmulo dessas substâncias em corpos d'água. Assim, o desenvolvimento de materiais e métodos capazes de remover tais poluentes no tratamento de água de abastecimento se tornou cada vez mais necessário. Nesse contexto, esse trabalho visou ao desenvolvimento de carvões ativados (CA) provenientes de caroço de açaí e à avaliação de seu uso como adsorventes para a remoção do fármaco ibuprofeno. Os CAs produzidos e um carvão ativado comercial foram caracterizados por meio de análises de Infravermelho por Transformada de Fourier, Termogravimetria, Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia por Energia Dispersiva. Nos estudos de adsorção empregando solução de ibuprofeno em água destilada, observou-se que o carvão ativado produzido a partir do caroço de açaí inteiro e o carvão ativado comercial foram capazes de remover o ibuprofeno com eficiências próximas a 10 % e 16 %, respectivamente. Embora indiquem a necessidade de estudos posteriores, os presentes resultados mostram o potencial do emprego de resíduos orgânicos para síntese de adsorventes para remoção de fármacos em água.

Palavras-chave: Carvão ativado; Caroço de açaí; Adsorção; Poluentes emergentes; Ibuprofeno.

Abstract

Pharmaceutical advancements, coupled with the population growth witnessed in recent decades, have led to a significant rise in the production and consumption of medications for the treatment and prevention of diseases. However, a concerning consequence of this trend is the incomplete metabolism of certain medications in the human body, resulting in their excretion into the environment and subsequent accumulation in water bodies. Consequently, there is an urgent need for the development of materials and methods capable of effectively removing these pollutants in water treatment processes. In light of this context, the objective of this project was to develop activated carbons (AC) derived from acai seeds and evaluate their potential as adsorbents for removing the drug ibuprofen. The produced ACs and a commercial one were characterized using various analytical techniques, including Fourier Transform Infrared Spectroscopy, Thermogravimetry, Scanning Electron Microscopy, and Energy Dispersive Spectroscopy. During the adsorption studies, the activated carbon produced from whole seeds and the commercial activated carbon were able to remove ibuprofen with efficiencies close to 10 % and 16 %, respectively. Although these preliminary findings underline the need for further investigations, they highlight the potential of utilizing organic waste for the synthesis of adsorbents for pharmaceutical removal in water.

Keywords: Activated carbon; Açai seed; Adsorption; Emerging pollutants; Ibuprofen.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da indústria farmacêutica apresentou crescimento intenso após o ano de 1950, quando ocorreu a chamada “explosão farmacológica” (KORNIS; BRAGA; PAULA, 2014). Como resultado, medicamentos para o tratamento e prevenção de doenças se tornaram cada vez mais empregados tanto na medicina humana quanto veterinária. Esse fato, alinhado ao significativo crescimento populacional, resultou em crescente consumo de fármacos nos últimos anos em todo o mundo (LIBERATO *et al.*, 2017; SILVA, 2015). No entanto, muitos desses medicamentos não são completamente metabolizados pelo organismo, de forma que 50 % a 90 % da quantidade ingerida pelos indivíduos é excretada na urina e nas fezes, contaminando o ambiente (BATISTA *et al.*, 2021). Além disso, o descarte inadequado de medicamentos por estabelecimentos comerciais ou por consumidores também leva à contaminação de solos e águas subterrâneas e superficiais (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2011; YOUNAS *et al.*, 2021). Ainda, quando descartados em lixões, expõem risco aos catadores que podem consumir os medicamentos de forma inapropriada.

Dentre os poluentes provenientes das atividades antropogênicas, os de preocupação emergente, também conhecidos como micropoluentes (GARCÍA *et al.*, 2021; SILVA, 2015), formam uma classe extensa que vem recebendo destaque devido aos seus potenciais riscos à saúde e aos ecossistemas. Na classe de micropoluentes incluem-se produtos de cuidados pessoais, fármacos, hormônios, esteroides, surfactantes, pesticidas, entre outros, que estão presentes em águas e efluentes em baixas concentrações, na ordem de micrograma a nanograma por litro ($\mu\text{g.L}^{-1}$ – ng.L^{-1}). Esses compostos normalmente não são eficientemente removidos nas estações de tratamento de águas e efluentes convencionais, uma vez que existem poucas tecnologias desenvolvidas para tal e que a maioria das estações não foram projetadas para essa finalidade (SOPHIA; LIMA, 2018; GARCÍA *et al.*, 2021).

Por outro lado, mesmo estando presente em pequenas concentrações, as propriedades dos micropoluentes, tais como bioatividade, lipofilicidade e baixa biodegradabilidade, podem

levar a acúmulo no meio ambiente. Fármacos, hormônios e pesticidas presentes na água podem provocar bioacumulação e resistência microbiana a medicamentos, gerando riscos à saúde humana. Além disso, alguns fármacos, produtos de higiene pessoal e hormônios são desreguladores endócrinos, prejudicando as funções hormonais naturais de peixes e humanos (SOPHIA; LIMA, 2018). Por outro lado, apesar de seus riscos, esses poluentes são pouco regulamentados ou até mesmo não regulamentados. Dessa forma, tornam-se imperativos a compreensão e o controle adequado dessa nova classe de poluentes.

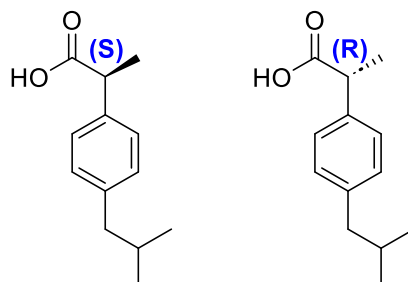
O ibuprofeno, nome derivado das iniciais do seu princípio ativo, o ácido isobutilpropanoico-fenólico, é um anti-inflamatório e antipirético não esteroide, utilizado para o tratamento de dores, inflamações e febre. É um medicamento isento de prescrição médica e amplamente comercializado, sendo a terceira droga mais popular no mundo, com produção anual estimada em algumas quilotoneladas (AKBARZADEH *et al.*, 2018; ESCHER *et al.*, 2019). Conforme apresentado na Figura 1, o ibuprofeno é um ácido carboxílico derivado do ácido propanoico e existe na forma de dois isômeros ópticos devido à presença de um carbono quiral. A molécula biologicamente ativa é o enantiômero (S) – ibuprofeno, mas o medicamento comercialmente disponível é a mistura dos dois enantiômeros, o ativo (S) e o inativo (R). É portanto conhecido como medicamento racemato, pois a estrutura inativa é convertida dentro do organismo para a forma ativa, potencializando o ativo (GARRETT, 2014). Como outros anti-inflamatórios e analgésicos, por não ser removido completamente em estações de tratamento de água e de esgoto (ESCHER *et al.*, 2019), bem como por ser encontrado no ecossistema em baixas concentrações, o ibuprofeno é considerado um produto farmacêutico de preocupação emergente.

Devido ao seu amplo uso e persistência e ao lançamento de efluentes industriais, domésticos, de criação de animais e hospitalares, o ibuprofeno é comumente encontrado em águas superficiais (AKBARZADEH *et al.*, 2018). Geralmente, a concentração desse fármaco no meio ambiente é da ordem de ng.L^{-1} a $\mu\text{g.L}^{-1}$. Por exemplo, Stelato *et al.* (2016) encontraram concentrações de

ibuprofeno entre 1,4 a 4,2 ng.L⁻¹ em águas superficiais em São Paulo. Já Américo *et al.* (2017) chegaram a identificar 2.325.000 ng.L⁻¹ deste fármaco no esgoto pós-tratamento no Mato Grosso do Sul. Starling, Amorim e Leão (2019) destacam que o número de estudos que analisam a

ocorrência de compostos de interesse emergente no Brasil ainda é limitado e que eles estão restritos a áreas urbanizadas do território. Portanto, os dados existentes não são representativos para o território nacional em sua totalidade.

Figura1 - Estrutura química dos isômeros do ibuprofeno



Fonte: Elaborada pelos autores.

O ibuprofeno pode apresentar efeitos ecotoxicológicos negativos, mesmo em concentrações baixas. Estudos mostram que quando exposto a apenas 0,2-0,8 µg.L⁻¹ deste fármaco, o molusco *Dreissena polymorpha* sofre alterações genéticas em curto período de exposição. Escher *et al.* (2019) afirmam que peixes sofrem efeito genotóxico quando expostos a 30.000 ng.L⁻¹. García *et al.* (2015) investigaram 26 compostos farmacêuticos e produtos de higiene pessoal e observaram que o ibuprofeno ficou entre os mais prejudiciais aos organismos aquáticos, com base em testes toxicológicos. Já para a saúde humana, o excesso de ibuprofeno pode trazer problemas cardiovasculares e gastrointestinais, como gastrite e úlceras. Para gestantes nos últimos três meses de gestação ou para as mulheres que estão amamentando, o fármaco pode trazer prejuízos ao bebê, como toxicidade renal no feto (MATHUR, 2018). Dessa forma, faz-se necessária a remoção desse poluente (AKBARZADEH *et al.*, 2018).

Em contrapartida, estudos mostram que a remoção de contaminantes emergentes por processos de tratamento comumente utilizados nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) e nas Estações de Tratamento de Água (ETA) não são eficientes. Processos de coagulação, floculação e flotação levaram a eficiências de remoção de ibuprofeno de apenas 23% (SUAREZ; LEMA; OMIL, 2009) ou 10 % a 25 % (CARBALLA; OMIL; LEMA, 2005). Assim, para a remoção significativa do ibuprofeno do meio aquático, métodos mais avançados de tratamento devem ser

utilizados. Estudos atuais apresentam a aplicação de técnicas como separação por membranas, processos oxidativos avançados, troca iônica, biodegradação e adsorção, dentre outros, para remoção do poluente ibuprofeno em soluções aquosas (AL-YOUSEF *et al.*, 2021; OBA *et al.*, 2021). Dentre essas, a adsorção tem ganhado destaque, apresentando bom desempenho e menor custo se comparado às outras tecnologias (OBA *et al.*, 2021).

A adsorção é uma operação de transferência de massa de um adsorvato, presente em uma fase fluida, para a superfície de um adsorvente sólido (SILVA, 2015). Estudos recentes indicaram a adsorção como o método de melhor desempenho para remoção de ibuprofeno (OBA *et al.*, 2021). Em uma ampla revisão bibliográfica, Oba *et al.* (2021) mostraram que dentre os diversos adsorventes que podem ser empregados, aqueles a base de carbono tem se mostrado os mais adequados para adsorção do ibuprofeno.

Um dos principais adsorventes utilizados é o carvão ativado (CA). Este produto se caracteriza por ser um material carbonáceo poroso que apresenta uma forma microcristalina, não grafítica, que sofreu um processamento para melhorar suas propriedades (SOUSA *et al.*, 2021). Ele é obtido a partir de materiais que possuem um alto teor de carbono na sua composição, como madeira, casca de coco, grão de café, bambu, caroço de açaí etc. (RAMOS *et al.*, 2009). Esses materiais apresentam elevada área superficial específica, entre 500 e 1500 m².g⁻¹, e ampla multiplicidade de grupos funcionais e distribuição de tamanho de poros,

variando de 1 nm a 100 nm. Os carvões ativados se apresentam como materiais de interesse, visto que são de fácil obtenção e manuseio, podem ter um baixo custo de produção e apresentam alta eficiência na adsorção de diversos compostos (LIBERATO *et al.*, 2017). Dessa forma, os CA podem ser utilizados no tratamento de água e efluentes, na recuperação de solutos e como catalisadores e suportes catalíticos (SOUSA *et al.*, 2021). Dentre as principais aplicações desse material, destaca-se seu uso na remoção de contaminantes em meio aquoso (RAMOS *et al.*, 2009).

A crescente demanda pelo açaí beneficia a economia da Região Norte do Brasil (PEREIRA; RODRIGUES JÚNIOR, 2013). Em 2020, a produção de açaí no Brasil foi de 1.698.657 toneladas, sendo o Pará o maior produtor nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2022). Para o seu consumo, o fruto deve ser despulpado, o que gera um grande volume de resíduo, uma vez que o caroço da fruta, que representa 85 % do seu peso (ZAVARIZE, 2021), é descartado e muitas vezes esse descarte é feito de forma inadequada. Por outro lado, esse resíduo é uma biomassa que pode ser reaproveitada de diversas formas, dado seu elevado teor de carbono, que segundo Oliveira (2021) é de 47 %. Dessa forma, devido à sua abundância, baixo custo e alto teor de carbono, o caroço de açaí é uma potencial matéria-prima para produção de CA (SOUSA *et al.*, 2021). Segundo Pereira e Rodrigues Júnior (2013), o CA produzido a partir dos resíduos do beneficiamento do açaí apresenta eficiência igual e para alguns parâmetros superior ao CA comercial, quando avaliados para tratamento de água de abastecimento. Já Pessoa *et al.* (2019) reportam eficiência de remoção de DQO de 85 %, quando CA proveniente de caroço de açaí foi empregado para tratamento de efluente de indústria têxtil. Para remoção de cafeína em soluções aquosas, as eficiências variam de 20 % a 60 % (ALMEIDA *et al.*, 2021). Por outro lado, Zavarize (2021) destaca que os trabalhos sobre uso da biomassa da semente de açaí para síntese de carvões ativados são recentes, tendo os primeiros sido publicados há 5 anos, e que há demanda por mais estudos.

Diante disso, esse trabalho visou sintetizar, caracterizar e avaliar a eficiência de carvões ativados provenientes do caroço de açaí na remoção de ibuprofeno em solução aquosa. Destaca-se que na literatura são encontrados alguns trabalhos relacionados à síntese de carvão

ativado proveniente de caroço de açaí, porém os autores do presente artigo não encontraram nenhum artigo sobre o uso desses CA aplicados à remoção de ibuprofeno.

2. METODOLOGIA

2.1 Preparo dos Carvões Ativados

A metodologia de preparo do carvão ativado foi adaptada de Souza e Silva (2021), a qual se iniciou pela preparação da matéria-prima, o caroço de açaí. Primeiramente, lavaram-se os caroços com água corrente e em seguida realizou-se a secagem na estufa a 110 °C por 24 horas (Figura 2). Com o intuito de se garantir que toda a umidade livre fosse removida, a determinação da massa dos caroços foi acompanhada até sua estabilização (SOUSA *et al.*, 2021).

Em seguida, para fins de comparação de desempenho de adsorção, realizou-se em parte do material lavado e desidratado a moagem a seco em um moinho de discos (distância de 6 mm entre os discos). Já a outra parte foi mantida como caroço inteiro.

Para a ativação química, utilizou-se uma solução básica de hidróxido de sódio (NaOH) 2,0 mol.L⁻¹ como agente ativante. Uma massa de 0,8979 kg do caroço de açaí inteiro e uma massa 1,0219 kg do caroço de açaí moído foram mergulhadas, cada uma, em 3,0 litros de solução de NaOH ficando ambas imersas por 24 horas sob agitação constante de 250 rpm em capela de exaustão. Este procedimento foi realizado para a efetiva impregnação dos caroços pelo agente ativante, com a finalidade de impedir a formação de betuminosos, compostos que podem ser formados na etapa de pirólise e que podem obstruir os poros. Além disso, o agente ativante tem capacidade desidratante, o que também influencia na decomposição por pirólise (CUBAS, 2009; SOUSA *et al.*, 2021). Posteriormente, retirou-se o material da solução básica com o auxílio de uma peneira e deixou-o em repouso na capela por 48 horas à temperatura ambiente. Em seguida, o material foi levado à estufa por 24 horas à temperatura de 60 °C.

Para o processo de carbonização, o material foi colocado em um recipiente de ferro fundido com uma pequena abertura de aproximadamente 0,5 cm de diâmetro em sua tampa e levado a um forno tipo mufla. O aquecimento foi progressivo de aproximadamente 10°C min⁻¹ até a temperatura de 400°C, permanecendo nesta temperatura por 1 hora (SOUZA; SILVA, 2021). Ao ser retirado do

forno, ainda dentro do recipiente com tampa, o resfriamento do carvão foi feito à temperatura ambiente, até sua estabilização.

Por fim, os carvões ativados produzidos foram moídos no moinho de discos (distância de 2 mm entre os discos) e peneirados para atingir a granulometria determinada pela NBR 11834, de limite mínimo 95 % passante em peneira ABNT n°

200 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991).

Um carvão ativado comercial, adquirido na forma de *pellets* e comumente empregado em filtros residenciais e aquários, foi usado para comparação com os carvões produzidos a partir do caroço do açaí. O carvão comercial foi moído a granulometria de 40 *mesh* retido.

Figura 2 - Caroço de açaí após a primeira etapa de secagem na estufa



Fonte: Elaborada pelos autores.

2.2 Caracterização dos Carvões Ativados

O carvão ativado produzido a partir do caroço de açaí inteiro (CAI), o carvão ativado produzido a partir do caroço de açaí moído (CAM) e o carvão ativado comercial (CAC) tiveram suas propriedades químicas e de superfície analisadas por meio de Espectroscopia na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Termogravimetria (TGA), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS). O ponto de carga zero do CAI também foi medido.

2.2.1 Espectroscopia na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier - FTIR

Para verificar os grupos funcionais presentes nas amostras, realizou-se a análise de FTIR, com varredura na região entre 4000 e 400 cm^{-1} , no equipamento IRTracer-100 da marca SHIMADZU.

2.2.2 Análise Termogravimétrica - TGA

Para estudar o comportamento térmico, separou-se uma pequena amostra, ajustaram-se os parâmetros do equipamento para um

aquecimento de 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$, da temperatura ambiente até a temperatura de 1000 $^{\circ}\text{C}$, para garantir a degradação da cadeia carbônica. Foram utilizados cadinhos de alumina e atmosfera inerte com gás nitrogênio 50 mL.min^{-1} . Os ensaios termogravimétricos foram realizados no equipamento SHIMADZU, modelo DTG – 60H (VIANA, 2015).

2.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV e Espectroscopia por Energia Dispersiva – EDS

Para a análise textural, estrutural e química das amostras, foram utilizadas as técnicas de MEV e EDS (Jeol, modelo JSMIT 300). As amostras foram recobertas com ouro antes das análises, pois são amostras não condutoras.

2.2.4 Determinação do ponto de carga zero – (pH_{PZC})

Realizou-se o experimento dos 12 pontos a fim de se determinar o ponto de carga zero (pH_{PZC}) do material. Para tanto, prepararam-se 12 soluções com diferentes condições de pH (pH 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), ajustadas com soluções de NaOH (0,1 mol L^{-1}) e HCl (0,1 mol.L^{-1})

1). Feito isso, acrescentaram-se em *erlenmeyers* 20 mg do carvão ativado produzido a partir do caroço de açaí inteiro e 20 mL das soluções preparadas com diferentes valores de pH. Em seguida, todas as suspensões foram colocadas sob agitação a 250 rpm e temperatura ambiente por 24 horas até que atingissem o equilíbrio entre as cargas. Logo após, realizou-se a filtração das soluções, bem como a aferição das condições finais do pH de cada uma (DEOLIN *et al.*, 2013). Por fim, todos os resultados foram utilizados para a elaboração de um gráfico relacionando os valores de pH pré e pós contato com o CA. Dessa forma, com base nos resultados gráficos encontrados, identificou-se a região em que o pH final das soluções se manteve constante e, portanto, o valor equivalente ao ponto de carga zero (DEOLIN *et al.*, 2013).

2.3 Aplicação de carvão ativado para adsorção de ibuprofeno

O estudo de adsorção foi realizado para avaliar a capacidade de adsorção de ibuprofeno pelos CAs. Além disso, também foi determinado o tempo de equilíbrio da adsorção.

2.3.1 Preparo da solução de ibuprofeno

O ibuprofeno foi adquirido em uma farmácia de manipulação, Farmácia Universal, localizada na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. A data de fabricação é 01/03/2018 e a validade é 01/02/2023, originado na Índia. O lote do fabricante é 4001/1201/18/A-0896. Os principais dados do certificado de análise do composto químico encontram-se na Tabela 1.

A solubilidade do Ibuprofeno foi avaliada em uma solução de água destilada com ampla variação nos valores de pH do meio. Foram alterados os valores do pH da solução aquosa, abrangendo tanto pHs altamente ácidos quanto altamente básicos. Constatou-se que em soluções com valores de pHs básicos a solubilidade do composto foi favorecida. Por esse motivo, para a preparação da solução estoque, com concentração aceitável para quantificação nos experimentos de adsorção, optou-se por utilizar soluções com valores básicos de pHs. Assim, 500 mg de Ibuprofeno foram adicionados a um balão volumétrico de 1 L junto com solução de NaOH 2 mol.L⁻¹ com pH de 12,5.

Tabela 1 – Dados do certificado de análise do Ibuprofeno

| | |
|--------------------|---|
| Descrição | Pó cristalino branco |
| Ponto de fusão | 75 a 78 °C |
| Identificação | Exibe absorção máxima a 264 nm e 272 nm |
| Rotação óptica | -0,05 a +0,05 |
| Densidade aparente | 0,36 g/mL |

Fonte: Certificado fornecido pela fabricante do composto, Infinity Pharma.

2.3.2 Análise da concentração de ibuprofeno

A quantificação do ibuprofeno foi feita com auxílio do equipamento Espectrofotômetro UV/VIS modelo UV-3600 da SHIMADZU. Inicialmente, foi necessária a construção da curva de calibração para o composto em questão. Para a sua elaboração, prepararam-se soluções padrões na faixa de 1 mg.L⁻¹ a 500 mg.L⁻¹ (1, 20, 40, 50, 100, 150, 200, 250, 350, 400 e 500 mg.L⁻¹).

Identificou-se que o comprimento de onda de máxima absorbância do ibuprofeno foi 264 nm, portanto a curva de calibração foi construída por meio da relação entre as absorbâncias nesse comprimento de onda e as concentrações conhecidas das soluções padrão de ibuprofeno. Além disso, foi certificado que a solução de NaOH não estava interferindo na absorbância da amostra nesse comprimento de onda.

2.3.3 Cinética de adsorção

O estudo cinético foi feito utilizando a solução estoque de 500 mg.L⁻¹ de ibuprofeno preparada anteriormente. Em três *erlenmeyers*, foram pipetados 250 mL dessa solução e em cada um deles adicionados 500 mg de cada um dos carvões (CAI, CAM e CAC). Tais proporções foram baseadas em dados de Oba *et al.* (2021). Não foi realizado ajuste posterior de pH, de forma que a adsorção foi processada no pH de 12,5 empregado para elaboração da solução de ibuprofeno. Foi também preparado um branco para os experimentos de adsorção. Para isso foram pipetados 250 mL de solução de NaOH com pH 12,5 em mais três *erlenmeyers*, adicionando-se também 500 mg de cada um dos carvões em cada um dos *erlenmeyers*.

As seis suspensões foram colocadas sob

agitação a 150 rpm e temperatura de 30 °C, utilizando-se uma chapa agitadora com controle de temperatura. Com as amostras e os brancos preparados, iniciou-se a contagem do tempo, imediatamente após a adição do carvão. Foram retiradas alíquotas de 10 mL nos tempos de 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105 e 120 minutos, sendo as mesmas imediatamente filtradas com papel filtro qualitativo com poros de 25 micrômetros. Previamente foram realizados testes para certificação que o papel filtro empregado não apresentava retenção do ibuprofeno. Por fim, as amostras foram levadas ao UV-vis para análise de concentração de ibuprofeno. As amostras provenientes dos experimentos realizados apenas com solução de NaOH e carvão foram utilizadas como branco da análise. Dessa forma, as absorbâncias das amostras provenientes dos experimentos com solução de NaOH e com solução de ibuprofeno foram simultaneamente lidas e os valores da primeira foram automaticamente descontados dos da segunda pelo equipamento. Os experimentos foram realizados uma única vez.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos carvões ativados produzidos e do carvão ativado comercial

3.1.1 Espectroscopia na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier

Nas Figuras 3a e 3b estão apresentados os espectrogramas das amostras de carvão ativado sintetizados a partir do caroço de açaí inteiro e moído, respectivamente. Baseado nas figuras é notório que o processo de cominuição não impactou na presença dos grupos orgânicos presentes na superfície do material, uma vez que as duas análises exibiram resultados similares.

Os espectros de todos os CAs apresentaram uma banda em torno de 3600 cm^{-1} , a qual pode ser atribuída à presença de grupos hidroxila (O-H). Ademais, nas faixas de número de onda 3300 a 1300 cm^{-1} identificou-se apenas uma pequena banda que pode ser atribuída a ligações C-H alifáticas. Próximo ao número de onda 1000 cm^{-1} pode-se verificar uma banda característica da presença de ligações C-O de álcoois, fenóis, éteres ou ésteres. Por fim, as bandas entre os números de onda 700 cm^{-1} a 900 cm^{-1} podem ser atribuídas à presença de ligações do tipo -CH=CH- sugerindo a existência de anéis aromáticos

(SOLOMONS, 2018). Como no processo de ativação química do adsorvente sintetizado utilizou-se uma solução básica, aumentaram-se os grupos funcionais básicos (grupos fenólicos) na superfície do adsorvente, o que aumenta a capacidade de adsorção de compostos orgânicos, embora reduza a de metais (YIN; AROUA; DAUD, 2007). Segundo Yin, Aroua e Daud (2007), em ambiente alcalino, íons OH^- reagem com os grupos funcionais superficiais do CA, aumentando a concentração de grupos fenólicos. Tais grupos se comportam como sítios de ligação adicionais para os compostos orgânicos, proporcionando interação mais forte entre eles e o adsorvente.

3.1.2 Análise Termogravimétrica

A estabilidade térmica dos carvões ativados foi avaliada com base nas análises termogravimétricas (TGA) e análise térmica diferencial (DTA). Nas Figuras 4a, 4b e 4c são apresentados os estágios de degradação térmica para o carvão proveniente dos caroços inteiros (CAI) (a), moídos (CAM) (b) e comercial (CAC) (c).

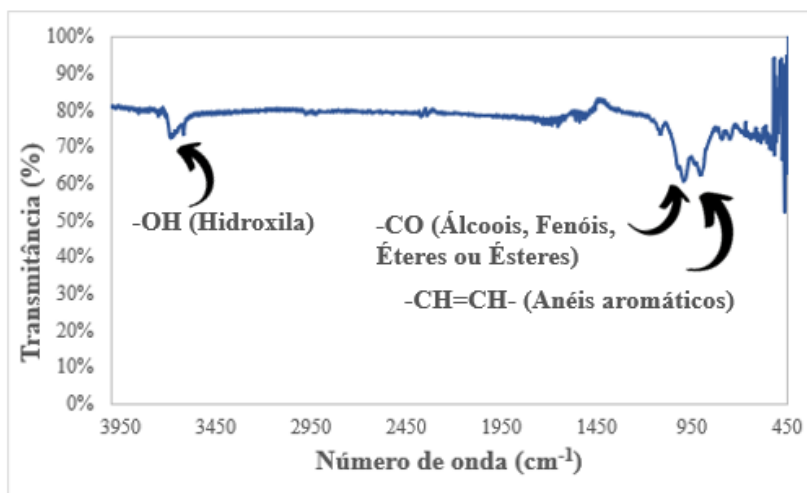
Baseado no gráfico da Figura 4a, pode-se constatar que o CAI apresentou 5 estágios de degradação térmica. O primeiro estágio (A), apresentou uma perda de massa de 3,5 % próxima a temperatura de 65 °C, em função da perda de umidade do material. No estágio B, entre as temperaturas de 65 °C a 295 °C, pôde-se detectar uma perda de massa de cerca de 4,5 %, que pode ser devida à oxidação dos componentes voláteis presentes no CA, como dióxido de carbono e monóxido de carbono. Na etapa C, percebeu-se uma perda crescente e significativa de massa chegando em torno de 22 % a 470 °C, que pode sugerir o início da oxidação final do material, a qual ocorre em três diferentes etapas (C, D e E). Ao final do processo, restaram apenas 7,24 % da massa total.

A Figura 4b, similarmente ao CAI, nota-se que o CAM apresentou uma perda de massa de 4 % a uma temperatura de 80 °C no estágio A. Ademais, com base na DTA, percebe-se que o CAM exibiu estabilidade térmica análoga ao CAI, visto que os números de estágios de degradação, bem como a temperatura de início da oxidação final, foram próximos. No entanto, notou-se que as perdas de massa aconteceram em diferentes faixas de temperaturas, **indicando, assim, diferentes** estágios para as duas amostras. Próximo à temperatura de 480 °C, notou-se uma expressiva perda de massa, cerca de 30 %, o que pode indicar

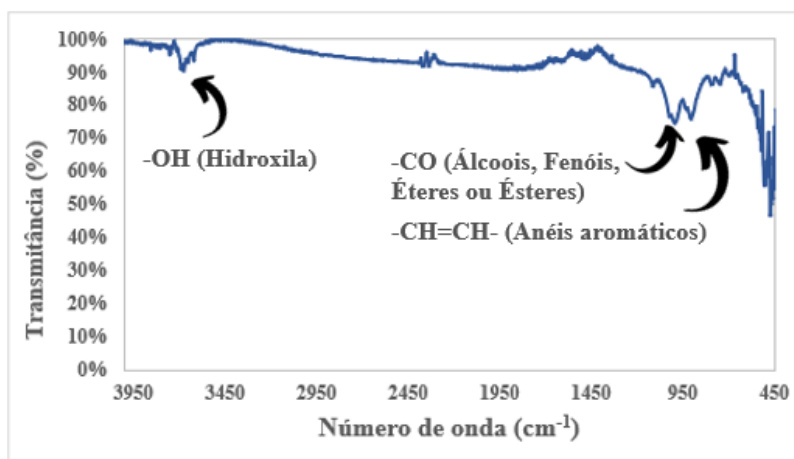
o início da oxidação final. A partir dessa temperatura verificou-se uma crescente perda na massa representada pelos estágios B, C e D. Ao

final do processo, restaram apenas 13,41 % da massa total.

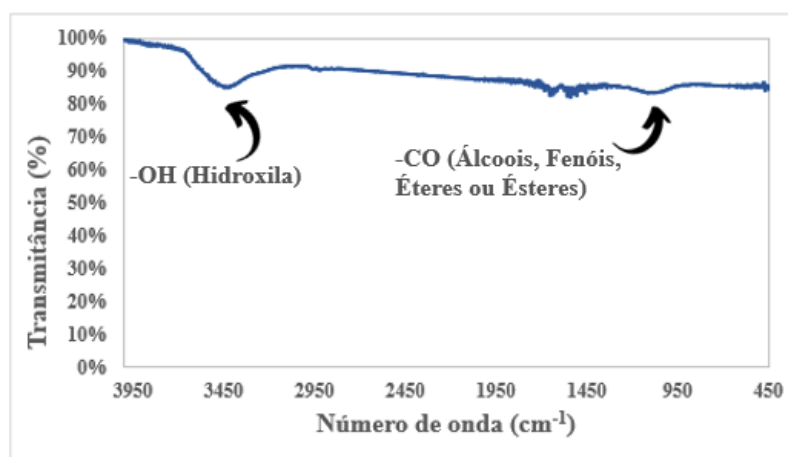
Figura 3 - Espectrograma para os carvões ativados produzidos com caroços de açaí (a) inteiros e (b) moídos e para o (c) carvão ativado comercial



(a)



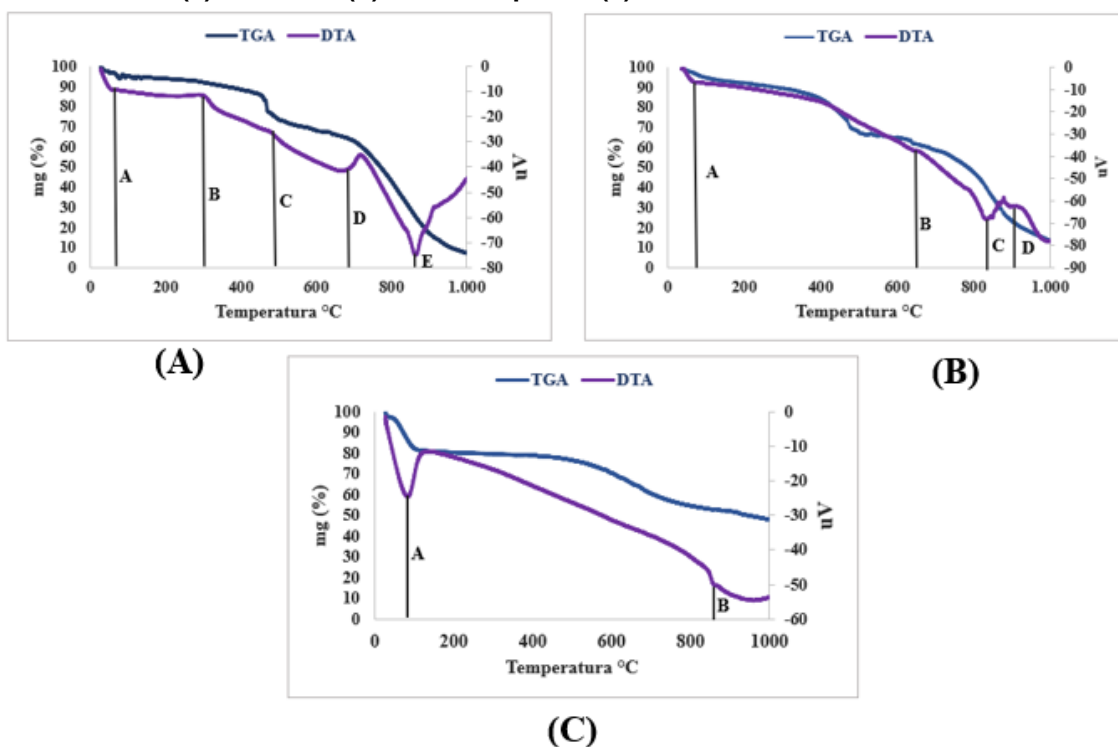
(b)



(c)

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 4 - Curvas térmicas TGA e DTA para os carvões ativados produzidos com caroços de açaí (a) inteiros e (b) moídos e para o (c) carvão ativado comercial



Fonte: Elaborada pelos autores.

Por outro lado, o CAC exibiu propriedades térmicas distintas em comparação com o CAI e o CAM. Aproximadamente a 90 °C, observou-se uma perda de massa de 17 %, 4,25 vezes maior que a perda do CAI no estágio A e 4,86 vezes maior que CAM, o que possivelmente indica uma maior presença de umidade no CAC. Além disso, o CAC apresentou um perfil de degradação mais suave, tendo início sua oxidação final por volta de 870 °C, com pequenas variações de massa. Ao final do processo foram conservados 47,95 % da massa, valor expressivamente maior que os CAI e CAM.

Diante disso, conclui-se que o CAC apresentou uma melhor estabilidade térmica. No entanto, todos os CA apresentaram a primeira perda de massa (Estágio A) em temperaturas próximas. Dessa forma, percebeu-se que a temperatura ideal de trabalho precisava estar abaixo de 65 °C, 80 °C e 90 °C para o CAI, CAM e CAC, respectivamente. Isso pois, acima dessas temperaturas, parte de seus componentes são volatilizados ou oxidados.

3.1.3 Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A identificação dos elementos presentes nos CAI, CAM e CAC foi realizada por EDS, e os resultados são apresentados na Figura 5.

Com base nos espectrogramas, foi observado que os dois carvões ativados sintetizados a partir do açaí possuem composição elementar semelhante. Os resultados revelaram a presença predominante de carbono, além de oxigênio, sódio, traços de cobre, potássio e cálcio em ambos os materiais. Portanto, pode-se observar que a etapa de pré-moagem, realizada antes do processo de ativação, não ocasionou em mudanças significativas na constituição dos carvões ativados. Além disso, o CAC apresentou maior quantidade de carbono e menor quantidade de oxigênio em sua composição.

A análise da estrutura morfológica dos adsorventes foi realizada empregando diferentes ampliações com um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Os carvões ativados sintetizados a partir dos caroços de açaí moídos e inteiros e o comercial foram analisados sob mesmas aproximações microscópicas. Nas Figuras 6a, 6b e 6c são apresentadas as micrografias.

Com base nas micrografias, pôde-se notar que todos os carvões ativados apresentaram

superfícies heterogêneas com grande presença de poros, o que é interessante para sua aplicação como adsorvente. Além disso, nota-se que o carvão sintetizado após o processo de cominuição (Figura 6b) sofreu um aumento no tamanho dos poros. O CAM apresentou diâmetro médio dos poros de 79,06 μm , aproximadamente duas vezes maior que o CAI, 41,25 μm . Assim, acredita-se que as forças de atrito, cisalhamento e compressão, às quais o carvão esteve sujeito durante o processo de cominuição, alteraram sua estrutura física, proporcionando diferentes tamanhos de poros após a ativação. Por outro lado, o CAC apresentou diâmetro médio de poros menor, de apenas 26,54 μm , (Figura 6c). É também evidente a presença de um maior número de poros no CAC em relação ao CAI e CAM.

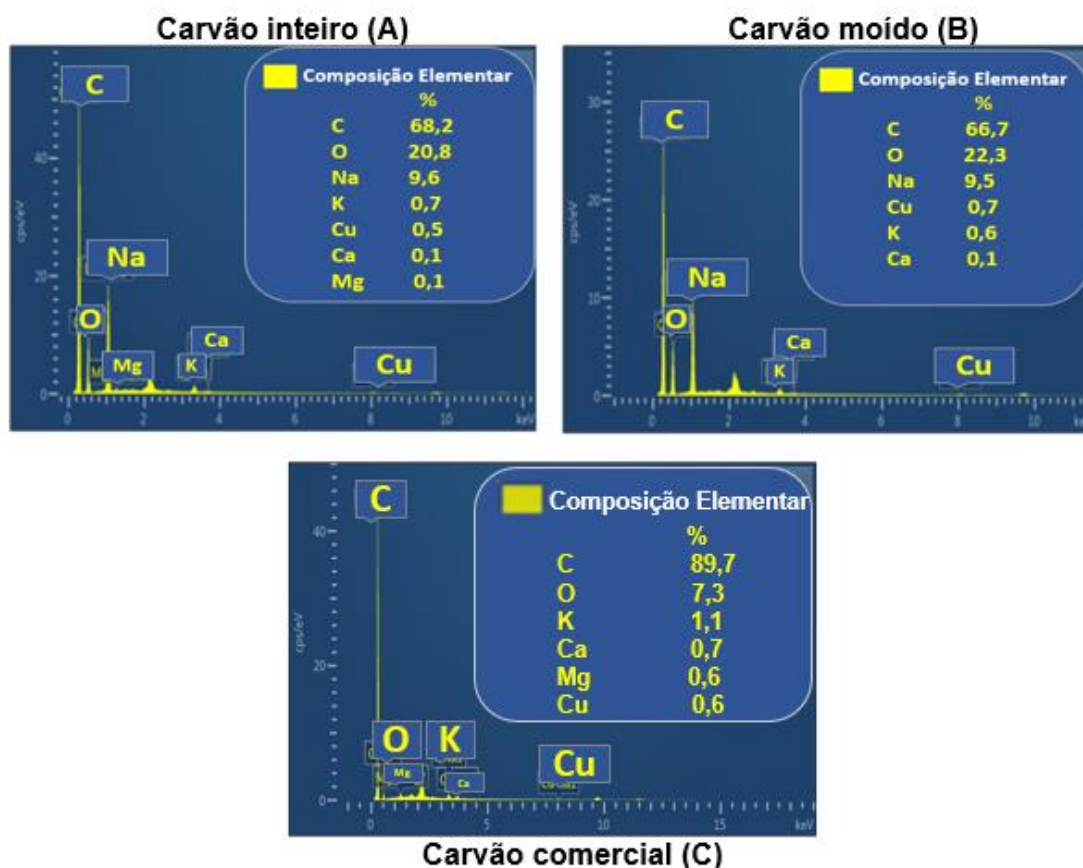
3.1.4 Ponto de Carga Zero (pH_{pzc})

Com finalidade de identificar o ponto de carga zero do carvão ativado produzido a partir do caroço de açaí, realizou-se o experimento dos 12 pontos.

Baseado na Figura 7, em que se relaciona o pH inicial e final das amostras, é evidente que o pH final das soluções se estabilizou próximo ao valor de 8, sendo este o ponto de neutralidade das cargas superficiais do material (ponto de carga zero).

Em meios aquosos com valores de pH próximos a 8, a superfície do adsorvente apresentará uma quantidade equivalente de íons hidroxila e hidrônio, resultando em uma carga superficial neutra. Já em soluções com valores de pH abaixo de 8, o adsorvente adquire uma carga superficial positiva. Por outro lado, em soluções com mais básicas que 8, o adsorvente exibe uma carga superficial negativa. Isso indica que o processo de adsorção de ibuprofeno será favorecido em pHs ácidos, uma vez que esse composto é um ácido que apresenta carga negativa quando dissolvido em água, a qual é atraída pelas cargas superficiais positivas encontradas na superfície do adsorvente nessa condição de pH.

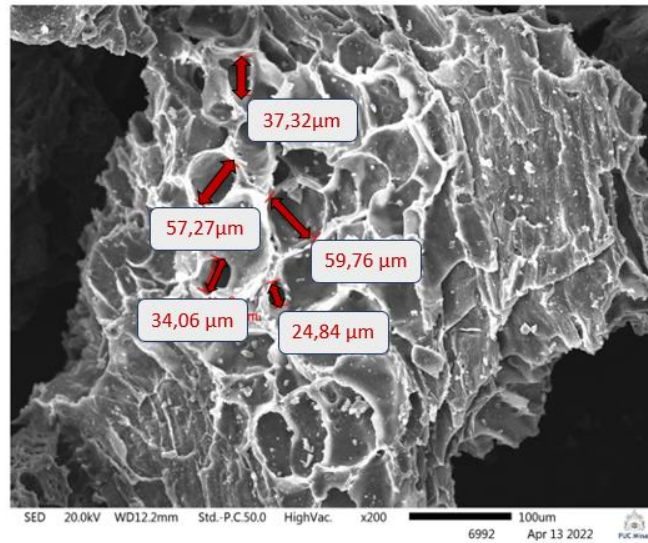
Figura 5 - Espectrograma EDS para os carvões ativados produzidos com caroços de açaí (a) inteiros e (b) moídos e para o (c) carvão ativado comercial



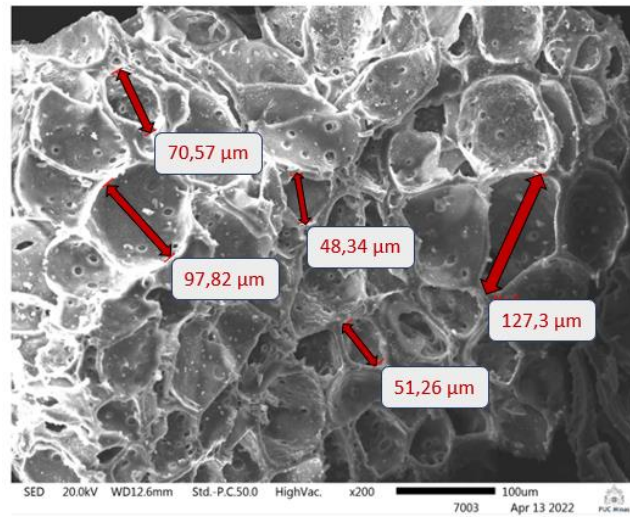
Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 6 - Fotomicrografias dos carvões ativados produzidos com caroços de açaí (a) inteiros e (b) moídos e do (c) carvão ativado comercial

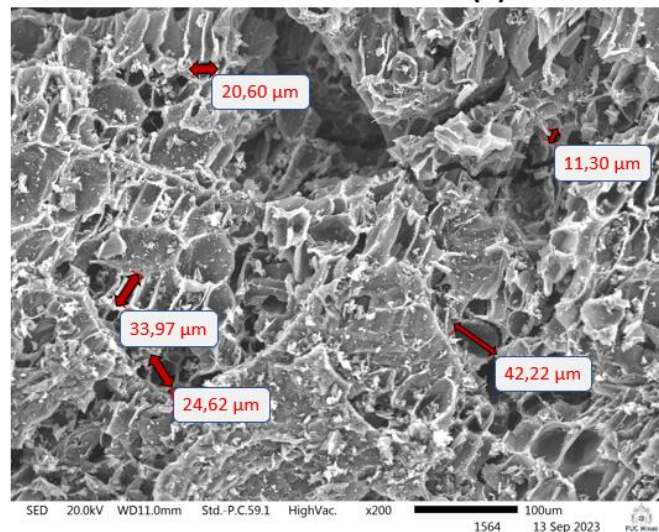
Carvão Inteiro 200X (A)



Carvão Moído 200X (B)



Carvão Comercial 200X (C)

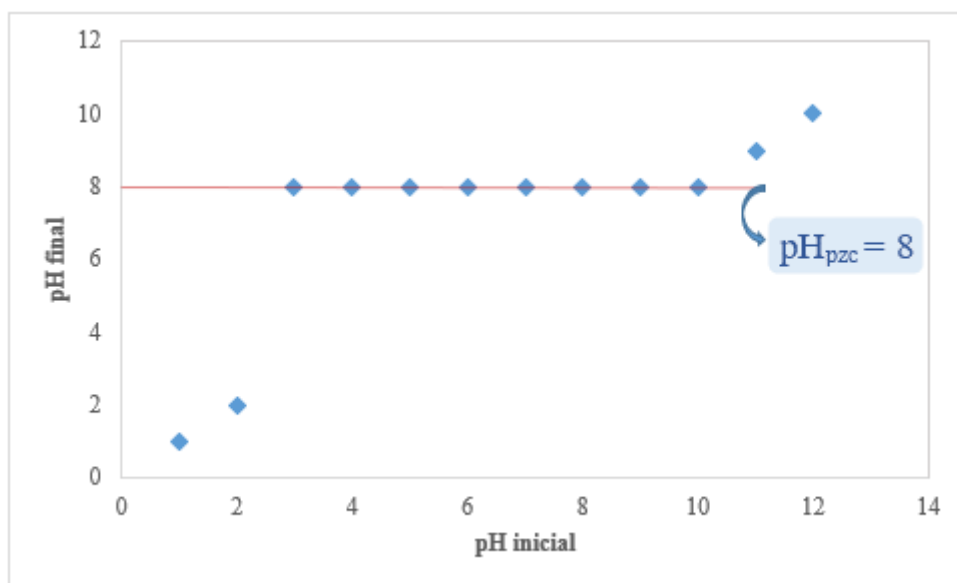


Fonte: Elaborada pelos autores.

Dessa maneira, para avaliação da capacidade de adsorção máxima dos carvões ativados, as condições ideais envolvem a condução dos estudos em soluções com valores de pH inferiores a 8. No entanto, devido à baixa solubilidade do ibuprofeno em solução aquosa com pH menor que 8, como apresentado no tópico

2.3.1, os testes de adsorção foram conduzidos em soluções com valor de pH 12,5, em que o ibuprofeno apresenta alta solubilidade. Isso se deve à necessidade de utilizar maiores concentrações de ibuprofeno já que o método espectrofotométrico utilizado para quantificação (tópico 2.3.2) é insensível a baixas concentrações.

Figura 7 – Ponto de Carga Zero



Fonte: Elaborado pelos autores (Excel).

3.2 Cinética de Adsorção

O estudo cinético de adsorção foi realizado para os CAI, CAM e CAC. Porém, no experimento com o CAM, diferentemente dos outros dois carvões, todas as coletas apresentaram absorvâncias mais elevadas do que a da solução inicial. Isso pode ter ocorrido devido à solubilização de componentes do carvão ativado que absorvem no mesmo comprimento de onda que o fármaco em estudo. Muito embora um branco constituído de solução de NaOH e CAM tenha sido preparado e utilizado para descontar a absorvância desses compostos desorvidos, é possível que a condição de solubilização tenha sido diferente nos experimentos com solução de ibuprofeno e nos com o branco, de forma que o aporte de compostos desorvidos tenha sido maior com a solução de ibuprofeno provocando esse aumento das absorvâncias. Ainda, o processo de cominuição prévia do CAM pode ter aumentado sua área superficial e a disponibilidade dos seus componentes, resultando em uma maior solubilização para o CAM do que para o CAI. Contudo, a possibilidade de solubilização de

componentes do carvão não compromete o seu potencial de aplicação como adsorvente, apenas a avaliação da eficiência do processo pela técnica empregada (tópico 2.3.2). Como explorado no tópico 3.1.3, o CAM apresentou expansões significativas nos diâmetros dos poros em relação ao CAI. Deste modo, é possível que o CAM tenha uma capacidade de adsorção maior que a do carvão sintetizado a partir dos caroços inteiros. Na Figura 8 é mostrada a variação da concentração de ibuprofeno ao longo do processo de adsorção com o CAI.

Nos primeiros 10 minutos da adsorção, ocorreu uma redução na concentração de ibuprofeno de, aproximadamente, 51 mg.L⁻¹, correspondendo a uma eficiência de remoção de 10,5 %. Essa baixa eficiência de adsorção pode estar relacionada ao fato de os estudos cinéticos terem sido realizados em um pH acima do pH_{pzc}, proporcionando cargas superficiais na superfície do adsorvente predominantemente negativas que repelem as cargas também negativas do ibuprofeno. Ainda, a possível solubilização na solução de compostos do carvão ativado, que adsorvem no comprimento de onda empregado

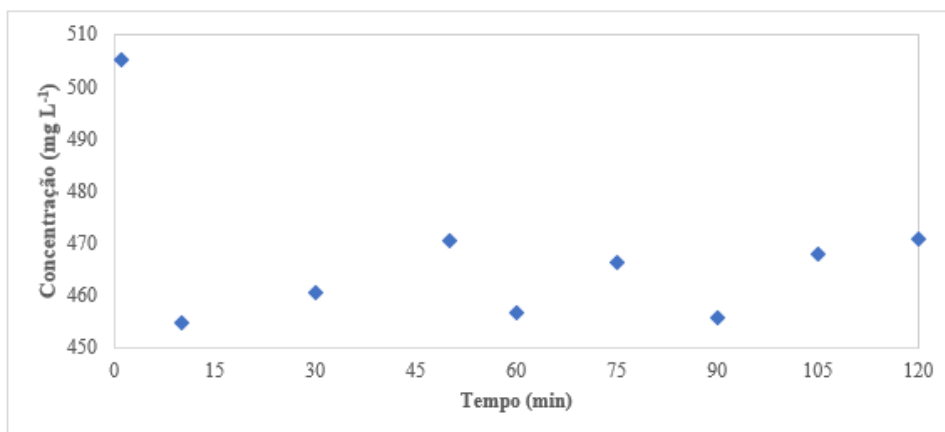
para análise do ibuprofeno, pode ter impactado os resultados. Nota-se também que o equilíbrio de adsorção é alcançado rapidamente, já que após 10 minutos a concentração de ibuprofeno sofre apenas pequenas oscilações em torno de $460 \pm 10 \text{ mg.L}^{-1}$, as quais podem ter ocorrido devido a pequenas variações experimentais.

Nota-se que a eficiência de remoção não foi muito elevada, se encontrando na mesma faixa ou até mesmo abaixo das de tecnologias convencionais reportadas na literatura (SUAREZ; LEMA; OMIL, 2009; CARBALLA; OMIL; LEMA, 2005). Porém, a capacidade de adsorção do carvão foi de $25 \text{ mg}_{\text{ibuprofeno}}.\text{g}^{-1}_{\text{carvão}}$. Embora inferior à capacidade reportada na literatura para outros adsorventes, por exemplo, carvão ativado químico com capacidade de adsorção de $153,20 \text{ mg}_{\text{ibuprofeno}}.\text{g}^{-1}_{\text{carvão}}$ (OBA *et al.*, 2021), ainda há potencial no emprego desse material para remoção de fármacos. Isso porque apesar de possuir menor capacidade de adsorção, por se

tratar de um biossorvente, o carvão pode ser empregado em maiores dosagens sem que acarrete em um aumento expressivo no custo. Na Figura 9 estão apresentados os dados de concentração de ibuprofeno em função do tempo para a adsorção com o carvão ativado comercial.

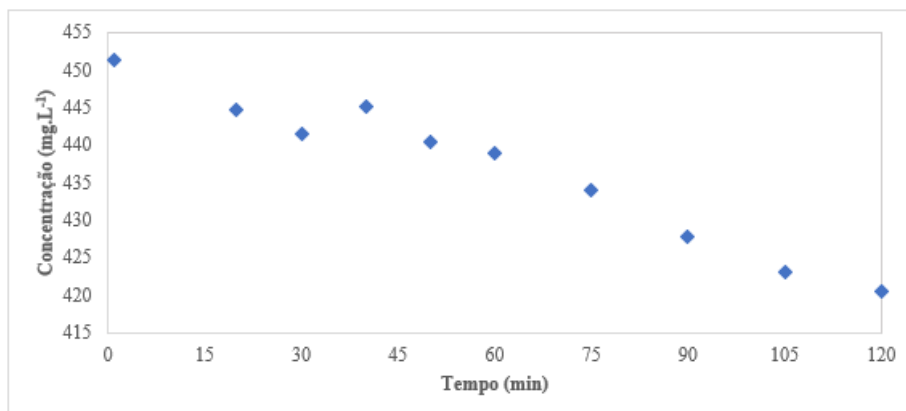
Notou-se uma redução contínua na concentração indicando que parte do ibuprofeno presente na solução foi adsorvida pelo adsorvente. Pelo perfil da curva, supõe-se que o sistema não alcançou o equilíbrio no tempo do experimento e que tempos de adsorção maiores poderiam levar a maiores eficiências. Encontrou-se uma eficiência de 15,9 % no tempo de 120 minutos, correspondendo à uma capacidade de adsorção de $40 \text{ mg}_{\text{ibuprofeno}}.\text{g}^{-1}_{\text{carvão}}$. Esses resultados mostram melhor desempenho do CAC em relação ao CAI. Isso pode estar relacionado à maior abundância de poros e a maior quantidade de carbono em sua composição (Figuras 5 e 6).

Figura 8 - Concentrações de ibuprofeno ao longo da adsorção com o carvão ativado produzido a partir de caroços de açaí inteiros



Fonte: Elaborado pelos autores (Excel).

Figura 9: Concentrações de ibuprofeno ao longo da adsorção com o carvão ativado comercial



Fonte: Elaborado pelos autores (Excel).

4. CONCLUSÃO

Com base nos espectros de FTIR, foram identificados diversos grupos funcionais nos carvões ativados sintetizados, incluindo grupos hidroxila (O-H), ligações alifáticas (C-H), ligações C-O atribuíveis a álcoois, fenóis, éteres ou ésteres, e ligações do tipo (-CH=CH-) presentes em anéis aromáticos. A análise termogravimétrica revelou estabilidade térmica similar entre o carvão ativado produzido a partir dos caroços de açaí moídos e inteiros, com perda de aproximadamente 4 % de umidade em torno de 75 °C e oxidação final a partir de 470 °C. O carvão ativado comercial, por outro lado, apresentou estabilidade térmica superior e uma perda de umidade significativamente maior, aproximadamente quatro vezes superior às aquelas observadas no CAI e CAM.

As micrografias e espectrogramas obtidos por Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia por Energia Dispersiva (MEV-EDS) demonstraram que o processo prévio de cominuição não provocou mudanças significativas na composição dos CAI e CAM, resultando, porém, em um aumento no tamanho dos poros. Em contrapartida, o CAC apresentou diâmetro médio inferior ao demais carvões. Apesar disso, o número de sítios porosos e o percentual de carbono foi superior. Todos os materiais exibiram superfícies heterogêneas e porosas. Além disso, foi observado que o ponto de carga zero do carvão proveniente do caroço de açaí estava próximo ao pH 8.

O carvão ativado produzido a partir dos caroços de açaí inteiros apresentou uma eficiência de adsorção de 10,5 %, o que resultou em uma redução de aproximadamente 50 mg.L⁻¹ de ibuprofeno a partir de uma solução inicial de 500 mg.L⁻¹, e capacidade de adsorção de 25 mg_{ibuprofeno}.g⁻¹_{carvão}. Apesar de baixa, essa capacidade de adsorção indica que carvão ativado analisado possui considerável potencial de aplicação, já que as concentrações de poluentes emergentes normalmente se encontram na faixa de ng.L⁻¹ a µg.L⁻¹ e, portanto, a massa a ser adsorvida não é elevada.

Comparativamente, o CAC superou o CAI em termos de capacidade de adsorção, registrando uma eficiência de adsorção de 15,9 %. No entanto, é crucial destacar que o carvão ativado sintetizado apresenta vantagens expressivas, uma vez que é um material produzido a partir de resíduos do açaí. Dessa forma, seu emprego contribui para aplicação de sistemas de produção mais limpa,

utilização eficiente de recursos e redução de impactos ambientais. O desenvolvimento contínuo dessa tecnologia pode levar à avanços significativos na remoção de contaminantes, contribuindo para a preservação ambiental e a proteção da saúde pública.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. D. S. *et al.* Caffeine removal using activated biochar from acai seed (*Euterpe oleracea* Mart): Experimental study and description of adsorbate properties using Density Functional Theory (DFT). **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.9. n.1, 2021.
- AMÉRICO *et al.* 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. 429-235, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11834: Carvão ativado pulverizado - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.
- AL-YOUSEF, H. A. *et al.* Adsorption of ibuprofen on cocoa shell biomass-based adsorbents: Interpretation of the adsorption equilibrium via statistical physics theory. **Journal of Molecular Liquids**, v. 331, p. 113-126, 2021.
- AKBARZADEH, R. *et al.* One-pot hydrothermal synthesis of g-C₃N₄/Ag/AgCl/BiVO₄ micro-flower composite for the visible light degradation of ibuprofen. **Chemical Engineering Journal**, v. 341, p. 248-261, 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Medicamentos Descarte de Medicamentos: Responsabilidade Compartilhada. 2011.
- BATISTA, A. P. *et al.* Avaliação da presença de ciprofloxacino, sulfametoxazol e cafeína em água de esgoto de Foz do Iguaçu e Matelândia-PR. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 21374–21385, 2021.
- CARBALLA, M.; OMIL, F.; LEMA, J. M. Removal of cosmetic ingredients and pharmaceuticals in

sewage primary treatment. **Water Research**, v. 39, n. 19, p. 4790-4796, 2005.

CUBAS, K. G. *et al.* Avaliação do desempenho de carvões ativos usados na remoção de composto orgânicos de água naturais proveniente de cianobactérias e suas toxinas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, No. 14, p. 1-32, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Boletim da Sociobiodiversidade. Brasília, DF, v. 6, n. 1, mar. 2022.

DEOLIN, M. H. S *et al.* Obtenção do ponto de carga zero de materiais adsorventes. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA CESUMAR, 8, 2013, Maringá, PR. **Anais [...]** Maringá: UNICESUMAR, 2013.

ESCHER, M. *et al.* A problemática ambiental da contaminação dos recursos hídricos por fármacos. **Brazilian Journal of Environmental Sciences** (Online), v. 51, p. 141-148, 2019.

GARCIA, E. F. **Estudo sobre desreguladores endócrinos em sistemas aquáticos: detecção e perspectivas de tratamento das águas do rio aporé-ms/go, utilizando-se adsorventes sólidos.** 2015. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais) - Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2015.

GARCIA, L. *et al.* A review of the adsorption-biological hybrid processes for the abatement of emerging pollutants: Removal efficiencies, physicochemical analysis, and economic evaluation. **Science of the Total Environment**, v. 780, 2021.

GARRETT, R. Ibuprofeno. **Química Nova Interativa**. Sociedade Brasileira de Química, 2014. Disponível em: http://qnint.sbq.org.br/qni/popup_visualizarMolecula.php?id=Uiv8xFgMdz3co58O4ufayLDL2JWBTP6Z40h394L4q9MmAhRy7cE8qsHM1Jvjp798Ss-KaEGC7ZxY-QBwXCi_Q== Acesso em: 14 set. 2021.

KORNIS, G. E. M.; BRAGA, M. H.; PAULA, P. A. B. Transformações recentes da indústria farmacêutica: um exame da experiência mundial e brasileira no século XXI. **Physis: Revista de Saúde Coletiva**, v. 24, n. 3, p. 885–908, 2014.

LIBERATO, D. *et al.* Adsorção de ácido acetilsalicílico em carvão ativado de casca de coco de babaçu. 11 nov. 2017. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/adsorcao-acido-acetilsalicilico-carvao-ativado/>. Acesso em: 19 nov. 2023.

MATHUR, N. Ibuprofen side effects. [S. l.], 23 ago. 2018. Disponível em: <https://www.news-medical.net/health/Ibuprofen-Side-Effects.aspx>. Acesso em: 30 set. 2021.

OBA, S. N. *et al.* Removal of ibuprofen from aqueous media by adsorption: A comprehensive review. **Science of the Total Environment**, v. 780, p. 146608, 2021.

OLIVEIRA, S. L. **Investigação das propriedades físico-químicas e térmicas do caroço de açaí *Euterpe Oleracea* para utilização na geração de bioenergia.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

PEREIRA, E. N.; RODRIGUES JÚNIOR, V. C. **Carvão do caroço de açaí (*Euterpe oleracea*) ativado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo.** Relatório do projeto Prêmio Jovem Cientista 2013. Escola Estadual de Ensino Médio Prof.^a Ernestina Pereira Maia – Clube de Ciências de Moju – CCIM. Moju-PA, 2013.

PESSOA, T. S. *et al.* Açaí waste benefiting by gasification process and its employment in the treatment of synthetic and raw textile wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 240, p. 118047, 2009.

RAMOS, P. H. *et al.* Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café. **Química Nova**, v. 32, n. 5, p. 1139–1143, 2009.

SOLOMONS, T. W. **Química Orgânica**. 12. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2018. v. 1. ISBN 978-8-521-63552-9.

SILVA, N. C. Adsorção de Antibióticos em Meio Aquoso Utilizando Diferentes Adsorventes. 2015. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos

Materiais) - Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2015.

SOPHIA, C. A., LIMA, E. C. Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s. l.], 2018.

SOUSA, A. A. O. de *et al.* Adsorção do corante básico Verde Malaquita via carvão ativado a partir do caroço de açaí. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e49110212871, 2021.

SOUZA, C. D. R. de; SILVA, K. DE C. da. Potencial energético dos resíduos da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) para produção de carvão ativado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e53310212698, 2021.

STARLING, M. C. V.; AMORIM, C. C.; LEÃO, M. M. D. Occurrence, control and fate of contaminants of emerging concern in environmental compartments in Brazil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 372, p. 17-36, 2019.

STELATO, E. da S. *et al.* 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 (Online), n. 39, p. 97–113, 2016.

SUAREZ, S.; LEMA, J. M.; OMIL, F. Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation flocculation and flotation. **Bioresource Technology**, v. 100. N. 7, p. 2138-2146, apr. 2009.

VIANA, M. M. *et al.* Facile graphene oxide preparation by microwave-assisted acid method. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 26, n. 5, p. 978-984, may. 2015.

YIN, C.Y; AROUA, M. K; DAUD, W. M. A. W. Review of modifications of activated carbon for enhancing contaminant uptakes from aqueous solutions. **Separation and Purification Technology**, v. 52, n. 3, p. 403-415, 2007.

YOUNAS, F. *et al.* Current and Emerging Adsorbent Technologies for Wastewater Treatment: Trends, Limitations, and Environmental Implications. **Water**, v. 13, n. 2, p. 215, jan. 2021.

ZAVARIZE, D. G. Insights on preparation and characteristics of KOH-doped carbons derived from an abundant agroindustrial waste in Brazil: Amazon açaí berry seeds. **Bioresource Technology Reports**, v. 13, p. 100611, 2021.