

## REMOÇÃO DE HORMÔNIO SINTÉTICO EM EFLUENTES COM CARVÃO ATIVADO DE CASCA DE COCO REMOVAL OF SYNTHETIC HORMONE IN EFFLUENTS WITH COCONUT SHELL ACTIVATED CARBON

Edgard Robles Tardelli<sup>1</sup>  
Gabriel Imatomi Faria<sup>2</sup>

**RESUMO:** Compostos químicos frequentemente presentes em efluentes de origem farmacêutica, doméstica e agropecuária resistem aos tratamentos convencionais e permanecem no ambiente, oferecendo riscos ecotoxicológicos. Entre esses contaminantes emergentes, destaca-se o 17 $\alpha$ -etinilestradiol (EE2), hormônio sintético amplamente utilizado em contraceptivos e reconhecido como disruptor endócrino. Este estudo avaliou a remoção do EE2 utilizando carvão ativado granular produzido a partir da casca de coco verde, um resíduo agroindustrial abundante e de baixo custo. O material apresentou elevada área superficial (1184 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>), predominância de microporos (94%) e ponto de carga zero em pH 8,0, características que favorecem a adsorção do EE2, que apresenta carga negativa em condições de pH típicas de efluentes tratados (6,5 – 7,0). Os experimentos demonstraram remoção de até 95% do EE2 em 30 minutos a 20 °C, evidenciando maior eficiência a temperaturas mais baixas devido ao caráter exotérmico da adsorção. A adsorção também se mostrou rápida e eficaz, atingindo 75% de remoção nos primeiros 10 minutos. Os resultados confirmam o potencial do carvão ativado de casca de coco verde como alternativa sustentável e eficiente no tratamento de efluentes, reduzindo impactos ambientais e riscos à saúde pública.

**Palavras-chave:** Adsorção; Contaminantes endócrinos; 17 $\alpha$ - etinilestradiol; Tratamento de Efluente.

**ABSTRACT:** Chemical compounds frequently present in pharmaceutical, domestic, and agricultural effluents often resist conventional treatments and persist in the environment, posing ecotoxicological risks. Among these emerging contaminants, 17 $\alpha$ -ethinylestradiol (EE2) stands out as a synthetic hormone widely used in contraceptives and recognized as an endocrine disruptor. This study evaluated the removal of EE2 using granular activated carbon produced from green coconut shell, an abundant and low-cost agro-industrial residue. The material exhibited a high surface area (1184 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>), predominance of micropores (94%), and a point of zero charge at pH 8.0—features that favor EE2 adsorption, since the molecule carries a negative charge under typical treated-effluent pH conditions (6.5 –7.0). Experiments showed up to 95% EE2 removal within 30 minutes at 20 °C, with higher efficiency at lower temperatures due to the exothermic nature of adsorption. Adsorption was also rapid and effective, achieving 75% removal within the first 10 minutes. The results confirm the potential of green coconut shell activated carbon as a sustainable and efficient alternative for wastewater treatment, reducing environmental impacts and public health risks.

**Keywords:** Adsorption; Endocrine-disrupting compounds; 17 $\alpha$ -ethinylestradiol; Wastewater treatment.

## 1 INTRODUÇÃO

A presença de compostos químicos persistentes em efluentes domésticos, farmacêuticos e agropecuários tem se tornado um dos principais desafios ambientais contemporâneos. Segundo Klaica e Jirsa (2022), substâncias como fármacos, hormônios e produtos de higiene pessoal resistem aos tratamentos convencionais e permanecem no ambiente, oferecendo riscos ecotoxicológicos.

Entre os poluentes emergentes, destacam-se os hormônios sintéticos, como o 17 $\alpha$ -etinilestradiol (EE2), amplamente utilizado em contraceptivos orais e terapias hormonais, e classificado como disruptor endócrino. Após a ingestão, entre 16% e 68% do EE2 é excretado inalterado, alcançando corpos d'água, onde pode interferir no sistema endócrino de organismos vivos, provocando deformidades, alterações hormonais, infertilidade e falhas reprodutivas (CAI *et al.*, 2024).

Devido à sua alta persistência, baixa biodegradabilidade e longa meia-vida, o EE2 não é eficientemente removido pelos métodos convencionais empregados nas Estações de Tratamento de Água (ETAs), podendo afetar a saúde humana e o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos.

Diante desse cenário, o presente estudo delimita-se à avaliação da eficiência do carvão ativado obtido da casca de coco verde na remoção do hormônio sintético EE2 em efluentes simulados, empregando a técnica de adsorção em batelada.

O trabalho tem como objetivo geral investigar o potencial desse material agroindustrial como adsorvente sustentável.

Como objetivos específicos, busca-se caracterizar físico-quimicamente o carvão ativado obtido da casca de coco; avaliar sua capacidade de adsorção do EE2 em diferentes condições de pH e tempo de contato; e discutir a viabilidade de sua aplicação em estações de tratamento de água.

## 2 METODOLOGIA

As amostras de carvão ativado granular, derivadas da casca de coco verde, foram fornecidas pela Indústria Química Carbomafrá® S.A. (Curitiba, Brasil). O hormônio sintético 17 $\alpha$ -etinilestradiol (EE2) (Sigma-Aldrich®, Munique, Alemanha, pureza 98%, HPLC) foi utilizado como contaminante modelo.

Todos os ensaios analíticos e experimentos de adsorção foram realizados em triplicata.

Os experimentos de adsorção foram conduzidos em batelada, sob agitação orbital de 150 rpm, em frascos de vidro âmbar, nas temperaturas de 20 °C e 30 °C, com tempo máximo de 30 min. Após cada tempo de contato, as amostras foram filtradas em membranas de 0,45 µm e analisadas por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), conforme metodologia adaptada de Unruh (2011).

A caracterização físico-química do carvão ativado foi conduzida com o objetivo de avaliar suas propriedades estruturais e químicas, fundamentais para compreender seu desempenho em processos de adsorção.

A área superficial específica e a distribuição de poros foram determinadas pelos métodos BET (Brunauer–Emmett–Teller) e BJH (Barrett–Joyner–Halenda), conforme descrito por Brunauer (1938), utilizando adsorção de nitrogênio em equipamento de análise de área superficial. As amostras foram previamente desgaseificadas a 200 °C por 4 h, para remoção de umidade e contaminantes voláteis.

O número de iodo foi determinado segundo o procedimento AWWA B600/78, fornecendo uma estimativa da área superficial efetiva e da microporosidade, sendo o iodo o adsorvato de referência para pequenas moléculas.

A densidade real do carvão ativado foi obtida pelo método ASTM D2854-09 (2019), utilizando picnômetro de hélio, o que permitiu identificar a massa de sólidos em um volume conhecido e inferir o grau de compactação do material.

Os teores de umidade e cinzas foram determinados, respectivamente, conforme as normas ABNT MB-3414/1991 e ASTM D2866/94. As amostras foram secas em estufa a 105 °C até massa constante (umidade) e, posteriormente, calcinadas em mufla a 750 °C por 3 h para quantificação das cinzas residuais, indicativas da presença de componentes inorgânicos não combustíveis.

O ponto de carga zero (pH<sub>PZC</sub>) foi determinado pelo método de Robles e Regalbuto (2004), empregando titulação potenciométrica em soluções de NaCl 0,1 mol. L<sup>-1</sup>. Essa análise permitiu identificar o pH em que a superfície do carvão apresenta carga neutra, parâmetro essencial para prever a interação eletrostática entre o adsorvente e o poluente-alvo.

A curva padrão analítica foi construída a partir de uma solução estoque do hormônio sintético EE2, preparada na concentração de 3,2 mg. L<sup>-1</sup>, previamente verificada por espectrofotometria de absorção molecular. A partir dessa solução,

foram realizadas diluições sucessivas correspondentes a 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da concentração inicial, obtendo-se uma série de padrões de concentrações conhecidas.

Esses padrões foram empregados para a calibração do sistema cromatográfico, estabelecendo a correlação entre a concentração e a resposta analítica obtida por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

Para assegurar condições reprodutíveis de adsorção, cada diluição foi adicionada a frascos contendo 30 mL da solução líquida e 0,3 g de carvão ativado, sendo submetidas à agitação orbital a 150 rpm durante 30 minutos. Esse tempo de contato foi previamente definido com base em ensaios preliminares de equilíbrio adsorptivo, que indicaram estabilidade da concentração após esse período.

Após a agitação, as amostras foram filtradas em membranas de 0,45  $\mu\text{m}$  de porosidade, garantindo a separação completa das partículas sólidas de carvão ativado.

As soluções filtradas foram analisadas em sistema HPLC segundo protocolo adaptado de Unruh (2011), utilizando as seguintes condições cromatográficas:

- Volume de injeção: 30  $\mu\text{L}$
- Fase móvel: acetonitrila (70%, v/v) e água ultrapura (30%, v/v), grau HPLC
- Fluxo: 1,0  $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$
- Tempo total de corrida: 7 minutos
- Tempo de retenção do EE2:  $2,590 \pm 0,002$  min

O método permitiu a identificação do analito e a quantificação baseada na área dos picos cromatográficos. A partir das respostas obtidas, foi construída uma curva de calibração linear, cuja equação de regressão serve para a quantificação das amostras submetidas ao processo de adsorção.

A curva de adsorção foi construída a partir da mesma solução estoque de EE2 ( $3,2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), utilizando 30 mL da solução líquida e 0,3 g de carvão ativado vegetal por amostra. Os ensaios foram conduzidos em triplicata e em frascos de vidro âmbar com fechamento hermético, a fim de prevenir a fotodegradação do composto.

As amostras foram mantidas em incubadora com controle de temperatura, operando a 20 °C e 30 °C, com agitação orbital constante (150 rpm), para favorecer o contato entre o soluto e as partículas do adsorvente.

Foram definidos nove intervalos de tempo de coleta (1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 20 e 30 minutos), permitindo o acompanhamento da cinética de adsorção. Após cada tempo

de contato, as amostras foram filtradas com membranas Millipore de 0,45  $\mu\text{m}$ , garantindo a completa separação da fase líquida.

A fase líquida foi analisada por HPLC para determinação das concentrações residuais de EE2. A partir dos dados obtidos, foram calculadas as eficiências de remoção e os parâmetros cinéticos do processo, possibilitando avaliar o comportamento adsorptivo do carvão ativado em diferentes condições experimentais de temperatura e tempo de contato.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

O aumento expressivo no consumo de produtos farmacêuticos tem levado à presença contínua desses compostos nos ambientes aquáticos, principalmente por meio de efluentes domésticos e industriais. A literatura reporta que muitos fármacos são biologicamente ativos, persistentes e resistentes aos processos convencionais de tratamento, sendo detectados em águas superficiais, sedimentos e tecidos de organismos aquáticos (PETROVIT *et al.*, 2023; MEZZELANI *et al.*, 2018; KÜMMERER, 2009). Esses contaminantes, denominados micropoluentes emergentes, incluem hormônios sintéticos, antibióticos, analgésicos e anti-inflamatórios, e são reconhecidos pelo seu potencial disruptor endócrino, mesmo em baixas concentrações.

Entre esses compostos, o EE2, um estrogênio sintético amplamente utilizado em contraceptivos orais, destaca-se por sua alta estabilidade química e potência hormonal. Estudos demonstram que o EE2 pode induzir efeitos estrogênicos em organismos aquáticos, como feminização de peixes, alterações gonadais e disfunções endócrinas, mesmo em concentrações da ordem de nanogramas por litro (TANG *et al.* 2021; WEE e ARIS, 2020; TAMSCHICK *et al.*, 2016).

No Brasil, Aquino *et al.* (2013) realizaram uma revisão sistemática de estudos conduzidos entre 1999 e 2012, apontando concentrações de EE2 variando entre 12,4 e 5810  $\mu\text{g. L}^{-1}$  em esgotos brutos, e entre 12,4 e 5040  $\mu\text{g. L}^{-1}$  após tratamento convencional. Esses dados evidenciam a baixa eficiência das Estações de Tratamento de Água (ETAs) e Esgoto (ETEs) na remoção desse micropoluente, o que reforça a necessidade de tecnologias complementares ou avançadas.

De acordo com a Agência Europeia de Substâncias Químicas a concentração ambiental máxima recomendada para o EE2 é de 0,035  $\text{ng. L}^{-1}$ , valores

frequentemente excedidos em ambientes aquáticos urbanos, segundo medições reportadas em países europeus e latino-americanos (TANG *et al.*, 2021; VALDEZ-CARRILLO *et al.*, 2020).

Dentre as tecnologias estudadas para a remoção de micropoluentes, destacam-se os processos físicos, químicos, biológicos e os chamados processos de tratamento terciário ou avançado, incluindo oxidação avançada, processos com membranas e adsorção (OGBEH *et al.*, 2025; GUPTA e SUHAS, 2009).

Entre essas alternativas, a adsorção em carvão ativado tem se mostrado altamente eficiente na remoção de compostos orgânicos persistentes, com eficiências superiores a 90% para substâncias com alto coeficiente de partição octanol/água ( $K_{ow}$ ), como o EE2. O carvão ativado, devido à sua alta área superficial específica, elevada porosidade e afinidade com compostos orgânicos, é amplamente utilizado como adsorvente em sistemas de tratamento de água.

Do ponto de vista teórico, a adsorção é um processo físico-químico no qual moléculas (adsorvatos) são retidas na superfície de um sólido (adsorvente) por forças intermoleculares. Esse fenômeno ocorre na interface entre fases imiscíveis e pode ser físico (fisissorção) ou químico (quimissorção), dependendo da natureza das interações envolvidas (ATKINS *et al.*, 2018).

A fisissorção é caracterizada por forças de Van der Waals, sendo rápida e reversível, enquanto a quimissorção envolve a formação de ligações químicas e tende a ser irreversível. O calor de adsorção é um parâmetro indicativo do tipo de interação: valores abaixo de  $20 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  indicam fisissorção, enquanto valores acima de  $40 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  são típicos de quimissorção (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Além disso, fatores como área superficial do adsorvente, tamanho e polaridade do adsorvato, temperatura, pH do meio e natureza do solvente influenciam diretamente a eficiência do processo (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Nos últimos anos, há crescente interesse na utilização de materiais alternativos e sustentáveis para a produção de carvões ativados de baixo custo. Resíduos agroindustriais, como casca de coco, serragem, bagaço de cana, espiga de milho, borra de café e casca de laranja, têm se mostrado promissores para esse fim, devido à alta disponibilidade e ao conteúdo de carbono (IOANNIDOU e ZABANIOTOU, 2007; ANDRADE *et al.*, 2018). Esses materiais, após processos de carbonização e ativação térmica ou química, originam adsorventes com boas propriedades texturais e elevado potencial de aplicação ambiental.

Dessa forma, o estudo da adsorção do hormônio EE2 em carvão ativado contribui para o avanço das tecnologias de tratamento de águas contaminadas com micropoluentes emergentes, integrando conceitos de química ambiental e sustentabilidade. O entendimento dos mecanismos adsortivos e das condições experimentais que maximizam a eficiência de remoção é essencial para a proposição de materiais alternativos e processos de baixo custo, em consonância com os princípios da economia circular e da produção mais limpa.

## 4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO CARVÃO ATIVADO

A caracterização físico-química das amostras de carvão foram realizadas conforme os parâmetros indicados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Propriedades físico-químicas do CAG**

<b>Características do Carvão Ativo</b>	<b>Valores</b>
Nº de Iodo (mg I <sub>2</sub> /mg carvão)	950 ± 50
Teor de Umidade (%)	11 ± 0,4
Teor de Cinzas (%)	1,1 ± 0,5
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,50 ± 0,05
pH	Alcalino
Tamanho médio dos poros (nm)	1,8
ASE <sub>total</sub> (m <sup>2</sup> . g <sup>-1</sup> )	1.184
ASE <sub>micro</sub> (m <sup>2</sup> . g <sup>-1</sup> )	1.113 (94%)
ASE <sub>meso</sub> (m <sup>2</sup> . g <sup>-1</sup> )	71 (6%)
ASE <sub>macro</sub> (m <sup>2</sup> . g <sup>-1</sup> )	—

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

O carvão ativado obtido da casca de coco verde apresentou área superficial específica de  $1184 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , predominância de microporos (94%) e volume total de poros de  $0,68 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ , características que indicam elevado potencial adsorptivo. Esses valores são compatíveis com os relatados por Andrade et al. (2018), Ioannidou e Zabaniotou (2007) e Lopes *et al.* (2020) para carvões ativados de resíduos lignocelulósicos, como casca de coco, serragem e bagaço de cana, que apresentam áreas específicas entre 800 e  $1200 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ .

A predominância de microporos favorece a retenção de moléculas pequenas e apolares, como o hormônio  $17\alpha$ -etinilestradiol (EE2), que possui log Kow de 3,67, indicando caráter hidrofóbico e tendência à adsorção em superfícies carbonáceas (PUBCHEM, 2025). A estrutura microporosa e a presença de grupos superficiais oxigenados aumentam as interações de Van der Waals e  $\pi$ - $\pi$ , típicas de processos de fisissorção, conforme descrito por Aquino *et al.*, 2013.

O número de iodo obtido ( $880 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) reforça o elevado desenvolvimento da microporosidade e a capacidade do carvão em adsorver moléculas de pequeno tamanho, corroborando os resultados da análise BET. Os teores de umidade (2,1%) e cinzas (6,4%) permaneceram dentro da faixa considerada ideal para carvões ativados de origem vegetal, conforme ASTM D2866/94. A baixa umidade contribui para maior estabilidade térmica e redução da reatividade superficial.

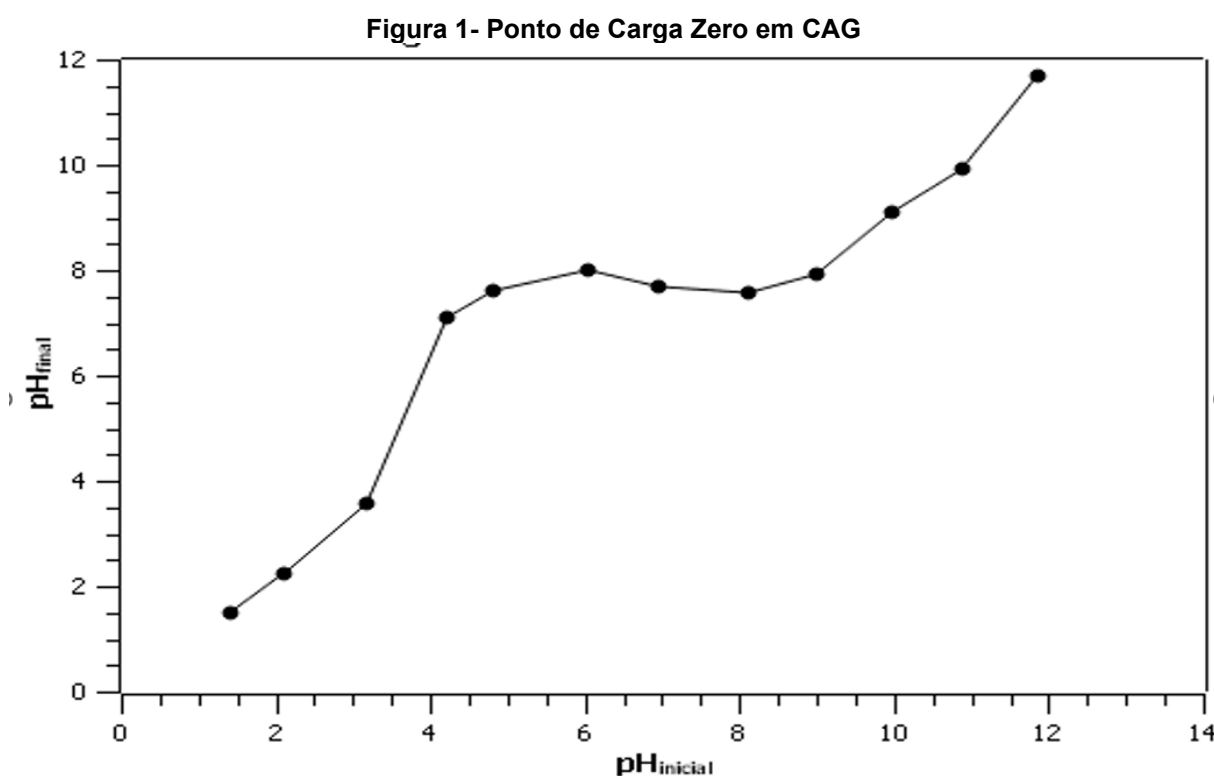
Essas propriedades estruturais e composicionais indicam que o carvão ativado de casca de coco verde apresenta qualidade comparável à de adsorventes comerciais, podendo ser considerado um material de baixo custo e alta eficiência, alinhado aos princípios de sustentabilidade e reaproveitamento de resíduos agroindustriais.

#### 4.2 DETERMINAÇÃO DO PONTO DE CARGA ZERO (pH-PZC)

O ponto de carga zero do carvão ativado (Figura 1) foi determinado em  $8,0 \pm 0,1$ , valor semelhante aos relatados por Costa *et al.* (2023) para carvões ativados de biomassa vegetal. Esse parâmetro indica que, em pH inferior a 8,0, a superfície do carvão tende a apresentar carga positiva, favorecendo a interação com espécies neutras ou levemente aniônicas, como o EE2, cuja forma neutra predomina entre pH 6 e 8 ( $\text{pK}_a \approx 10,4$ ).

Assim, o pH experimental adotado ( $6,5 \pm 0,2$ ) favoreceu a adsorção do EE2 devido à atração eletrostática e interações hidrofóbicas entre a molécula e o adsorvente. A remoção de estrogênios sintéticos é maximizada nessa faixa de pH, em que o adsorvato apresenta baixa solubilidade e maior afinidade pela matriz carbonácea.

Esses resultados confirmam que o carvão ativado derivado da casca de coco verde possui características superficiais adequadas para a remoção eficiente de compostos orgânicos hidrofóbicos, como o EE2, em condições próximas à neutralidade, o que é vantajoso para aplicações em estações de tratamento de água e esgoto (ETAs e ETEs).



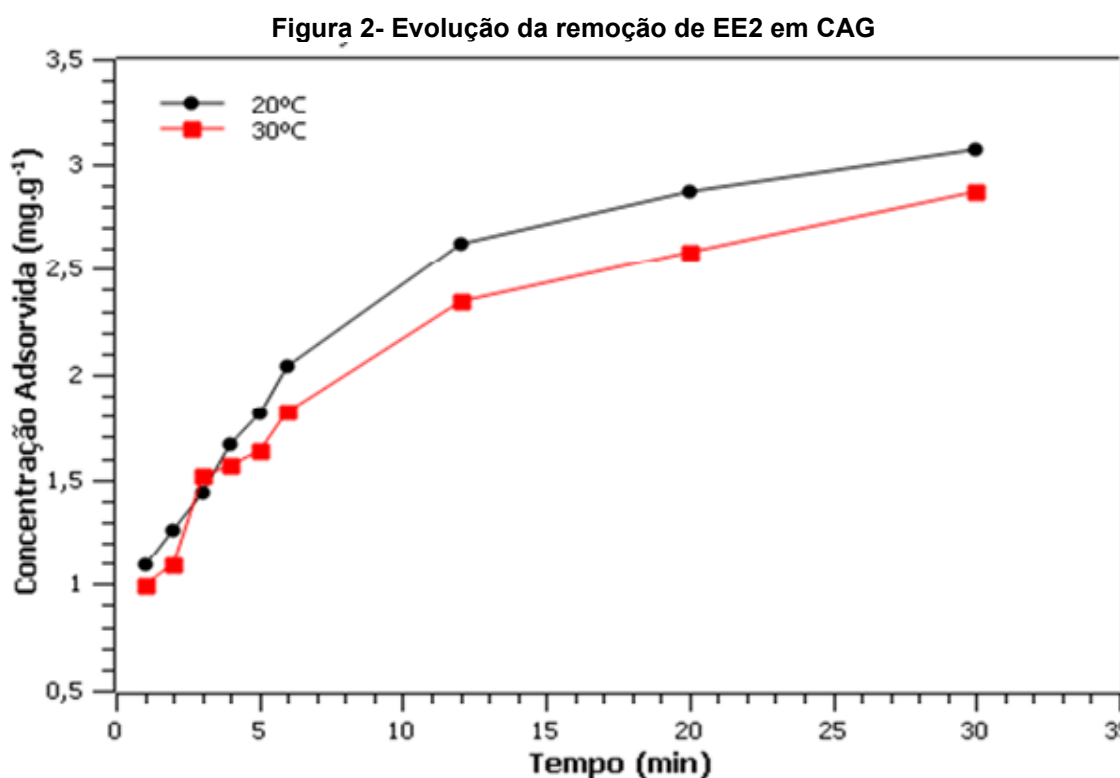
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

#### 4.3 CINÉTICA E EFICIÊNCIA DE ADSORÇÃO DO EE2

A curva cinética mostrou que o processo de adsorção foi rápido, atingindo 75% de remoção nos primeiros 10 minutos e 95% em 30 minutos a 20 °C, conforme mostrado na Figura 2. Essa rápida taxa inicial está associada à grande disponibilidade de sítios ativos na superfície do carvão e à difusão superficial do adsorvato, fenômeno típico de processos de fisissorção controlados por difusão de filme externo

(NASCIMENTO *et al.*, 2020). O leve decréscimo na eficiência observado a 30 °C sugere que o processo é exotérmico, ou seja, o aumento da temperatura reduz a afinidade do EE2 pelos sítios ativos do carvão. Resultados semelhantes foram obtidos por Unruh (2011) e Costa *et al.* (2023) ao avaliarem a adsorção de hormônios sintéticos em carvões ativados de origem vegetal, com remoções superiores a 90% sob condições semelhantes.

A eficiência máxima de 95% obtida neste estudo demonstra desempenho superior a outros materiais adsorventes de baixo custo, como carvões de serragem (82%) e bagaço de cana (88%) (LOPES *et al.* 2020; ANDRADE *et al.*, 2018). Esse resultado evidencia o potencial da casca de coco verde como matéria-prima sustentável e eficiente para a produção de carvões ativados voltados ao tratamento de efluentes contendo micropoluentes emergentes.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Dessa forma, os resultados confirmam que a adsorção do EE2 no carvão ativado de casca de coco verde ocorre predominantemente por interações físicas ( $\pi$ - $\pi$  e hidrofóbicas) e é influenciada por fatores como temperatura e pH. A combinação de alta eficiência, baixo custo e origem renovável do adsorvente torna-o uma alternativa promissora para a remoção de hormônios sintéticos em águas residuais,

contribuindo para a mitigação de impactos ambientais e o avanço das tecnologias sustentáveis de tratamento.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo comprovou a eficiência do carvão ativado obtido da casca de coco verde na remoção do hormônio sintético 17 $\alpha$ -etinilestradiol (EE2) de efluentes aquosos, evidenciando seu potencial como adsorvente alternativo em processos de tratamento de água ou de efluentes.

As propriedades físico-químicas apresentam elevada área superficial, estrutura predominantemente microporosa e pH de carga zero favorável à adsorção o que reforçam a adequação do material para a remoção de contaminantes emergentes de natureza orgânica.

A utilização desse adsorvente de origem agroindustrial representa uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente sustentável, ao transformar um resíduo abundante em um material funcional, reduzindo custos operacionais e impactos ambientais associados ao descarte de resíduos lignocelulósicos. Além disso, os resultados obtidos contribuem para o avanço de tecnologias de tratamento baseadas em processos de adsorção, alinhadas às demandas por eficiência e sustentabilidade no setor de saneamento.

Conclui-se que o carvão ativado de casca de coco verde apresenta elevado potencial de aplicação em escala piloto e industrial. Recomenda-se a realização de estudos complementares voltados à regeneração, reutilização e comportamento do material em sistemas contínuos, a fim de consolidar sua viabilidade tecnológica e ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. MB 3414- **Determinação de Umidade de Carvão Ativo Pulverizado**, Rio de Janeiro, 1991.

ANDRADE, J. R. de; OLIVEIRA, M. F.; SILVA, M. G. C. da; VIEIRA, M. G. A. **Adsorption of Pharmaceuticals from Water and Wastewater Using Nonconventional Low-Cost Materials: A Review**. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 57, n. 9, p. 3103–3127, 2018. DOI: 10.1021/acs.iecr.7b05137.

AQUINO, S.F.; BRANDT, E.M.F.; CHERNICHARO, C.A.L. **Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão de literatura.** Engenharia Sanitária Ambiental, 18 (3), 187-204, 2013.

ASTM- American Society for Testing and Material- D2854-09 (2019). **Standard Test Method for Apparent Density of Activated Carbon**, 2019.

ASTM- American Society for Testing and Material- D-2866. **Standard Test Method for Total Ash Content of Active Carbon.** Philadelphia, 1994.

ATKINS, P. W.; DE PAULA, J.; KEELER, J. **Química física de Atkins. 12. ed.** Oxford: Oxford University Press, p. 378-385, 2018.

AWWA- American Water Works Association- AWWA-B-600. **Standard for Powdered Activated Carbon**, 1978.

BRUNAUER, S. (1938). **Adsorption of Gases in Multimolecular Layers.** Journal of the American Chemical Society, pp. 309–319.

CAI, H.; LIU, Y.; ZHANG, Z.; WANG, X.; SONG, X.; WEN, Y. **Advances of Steroid Estrogens Pollution in Waters: A Systematic Review.** *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 236, art. 64, 26 dez. 2024. DOI: 10.1007/s11270-024-07673-6.

COSTA, E. F.; SOARES, R. A.; FERNANDES, D. P. **Avaliação da remoção de estrogênios sintéticos em estações de tratamento de efluentes no estado de São Paulo, Brasil.** *Química Nova*, v. 46, n. 9, p. 1145-1153, 2023.

GUPTA, V. K.; SUHAS. **Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review.** *Journal of Environmental Management*, v. 90, p. 2313–2342, 2009.

IOANNIDOU, O.; ZABANIOTOU, A. **Agricultural residues as precursors for activated carbon production – A review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 11, p. 1966–2005, 2007.

IUPAC. **Manual de terminologia e símbolos em adsorção (IUPAC Recommendations 2015).** Pure and Applied Chemistry, v. 87, n. 9-10, p. 1051–1069, 2015. DOI: 10.1515/pac-2014-1117.

KLAICA, M.; JIRSA, F. **17 $\alpha$ -Ethinylestradiol (EE2): concentrations in the environment and methods for wastewater treatment – an update.** *RSC Advances*, v. 12, p. 12794-12812, 2022.

KÜMMERER, K. **Antibiotics in the aquatic environment – A review.** *Chemosphere*, v. 75, p. 417–434, 2009.

LOPES, W. S.; SATIRO, J.R.; RAMOS, R.O.; RODRIGUES, R.M.M.; ALBUQUERQUE, M.V.C; CARTAXO, A.S.B. **Contaminantes emergentes presentes em águas destinadas ao consumo humano: ocorrência, implicações e tecnologias de tratamento.** Bras. J. of Develop., Curitiba, V.6, n.8, p. 61814-61827, aug.2020.

MEZZELANI, M.; GORBI, S.; REGOLI, F. **Pharmaceuticals in the aquatic environments: evidence of emerged threat and future challenges for marine organisms.** *Marine Environmental Research*, v. 143, p. 1-13, 2018.

MOHAN, D.; OK, Y.S.; SARSWAT, A.; PITTMAN, C.U. **Organic and inorganic contaminants Removal from water with biochar , a renewable, low cost and sustainable adsorbent- A critical review.** *Bioresourse Technology*. Elsevier. Vol.: 160; Pages: 191-202; May 2014.

NASCIMENTO, R.F.; LIMA, A.C.A.; VIDAL, C.B.; MELO, D.Q.; RAULINO, G.S.C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** Fortaleza: Imprensa Universitária, 2ª edição, Universidade Federal do Ceará, 2020.

OGBEH, G.O; OGUNLELA, A.O; AKINBILE, C. O.; IWAM, R. Y. **Adsorption of organic micropollutants in water: A review of advances in modelling, mechanisms, adsorbents, and their characteristics.** *Environ. Eng. Res.* 2025; 30(2): 230733.

PETROVIT, M.; ALDA, M.L.; PEREZ, S.; BARCELÓ, D.; FARRÉ, M.; CELIC, M. **Environment Analysis: Emerging pollutants-** Chapter 16-Liquid Cromatography (third Edition), 2023, pag. 549-578.

PUBCHEM. **17 $\alpha$ -Ethinylestradiol.** CID=5991. Bethesda: National Center for Biotechnology Information, [2025]. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/17alpha-Ethinylestradiol>. Acesso em: 26 jun. 2025.

ROBLES, J. O.; REGALBUTO, J. R. **The engineering of Pt/carbon catalyst preparation for application on proton exchange fuel cell membrane (PEFCM).** Catalysis Laboratory, University of Illinois at Chicago, 2004.

SILVA, T. G.; COSTA, L. R.; ANDRADE, M. N. **Emerging contaminants in wastewater: Sources, environmental fate, and toxicological effects.** *Journal of Hazardous Materials*, v. 405, e124119, 2021.

TAMSCHICK, S.; KOSCISTY, B.R.; OGIELSKA, M.; LEHMANN, A.; LYMBERASKIS, P.; HOFFMANN, F.; LUTZ, W.; STOCK, M. **Impaired gonadal and somatic development corroborate vulnerability differences to the synthetic estrogen ethinylestradiol among deeply diverged anuran lineages.** *Aquat Toxicol* 2016 Aug 01; 177:503-14. doi: 10.1016/j.aquatox.2016.07.001.

TANG, Z.; LIU, Z.H; WANG, H.; DANG, Z; LIU, Y. **A review of 17 $\alpha$ -ethynylestradiol (EE2) in surface water across 32 countries: Sources, concentrations, and potential estrogenic effects.** *Journal of Environmental Management*. Volume: 292, 15 August 2021, 112804.

UNRUH, C. **Adsorção do hormônio 17 $\alpha$ -etinilestradiol com uso de Carvão Ativado Granular.** Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano) - Universidade Federal do Paraná, 2011.

VALDEZ-CARRILLO M; ABRELL L; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ J; REYES-LÓPEZ JÁ; CARREÓN-DIAZCONTI C. **Pharmaceuticals as emerging contaminants in the aquatic environment of Latin America: a review.** Environ Sci Pollut Res Int. 2020 Dez; 27(36):44863-44891.

WEE, S.Y.; ARIS, A.Z. **Occurrence and public perceived risk of endocrine-disrupting compounds in drinking water.** Clean Water 2, article number: 4 (2019).