

CARVÃO ATIVADO DE RESÍDUOS DE ALGODÃO: EFICIÊNCIA NA ADSORÇÃO E INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL PARA A ECONOMIA CIRCULAR DA INDÚSTRIA TÊXTIL

Sussuki, D. M. Y.¹, Stroher, G. R.², Lira, H. N. F.³, Stroher, G. L.⁴

^{1,2,3,4} Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Brasil
(diegomassayuki@alunos.utfpr.edu.br)

Resumo: Este estudo avaliou a conversão de resíduos de algodão em carvão ativado (CA). O rendimento obtido foi de 20% em relação à massa inicial da matéria-prima, valor compatível com os reportados para fibras têxteis, embora inferior aos de biomassas lignocelulósicas. A eficiência do CA foi avaliada na remoção de permanganato de potássio em solução aquosa, alcançando 99% de adsorção. Os resultados evidenciam o potencial do CA como adsorvente sustentável e de baixo custo para tratamento de efluentes, e a valorização de resíduos têxteis dentro da perspectiva da economia circular.

Palavras-chave: resíduos têxteis; tecido de algodão; carvão ativado; pirólise; adsorção de contaminantes

INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é considerada uma das mais impactantes ambientalmente, sendo responsável por aproximadamente 2% a 8% das emissões globais de gases de efeito estufa e pelo consumo de trilhões de litros de água por ano, o que evidencia sua elevada pegada hídrica e emissiva (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017; FLETCHER; THAM, 2019). Segundo Kant (2012), cerca de 20% da poluição global de água doce decorre das atividades têxteis, especialmente devido ao uso intensivo de corantes e produtos químicos nos processos de tingimento e acabamento, comprometendo a qualidade da água e afetando ecossistemas aquáticos.

No contexto brasileiro, o descarte de resíduos têxteis por domicílios alcança cerca de 4 milhões de toneladas anuais, o que equivale a aproximadamente 44 kg por residência (AGÊNCIA BRASIL, 2025). Essa geração de resíduos ocorre não apenas na etapa de consumo, mas também durante o processo produtivo, em que entre 15% e 20% do material é rejeitado já na fase de corte, resultando em aparas e sobras frequentemente não reaproveitadas (ABIT, 2024). Em escala global, o modelo de produção e consumo acelerado promovido pelo *fast fashion* intensifica esse cenário, gerando até 92 milhões de toneladas de resíduos têxteis por ano, dos quais menos de 1% são reciclados em novos produtos (BICK; HALSEY; EKENGA, 2018).

A produção de uma única camiseta de algodão demanda cerca de 2.700 litros de água, volume suficiente para suprir as necessidades diárias de uma pessoa por aproximadamente dois anos e meio (WWF,

2019). Na União Europeia, em 2020, a indústria têxtil foi responsável por impactos ambientais significativos, incluindo o uso de 9 m³ de água, 400 m² de terra e 391 kg de matérias-primas por habitante (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2021). Além disso, a lavagem de roupas sintéticas, como as de poliéster, contribui para a liberação de até 700 mil microfibras por carga de lavagem, resultando em mais de 550 mil toneladas de microplásticos nos oceanos anualmente (BROWNE *et al.*, 2011; NAPPER; THOMPSON, 2016).

A complexidade dos tecidos, como as misturas de algodão com poliéster ou elastano, aliada à ausência de políticas eficazes de gestão, dificulta a circularidade dos materiais e favorece o descarte inadequado (NIINIMÄKI *et al.*, 2020). Menos de 50% das peças usadas são coletadas para reutilização ou reciclagem, e apenas 1% são recicladas em novos produtos têxteis, o que evidencia a necessidade urgente de aprimoramento dos sistemas de gestão de resíduos e de promoção da economia circular (SUSSUKI *et al.*, 2025).

Além dos resíduos sólidos, a indústria têxtil é responsável pela geração de efluentes altamente contaminantes, especialmente nos processos de tingimento. Esses efluentes contêm corantes sintéticos residuais, metais pesados e outros compostos químicos que dificultam a autodepuração dos corpos d'água e podem causar impactos ecológicos e toxicológicos significativos ao meio ambiente e à saúde humana (HOLKAR *et al.*, 2016). Entre as técnicas de tratamento de efluentes, o carvão ativado destaca-se por sua elevada eficiência na remoção de

corantes e compostos orgânicos, devido à sua alta área superficial e porosidade, que favorecem a adsorção de moléculas poluentes em meio aquoso (FREITAS *et al.*, 2025). Quando produzido a partir de resíduos têxteis, o carvão ativado representa uma solução duplamente sustentável, pois além de contribuir para o tratamento de efluentes, promove o reaproveitamento de resíduos sólidos (SILVA *et al.*, 2022; GUPTA; SUHAS, 2009).

Diante desse cenário, torna-se essencial pesquisa científica que desenvolvam alternativas sustentáveis voltadas à mitigação dos impactos ambientais da indústria têxtil. O uso de resíduos de algodão para produção de carvão ativado, como proposto neste estudo, insere-se na perspectiva de design circular e inovação sustentável.

MATERIAL E MÉTODOS

O tecido de algodão não tingido foi coletado no município de Apucarana, Estado do Paraná, Brasil. A matéria-prima foi acondicionada em latas metálicas de 330 mL e submetida ao processo de carbonização em mufla *Jung, LF0212*, a uma temperatura constante de 550 °C por 5 horas até a obtenção do carvão de algodão (CA). As massas inicial e final foram registradas para cálculo do rendimento do CA.

Após a carbonização, o material foi triturado e homogeneizado liquidificador *Oster, OBLD750*, sendo posteriormente armazenado em frasco hermético. Para avaliação da eficiência do CA, realizaram-se experimentos comparativos utilizando carvão ativado comercial (CC) como referência. Ambos os adsorventes foram submetidos a pré-tratamento de secagem em estufa *New Lab, AR NL 82-150*, a 105 °C por 5 horas.

Os ensaios de adsorção foram realizados com solução aquosa de permanganato de potássio (KMnO_4) 0,5 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. Massas distintas de CA (0,2500 g; 0,1250 g; 0,0625 g; 0,0300 g e 0,0150 g) foram adicionadas a tubos *Falcon* de 25 mL contendo 10,00 mL da solução de KMnO_4 . Cada condição experimental foi preparada em triplicata.

Após agitação inicial, os tubos foram mantidos em repouso por 72 horas para permitir a decantação natural do carvão. Em seguida, as amostras foram submetidas à centrifugação em centrífuga *Quimis, Q222T*, por 40 minutos a 3200 rpm.

As análises espectrofotométricas foram realizadas em espectrofotômetro (*dual beam*), *Cary 60, Agilent Technologies*. As amostras foram acondicionadas em cubetas de vidro de 10 mm, e as leituras foram efetuadas no comprimento de onda de 526 nm. Para caracterização espectral, foram realizadas varreduras na faixa de 400 a 800 nm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento de produção de carvão a partir do algodão (CA) obtido neste estudo foi de 20% em relação à massa da matéria-prima. Esse valor encontra-se dentro da faixa reportada para fibras têxteis, como misturas de algodão/poliéster (17–22%) e resíduos de algodão tratados com carvão de acácia ($\approx 25\%$) (Rizwan *et al.*, 2024; Jalgaonkar *et al.*, 2025; Sussuki *et al.*, 2024), enquanto biomassas lignocelulósicas como paletes (39%) e eucalipto (45–55%) apresentam valores superiores (Freitas *et al.*, 2025). Souza *et al.* (2024) reportou rendimento de 46% para carvão obtido de favo de mel, confirmando que matérias-primas não têxteis tendem a oferecer maior eficiência de carbonização.

O espectro obtido da solução de permanganato de potássio pode ser visualizado na figura 1.

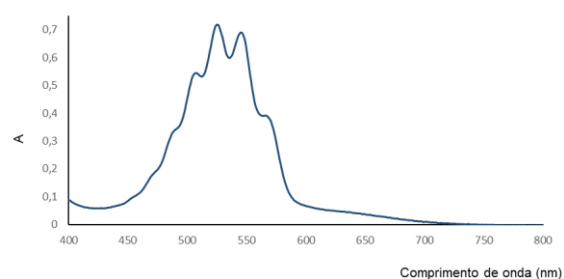


Figura 1. Espectro de permanganato de potássio.

Fonte: Autoria própria (2026).

O resultado da Figura 1 mostrou que o melhor comprimento de onda para as quantificações corresponde a 526 nm.

A quantificação da solução inicial em relação a quantidade de CA adicionada nos experimentos de adsorção, conforme mostra a figura 2 mostrou que 0,25 g de CA são suficientes para adsorver 99 % da solução de permanganato de potássio estudada neste trabalho.

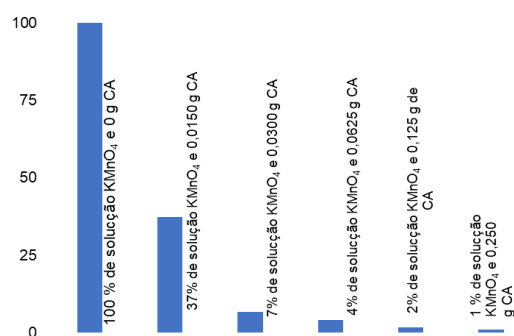
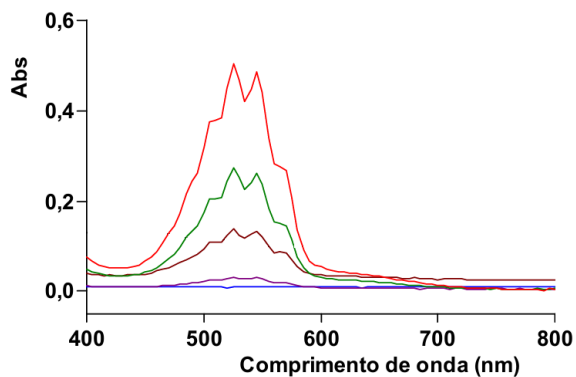


Figura 2. Porcentagem de solução de KMnO_4 não adsorvida em relação a massa de CA nos experimentos.

Fonte: Autoria própria, 2025.

A figura 3 mostra de forma comparativa a diminuição de KMnO_4 em função do aumento da massa de CA adicionada.



A eficiência observada sugere que o CA pode ser considerado um material promissor para aplicações em processos de tratamento de água e efluentes, especialmente em contextos que demandam soluções de baixo custo e alta sustentabilidade.

Adicionalmente, o fato de o CA ser derivado de um resíduo têxtil de biomassa — o algodão — reforça seu potencial como alternativa ecológica frente a adsorventes sintéticos ou convencionais.

Contudo, a elevada taxa de remoção com uma quantidade mínima de adsorvente indica que o sistema apresenta uma excelente relação custo-benefício, o que pode viabilizar sua aplicação em escala industrial, desde que sejam avaliadas variáveis como regeneração do material, seletividade frente a outros contaminantes e estabilidade ao longo de múltiplos ciclos de uso.

CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a conversão de resíduos têxteis de algodão em carvão ativado (CA) representa uma estratégia eficaz e sustentável para o aproveitamento de materiais tradicionalmente descartados. A remoção de aproximadamente 99% do KMnO_4 com apenas 0,25 g de CA evidencia o elevado desempenho do material, reforçando seu potencial como alternativa de baixo custo e alta eficiência para o tratamento de efluentes.

A relevância desses resultados transcende o aspecto técnico: ao transformar um resíduo abundante e de baixo valor econômico em um produto funcional, promove-se a economia circular e agrega-se valor a um material antes considerado inútil. Essa abordagem contribui diretamente para a mitigação de impactos ambientais, ao mesmo tempo em que abre oportunidades para aplicações industriais e comunitárias em larga escala.

A simplicidade do processo de produção, aliada à ampla disponibilidade da matéria-prima, torna esta solução especialmente atrativa em contextos que buscam sustentabilidade e inovação. Como perspectivas futuras, recomenda-se expandir os estudos para avaliar a eficiência do carvão ativado frente a diferentes contaminantes orgânicos e inorgânicos, bem como investigar sua estabilidade e capacidade de regeneração em múltiplos ciclos de uso.

Em síntese, a reciclagem de resíduos têxteis de algodão em carvão ativado não apenas oferece uma alternativa tecnológica viável para o tratamento de efluentes, mas também representa um caminho estratégico para agregar valor econômico a materiais desprezados, consolidando-se como uma prática alinhada aos princípios da sustentabilidade e da economia circular.

AGRADECIMENTOS

Laboratório Multiusuário de Apoio à Pesquisa do Campus Apucarana (LAMAP). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASIL. Resíduos têxteis no Brasil. Brasília, 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). Relatório anual da indústria têxtil e de confecção. São Paulo, 2024.
- BICK, R.; HALSEY, E.; EKENGA, C. C. The global environmental injustice of fast fashion. *Environmental Health*, v. 17, n. 92, p. 1-4, 2018.
- BROWNE, M. A. et al. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, v. 45, n. 21, p. 9175-9179, 2011.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. A new textiles economy: redesigning fashion's future. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2017.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Textiles and the environment: the role of design in Europe's circular economy. Copenhagen: EEA, 2021.
- FLETCHER, K. Sustainable fashion and textiles: design journeys. 2. ed. London: Routledge, 2014.
- FLETCHER, K.; THAM, M. Earth Logic: fashion action research plan. London: The JJF, 2019.
- FREITAS, J. J.; STRÖHER, G. R.; STRÖHER, G. L. Sustainable solutions: the potential of coal adsorption from discarded pallet. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, v. 17, p. e7136, 2025.



GUPTA, V. K.; SUHAS. Application of low-cost adsorbents for dye removal – a review. *Journal of Environmental Management*, v. 90, n. 8, p. 2313-2342, 2009.

HOLKAR, C. R. et al. A critical review on textile wastewater treatments: possible approaches. *Journal of Environmental Management*, v. 182, p. 351-366, 2016.

JALGAONKAR, S.; PATIL, R.; KUMAR, V. Pyrolytic conversion of polyester-cotton blends into biochar: yield and characterization. *Waste Management*, v. 165, p. 112–123, 2025.

KANT, R. Textile dyeing industry: an environmental hazard. *Natural Science*, v. 4, n. 1, p. 22-26, 2012.

NAPPER, I. E.; THOMPSON, R. C. Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, v. 112, n. 1-2, p. 39-45, 2016.

NIINIMÄKI, K. et al. The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, v. 1, p. 189-200, 2020.

RIZWAN, M.; KHAN, A.; AHMED, S. Valorization of cotton textile waste through pyrolysis for biochar production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 12, n. 3, p. 456–468, 2024.

SILVA, T. H. G.; STRÖHER, G. R.; STRÖHER, G. L. Casca de coco verde na produção de carvão vegetal ativado. *International Journal of Development Research*, v. 12, p. 57655, 2022.

SOUZA, L. O. B. et al. Transformação de favo de mel em carvão. In: XIV Seminário de Extensão e Inovação & XXIX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR – SEI/SICITE 2024, Francisco Beltrão. Anais [...]. Francisco Beltrão: UTFPR, 2024.

SUSSUKI, D. M. Y.; STRÖHER, G. R.; STRÖHER, G. L. Valorização de resíduos têxteis: transformação de poliéster em carvão ativado. In: V Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia (CoBICET), 2024, online. Anais [...]. 2024a, v. 1, p. 1.

SUSSUKI, D. M. Y. et al. Análise de Isoterma de Langmuir e Freundlich: transformação de algodão em carvão ativado. In: VI Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia (CoBICET), 2025, Apucarana. Anais [...]. Apucarana: CoBICET, 25-29 ago. 2025. Trabalho completo.

WORLD WILDLIFE FUND (WWF). The impact of cotton on freshwater resources and ecosystems. Gland: WWF, 2019.