

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO À BASE DE CASCA DE CASTANHA-DO-PARÁ PARA REMOÇÃO DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO EM EFLUENTES AQUOSOS

L. S. Jesus¹; M. E. Santos¹; M. di Domenico², C.Z. Brusamarello², L.A. Lerin³, S. M. de Amorim¹; L. Batistella¹

¹Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, Brasil

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Brasil

³Università degli Studi di Ferrara, Ferrara, Itália

A casca de castanha do Pará, resíduo gerado após o beneficiamento das amêndoas, pode ser aplicada na adsorção de fármacos. Portanto, o descarte pode ser reavaliado como um coproduto de valor econômico. Para produção do carvão ativado foi aplicado o Delineamento Composto Central 2³ para avaliar a influência da razão de impregnação de ZnCl₂:biomassa, temperatura de pirólise e taxa de aquecimento. Os resultados na análise estatística mostraram que os parâmetros temperatura e taxa de aquecimento tiveram seus efeitos significativos, para um nível de confiança de 90%.

Palavras-chave: Castanha-do-Pará, carvão ativado, fármaco.

INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento industrial e populacional nas últimas décadas tem contribuído significativamente para o aumento da emissão de poluentes no meio ambiente, entre eles estão os fármacos. A presença desses contaminantes em ambientes aquáticos constitui uma preocupação emergente. Podem estar presentes em concentrações traço em águas superficiais, águas residuárias municipais, efluentes provenientes de hospitais e de criação de animais (Narloch et al. 2025). Os fármacos podem interferir na fisiologia, metabolismo e comportamento da biota aquática, além de representar riscos potenciais à saúde humana (Silva, 2017).

Diante desse cenário, técnicas de tratamento avançadas têm sido investigadas, entre as quais destaca-se a adsorção (Korol et al. 2026), um processo físico-químico em que os contaminantes são retidos na superfície de um material sólido. Esse fenômeno ocorre por meio de etapas sucessivas de transporte, incluindo a difusão do adsorvato até os poros do adsorvente, onde se fixam, sendo mais eficiente quando se utilizam materiais com alta área superficial e estrutura porosa adequada (Nascimento et al., 2020). Fatores como área superficial específica, estrutura porosa, grupos funcionais presentes no adsorvente e propriedades do adsorvato como massa molar, solubilidade e polaridade influenciam diretamente na eficácia do processo (Piazza et al., 2023).

O carvão ativado é amplamente reconhecido como o adsorvente mais eficiente para a remoção de compostos orgânicos, devido à sua alta área superficial, grande volume de poros e presença de grupos funcionais oxigenados (Liu et al., 2021). Contudo, o elevado custo das matérias-primas tradicionais utilizadas em sua produção torna sua aplicação em larga escala economicamente limitada. Nesse contexto, o aproveitamento de resíduos agroindustriais como alternativa sustentável para a produção de carvão ativado tem ganhado destaque. Esses materiais, além de serem economicamente viáveis, estão amplamente disponíveis, promovendo o reaproveitamento de subprodutos da cadeia produtiva (Qu et al., 2016). A casca da castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), por exemplo, representa cerca de 90% da massa total do fruto e é considerada um resíduo abundante na região amazônica (Souza e Silva, 2021).

Considerando os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de fármacos e a necessidade de soluções tecnológicas eficazes e sustentáveis, este estudo propõe a produção de carvão ativado a partir da casca de castanha-do-pará e a avaliação de sua eficiência na adsorção do ácido acetilsalicílico (AAS) em meio aquoso.

¹Unifesspa, luyane.sousa@unifesspa.edu.br

MATERIAL E MÉTODOS

Preparo da Biomassa

A biomassa utilizada neste estudo foi composta por cascas de castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*), coletadas como resíduo agroindustrial na zona rural do município de Marabá, Pará. As cascas foram limpas manualmente para remoção de resíduos aderidos, lavadas com água corrente e, posteriormente, com água destilada. O material foi seco em estufa a 100 °C por 4 horas, triturado em moinho de facas. Em seguida, foram peneiradas utilizando a série de peneiras Tyler para alcançar a granulometria entre 60 e 100 MESH (250 e 149 µm, respectivamente).

Preparo do carvão ativado

Para a produção dos carvões ativados com a casca de castanha, foi utilizado um Delineamento Composto Central (DCC) ²³, com três fatores, em dois níveis de intensidade (-1, +1) com triplicata no ponto central, obtendo como resposta do planejamento a remoção do fármaco ácido acetilsalicílico. Os experimentos foram realizados em triplicata, permitindo a determinação do erro experimental e avaliação da reprodutibilidade dos dados. Os fatores avaliados foram a proporção entre o agente ativante (ZnCl₂) e precursor (casca de castanha), a temperatura de pirólise e taxa de aquecimento do forno de pirólise, conforme apresentado na Tabela 1.

Para o tratamento químico, 10 g de casca de castanha foram adicionados a uma solução contendo ZnCl₂ (Êxodo Científica), nas proporções de 0,25:1, 0,5:1 e 0,75:1 (m_{ZnCl₂}/m_{casca castanha}). A mistura foi mantida sob agitação orbital (150 rpm) durante 3 horas à 25°C, posteriormente filtradas e secas em estufa a 100 °C durante 4 horas. As amostras foram submetidas à pirólise em mufla sob atmosfera de N₂, empregando temperaturas de 700, 850 e 1000 °C e taxas de aquecimento da pirólise a 5, 10 e 15 °C/min. Após atingirem a temperatura programada, as amostras permaneceram sob aquecimento por 1 hora. Em seguida, foram retiradas do forno e mantidas em dessecador para resfriar até temperatura ambiente. Os carvões foram tratados com 50 mL de solução de HCl 1,0 mol/L sob agitação orbital (150 rpm) durante 1 hora a 25°C. As amostras foram lavadas com água destilada até que o pH das soluções de lavagem atingisse valores próximos de 7,0. O material final foi seco e armazenado em recipiente hermético até sua caracterização e aplicação nos testes de adsorção. Após, os carvões foram submetidos a secagem a 100 °C em estufa durante 24 h e por fim o material foi cominuído e peneirado assegurando tamanho de partículas de 60 a 100 MESH.

Caracterização dos carvões

A castanha do Pará *in natura* e dos carvões ativados C-01, C-07, C-19 e C-26 foram caracterizados quanto a morfologia superficial, em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) (Zeiss, modelo EVO MA 15) do Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais – CMCM da UTFPR-CT.

Tabela 1: Planejamento 2³ com ponto central para carbonização da casca de castanha-do-Pará.

Variável	Nível		
	-1	0	+1
Taxa de impregnação (m _{precursor} /m _{ativante})	0,25:1	0,5:1	0,75:1
Temperatura (°C)	700	850	1000
Taxa de aquecimento (°C/min)	5	10	15

As amostras também foram analisadas para identificação dos grupos funcionais presentes nas superfícies dos materiais, por meio da Espectroscopia no Infravermelho na região do médio com Transformada de Fourier (FTIR-MIR). As análises foram conduzidas na Central de Análises da UTFPR-Pato Branco-PR, utilizando um espectrômetro FT-MIR (Frontier, PerkinElmer).

Adsorção de ácido acetilsalicílico

O padrão de AAS 99% foi adquirido da ACS científica e utilizado sem purificação adicional. A solução estoque de AAS 500 mg.L⁻¹ foi preparada em etanol absoluto e água destilada na proporção 1:10. A solubilização do AAS foi realizada com auxílio de banho de ultrassom por 60 minutos. A curva de calibração do AAS, foi construída com soluções de 25 a 500 mg.L⁻¹ analisadas em espectrofotômetro UV-VIS (UV752N) em comprimento de onda de 280 nm. Todos os experimentos de adsorção foram realizados em triplicata.

O estudo de adsorção foi realizado para avaliar a capacidade de adsorção do fármaco ácido acetilsalicílico (AAS) utilizando como adsorventes os carvões ativados produzidos na aplicação da metodologia do Delineamento Composto Central (DCC) ²³ utilizando a casca da castanha do Pará. Para tanto, foi utilizado 0,05 g de carvão e 20 mL da solução de AAS na concentração de 150 mg.L⁻¹ em frascos plásticos. As amostras foram agitadas em shaker orbital a 150 rpm por 3 horas, a 25 °C. Finalizado o tempo de contato, as amostras foram filtradas com membranas previamente impregnadas com AAS, a fim de evitar interferência. O filtrado foi

analisado em espectrofotômetro UV-Vis e, a concentração final foi determinada com base na curva de calibração, e a eficiência de adsorção foi calculada de acordo com a equação 1, onde C_0 e C_e são as concentrações inicial e final de equilíbrio (mg (AAS). L^{-1}), V é o volume da solução e m é a massa do adsorvente (g). A taxa de remoção (R, %) de AAS foi calculada por meio da Equação (2).

$$q = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

$$R(\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Adsorção de ácido acetilsalicílico

No presente estudo, foram avaliados três parâmetros que influenciam na produção do carvão ativado, taxa de impregnação ($m_{ZnCl_2}/m_{casca\ castanha}$), temperatura de pirólise e taxa de aquecimento da pirólise. Estes parâmetros foram considerados variáveis independentes, enquanto que a porcentagem de remoção de AAS no equilíbrio foi considerada a resposta do estudo (variável dependente). A matriz do DCC 2³ programado com os valores reais e codificados, seguido da resposta de remoção do AAS está sendo apresentada na Tabela 2.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, a temperatura de pirólise foi o parâmetro que mais influenciou a capacidade adsorativa dos carvões ativados. Os materiais obtidos a 1000 °C apresentaram os maiores valores de adsorção de AAS, diferindo significativamente daqueles produzidos nas demais temperaturas avaliadas. Esse comportamento pode ser atribuído ao aumento da remoção de compostos voláteis em temperaturas mais elevadas, o que favorece o desenvolvimento da estrutura porosa e o aumento da área superficial específica do carvão ativado (Kilic et al. 2025).

A razão de impregnação do agente ativante $ZnCl_2$ apresentou efeito significativo negativo sobre a capacidade adsorativa dos carvões produzidos, ou seja, diminuindo a quantidade de agente químico foi alcançado bons resultados de remoção de AAS. Contudo, diversos estudos relatam que o $ZnCl_2$ desempenha papel fundamental durante a ativação química, promovendo reações de desidratação e condensação que favorecem a aromatização da matriz carbonácea e a formação de poros (Adimas, 2026). A ausência de significância estatística observada neste estudo sugere que, dentro da faixa experimental investigada, a variação da razão de impregnação não

foi suficiente para produzir alterações expressivas na adsorção de AAS.

Da mesma forma, a taxa de aquecimento não exerceu efeito estatisticamente significativo sobre a capacidade adsorativa dos carvões ativados. A análise estatística dos resultados permitiu quantificar os efeitos dos parâmetros avaliados, evidenciando que a temperatura de pirólise foi o fator predominante no desenvolvimento das propriedades adsorativas dos materiais, enquanto a razão de impregnação e a taxa de aquecimento apresentaram influência limitada nas condições experimentais empregadas.

Resultado do Delineamento experimental

Os resultados da avaliação estatística sobre os efeitos das variáveis de controle e sua interação sobre a variável resposta remoção de AAS, juntamente com a análise de variância (ANOVA), estão apresentados na Tabela 3, destacando-se os efeitos que são estatisticamente significantes, ou seja, quando $p < 0,1$.

O valor de 0,1 para “p” está relacionado ao nível de confiança adotado no estudo de 90%, ou seja, $p = 0,1$, o que significa que valores maiores que p indicam que os efeitos na resposta relacionados aos respectivos parâmetros devem ser desprezados (sem importância estatística), enquanto para valores menores que p os efeitos ou interações são significativos. O valor obtido para o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,8899, indicando que 88,99% da variabilidade na resposta podem ser explicadas pelo modelo.

Os resultados na análise dos efeitos, juntamente com a ANOVA, mostraram que apenas os parâmetros temperatura e taxa de aquecimento tiveram seus efeitos significativos, para um nível de confiança de 90%. A partir dos coeficientes, foi montado o modelo linear relacionando a quantidade removida de AAS (%) com as variáveis independentes temperatura, T (°C) e taxa de aquecimento, Ta (°C.min⁻¹), Equação 3. O sinal positivo de um coeficiente indica que o fator exerce uma influência positiva sobre a variável resposta, enquanto o sinal negativo indica uma influência negativa. O modelo foi estatisticamente significativo, tendo valores F_{calc}/F_{tab} maior que 1.

$$R(\%) \text{ AAS} = 48,94 + 39,04T - 6,75Ta + 4,75TxTa \quad (3)$$

Caracterização dos carvões ativados

Tendo conhecimento de que a temperatura de pirólise foi o principal fator que exerceu influência na

Tabela 2 – Matriz do Delineamento Composto Central (DCC) 2³ (valores reais e codificados) com resposta em termos de remoção do AAS.

Ensaio	Razão impregnação (m/m)	Temperatura (°C)	Taxa aquecimento (°C/min)	Remoção AAS (%)
1	0,25 (-1)	700 (-1)	5 (-1)	25,84
2	0,25 (-1)	700 (-1)	5 (-1)	24,4
3	0,25 (-1)	700 (-1)	5 (-1)	29,01
4	0,75 (+1)	700 (-1)	5 (-1)	25,84
5	0,75 (+1)	700 (-1)	5 (-1)	29,46
6	0,75 (+1)	700 (-1)	5 (-1)	29,01
7	0,25 (-1)	1000 (+1)	5 (-1)	100,00
8	0,25 (-1)	1000 (+1)	5 (-1)	100,00
9	0,25 (-1)	1000 (+1)	5 (-1)	100,00
10	0,75 (+1)	1000 (+1)	5 (-1)	83,44
11	0,75 (+1)	1000 (+1)	5 (-1)	96,00
12	0,75 (+1)	1000 (+1)	5 (-1)	95,69
13	0,25 (-1)	700 (-1)	15 (+1)	6,19
14	0,25 (-1)	700 (-1)	15 (+1)	6,04
15	0,25 (-1)	700 (-1)	15 (+1)	4,86
16	0,75 (+1)	700 (-1)	15 (+1)	2,65
17	0,75 (+1)	700 (-1)	15 (+1)	1,62
18	0,75 (+1)	700 (-1)	15 (+1)	4,27
19	0,25 (-1)	1000 (+1)	15 (+1)	78,84
20	0,25 (-1)	1000 (+1)	15 (+1)	93,37
21	0,25 (-1)	1000 (+1)	15 (+1)	88,58
22	0,75 (+1)	1000 (+1)	15 (+1)	91,25
23	0,75 (+1)	1000 (+1)	15 (+1)	99,06
24	0,75 (+1)	1000 (+1)	15 (+1)	100,00
25	0,5 (0)	850 (0)	10 (0)	21,55
26	0,5 (0)	850 (0)	10 (0)	28,50
27	0,5 (0)	850 (0)	10 (0)	24,59
28	0,5 (0)	850 (0)	10 (0)	28,35
29	0,5 (0)	850 (0)	10 (0)	22,57
30	0,5 (0)	850 (0)	10 (0)	27,20

Tabela 3. Efeitos e interações calculadas para a a resposta remoção de AAS, e ANOVA para o planejamento composto central 2³.

Coeficientes Estatísticos					
Fator	Efeito	Erro Padrão	t	p	
Média	48,94	2,46	19,88	3,01.10 ^{-17*}	
Temperatura (°C)	39,04	2,75	14,19	9,40.10 ^{-14*}	
Taxa de aquecimento (°C.min ⁻¹)	-6,75	2,75	-2,45	0,02123*	
Temperatura x Taxa aquecimento	4,75	2,75	1,72	0,09650*	
Análise de Variância (ANOVA)					
Fonte de variação	SS	df	MS	F	p
Regressão	38218,67	3	12739,55	70,08	1,38.10 ⁻¹²
Resíduo	4726,35	26	181,78		
Falta de ajuste	4399,36	5	879,87	56,50	1,81.10 ⁻¹¹
Erro puro	326,98	21	15,57		
Total	42945.03	29			

adsorção, as amostras da castanha do Pará *in natura* e os carvões ativados C-01, C-07, C-19 e C-26 foram submetidos às análises de FTIR e MEV, Figuras 1 e 2, respectivamente. O carvão C-01 foi tratado a 700°C, os carvões C-07 e C-19 a 1000°C e o carvão C-26 a 850°C, desta forma as características dos carvões obtidos em diferentes temperaturas puderam ser comparadas. A Figura 1 demonstra os resultados comparativos referentes à análise FTIR. Os espectros evidenciam alterações significativas no número de picos entre os materiais antes e após o processo de produção dos carvões.

Caracterização dos carvões ativados

Tendo conhecimento de que a temperatura de pirólise foi o principal fator que exerceu influência na adsorção, as amostras da castanha do Pará *in natura* e os carvões ativados C-01, C-07, C-19 e C-26 foram submetidos às análises de FTIR e MEV, Figuras 1 e 2, respectivamente. O carvão C-01 foi tratado a 700°C, os carvões C-07 e C-19 a 1000°C e o carvão C-26 a 850°C, desta forma as características dos carvões obtidos em diferentes temperaturas puderam ser comparadas. A Figura 1 demonstra os resultados comparativos referentes à análise FTIR. Os espectros evidenciam alterações significativas no número de picos entre os materiais antes e após o processo de produção dos carvões.

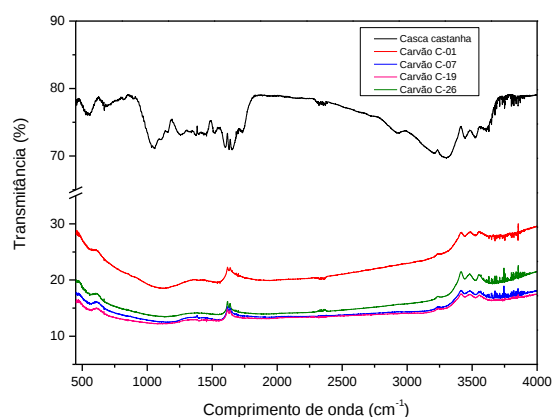


Figura 1. Espectros FTIR da casca de castanha do Pará *in natura* e carvões ativados.

A casca de castanha do Pará *in natura* apresenta uma banda larga e intensa na região de 3700-3310 cm^{-1} atribuída às vibrações de estiramento de grupos hidroxila ($-\text{OH}$) característicos da presença de lignina (Knani 2024). O pico em 2900 cm^{-1} indica a presença de vibrações de estiramento das ligações C-H dos grupos $-\text{CH}_2$, $-\text{CH}_3$ e $-(\text{CH}_2)_n$, característicos de materiais lignocelulósicos (Santos et al. 2022). Próximo a 1750 e 1625 cm^{-1} são observados os estiramentos de carbonilas ($\text{C}=\text{O}$), tem sido atribuído a ácidos carboxílicos, ésteres, cetonas e lactonas

(Knani, 2024). A banda observada em 1500 cm^{-1} pode ser associada às vibrações características de grupos amina ($\text{N}-\text{H}$) (Santos et al. 2022). Enquanto a banda 1242 cm^{-1} corresponde ao estiramento de C-O, a banda 1050 cm^{-1} atribuída ao estiramento de C-O em álcoois, éteres e fenóis (Golin, 2022). As faixas em torno de 800-500 cm^{-1} podem ser atribuídas a C-H e $\text{CH}=\text{CH}_2$ vibrações de alongamento em estruturas aromáticas (Li et al. 2023). Com isso, diante da análise realizada, constata-se a presença de diversos grupos funcionais que podem propiciar uma adsorção eficiente, tais como as hidroxilas, amidas, carbonilas e carboxilas.

Após a ativação, observa-se a redução das bandas evidenciando a degradação térmica das cadeias orgânicas durante a pirólise. Esse comportamento favorece a formação de uma estrutura mais rica em carbono aromático (Surkan et al. 2024). No espectro dos carvões C-01 a C-26, foram observadas bandas remanescentes de baixa intensidade de 1600 cm^{-1} e entre 3250-3750 cm^{-1} , indicando a degradação parcial do material durante o processo de pirólise.

As imagens referentes a microscopia eletrônica de varredura da casca de castanha do Pará *in natura* e carvões ativados C-01, C-07, C-19 e C-26 com ampliações de 500 e 1000/2000 vezes estão sendo mostradas na Figura 2.

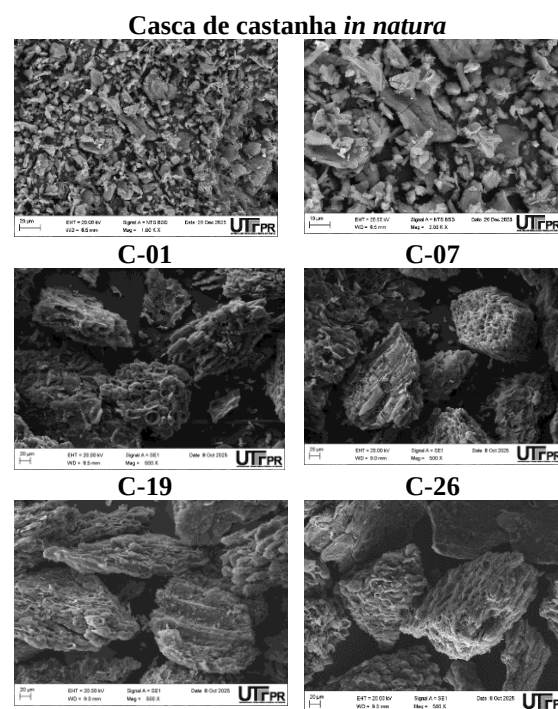


Figura 2- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da casca de castanha *in natura* com ampliação de 1000 e 2000 vezes, dos carvões ativados com ampliação de 500 vezes.

As imagens obtidas por MEV evidenciam diferenças morfológicas significativas entre a casca de castanha in natura e os carvões ativados. Antes da ativação a casca de castanha apresentou superfície lisa, compacta e sem porosidade aparente em aproximação de até 2000x. Essas são características típica de biomassas lignocelulósicas, nas quais a matriz estrutural ainda não foi degradada termicamente.

Após a ativação com ZnCl_2 e tratamento térmico, os carvões apresentaram superfície heterogênea, rugosa e com estruturas organizadas na forma de canais, que pode ser considerados poros de transporte. Essas estruturas desempenham um papel importante no processo adsorptivo, uma vez que favorecem a difusão dos fluidos para o interior do material, facilitando o acesso aos poros mais internos e, conseqüentemente, contribuindo para o aumento da capacidade de adsorção do carvão ativado.

.CONCLUSÃO

Conclui-se que carvões ativados produzidos em altas temperaturas e menores taxas de aquecimento foram mais eficientes na remoção de AAS. As análises de caracterização demonstraram que a ativação em alta temperatura provoca mudanças na morfologia e sítios ativos, melhorando as propriedades adsorptivas dos carvões de casca de Castanha do Pará.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais- CMCM da UTFPR-CT pelas análises de caracterização de MEV dos materiais adsorventes. À Central de Análises da UTFPR- Pato Branco-PR, pelas análises de Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).

Ao Cnpq e Unifesspa pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

CORREA, B. A. Reaproveitamento de resíduos orgânicos regionais agroindustriais da Amazônia tocantina como substratos alternativos na produção de mudas de alface. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.9, n.1, p.97-104, 2019.

DA SILVA CORREIA, I. K. Application of coconut shell, banana peel, spent coffee grounds, eucalyptus bark, piassava (*Attalea funifera*) and water hyacinth (*Eichornia crassipes*) in the adsorption of Pb^{2+} and Ni^{2+} ions in water. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, n. 6, p. 2319–2334, 2018.

GOLIN, R., BARBOSA, A.G., LOPES, V.C.P., CAIXETA, D.S., FILHO, C.M.M., DALL’OGLIO,

E.L., VASCONCELOS, L.G., MORAIS, E.B., Decolorization of Rhodamine B by Fenton reaction using iron nanoparticles supported in Brazil nutshell biomass supported in Brazil nutshell biomass. **Revista Matéria**, v.27, n.3, 2022

KILIÇ, M., BEKMAN, M. E., BODUR, F., YILDIZ, A., VAROL, E.A., Modeling and optimization of flash heating process conditions for activated carbon production using Response Surface Methodology (RSM), **Diamond and Related Materials**, v 154, 112239, ISSN 0925-9635, 2025.

KNANI, S., BEN KHEMIS, I., ZAHROUNI, W. Advanced analysis via statistical physics model to study the efficiency of catechol removal from wastewater using Brazil nut shell activated carbon. **Sci Rep** 14, 31634, 2024.

Korol, N., Zhukova, Y., Kulia, D., Haleha, O., Yankovych, V., Adsorption of salicylic acid from ethanol solutions onto activated carbon: Kinetics and equilibrium studies, **Results in Materials**, Volume 29, 100866, ISSN 2590-048X, 2026.

LIU, Y.; ZHOU, J.; ZHANG, B. Activated carbons from biomass for removal of pharmaceuticals: Recent progress and challenges. **Chemical Engineering Journal**, v. 403, 126302, 2021.

NARLOCH, I.; WEJNEROWSKA, G.; WOJEWÓDZKI, P. Biosorption of Aspirin, Salicylic Acid, Ketoprofen, and Naproxen in Aqueous Solution by Walnut Shell Biochar: Characterization, Equilibrium, and Kinetic Studies. **Molecules** 2025, 30, 4731.

NASCIMENTO, R. F. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, 2020. ISBN 978-65-990722-7-7.

PIAZZA, Mariana et al. Utilização de carvão ativado e da cinza da casca de arroz como adsorventes na remoção de paracetamol. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 1–11, 2023. ISSN 2176-7270.

QU, J.; LV, S.; PENG, X.; TIAN, S.; WANG, J.; GAO, F. Nitrogen-doped porous “green carbon” derived from shrimp shell: combined effects of pore sizes and nitrogen doping on the performance of lithium sulfur battery. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 671, p. 17–23, 2016.

SANTOS, L. O., OLIVEIRA, D. L. NASCIMENTO, E. D., DE ALENCAR, W. S., SIQUEIRA, J. L. P., VIEIRA, D. A., DE OLIVEIRA CARVALHO, F. A. . Carvão ativado de baixo custo da casca da castanha do Pará para remoção de corante em solução aquosa: estudo cinético e do mecanismo termodinâmico. **Scientia Plena**, 18, 9, 2022.

SILVA, Nayara Cristina Romano. Adsorção de ácido acetilsalicílico em solução aquosa por carvão ativado e bagaço de cana-de-açúcar. 2017. 204 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de

Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental,
Curitiba, 2017.

SOUZA, C.D.R.; SILVA, K.C. Energy potential of waste from Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) for production of activated carbon. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e53310212698, 2021.

WANG, J., WANG,S., Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. **Journal of Cleaner Production** 227, pg 1002 – 1022, 2019.