



APROVEITAMENTO DA BIOMASSA DO COCO VERDE PARA ADSORÇÃO DE ÓLEO DE SOJA EM EFLUENTES

Daniel Toledo de Jesus do Santos

Guilherme Torres do Ó

Gustavo Martins da Silva Dantas

Victor Ramos Passos

Orientadora: Prof.^a Me. Márcia Freitas da Silva

Coorientadora: Prof.^a Dra Aline Alves Ramos

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial adsorptivo da fibra do coco verde para a remoção de óleo de soja de efluentes sintéticos. A biomassa foi preparada a partir do mesocarpo do coco, lavada, seca, triturada e peneirada. Os ensaios foram realizados em batelada, utilizando 100 mL do efluente sintético (100 g/L) e duas massas distintas de biomassa (0,2g e 2,5g), com agitação magnética por 60 minutos e filtração a vácuo. O teor de óleos e graxas foi determinado por método gravimétrico. Os resultados indicaram remoção média próximos de 90% em ambos os casos, demonstrando a eficiência da fibra como bioadsorvente. Portanto, a utilização desse material representa uma alternativa sustentável e de baixo custo para o tratamento de efluentes oleosos.

Palavras-chave: adsorção; biomassa; efluentes oleosos; coco verde; sustentabilidade.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the adsorption potential of green coconut fiber for the removal of soybean oil from synthetic effluents. The biomass was prepared from the mesocarp of the fruit, being washed, dried, ground, and sieved. Batch experiments were conducted using 100 mL of the synthetic effluent (100 g/L) and two different biomass masses (0.2 g and 2.5 g), under magnetic stirring for 60 minutes, followed by vacuum filtration. The oil and grease content was determined using a gravimetric method. The results indicated average removal efficiencies close to 90% in both cases, demonstrating the effectiveness of the fiber as a bioadsorbent. Therefore, the use of this material represents a sustainable, low-cost, and technically viable alternative for the treatment of oily effluents.

Keywords: adsorption; biomass; oily effluent; green coconut; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água potável constitui um dos maiores desafios ambientais contemporâneos, uma vez que cerca de 1% do total de água do planeta é potável e acessível ao ser humano (PORTAL GOV, 2023). Dessa perspectiva, entre os poluentes que mais afetam os corpos d'água destacam-se os efluentes oleosos residuários das atividades antropológicas (SILVA et al., 2019). O descarte inadequado desses resíduos forma películas superficiais que reduzem a oxigenação, contribuem para o entupimento de redes de esgoto, impermeabilizam solos e contaminam lençóis freáticos, problemas que se manifestam mesmo quando quantidades aparentemente pequenas são lançadas no meio ambiente, visto que 0,05 litros de óleo de cozinha são suficientes para poluir 25 mil litros de água (FRANÇA, 2019).

Dessa forma, no Brasil, a discrepância entre produção e tratamento desses resíduos evidencia a dimensão do problema e a necessidade de alternativas acessíveis. Nesse sentido, os métodos de tratamento tradicionalmente empregados, como processos físico-químicos de separação, oxidação avançada e uso de carvão ativado, embora eficientes, apresentam limitações significativas. Sob esse viés, o elevado custo, a necessidade de infraestrutura complexa e, em alguns casos, a geração de resíduos secundários dificultam a aplicação em larga escala e reduzem sua viabilidade, especialmente em contextos de baixo investimento (ALMAGRO, 2015). Portanto, essa limitação reforça a necessidade de investigar alternativas mais acessíveis e ambientalmente sustentáveis para o tratamento de efluentes oleosos.

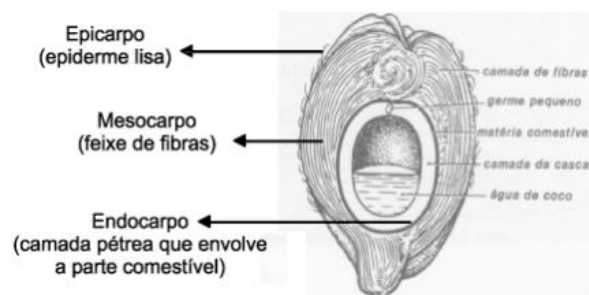
Diante desse cenário, a adsorção destaca-se como alternativa promissora por aliar eficiência e simplicidade operacional. Trata-se do processo de adesão de moléculas à superfície de um sólido, fenômeno que depende da afinidade entre o adsorvente e o adsorvato e ocorre predominantemente na superfície, diferindo da absorção, que envolve a incorporação da substância para o interior do material (NASCIMENTO et al., 2020). Sua eficácia está diretamente relacionada à área superficial, à porosidade e aos grupos funcionais do material adsorvente, além de fatores experimentais como pH, temperatura e tempo de contato. Por essas características, a adsorção é amplamente empregada na remoção de contaminantes orgânicos em efluentes aquosos.

Nesse contexto, o coco verde surge como uma alternativa sustentável, pois além de ser um resíduo abundante no Brasil que, segundo a Embrapa (2021), produz anualmente mais de 1 bilhão de unidades, ele é composto por diversas

fibras vegetais, as quais são ricas em celulose, hemicelulose e lignina (SILVA, 2003).

Segundo Gervásio (2017), do ponto de vista estrutural, o coco verde apresenta estrutura formada por três camadas principais: o epicarpo, que corresponde à fina película externa; o mesocarpo, constituído por feixes de fibras; e o endocarpo, camada interna rígida que envolve a polpa, como pode ser observado na figura 1.

Figura 1: Corte longitudinal do coco verde



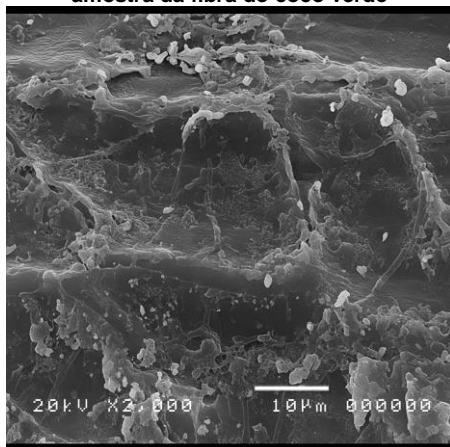
Fonte: GERVÁSIO, 2017

As fibras do mesocarpo apresentam caráter hidrofóbico, ou seja, baixa afinidade por água e maior afinidade por compostos orgânicos apolares, como óleos, favorecendo a interação superfície-fase oleosa e, consequentemente, a adsorção (ROCHA et al., 2015; ALMAGRO, 2015). Além disso, o mesocarpo exibe porosidade natural elevada e rugosidade superficial, características observadas por microscopia eletrônica e relacionadas ao aumento da área de contato disponível para retenção de contaminantes (BEZERRA et al., 2008; NASCIMENTO et al., 2020). Essa morfologia está associada à sua composição lignocelulósica — rica em celulose, hemicelulose e lignina — que confere resistência mecânica, diversidade de grupos funcionais e heterogeneidade superficial, atributos favoráveis ao desempenho adsorptivo (SILVA, 2003).

Dessa forma, a compreensão dessas características morfológicas e composicionais exige uma investigação estrutural mais detalhada, uma vez que a eficiência adsorptiva da fibra está diretamente relacionada à disposição dos poros, à rugosidade superficial e à organização dos seus componentes lignocelulósicos. A fim de compreender melhor suas propriedades, a micrografia eletrônica de varredura (SEM, do inglês Scanning Electron Microscopy) é uma técnica que permite visualizar a superfície de materiais em alta resolução, revelando detalhes não observáveis a olho nu (NASCIMENTO et al., 2020). Na Figura 2, observa-se a superfície fibrosa do coco verde, marcada por elevada rugosidade e presença de poros. Essas características ampliam a área de contato disponível, favorecendo a retenção de

compostos oleosos e explicando o potencial de adsorção da biomassa.

Figura 2: Micrografia eletrônica de varredura SEM de uma amostra da fibra do coco verde



Fonte: BEZERRA, 2008

Essas propriedades, associadas ao baixo custo e à biodegradabilidade, tornam essa biomassa uma solução ecológica frente a adsorventes convencionais, agregando valor a um subproduto frequentemente descartado (ROCHA et al., 2015).

Além das propriedades da fibra, é importante considerar a natureza do contaminante utilizado neste estudo. O óleo de soja apresenta baixa solubilidade em água, característica típica de compostos apolares, formando filmes superficiais que reduzem a oxigenação de corpos hídricos, prejudicam ecossistemas aquáticos e dificultam processos de tratamento (FRANÇA, 2019). Além de ser amplamente utilizado no preparo de frituras, o óleo também é empregado como insumo na produção de biodiesel, contribuindo para o grande volume de resíduos gerados (ROCHA et al., 2015).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo geral preparar e caracterizar uma biomassa proveniente do mesocarpo de coco verde (sem ativação química intensiva) e avaliar sua eficiência na remoção de óleos de efluentes sintéticos. Assim, o estudo foi realizado com pH, tempo de contato e granulometria controlados, variando-se apenas a massa de biomassa, e empregando a análise gravimétrica do TOG para quantificar a remoção.

2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta metodologia utilizou-se óleo de soja. As fibras do coco verde foram empregadas como material bioadsorvente. Nesse sentido, realizou-se um teste de adsorção para determinar a capacidade da fibra em remover óleo de um efluente, mantendo padronizados, durante todas as etapas experimentais, os seguintes fatores: pH, temperatura, granulometria,

concentração do efluente e tempo de adsorção. A única variável alterada entre os ensaios foi a massa de biomassa empregada, de modo que foram conduzidas duas triplicatas: uma utilizando 0,2 g de fibra por amostra e outra utilizando aproximadamente 2,5 g.

2.1. MATERIAIS

Para os testes, foram utilizados dois reagentes químicos. Esses compostos estão descritos na tabela 1:

Tabela 1 - Reagentes

Reagente	Fórmula Molecular
Hexano	C_6H_{14}
Ácido Clorídrico	HCl

Fonte: do próprio autor, 2025

Além dos reagentes mencionados, foram utilizados os seguintes equipamentos de laboratório: agitadores magnéticos IKA, modelo Color White (para a agitação dos ensaios em batelada); estufa Nova Técnica, ajustada a 100 °C (para a evaporação do solvente na análise de TOG); balança analítica Gehaka (para a pesagem dos béqueres e adsorventes); conjunto de facas e um liquidificador marca Mondial (destinado à trituração da casca de coco); e peneira granulométrica marca A Bronzinox (para a separação das fibras por diferentes tamanhos).

2.2. MÉTODOS

2.2.1. PREPARO DA BIOMASSA

O procedimento de preparo da biomassa para realização dos testes é realizado por meio da lavagem da casca do coco. Após isso, a secagem dessa matéria prima por meio de uma estufa a 100 °C por 48 horas, em seguida é realizada a trituração das fibras até obter um pó fibroso com o auxílio de um liquidificador. Depois, foi preciso utilizar uma peneira para separar as partículas de acordo com a faixa granulométrica desejada de (91,83) segundo o padrão Mesh Tyler. (SILVA, et. al., 2013).

Figura 3: Biomassa pré-estufa



Figura 4: Biomassa pós-estufa



2.2.2. TESTE DE ADSORÇÃO

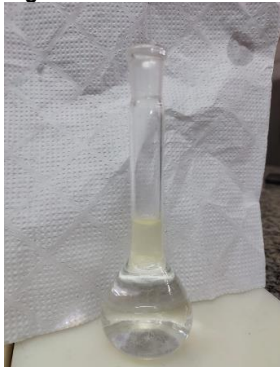
Os testes de adsorção com biomassa foram realizados utilizando fibra da casca de coco como material bioadsorvente. Ao longo do período, foram realizados cinco ensaios completos, de maneira em que todos os lotes analisados seguiram o mesmo procedimento experimental. Os experimentos foram conduzidos em triplicata.

Foram preparadas três amostras de 100 mL do efluente de óleo de soja em béqueres de 250 mL. O procedimento envolve a adição de óleo em água destilada. Essa solução simula um efluente oleoso contaminado. Para preparar 1L de efluente sintético (figura 3) cuja concentração correspondia a 100 g/L, utilizou-se óleo de cozinha comum. A massa do composto necessária é calculada pela fórmula:

$$m = C \times V$$

Em que m é a massa a ser pesada, C é concentração de efluente e V o volume. Por fim o pH da solução foi ajustado para 2, o qual é o pH considerado ótimo por estudos prévios visando a maior eficiência da adsorção (ALMAGRO, 2015).

Figura 5: Efluente sintético



Fonte: Do próprio autor

Para cada amostra, foram adicionados 0,2 g de biomassa. As amostras foram submetidas a agitação constante durante 60 minutos, utilizando agitadores magnéticos (figura 4). Os testes foram realizados em temperatura ambiente ($\sim 25^\circ\text{C}$). O mesmo procedimento foi repetido em um segundo conjunto de ensaios, utilizando cerca de 2,5 g de biomassa por amostra, permitindo comparar o efeito da quantidade de adsorvente sobre a remoção de óleo.

Figura 6: Amostra durante agitação magnética



Fonte: Do próprio autor

Após o tempo de contato, procedeu-se à separação do adsorvente por meio de filtração a vácuo, assim como mostra a figura 5.

Figura 7: Separação do adsorvente



Fonte: Do próprio autor

Após a separação da biomassa e do efluente, o último foi submetido à análise gravimétrica do Teor de Óleos e Graxas (TOG).

2.2.3. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS (TOG)

O teor de óleos e graxas foi determinado por meio do método gravimétrico adaptado do Standard Methods (APHA, 2012). Essa metodologia consiste na extração da fase orgânica da fase aquosa utilizando hexano como solvente.

A extração da fase oleosa foi realizada com três porções de hexano, contendo 5 mL cada, totalizando 15 mL. O extrato obtido, composto foi transferido para um béquer previamente pesado. Na figura 6, está representado o processo da extração através da utilização de um funil de separação.

Figura 8: Sistema para extração do óleo



Fonte: Do próprio autor

Sendo assim, o béquer foi levado a banho maria visando a evaporação do hexano, cujo ponto de ebulição é de 69°C (DINÂMICA QUÍMICA CONTEMPORÂNEA LTDA, 2024) em capela de exaustão, e posteriormente em estufa a 100 °C por 30 minutos, assegurando a completa remoção do solvente, como mostra a figura 7.

Figura 9: Sistema para evaporação do hexano



Fonte: Do próprio autor

Após o resfriamento, o béquer foi pesado e a diferença correspondeu à massa de óleo residual.

Figura 10: Óleo residual



Fonte: Do próprio autor

Desse modo, o teor de óleos e graxos foi obtido, em mg/L, a partir da equação 1:

Equação 1:

$$TOG = \frac{(M_f - M_i) \cdot 100}{V}$$

Em que M_f corresponde à massa final do béquer, M_i é a massa inicial do béquer e V é o volume em litros da alíquota testada (0,025 L).

O percentual de remoção de TOG é estimado de acordo com a equação 2:

Equação 2:

$$\%TOG = \frac{(TOG_{t=0} - TOG_{t=x})}{TOG_{t=0}} \cdot 100$$

Em que $TOG_{t=0}$ (inicial) é a concentração de óleos e graxas no efluente antes do tratamento, fixada em 100 g/L; e $TOG_{t=x}$ (final) é o teor de TOG obtido após o experimento de adsorção.

Dessa maneira, o valor resultante da operação representa a porcentagem de remoção do contaminante em relação à quantidade originalmente presente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. PREPARO DA BIOMASSA

O processo de preparo da biomassa resultou em fibras com granulometria controlada e aspecto homogêneo após lavagem, secagem a 100 °C por 48 h, trituração e peneiramento. A padronização dessas etapas é essencial para garantir repetibilidade e regularidade no desempenho adsorptivo, uma vez que a granulometria e umidade residual influenciam diretamente a eficiência do material (NASCIMENTO et al., 2020).

A inspeção visual do material final evidenciou a formação de um pó fibroso de partículas

irregulares, mas com boa dispersibilidade, compatível com o comportamento esperado para fibras lignocelulósicas (BEZERRA et al., 2008). Essas características estruturais reforçam sua aptidão para processos de adsorção, nos quais elevada área de contato e porosidade são fundamentais para a retenção de compostos hidrofóbicos como o óleo vegetal.

3.2. TESTE DE ADSORÇÃO

Os ensaios de adsorção foram realizados em triplicata, permitindo avaliar a reprodutibilidade do processo e as variações naturais da fibra, variando-se apenas a massa de adsorvente empregada: aproximadamente 0,2 g na primeira triplicata e aproximadamente 2,5 g na segunda. As demais condições — concentração do efluente oleoso, pH, temperatura, granulometria da biomassa e tempo de contato — foram mantidas constantes, assegurando que as diferenças observadas nos resultados fossem atribuídas exclusivamente à quantidade de fibra utilizada.

Em ambos os ensaios, a biomassa manteve comportamento consistente durante o processo de adsorção, distribuindo-se adequadamente no meio líquido durante a agitação e observando-se uma discreta atenuação na coloração e na turbidez do efluente após o tempo de contato, efeito compatível com a remoção parcial da fase oleosa (ROCHA et al., 2015). Após o período de adsorção, cada amostra foi submetida à etapa subsequente de extração do óleo remanescente, permitindo avaliar a eficiência do processo.

As diferenças observadas entre as duas massas de biomassa refletem não apenas a quantidade empregada, mas também fatores estruturais da fibra, como porosidade, acessibilidade dos sítios ativos e heterogeneidade física, que influenciam a interação com a fase oleosa (NASCIMENTO et al., 2020).

Dessa forma, os resultados evidenciam que a quantidade de biomassa empregada desempenha papel determinante na eficiência da adsorção, influenciando a dinâmica de interação entre o adsorvente e a fase oleosa, efeito diretamente relacionado à porosidade, à acessibilidade dos sítios ativos e à dispersão do material no meio.

3.3. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS

A determinação do teor de óleo de soja (TOG) foi conduzida segundo metodologia gravimétrica adaptada de APHA (2012), utilizando três extrações sucessivas com hexano para cada amostra.

Nos ensaios realizados com 0,2 g de biomassa, as amostras apresentaram massa inicial média de óleo de aproximadamente 10,0518 g, reduzida para cerca de 3,0016 g após o processo de adsorção. Esses valores resultaram em percentuais de remoção em média de $\approx 88,0142\%$, situando-se dentro da faixa considerada eficiente para materiais lignocelulósicos (80–90%), conforme reportado por Rocha et al. (2015) e Nascimento et al. (2020). A elevada taxa de remoção nessa condição pode estar associada à maior dispersão das partículas de biomassa no meio líquido, favorecendo o acesso aos sítios ativos e maximizando as interações hidrofóbicas entre a fibra e os compostos oleosos.

Tabela 2 – Massas de óleo: triplicata 1

Amostra	Massa de óleo inicial (g)	Massa de óleo final (g)
1	10,0075	2,6827
2	10,1013	3,6911
3	10,1467	2,6264

Fonte: do próprio autor

Tabela 3 – Percentual de remoção de óleo (% TOG): triplicata 1

Amostra	% Remoção
1	%89,2692
2	%85,2356
3	%89,5109

Fonte: do próprio autor

Para os ensaios conduzidos com 2,5 g de biomassa, verificou-se remoção ainda mais acentuada. A massa inicial média foi de aproximadamente 2,5254 g de óleo, reduzida para valores finais em torno de 0,0754 g e correspondendo a um percentual de remoção (TOG) médio de 99,6983%. Dessa forma, depreende-se que a maior quantidade de adsorvente disponível contribui para o aumento global de sítios ativos e da superfície de contato, favorecendo o sequestro da fase oleosa.

Tabela 4 – Massas de óleo: triplicata 2

Amostra	Massa de óleo inicial (g)	Massa de óleo final (g)
1	2,5394	0,0479
2	2,5050	0,1375
3	2,5319	0,0409

Fonte: do próprio autor

Tabela 5 – Percentual de remoção de óleo (%TOG): triplicata 2

Amostra	% Remoção
1	%99.8084
2	%99.4500
3	%99.8364

Fonte: do próprio autor

Sendo assim, apesar das diferenças nas massas empregadas, ambas as condições apresentaram desempenho positivo, indicando que a fibra de coco verde é capaz de remover uma fração significativa do óleo presente no efluente. As pequenas variações observadas entre as triplicatas são compatíveis com a heterogeneidade natural das fibras lignocelulósicas, influenciadas por fatores como porosidade, rugosidade da superfície e distribuição dos grupos funcionais.

A alta taxa de remoção pode ser atribuída às características estruturais da biomassa, incluindo elevada área superficial, estrutura porosa e grupos funcionais hidrofóbicos capazes de interagir com moléculas orgânicas. Esses atributos são amplamente reconhecidos como determinantes na eficiência de adsorventes vegetais, e estudos anteriores relatam comportamentos semelhantes em materiais de composição lignocelulósica (ROCHA et al., 2015; ALMAGRO, 2015).

Desse modo, os resultados obtidos reforçam a viabilidade da fibra de coco verde como adsorvente de baixo custo e alto potencial para remoção de óleo de soja em efluentes, apresentando desempenho compatível com o observado na literatura e podendo ser aplicada como alternativa ambientalmente favorável em sistemas de tratamento.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, as etapas de preparo da biomassa demonstraram que as fibras do mesocarpo do coco verde, após lavagem, secagem, trituração e peneiramento, apresentam características estruturais adequadas para aplicação como material adsorvente. A morfologia fibrosa e a elevada rugosidade superficial — propriedades relatadas também por Bezerra et al. (2008) e Nascimento et al. (2020) — indicam que o material possui condições físicas favoráveis à retenção de compostos oleosos, justificando seu potencial para processos de adsorção.

Nos ensaios de adsorção, a biomassa exibiu desempenho consistente, com comportamento estável durante o contato com o efluente oleoso. A interação entre a fibra e o óleo foi eficiente, corroborando estudos prévios que apontam materiais lignocelulósicos como adsorventes viáveis para remoção de contaminantes orgânicos em sistemas aquosos (ROCHA et al., 2015; ALMAGRO et al., 2015).

A análise dos dados experimentais demonstrou que as fibras do coco verde apresentaram elevado potencial adsorativo na remoção do óleo de efluente, uma vez que são compatíveis com pesquisas que consideram percentuais na faixa de 90% como indicativos de eficiência significativa para aplicações ambientais (NASCIMENTO et al., 2020; ROCHA et al., 2015), assegurando a viabilidade da biomassa como alternativa sustentável, cujo processo operacional é simples e de baixo custo frente a adsorventes convencionais.

Não obstante, os dados obtidos demonstram que a biomassa de coco verde apresenta potencial de aplicação como material adsorvente sustentável na remoção do óleo de efluentes. Recomenda-se, em estudos futuros, a investigação da influência de variáveis experimentais, como pH, temperatura, tempo de contato e granulometria, sobre a capacidade adsorativa, bem como a aplicação do material em efluentes reais, visando validar sua eficiência em condições práticas de tratamento.

REFERÊNCIAS

ALMAGRO, A. S. et al. **Estudo do uso de casca do coco como bioadsorvente para remoção de óleos e graxas de efluentes**. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2015.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington, D.C.: APHA, 2012.

BEZERRA, R. S. et al. **Utilização da fibra da casca de coco verde como suporte para formação de biofilme visando o tratamento de efluentes**. XVI Jornada de Iniciação Científica – CETEM, Rio de Janeiro, 2008.

DINÂMICA QUÍMICA CONTEMPORÂNEA LTDA. FISPQ - **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico: Hexano (P.10.0582.000.00_HEXANO_PA_ACS** - Indaiatuba - SP, 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2021. Disponível

em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/coco/pos-producao/coprodutos#:~:text=No%20Brasil%2C%20s%C3%A3o%20produzidos%20anualmente,de%20p%C3%B3%20no%20processo%20industrial>>

FRANÇA, L. **Óleo de cozinha: 50 mL poluem 25 mil litros d'água.** Tribuna Independente,

GERVÁSIO, D. **Utilização do resíduo do coco verde para a produção de enzimas por fermentação em estado sólido** – João Pessoa, 2017.

NASCIMENTO, R. F. et al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020.

PORTAL GOV.BR. **Consumo consciente da água é base para um futuro sustentável.** Disponível em: <<https://www.gov.br/dnocs/pt-br/assuntos/noticias/consumo-consciente-da-agua-e-base-para-um-futuro-sustentavel>>. Acesso em: 22 jun. 2025.

ROCHA, S. M. S. et. al. **Aplicação de bioadsorvente de casca de coco verde para o tratamento de efluentes oleosos.** Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, SP, 2015.

SILVA, A. C. et. al. **Reciclagem de óleo de cozinha usado: uma alternativa para a minimização dos impactos ambientais.** Revista Brasileira de Desenvolvimento Sustentável, v. 7, n. 4, p. 89–101, 2019.

SILVA, M. S. P. et al. **Influência do método de preparo da casca do coco verde como biossorvente para aplicação na remoção de metais em soluções aquosas.** Revista DAE, São Paulo, n. 193, p. 66-73, set./dez. 2013.

SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamonas e fibras vegetais.** 2003. 130f. Tese. Universidade de São Paulo, São Carlos.