

INFLUÊNCIA DA MASSA DE ADSORVENTES NA REMOÇÃO DE LARANJA SAFRANINA POR CASCAS DE MEXERICA E SOJA

INFLUENCE OF ADSORBENT MASS ON SAFRANIN ORANGE REMOVAL BY TANGERINE AND SOYBEAN HULLS

TAYNARA BASSO VIDOVIK **BALESTRE**^{1*}, ROSÂNGELA **BERGAMASCO**², ANGÉLICA MARQUETOTTI SALCEDO **VIEIRA**³, ELIZABETH MIE **HASHIMOTO**⁴, EDSON FONTES DE **OLIVEIRA**⁵

1. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil; 2. Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil; 3. Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil; 4. Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil; 5. Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil.

*Avenida dos Pioneiros, 3131, Jardim Morumbi, Londrina, Paraná, Brasil. CEP: 86036-370. taynaravidovix@hotmail.com.

Recebido em 17/01/2026. Aceito para publicação em 02/02/2026

RESUMO

A crescente detecção de poluentes emergentes em corpos hídricos, notadamente o corante Laranja Safranina, um composto amplamente empregado na indústria, representa um desafio ambiental significativo. A ineficácia dos métodos convencionais de tratamento de efluentes na remoção desses contaminantes ressalta a necessidade de abordagens avançadas. Nesse contexto, a adsorção emerge como uma tecnologia promissora. Suas vantagens incluem alta eficiência e simplicidade operacional, especialmente quando se empregam adsorventes de baixo custo derivados de resíduos. Tais materiais não apenas oferecem uma solução economicamente viável, mas também contribuem para a valorização de subprodutos. O presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto da massa de adsorvente na remoção do corante Laranja Safranina, utilizando cascas de mexerica e soja como adsorventes. Para tanto, foram conduzidos ensaios de adsorção em batelada, e os dados resultantes foram submetidos a uma análise de variância. Os resultados obtidos demonstraram que o material adsorvente empregado, a quantidade de massa de adsorvente utilizada e a interação entre ambas as variáveis, possuem efeito significativo na capacidade de adsorção do Laranja Safranina. Especificamente, as cascas de mexerica apresentaram desempenho superior se comparado com as cascas de soja, e a massa que demonstrou resultados mais eficientes de capacidade adsorptiva foi 0,01 g.

PALAVRAS-CHAVE: Estatística; ANOVA; Adsorção; Corantes; Tratamento de efluentes.

ABSTRACT

The increasing detection of emerging pollutants in water bodies, particularly the dye Safranin Orange, a compound widely used in industry, presents a significant environmental challenge. The ineffectiveness of conventional wastewater treatment methods in removing these contaminants underscores the need for advanced approaches. In this context, adsorption emerges as a promising technology. Its advantages include high efficiency and operational simplicity, especially when utilizing low-cost adsorbents derived from waste materials. Such materials not only

offer an economically viable solution but also contribute to the valorization of byproducts. This study aimed to evaluate the impact of adsorbent mass on the removal of Safranin Orange, employing tangerine and soybean hulls as adsorbents. To this end, batch adsorption tests were conducted, and the resulting data were subjected to an analysis of variance. The results demonstrated that the adsorbent material used, the amount of adsorbent mass employed, and the interaction between both variables have a significant effect on the adsorption capacity of Safranin Orange. Specifically, tangerine hulls showed superior performance compared to soybean hulls, and the most efficient adsorbent mass was found to be 0.01 g.

KEYWORDS: Statistics; ANOVA; Adsorption; Dyes; Effluent treatment.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a qualidade dos recursos hídricos tem impulsionado a pesquisa e o desenvolvimento de métodos eficazes para a remediação de poluentes. A poluição hídrica, em suas diversas manifestações, representa uma ameaça significativa à biodiversidade aquática e à saúde humana, comprometendo a integridade dos ecossistemas e a disponibilidade de água potável¹.

Entre os contaminantes emergentes, os corantes industriais destacam-se, devido ao seu impacto visual e ecológico. O descarte de efluentes contendo corantes, mesmo em concentrações reduzidas, confere uma coloração indesejável aos corpos d'água, afetando a estética e a funcionalidade dos ecossistemas aquáticos. O principal efeito adverso da presença de corantes é a atenuação da penetração da luz solar na coluna d'água, o que resulta na inibição da atividade fotossintética de organismos aquáticos. Consequentemente, observa-se uma diminuição na taxa de oxigênio dissolvido, impactando negativamente a vida aquática².

Dentre os diversos corantes, um exemplo notável é o Laranja Safranina (LS), um corante catiônico amplamente empregado em setores como as indústrias farmacêutica, bioquímica e biotecnológica. A prevalência e o volume de sua utilização ressaltam a necessidade de estratégias eficientes para sua remoção de efluentes³.

Diante das severas consequências da contaminação por corantes em águas superficiais, a implementação de processos de tratamento de efluentes robustos e eficientes é imperativa para assegurar a remoção completa desses poluentes⁴. Nesse ensejo, a tecnologia de adsorção tem emergido como uma abordagem promissora, atribuída a uma série de vantagens operacionais e econômicas. Estas incluem, baixo custo, simplicidade de operação, alta tolerância a substâncias tóxicas, capacidade de gerar efluentes tratados de alta qualidade e, principalmente, a não formação de subprodutos mais perigosos que os contaminantes originais⁵.

A seleção do material adsorvente é um fator crítico na otimização dos processos de adsorção. Entre a diversidade de materiais disponíveis, os resíduos orgânicos têm ganhado destaque como adsorventes de baixo custo. Suas vantagens incluem a abundância, facilidade de processamento em larga escala, secagem e moagem, reciclabilidade, versatilidade e a comprovada eficácia na remoção de uma variedade de poluentes orgânicos da água⁶. Adicionalmente, a crescente produção de resíduos agrícolas tem incentivado a valorização de subprodutos que, de outra forma, seriam descartados. Partes de frutas e oleaginosas, como cascas, folhas, sementes e bagaço, têm sido exploradas com sucesso em processos adsorptivos, demonstrando notável capacidade na remoção de corantes⁷.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo investigar o efeito da massa de adsorventes na remoção de Laranja Safranina (LS) em solução aquosa, utilizando cascas de mexerica e soja como materiais adsorventes. Para isso, empregou-se a Análise de Variância (ANOVA) e o teste de Tukey para análise dos dados experimentais. A ANOVA é um teste de hipótese muito empregada para verificar diferenças significativas entre as médias de múltiplos grupos, permitindo discernir se existe uma diferença significativa entre as médias dos grupos ou se as diferenças ocorrem devido a variação aleatória⁸.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Adsorventes

Os biossorventes utilizados foram obtidos das cascas de soja (SO) e *Citrus reticulata*, popularmente conhecida como mexerica (ME). Inicialmente, as cascas foram removidas manualmente e lavadas repetidamente com água deionizada aquecida (temperatura de 353–373 K), para remover qualquer sujeira existente. Os materiais foram então secos em estufa (Sterilifer – Digital time), a 373 K por 48 h, e triturados em um moedor comercial (Cadence –

MDR3). Por fim, as cascas foram peneiradas em um conjunto de malhas em mesa vibratória (BT-001), na faixa de tamanho de 350 μm ^{2,7}.

Teste de adsorção

Os testes de adsorção foram realizados em batelada e em triplicata, em uma mesa de agitação com temperatura controlada (Tecnal TE – 4200) a 150 rpm. Os ensaios foram realizados com 25 mL de solução de LS, previamente preparada na concentração de 50 mg L⁻¹, em pH natural, a 298 K por 24 h. As massas de adsorventes avaliadas foram 0,01, 0,025, 0,05, 0,1 e 0,3 g e os resultados foram determinados em função da capacidade de adsorção (q_e) de LS, de acordo com a Equação 1^{4,6}.

$$q_e = (C_0 - C_e) \cdot V / m \quad (\text{Equação 1})$$

em que, q_e é a concentração de equilíbrio do contaminante na fase sólida (mg L⁻¹), V é o volume de solução (L), C_0 é a concentração inicial de contaminante na solução (mg L⁻¹), C_e é a concentração do contaminante no equilíbrio (mg L⁻¹) e m é a massa de adsorvente em base seca (g).

Análise estatística

O experimento foi realizado de acordo com um delineamento completamente aleatorizado no esquema fatorial, no qual cada combinação de adsorvente e massa foi repetida três vezes. Para análise dos dados, utilizou-se o software Jamovi⁹⁻¹², com as seguintes informações:

- Unidade experimental: Amostras de soluções de LS;
- Variável resposta: Capacidade de adsorção (q_e) de LS;
- Fator A: Adsorventes;
- Fator B: Massa de adsorvente;
- Níveis Fator A: Cascas de soja, Cascas de mexerica;
- Níveis Fator B: 0,01, 0,025, 0,05, 0,1 e 0,3 g.

Para verificar a homogeneidade de variância, realizou-se o teste de Levene, que compara a variância das amostras com a variância geral. Esse teste é usado antes de aplicar testes estatísticos que assumem essa condição, como a Análise de Variância (ANOVA)¹³.

A interpretação dos resultados do teste de Levene é direta. Se o p -valor obtido for menor que o nível de significância estabelecido (comumente 0,05), rejeita-se a hipótese nula, indicando que há evidências suficientes para afirmar que as variâncias dos grupos são diferentes. Por outro lado, se o p -valor for maior que 0,05, não rejeita-se a hipótese nula, sugerindo que as variâncias podem ser consideradas homogêneas e que os testes estatísticos subsequentes podem ser aplicados com segurança¹³.

O teste de Shapiro-Wilk, por sua vez, foi empregado para avaliar a normalidade dos resíduos. Referido teste produz a estatística W , que terá um valor

de p -valor a ela associado. Se o p -valor for menor que o nível de significância (geralmente, definido como 0,05), então rejeita-se a hipótese nula. Ou seja, conclui-se que os resíduos se afastam significativamente de uma distribuição normal. Contudo, se p -valor for maior que o nível de significância, conclui-se que os resíduos seguem uma distribuição normal e que os testes estatísticos sequenciais podem ser realizados¹⁴.

Após a verificação dos pressupostos, realizou-se a ANOVA dos dados de capacidade de adsorção de LS, para determinar se há efeito significativo da interação entre o tipo de adsorvente e a massa do adsorvente. Se p -valor for menor que o nível de significância (geralmente, definido como 0,05), conclui-se que há efeito significativo.

Por fim, aplicou-se o teste de Tukey para investigar todas as comparações possíveis entre os níveis dos fatores⁸.

3. RESULTADOS

Tabela 1. Verificação dos pressupostos.

Teste	Estatística do teste	p-valor
Levene	2,28	0,060
Shapiro-Wilk	0,938	0,080

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 2. Análise de variância.

Causa de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	Estatística do teste	p-valor
Adsorvente	1	3521,70	3521,7001	42137	<0,001
Massa (g)	4	20351,07	5087,7666	60875	<0,001
Interação	4	3777,30	944,3523	11299	<0,001
Resíduo	20	1,67	0,0836		

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 3. Teste de Tukey – Massa 0,010 g

Grupo	Adsorvente	Média
a	Mexerica	108,00
b	Soja	43,70

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 4. Teste de Tukey – Massa 0,025 g

Grupo	Adsorvente	Média
a	Mexerica	45,60
b	Soja	22,50

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 5. Teste de Tukey – Massa 0,050 g

Grupo	Adsorvente	Média
a	Mexerica	24,30
b	Soja	11,70

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 6. Teste de Tukey – Massa 0,100 g

Grupo	Adsorvente	Média
a	Mexerica	12,30
b	Soja	5,72

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 7. Teste de Tukey – Massa 0,300 g

Grupo	Adsorvente	Média
a	Mexerica	4,21
b	Soja	2,41

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 8. Teste de Tukey – Adsorvente Casca de Mexerica

Grupo	Massa (g)	Média
a	0,010	108,00
b	0,025	45,60
c	0,050	24,30
d	0,100	12,30
e	0,300	4,21

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 9. Teste de Tukey – Adsorvente Casca de Soja

Grupo	Massa (g)	Média
a	0,010	43,70
b	0,025	22,50
c	0,050	11,70
d	0,100	5,72
e	0,300	2,41

Fonte: Autoria própria (2025).

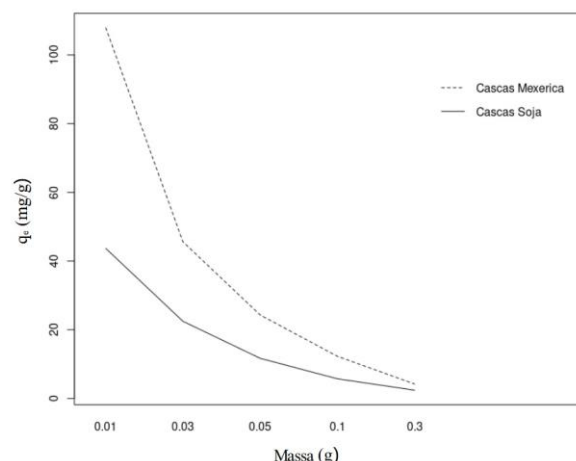


Figura 1. Gráfico de interação do tipo de adsorvente e a massa de adsorvente. Fonte: Autoria própria (2025).

4. DISCUSSÃO

De acordo com a metodologia descrita, inicialmente, avaliou-se os pressupostos de homogeneidade de variâncias (Levene) e normalidade de resíduos (Shapiro-Wilk) para os dados de capacidade de adsorção em ME e SO. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1, em que é possível verificar que para ambos os testes, o p -valor foi superior ao nível de significância estabelecido (0,05). Logo assume-se que os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram atendidos.

Os dados foram sequencialmente analisados a partir de uma ANOVA (Tabela 2). Nota-se que, a interação entre adsorvente e massa foi significativa sobre a capacidade de adsorção de LS (p -valor<0,05). Então, realizou-se o desdobramento dos níveis de adsorvente dentro da massa e vice-versa, a partir do Teste de Tukey. Os resultados encontrados estão demonstrados nas Tabelas de 3 a 9.

As Tabelas de 3 a 7 evidenciam o efeito significativo entre os adsorventes, considerando a diferença observada entre os valores das médias. Ainda, verifica-se que, para todas as massas avaliadas (0,01, 0,025, 0,05, 0,1 e 0,3 g), a casca de Mexerica apresentou melhor desempenho adsorptivo que a casca de Soja, visto que todas as médias de ME foram superiores às de SO.

As Tabelas 8 e 9 também apresentam efeito significativo, considerando a diferença observada entre os valores das médias. Porém, nesse caso nota-se que ao analisar o comportamento das massas em relação aos adsorventes empregados, a massa de 0,010 g, menor dosagem, apresentou melhor capacidade de adsorção, tanto para ME quanto SO. Este resultado corrobora com a Equação 1, tendo em vista que q_e é inversamente proporcional à quantidade de massa de adsorvente.

Por fim, a Figura 1 confirma os resultados encontrados com a ANOVA. Considerando que as retas apresentam diferenças em seus extremos, isso indica o efeito de interação do adsorvente e da massa sobre a capacidade de adsorção de LS. Além disso, verifica-se que ao passo que a massa de adsorvente aumenta, a distância entre as retas diminui, ou seja, o efeito também é reduzido. Logo, a diferença entre os valores de capacidade de adsorção para ME e SO, diminuem de acordo com o incremento da massa.

5. CONCLUSÃO

A análise estatística revelou que a interação entre tipo de adsorvente e a massa do adsorvente tem efeito significativo na remoção do corante Laranja Safranina. As cascas de mexerica demonstraram ser um adsorvente mais eficaz e a dosagem de 0,01 g foi identificada como a massa ótima para a adsorção, independentemente do tipo de adsorvente empregado. Estes resultados fornecem informações importantes para o desenvolvimento e aprimoramento de sistemas de tratamento de efluentes baseados em adsorção, utilizando resíduos agrícolas como materiais adsorventes de baixo custo.

6. FINANCIAMENTO

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

7. REFERÊNCIAS

- [1] Mullerova S, Baldikova E, Prochazkova J, Pospiskova K, Safarik I. Magnetically modified macroalgae *Cymopolia barbata* biomass as biosorbent for removal of methylene blue. *Mater Chem Phys*. 2019; 225:174-80.
- [2] Cusioli LF, de Lima AC, da Silva MG, Vieira AMS. Soybean hulls as a low-cost biosorbent for removal of methylene blue contaminant. *Environ Prog Sustain Energy*. 2020; 39(2):e13328.
- [3] Moawed EA, Abulkibash AB. Selective separation of light green and safranin O from aqueous solution using modified silica gel. *J Saudi Chem Soc*. 2016; 20:S178-85.
- [4] Vidovix TB, Januário EFD, Bergamasco R, Vieira AMS. Efficient removal of sertraline hydrochloride from wastewater using banana peels. *Environ Technol*. 2024;4 5(11):2119-31.
- [5] Wu W, Li J, Lan T, Li K, Wang Y, Wang Y, et al. Unraveling sorption of lead in aqueous solutions by chemically modified wheat straw. *Sci Total Environ*.

2017; 576:766-74.

- [6] Januário EFD, Vidovix TB, Bergamasco R, Vieira AMS. Investigation of Citrus reticulata peels as an efficient and low-cost adsorbent for the removal of safranin orange dye. *Environ Technol*. 2022; 43(27):4315-29.
- [7] Vidovix TB, Januário EFD, Bergamasco R, Vieira AMS. Evaluation of the black soybean hulls agro-industrial residue as a biosorbent for the removal of methylene blue dye. *J Disp Sci Technol*. 2023; 44(11):2034-44.
- [8] Toledo GL, Ovalle II. *Estatística Básica*. 2a ed. São Paulo: Atlas; 2008.
- [9] The jamovi project. jamovi. Version 2.3 [Computer software]. 2022 [cited 2026 Feb 18]. Available from: <https://www.jamovi.org>.
- [10] R Core Team. R: A Language and environment for statistical computing. Version 4.1 [Computer software]. 2021 [cited 2026 Feb 18]. Available from: <https://cran.r-project.org>.
- [11] Fox J, Weisberg S. car: Companion to Applied Regression [R package]. 2023 [cited 2026 Feb 18]. Available from: <https://cran.r-project.org/package=car>.
- [12] Lenth, R. (2023). emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. [R package]. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=emmeans>.
- [13] Bussab WO, Morettin PA. *Estatística Básica*. São Paulo: Saraiva; 2015.
- [14] Miot HA. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. *J Vasc Bras*. 2017; 16(2):88-91.