

USO DE ESPONJAS SINTÉTICAS COMO ADSORVENTE EFICIENTE E DE BAIXO CUSTO PARA REMOÇÃO DO CORANTE LARANJA SAFRANINA

Lennon Alonso de Araujo¹, Eduarda Freitas Diogo Januário², Taynara Basso Vidovix³, Gabriela Maria Matos Demiti⁴, Raquel Gutierrez Gomes⁵, Rosângela Bergamasco⁶

¹Doutorando em Biotecnologia Ambiental, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM. Bolsista CNPq. alonso_new@live.com

²Doutoranda em Engenharia Química, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM. Bolsista CNPq. eduardafjanuario@gmail.com

³Doutoranda em Engenharia Química, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM. taynaravidovix@gmail.com

⁴Doutoranda em Engenharia Química, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM. Bolsista CNPq. gabrielademiti@gmail.com

⁵Coorientadora, Doutora, Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá – UEM. rggomes1716@gmail.com

⁶Orientadora, Doutora, Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM. ro.bergamasco@hotmail.com

RESUMO

A descarga de poluentes nos corpos hídricos, como corantes por exemplo, resulta em diversos danos à saúde humana e ao ecossistema. O laranja safranina é um corante catiônico amplamente utilizado nos setores da indústria farmacêutica, têxtil, alimentícia e bioquímica. Ele pode causar irritação nos olhos e também criar lesões permanentes na córnea e na conjuntiva ocular de humanos e animais, além de irritação na pele e no trato respiratório. Tendo em vista que a preservação e gestão ambiental estão se tornando uma preocupação global importante, o presente trabalho avaliou o uso de esponjas sintéticas na remoção do corante laranja safranina da água. O adsorvente produzido a partir desse produto que é extremamente difícil de reciclar e de tempo de decomposição indeterminado, foi eficiente na remoção do corante laranja safranina da água, alcançando 100% de remoção em apenas 4 horas de contato. O uso de esponjas sintéticas no tratamento de água seria de extrema ajuda ao meio ambiente, dando um novo destino para elas que não seja os aterros sanitários e ainda ajudando na remediação ou no tratamento de águas residuais contendo corantes.

PALAVRAS-CHAVE: Cinética; Efluente; Indústria têxtil; Pseudossegunda ordem; Tratamento de água.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável para a vida no planeta Terra e alternativas de preservação desse recurso tão importante para nós tem ganhado cada vez mais atenção. A contaminação dos corpos hídricos tornou-se uma preocupação global nos últimos tempos tendo em vista que o mundo todo enfrenta problemas de abastecimento de água doce devido as atividades urbana e industrial (ABUKHADRA; MOHAMED, 2019); (ABUKHADRA; SHABAN; ABD EL SAMAD, 2018). A descarga de poluentes como corantes, metais pesados, desreguladores endócrinos, pesticidas, microrganismos patogênicos, produtos farmacêuticos, produtos para cuidados pessoais, entre outros, excede a capacidade de autopurificação dos corpos hídricos, resultando em diversos danos à saúde humana, animal e ao ecossistema (LI; ZHU, 2020). Corantes sintéticos estão cada vez mais sendo usados em tingimento de tecidos, cosméticos, alimentos e fotografia, e durante o processo de tingimento, grande quantidade de intermediários de corantes que por vezes são tóxicos e de natureza cancerígena, são produzidos e lançados nos efluentes (BHATTI *et al.*, 2020). A mistura de corantes com os recursos hídricos é um grande problema, uma vez que os corantes causam alta carga de poluição orgânica, toxicidade, citotoxicidade, mutagenicidade, genotoxicidade, turbidez e cor indesejada o que ainda pode causar

redução da infiltração solar e alterações na atividade fotossintética e na demanda bioquímica de oxigênio (CUSIOLI *et al.*, 2019); (IQBAL, ABBAS, NISAR, 2019).

O laranja safranina é um corante catiônico amplamente utilizado nos setores da indústria farmacêutica, têxtil, alimentícia e bioquímica (JANUÁRIO *et al.*, 2021a). Ele pode causar irritação nos olhos e também criar lesões permanentes na córnea e na conjuntiva ocular de humanos e animais, além de irritação na pele e no trato respiratório (GUPTA *et al.*, 2007). Torna-se necessário então, que as indústrias e as estações de tratamento efetivamente removam corantes da água, a fim de promover o menor impacto possível sobre o meio ambiente (JANUÁRIO *et al.*, 2021b).

Alguns métodos de tratamento de água apresentam limitações devido à remoção inadequada de corantes, custo e produção de lodo, o que nos leva a adsorção usando adsorventes naturais ou produtos geralmente descartados, que é considerado altamente eficiente e atrai cada vez mais a atenção dos pesquisadores (BHATTI *et al.*, 2020). Esse método apresenta diversas vantagens incluindo a possibilidade de ser utilizado para a remoção de componentes orgânicos e inorgânicos mesmo em concentrações muito baixas, sendo relativamente fácil e segura de operar além de ser um processo econômico, pois existem vários materiais disponíveis que podem ser usados como adsorventes (ARAUJO *et al.*, 2018). Materiais que geralmente são descartados e/ou negligenciados, podem ser usados com adsorvente, de maneira a contribuir para a preservação do meio ambiente e a diminuição nos custos de tratamento de água. Alguns exemplos destas pesquisas são o uso de cascas de tangerina (JANUÁRIO *et al.*, 2021b) e de pinha (ARAUJO *et al.*, 2021), para remoção de corantes, cascas de ovo (MUTAVDŽIĆ PAVLOVIĆ *et al.*, 2017) e de semente de Moringa (ARAUJO *et al.*, 2018), para remoção de fármacos, resíduos agrícolas para remoção de metais pesados (SUD; MAHAJAN; KAUR, 2008), entre outros.

A esponja de lavar louças é um item muito presente no nosso cotidiano mas o que boa parte da população não sabe é que esse produto é extremamente difícil de ser reciclado, isso porque a esponja de lavar louças comum é composta por plástico poliuretano, um material de difícil reciclagem feito de petróleo e outros componentes químicos sintéticos (JOFILI, 2018). Esse item não é compostável e acaba indo para o aterro sanitário onde ficará por tempo indeterminado, tendo em vista que nenhuma fonte de informação consegue definir o tempo de decomposição da esponja (LEITE, 2021); (REIS, 2017).

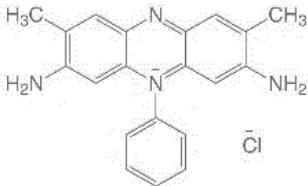
Tendo em vista que a preservação e gestão ambiental estão se tornando uma preocupação global importante, estimulando pesquisadores a desenvolver técnicas de remediação mais ecológicas, o presente trabalho avaliou o uso de esponjas sintéticas na remoção do corante laranja safranina da água.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CORANTE LARANJA SAFRANINA

A solução do corante laranja safranina (Inlab, pureza de 95%) foi preparada usando água deionizada sendo as concentrações lidas em espectrofotômetro UV-Vis (HACH DR 5000) em um comprimento de onda de 520 nm. A Tabela 1 apresenta as características principais do corante laranja safranina:

Tabela 1: Características principais do corante laranja safranina

Fórmula molecular	Estrutura química	Peso molecular (g mol ⁻¹)	Comprimento de onda (nm)	Carga
C ₂₀ H ₁₉ N ₄ ⁺ , Cl ⁻		350,84	520	Catiônico

Fonte: JANUÁRIO *et al.*, 2021

2.2 PREPARAÇÃO DO ADSORVENTE

As esponjas sintéticas foram inicialmente deixadas de molho em uma solução de hipoclorito de sódio diluído em água destilada por cerca de 20 minutos. Posteriormente, separou-se a parte amarela da parte verde do material, sendo a parte amarela triturada em liquidificador com água destilada. Seguiu-se com a lavagem do material triturado com água quente. Por fim, o material foi seco em estufa a 100 °C por 24h.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE

As características morfológicas de superfície do adsorvente foram avaliadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), com auxílio de um microscópio Quanta FEI, modelo 250. Para essa análise as amostras foram recobertas com ouro a uma espessura de aproximadamente 30 nm.

2.4 ESTUDO CINÉTICO

As amostras foram mantidas em *Shaker* incubadora modelo TE-4200 (TECNAL) sob agitação de 150 rpm a 25°C; com 0,05 g de adsorvente em 50 mL de solução de laranja safranina com concentração inicial de 15 mg L⁻¹. Foram retiradas alíquotas em intervalos de tempo pré-determinados de 1 a 1.080 minutos. Todos os ensaios foram realizados em duplicata. As capacidades de adsorção, *qt* (mg g⁻¹), e a eficiência de remoção foram calculadas de acordo com as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$qt = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \quad (\text{Eq.1})$$

$$\%R = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} * 100 \quad (\text{Eq.2})$$

Em que C₀ é a concentração inicial de laranja safranina (mg L⁻¹), C_t é a concentração de laranja safranina em solução no tempo t (mg L⁻¹), V o volume de solução aquosa (L) e m a massa de adsorvente (g).

Os modelos de pseudoprimeira ordem e pseudossegunda ordem foram ajustados aos dados experimentais.

As equações dos modelos de pseudoprimeira ordem (HO; MCKAY, 1998) e pseudossegunda ordem (HO, 2006) estão representados nas equações 3 e 4, respectivamente.

Modelo de pseudoprimera ordem:

$$q_t = q_e(1 - e^{-K_1 t}) \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:

k_1 : constante da taxa de adsorção de pseudoprimera ordem (min^{-1});

q_e e q_t : são as quantidades adsorvidas por grama de adsorvente no equilíbrio e no tempo t , respectivamente (mg g^{-1}).

Modelo de pseudossegunda ordem:

$$q_t = \frac{q_e^2 K_2 t}{1 + q_e K_2 t} \quad (\text{Eq.4})$$

Onde:

k_2 : constante da taxa de adsorção de pseudossegunda ordem ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$).

q_e e q_t : são as quantidades adsorvidas por grama de adsorvente no equilíbrio e no tempo t , respectivamente (mg g^{-1}).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE

O adsorvente produzido foi submetido à análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) a fim de observar a superfície do adsorvente. As micrografias obtidas estão apresentadas na Figura 1.

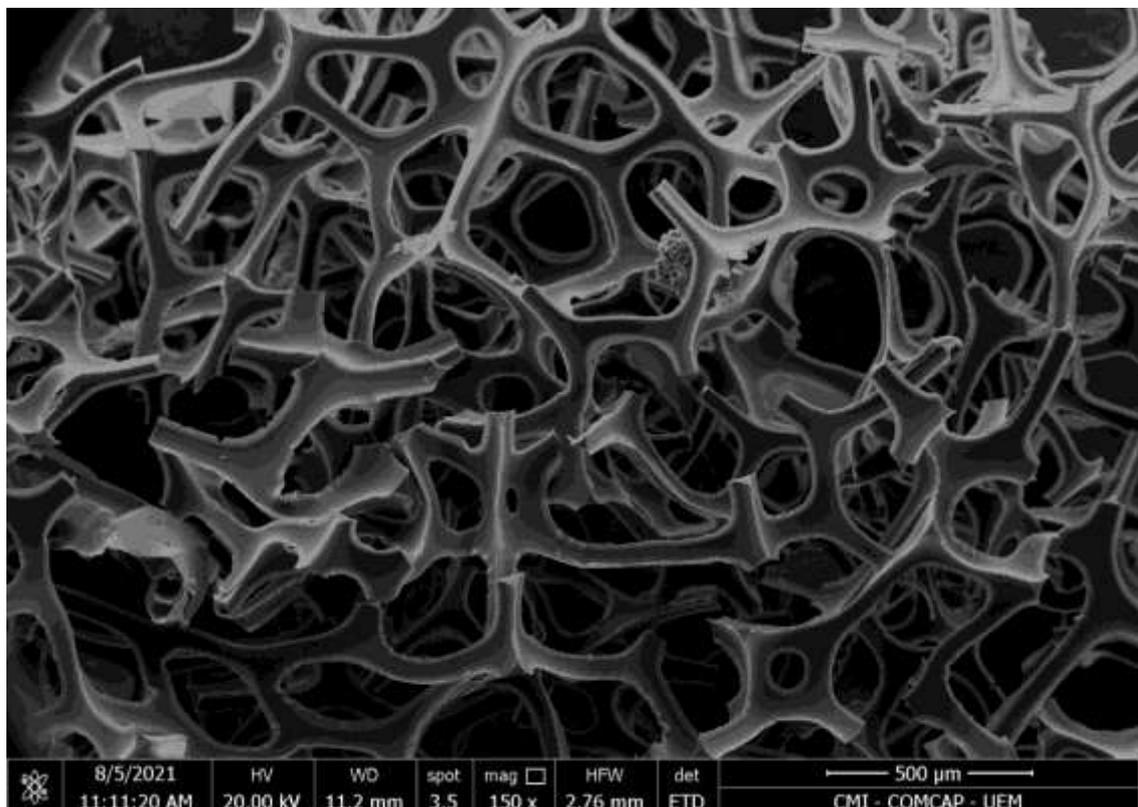


Figura 1: Microscopia eletrônica de varredura do adsorvente

Fonte: Dados da pesquisa

Podemos observar na figura 1 que o adsorvente apresenta uma grande quantidade de poros assimétricos e heterogêneos o que pode facilitar a fixação de poluentes catiônicos como o laranja safranina (JANUÁRIO *et al.*, 2021b).

3.2 ESTUDO CINÉTICO

Na figura 2 são apresentados os resultados do estudo da cinética de adsorção, sendo os valores expressos em porcentagem de remoção.

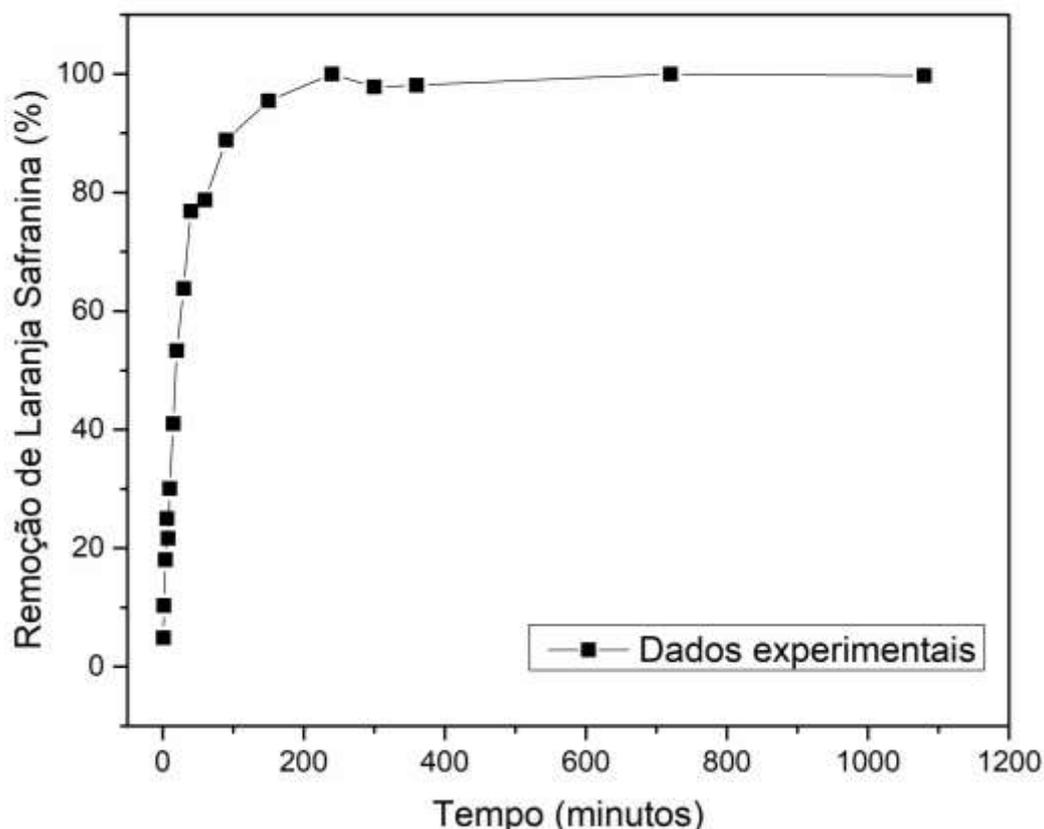


Figura 2: Porcentagem de remoção do corante laranja safranina em relação ao tempo
Fonte: Dados da pesquisa

Podemos observar na figura 2 que a porcentagem de remoção do corante laranja safranina pelo adsorvente produzido, aumenta rapidamente obtendo 30% de remoção em apenas 10 minutos. A porcentagem de remoção continua aumentando até chegar próximo a saturação adsorvente, em aproximadamente 240 minutos, chegando em 100% de remoção. Esses valores são maiores se comparados a outros estudos que usaram adsorventes para remoção de corantes como Maroneze *et al.*, (2014) que removeram 60% de azul de remazol, 55% de laranja reativo e 60 % de verde oliva utilizando quitosana e o de Souza, Antunes, Conceição (2013) que removeram 73% de corante Reativo Azul 19 por lama vermelha.

Esses resultados mostram a eficiência do adsorvente produzido a partir de esponjas sintéticas, o qual removeu 100% do corante laranja safranina da água em apenas 4 horas de contato. A figura 3 mostra a diferença da solução controle do corante trabalhado e da solução onde o adsorvente ficou em contato, ambas tiradas após 240 minutos.



Figura 3: Solução controle do corante laranja safranina e solução onde o adsorvente esteve em contato após 240 minutos
Fonte: Dados da pesquisa

Na figura 4 são apresentados os resultados do estudo da cinética de adsorção, sendo os valores expressos em quantidade de corante adsorvida por cada grama de adsorvente.

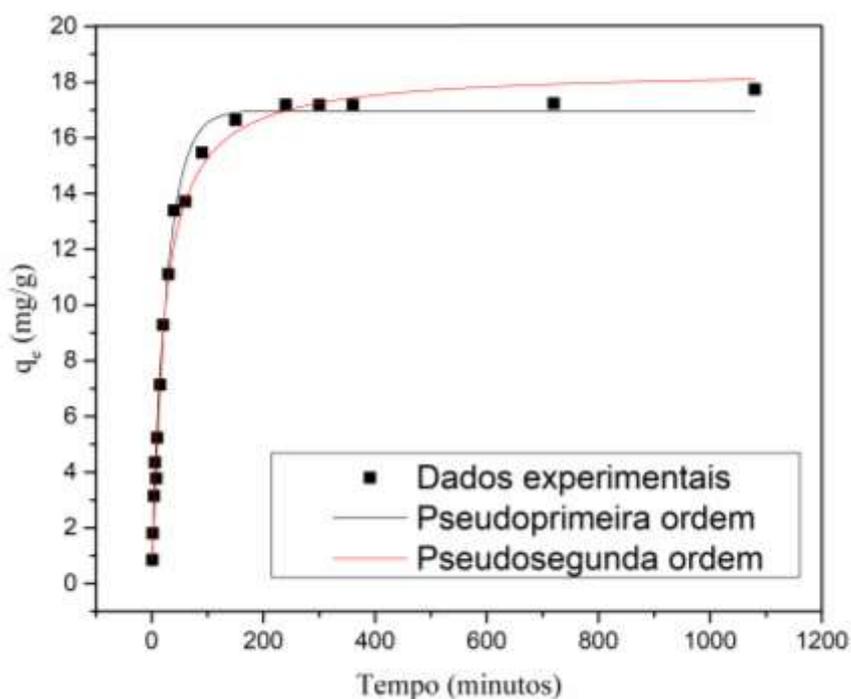


Figura 4: Quantidade adsorvida de laranja safranina por grama de adsorvente em relação ao tempo
Fonte: Dados da pesquisa

Podemos observar na figura 4 que a adsorção acontece de forma mais rápida no início do processo, ao passo que é mais lenta próxima ao equilíbrio em aproximadamente 240 minutos. Isso acontece devido ao fato de que no início do processo, há uma grande quantidade de sítios ativos disponíveis para a adsorção que ao passar do tempo, diminui e as moléculas que já foram adsorvidas dificultam a entrada de uma nova molécula (MARIN *et al.*, 2016). O q_e máximo é alcançado em 1.080 minutos sendo $17,74 \text{ mg g}^{-1}$ o que significa que foi adsorvido $17,74 \text{ mg}$ de laranja safranina para cada grama do adsorvente. Na tabela 2 são apresentados os parâmetros referentes aos modelos de pseudoprimera ordem e pseudossegunda ordem.

Tabela 2: Parâmetros dos modelos de pseudoprimera ordem e pseudossegunda ordem

Pseudoprimera ordem				Pseudossegunda ordem			
q_e^{exp}	q_e^{cal}	k1	R ²	q_e^{exp}	q_e^{cal}	k2	R ²
(mg g^{-1})	(mg g^{-1})	(min^{-1})		(mg g^{-1})	(mg g^{-1})	($\text{g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$)	
17,74	16,97	0,0365	0,98	17,74	18,44	0,0026	0,99

Fonte: Dados da pesquisa

Podemos observar na tabela 2 que o modelo de pseudossegunda ordem apresentou um melhor coeficiente de correlação (0,99) e também se aproximou mais do valor de q_e experimental em relação ao modelo de pseudoprimera ordem. Esse modelo explica a relação entre o adsorvente e o adsorbato através do mecanismo de compartilhamento de forças de valência ou elétrons e sugere que o processo seja a quimiossorção (SHABAN *et al.*, 2017).

4 CONCLUSÃO

A análise de microscopia eletrônica de varredura mostrou que o adsorvente apresenta uma grande quantidade de poros assimétricos e heterogêneos o que pode facilitar a fixação de poluentes catiônicos como o laranja safranina.

Além disso, o adsorvente produzido a partir de esponja sintética, um produto extremamente difícil de reciclar e de tempo de decomposição indeterminado, foi eficiente na remoção do corante laranja safranina da água, alcançando 100% de remoção em apenas 4 horas de contato.

O q_e máximo foi alcançado em 1.080 minutos sendo $17,74 \text{ mg g}^{-1}$, e o modelo de pseudossegunda ordem foi o que mais se ajustou aos dados experimentais.

O uso das esponjas sintéticas no tratamento de água seria de extrema ajuda ao meio ambiente, dando um novo destino para elas que não os aterros sanitários e ainda ajudando na remediação ou no tratamento de águas contendo corantes, sendo ainda uma forma barata, tendo em vista que o material usado é muito usado em nossas casas e frequentemente descartado.

AGÊNCIAS DE FOMENTO: CNPq, Purific Ltda.

REFERÊNCIAS

ABUKHADRA, M. R.; MOHAMED, A. S. Adsorption Removal of Safranin Dye Contaminants from Water Using Various Types of Natural Zeolite. **Silicon**, v. 11, n. 3, p. 1635–1647, 2019.

ABUKHADRA, M. R.; SHABAN, M.; ABD EL SAMAD, M. A. Enhanced photocatalytic

removal of Safranin-T dye under sunlight within minute time intervals using heulandite/polyaniline@ nickel oxide composite as a novel photocatalyst. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 162, p. 261–271, 2018.

ARAUJO, L. A. *et al.* Journal of Environmental Chemical Engineering Moringa oleifera biomass residue for the removal of pharmaceuticals from water. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 6, p. 7192–7199, 2018.

ARAUJO, L. A. *et al.* Estudo cinético da bio sorção de vermelho neutro por casca de pinha (*Annona squamosa*). **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 43317–43326, 29 abr. 2021.

BHATTI, H. N. *et al.* Efficient removal of dyes using carboxymethyl cellulose/alginate/polyvinyl alcohol/rice husk composite: Adsorption/desorption, kinetics and recycling studies. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 150, p. 861–870, 2020.

CUSIOLI, L. F. *et al.* Soybean hulls as a low-cost biosorbent for removal of Methylene blue contaminant. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, 2019.

GUPTA, V. K. *et al.* Photochemical degradation of the hazardous dye Safranin-T using TiO₂ catalyst. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 309, n. 2, p. 464–469, 15 maio 2007.

HO, Y. S. Review of second-order models for adsorption systems. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, n. 3, p. 681–689, 2006.

HO, Y. S.; MCKAY, G. A Comparison of chemisorption kinetic models applied to pollutant removal on various sorbents. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 76, n. 4, p. 332–340, 1998.

JANUÁRIO, E. F. D. *et al.* Advanced graphene oxide-based membranes as a potential alternative for dyes removal: A review. **Science of The Total Environment**, v. 789, p. 147957, 2021a.

JANUÁRIO, E. F. D. *et al.* Investigation of Citrus reticulata peels as an efficient and low-cost adsorbent for the removal of safranin orange dye. **Environmental Technology**, p. 1–37, 21 jun. 2021b.

JOFILI, G. **Esponja de lavar louça**: bucha vegetal é opção ecológica. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/esponja-de-lavar-louca/>.

LEITE, M. B. A. **Tempo de decomposição dos materiais**. Disponível em: https://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/tempo_de_decomposicao_dos_materiais.html.

LI, Z.; ZHU, M. Detection of pollutants in water bodies: electrochemical detection or photo-electrochemical detection? **Chemical Communications**, v. 56, n. 93, p. 14541–14552, 2020.

M. IQBAL, M. ABBAS, J. NISAR, A. N. Bioassays based on higher plants as excellent dosimeters for ecotoxicity monitoring: A review. **Chem. Int.**, v. 5, n. 1, p. 1–80, 2019.

MARIN, P. et al. Synthesis, Characterization and Application of ZrCl₄-Graphene Composite Supported on Activated Carbon for Efficient Removal of Fluoride to Obtain Drinking Water. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, p. 479, 2016.

MARONEZE, M. M. et al. A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.

MUTAVDŽIĆ PAVLOVIĆ, D. et al. Eggshell as a New Biosorbent for the Removal of Pharmaceuticals From Aqueous Solutions. **CLEAN - Soil, Air, Water**, v. 45, n. 12, p. 1700082, dez. 2017.

REIS, G. [QuartaSemEscândalo] E as esponjas de cozinha? São recicláveis? 2017.

SHABAN, M. et al. Upgraded modified forms of bituminous coal for the removal of safranin-T dye from aqueous solution. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 22, p. 18135–18151, 2017.

SOUZA, K. C.; ANTUNES, M. L. P.; DA CONCEIÇÃO, F. T. Adsorção do corante reativo azul 19 em solução aquosa por lama vermelha tratada quimicamente com peróxido de hidrogênio. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 651–656, 2013.

SUD, D.; MAHAJAN, G.; KAUR, M. Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions – A review. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 14, p. 6017–6027, set. 2008.