

Remoção do corante azul reativo BF 5G através de compostos adsorventes produzidos a partir de lodo de estação de tratamento de água e agro-resíduos

Camila da Silva Rodrigues¹

Raphaela Ferraz Freitas¹

Roberta Bueno Martins¹

Daniele Moreira²

Rosane Freire Boina³

Reaproveitamento, reutilização e tratamento de resíduos (sólidos e líquidos)

Resumo

Este trabalho sintetizou e caracterizou dois compostos adsorventes a partir do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) um com adição de resíduos de casca de laranja (CALL) e outro com resíduos de casca de maracujá (CALM), ambos visando sua aplicação na remoção do corante azul reativo BF 5G de soluções aquosas. Os materiais precursores foram tratados e levados a pó. Após a mistura, em proporções definidas, cada adsorvente foi moldado em forma circular. As pastilhas CALL e CALM foram tratadas a 400°C. Os produtos foram caracterizados quanto ao ponto de carga zero (pH-pCz), FRX, DRX, BET e pH-pCz. Os resultados revelam que os compostos apresentaram composição química e mineralógica promissora para adsorção, com predominância de sílica (>45%) e alumínio (>30%), superfície mesoporosa, microporosa e rugosa. A eficiência de remoção foi avaliada quanto ao pH da solução, temperatura, tempo de contato e quantidade de pastilhas empregadas (massa). Para ambos os materiais, o melhor desempenho foi obtido em solução com pH 3, com eficiência de remoção de até 82% para o CALL e 81% para o CALM a uma concentração de 10 mg·L⁻¹. O tempo de contato variou entre 2 e 24 horas. O processo mostrou-se favorável em temperatura ambiente e rápido, aplicando até 3 unidades de cada adsorvente.

Palavras-chave: Tratamento; Resíduos; Indústria Têxtil

¹Alunas do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente, camila.s.rodrigues@unesp.br.

²Aluna do curso de doutorado do Programa Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Departamento de Física, daniele.moreira@unesp.br

³Orientação. Prof. Dr. na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista - UNESP), Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente, rosane.freire@unesp.br



INTRODUÇÃO

A Lei Federal nº 12.345 de 2010 classifica os resíduos sólidos como qualquer material, substância, objeto ou bem, seja sólido, semissólido, gasoso ou líquido, cujas características tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto, oriundos de atividade humanas e que ainda possuam formas de reaproveitamento. Com esse olhar, observa-se que desenvolvimento industrial, junto ao rápido crescimento populacional, provoca o despejo de diversos tipos de resíduos no meio ambiente, ocasionando sérios impactos à qualidade do solo, água e ar (Jaffari; Hong; Park, 2024).

Entre os principais setores, a indústria têxtil se destaca pelo grande volume de efluente gerado e é responsável por aproximadamente 20% da contaminação de água no mundo (Korkmaz *et al.*, 2024). O principal poluente encontrado nesses efluentes é o corante (Isawi; Sadik; Nasr, 2024). Anualmente, são produzidas cerca de 700 mil toneladas de corantes (Mahajan; Jaspal; Malviya, 2023), os quais podem ser classificados nas principais categorias: catiônicos, aniônicos (ácidos, diretos ou reativos), dispersos e vat, conforme suas cores, grupos funcionais e estrutura química (Hosny; Gomaa; Elmahgary, 2023). Entre os corantes reativos, encontra-se o azul reativo BF 5G, amplamente utilizado pelas indústrias devido às suas boas características de tingimento, sendo comumente encontrado em efluentes têxteis (Dolfini *et al.*, 2024).

Quando lançados em corpos d'água sem o devido tratamento, esses efluentes causam impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana, uma vez que se acumulam na cadeia alimentar, causando mutações e cânceres (Alsawat, 2024). Ainda, os corantes possuem em sua estrutura química anéis aromáticos, o que os torna resistentes aos métodos convencionais de tratamento de efluentes (Shi *et al.*, 2022).

Frente a esse contexto, a adsorção se apresenta como um método alternativo vantajoso por sua simplicidade, baixo custo e alta eficiência (Hevira; Ighalo; Sondari, 2024). Entre os materiais utilizados como adsorventes, os agro-resíduos têm demonstrado bons resultados na remoção de corantes e íons metálicos em solução aquosa (De Almeida

REALIZAÇÃO



et al., 2024; Ramos *et al.*, 2022; Pieczykolan; Krzyżowska, 2022).

As cascas de laranja e maracujá estão entre os agro-resíduos mais estudados em testes de adsorção em razão de sua composição química rica em pectina, hemicelulose, celulose e lignina. Tais componentes apresentam diversos grupos funcionais como os carboxílicos e fenólicos, que proporcionam uma estrutura porosa ao adsorvente (Feltrin; Cechinel, 2024; Souza *et al.*, 2019; Sousa *et al.*, 2021).

Outro resíduo com elevado potencial adsorativo é o Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA), um subproduto do tratamento de água para consumo humano, gerado em grandes quantidades nos processos de coagulação (De Almeida *et al.*, 2024). Estima-se que sejam gerados, diariamente, até 800 milhões de litros de LETA no Brasil (Ruviaro *et al.*, 2023). Consequentemente, o LETA representa um desafio para as empresas de saneamento, que acabam descartando o resíduo de forma inadequada nos corpos d'água (Hagemann *et al.*, 2019).

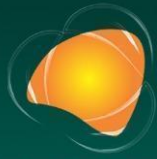
O LETA possui uma composição química mineralógica com presença de metais como o ferro, silício e alumínio, que conferem maior área superficial e reatividade em adsorventes (Ritter e Hassemer, 2021). Além disso, o resíduo tem apresentado resultados satisfatórios em estudos recentes de adsorção de corantes (Dias *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2022; Shumiye *et al.*, 2024; Freire-Boina *et al.*, 2024).

Diante do exposto, este trabalho desenvolveu uma solução inovadora para a remoção do corante têxtil azul reativo BF 5G, utilizando pastilhas adsorventes geradas a partir da blenda do LETA e das cascas de laranja e maracujá. O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicabilidade das pastilhas no processo de adsorção para a remoção do corante azul BF 5G.

METODOLOGIA

Preparo dos materiais e produção dos compostos adsorventes

O lodo de ETA foi fornecido por uma empresa de saneamento municipal do interior Paulista, que opera o tratamento em ciclo convencional com aplicação de policloreto de



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

alumínio (PAC) como coagulante. O lodo foi desaguado em manta geotêxtil (105 g/m²), seco em estufa (90°C), destorroado manualmente, pulverizado e peneirado (<0,355 mm).

A laranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) e o maracujá (*Passiflora edulis* Sims) foram adquiridos *in natura* em hipermercado local. As cascas foram higienizadas com água destilada, fragmentadas e encaminhadas para a estufa a 60°C por 24 horas. Depois de secas, foram trituradas em moinho de facas e pulverizadas em micronizador. Por fim, o pó micronizado foi passado em peneira (<0,355 mm). Os produtos foram denominados de casca de laranja seca (CLS) e casca de maracujá seco (CMS). O material argiloso (MA) foi coletado em indústrias ceramistas do município. O MA foi seco em estufa a 90°C por 24 horas. Depois, foi destorroado em moinho de pratos e peneirado (<0,355mm).

Os compostos adsorventes foram produzidos a partir do LDS, das cascas secas da laranja e do maracujá e do material argiloso na seguinte proporção: 95% de LDS e 5% de CLS para o composto com laranja e 70% LDS, 20% CMS e 10% MA para o composto com maracujá, seguindo a metodologia de Mouratib et. al (2020). As misturas foram fracionadas em porções de 0,50 g, moldadas em matriz circular com diâmetro de 13 mm e espessura de 1 a 2 mm, em prensa hidráulica, à 60kN, por 3 minutos. Os discos obtidos foram sinterizados em forno mufla a 400°C e permanência de 2 horas. Os materiais foram denominados Composto Adsorvente de Lodo e Laranja (CALL) e Composto Adsorvente de Lodo e Maracujá (CALM).

Propriedades mineralógicas, químicas e de superfície da CALL e CALM.

A composição da CALL e CALM foram caracterizadas Fluorescência de Raios X (FRX). As fases cristalinas dos materiais foram identificadas por Difratomia de Raios X (DRX). A área superficial, volume e diâmetro de poros foram caracterizados seguindo o método de Brunauer, Emmett, Teller (BET). A carga superficial foi avaliada pela análise de pH do Ponto de Carga Zero (pH-PCZ), conforme Regalbuto e Robles (2004).

Preparo do efluente sintético

O efluente sintético foi preparado a partir do corante azul reativo BF 5G em pó,



fornecido por uma lavanderia industrial. As soluções foram preparadas conforme necessidade, em volume apropriado, por diluição de uma solução padrão 100 mg L^{-1} .

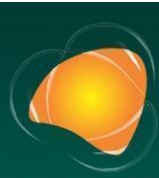
O efluente contendo corante foi analisado por espectroscopia ultravioleta-visível (uv-vis) na faixa de 325 a 800 nm, identificando um pico de adsorção em 620 nm. Uma curva de calibração para o corante foi estabelecida utilizando concentrações de solução variando de 1,0 a $30,0 \text{ mg L}^{-1}$ e o zero ajustado com teste em branco (água deionizada). A curva de calibração foi usada para determinar a concentração inicial e final das amostras de corante nos experimentos de adsorção.

Ensaio de adsorção em batelada

Ensaio em batelada foram desenvolvidos para verificar a aplicação dos adsorventes na remoção do corante. Para isso, foram utilizadas soluções em concentração de 10 mg L^{-1} de corante, variando os seguintes parâmetros: pH, temperatura, tempo de contato e massa do adsorvente. Todos os ensaios foram realizados em estufa shaker, empregando 50 mL do efluente a 120 rpm, em duplicata.

Inicialmente, foi estudado o efeito do pH no processo adsorptivo. Uma pastilha de cada composto foi adicionada a um Erlenmeyer contendo o efluente em três diferentes condições de pH: 3, 6 e 9, sendo o pH corrigido a partir das soluções de H_2SO_4 ou NaOH $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. Nesse momento, a temperatura foi mantida a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas, a fim de encontrar o pH no qual será apresentado a condição de melhor desempenho das pastilhas quanto a remoção do corante.

A influência da temperatura foi avaliada em 20, 25 e $35 \text{ }^\circ\text{C}$, com ensaios empregando uma unidade de cada pastilha no tratamento do efluente sintético em pH ideal, por 24 horas. O efeito do tempo de contato foi estudado nas condições de 2, 12 e 24 horas, e pH e temperatura determinados nos estudos anteriores. Por fim, foi investigado a influência da massa ou quantidade de pastilhas quanto a remoção do corante azul reativo BF 5G, em pH, temperatura e tempo de contato ideais, variando a quantidade de pastilhas em: 1 ($\sim 0,30 \text{ g}$), 2 ($\sim 0,60 \text{ g}$) e 3 ($\sim 0,90 \text{ g}$) unidades para o CALL e 1 ($\sim 0,50 \text{ g}$), 2 ($\sim 1 \text{ g}$) e



3 (~1,5 g) unidades para o CALM.

A capacidade de adsorção (q), ou taxa de adsorção, e a eficiência de remoção (ER) do processo foram determinadas conforme as Equações 1 e 2, respectivamente:

$$q \text{ (mg.g}^{-1}\text{)} = \frac{(C_o - C_f)}{V} \cdot m \quad (1)$$

$$ER \text{ (\%)} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} \cdot 100 \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades mineralógicas, química e superficial da CALL e CALM.

A análise por Fluorescência de Raio-X (FRX) indicou que os elementos predominantes no CALL são silício (51,94 %), alumínio (33,21 %) e ferro (8,68 %). O material também apresenta potássio (1,66 %), titânio (1,65 %), cálcio (1,06 %) e enxofre (0,79 %). Semelhantemente, o CALM apresentou maior predominância em silício (51,49%), alumínio (33,14%), ferro (9,34%), potássio (2,24%) e titânio (1,80%). Esses elementos estão associados à estrutura e composição dos materiais precursores e ao processo de tratamento do LETA. A composição mineralógica obtida por Difratometro de Raio-X (Figura 1) revelou fases de quartzo (Q) e caulinita (K) nos materiais precursores e compostos adsorventes. Segundo Guerra et al. (2008) a presença de caulinita e quartzo é interessante para o processo adsortivo.

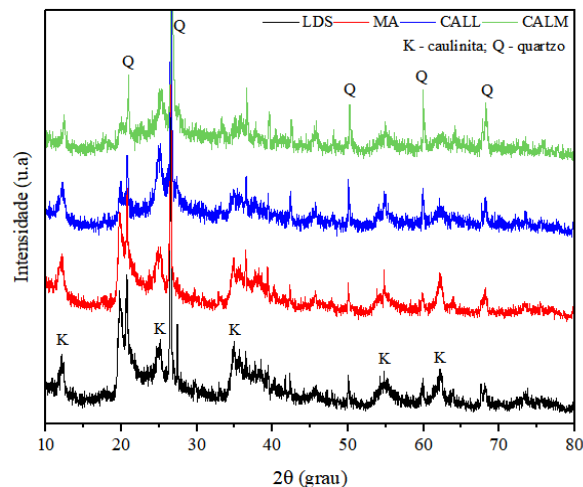


Figura 1: Estrutura cristalina dos precursores LDS e MA e compostos CALL e CALM.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

As propriedades de superfície foram avaliadas por análise BET, conforme apresentado na Tabela 1. As áreas superficiais para CALL e CALM foram de 69,45 e 41,25 $\text{m}^2.\text{g}^{-2}$, respectivamente, indicando áreas significativa para processo de adsorção. Esses valores estão alinhados com estudos que demonstram que maiores áreas superficiais aumentam a disponibilidade de sítios ativos, favorecendo a adsorção de contaminantes. Como observado por Zhaia *et al.* (2021), onde ativação do material, promoveu maior área superficial, resultou em maior eficiência na remoção de corantes. O diâmetro de poro da CALL e CALM (5,68 e 6,25 nm) é relativamente maior que o raio da molécula do corante azul reativo BF G5 (2,41 nm), sugerindo que essa molécula pode acessar facilmente as regiões mais internas do poro do material, contribuindo para maiores capacidades de adsorção.

O pH do ponto de carga zero (pH-pcz) da CALL e CALM foi determinado em pH 8,03 e 7,95, respectivamente (Tabela 1). Em valores de pH acima do pH-pcz a superfície do material é carregada negativamente, enquanto em pH abaixo do pH-pcz adquire carga positiva, favorecendo a atração de moléculas de carga negativa, como corantes aniônicos (Shrivastava *et al.*, 2023; Streit *et al.*, 2024).

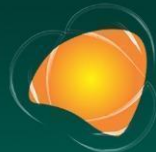
Tabela 1 - Propriedades de superfície dos compostos adsorventes.

Adsorvente	SBET (m^2/g)	Vp (cm^3/g)	Dp (nm)	pH-pCz
CALL	69,45	0,099	5,677	8,03
CALM	41,251	0,064	6,255	7,95

Ensaio de adsorção

Influência do pH

O efeito do pH na capacidade de adsorção e eficiência de remoção da CALL e CALM para o corante azul reativo BF G5 em diferentes pHs (3-9) está apresentado na Figura 2. A eficiência de remoção e capacidade de adsorção para os dois materiais aumentam com a diminuição do pH. A capacidade máxima de adsorção para corante foi observada em 0,856 $\text{mg}.\text{g}^{-1}$ para CALL e 0,767 $\text{mg}.\text{g}^{-1}$ CALM e eficiências de remoção de ~50 %, em pH 3. Os valores ótimos de capacidade de adsorção em pH baixo podem ser justificados pela protonação dos grupos funcionais na superfície do adsorvente, isso pode



favorecer a interação eletrostática com o corante aniônico (Xia *et al.*, 2024). O resultado encontrado corrobora com a análise do pH-pcz, que indicou melhor interação entre os materiais e o corante aniônico em $\text{pH} < 8$. Dessa forma, o pH 3 foi empregado para os ensaios posteriores.

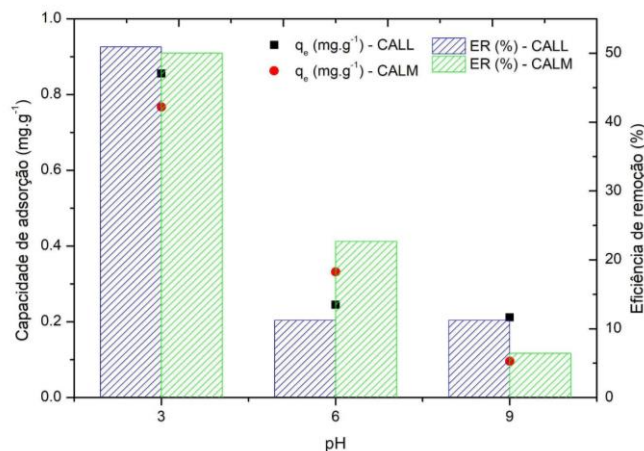


Figura 2: Capacidade de adsorção (mg.g^{-1}) e eficiência de remoção de corante azul reativo BF G5, com uma pastilha de CALL e CALM em diferentes pHs (3, 6 e 9).

Influência da temperatura

A influência da temperatura para remoção do corante azul reativo BF G5 está apresentada na Figura 3. A maior capacidade de adsorção foi observada à 20 °C, para CALL ($0,887 \text{ mg.g}^{-1}$) e à 35 °C para CALM ($0,723 \text{ mg.g}^{-1}$), resultando em eficiências de remoção de 48% e 51%, respectivamente. Para o CALM, o aumento da temperatura favoreceu o processo de adsorção, devido a maior movimentação das moléculas em solução e a colisão entre os sítios ativos e o corante, favorecendo a difusão do contaminante na superfície do adsorvente e contribuindo para ionização dos grupos funcionais. Em contrapartida, a CALL apresentou redução na capacidade de adsorção com o aumento da temperatura, esse resultado pode estar associado ao enfraquecimento das forças de atração entre o corante e os sítios ativos do adsorvente.

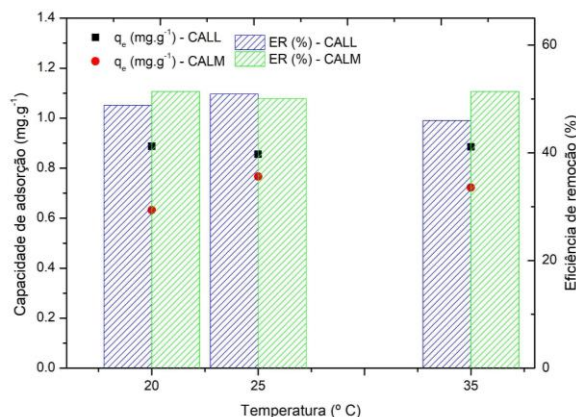
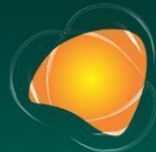


Figura 3: Capacidade de adsorção (mg.g^{-1}) e eficiência de remoção de corante azul reativo BF G5, com uma pastilha de CALL e CALM em diferentes temperaturas (20, 25 e 35 °C).

Influência do tempo de contato

A influência do tempo de contato na capacidade de adsorção e eficiência de remoção do corante azul reativo BF G5 está ilustrada na Figura 4. O aumento do tempo de contato de 2 para 24h favoreceu a remoção do contaminante para ambos os materiais adsorventes. A capacidade máxima de adsorção foi alcançada em 24h para CALL e CALM, com valores de $0,856 \text{ mg.g}^{-1}$ e $0,767 \text{ mg.g}^{-1}$, e eficiências de remoção de 50%, aproximadamente. Esses resultados indicam que o tempo de contato prolongado favorece a adsorção, permitindo maior interação entre o adsorvente e adsorvato. Para melhor compreensão em relação ao tempo de equilíbrio se faz necessário um estudo de cinética de adsorção.

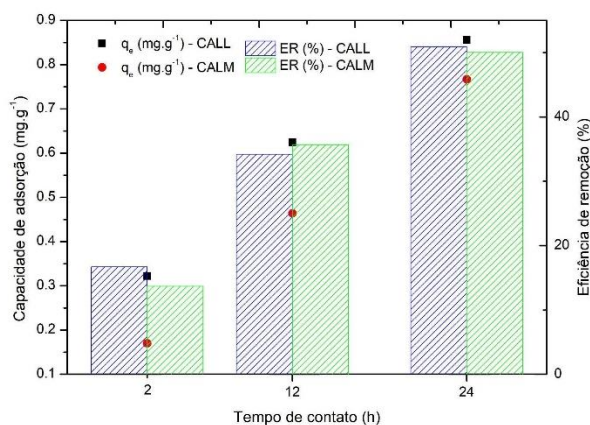
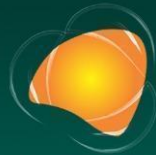


Figura 4: Capacidade de adsorção (mg.g^{-1}) e eficiência de remoção de corante azul reativo BF G5, com uma pastilha de CALL e CALM em diferentes tempos de contato (2, 12, 24 h).



Influência da massa do adsorvente

O efeito da dosagem do adsorvente na remoção de corante azul reativo BF G5 foi realizado com 1, 2 e 3 pastilhas, os resultados estão ilustrados na Figura 5. A capacidade de adsorção e eficiência de remoção aumentaram com o aumento do número de pastilhas. A melhor capacidade de adsorção de corante ocorreu com 3 pastilhas em $1,506 \text{ mg.g}^{-1}$ para CALL e $1,099 \text{ mg.g}^{-1}$ CALM, com eficiências de remoção de $\sim 80\%$. Esse resultado está associado à maior área superficial e conseqüentemente maior porosidade e disponibilidade de sítios ativos, que é proporcional à quantidade de material aplicado nos ensaios. Além disso, áreas superficiais maiores facilitam o acesso dos contaminantes aos sítios ativos do material.

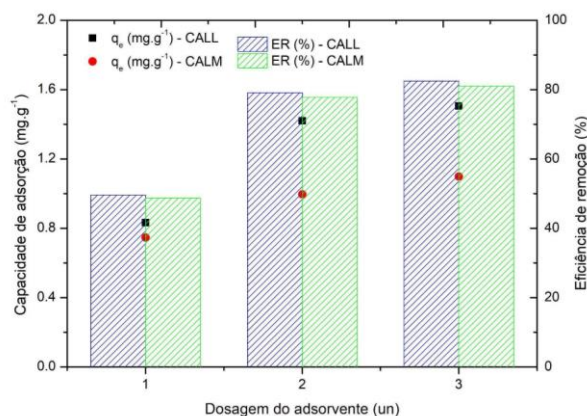


Figura 5: Capacidade de adsorção (mg.g^{-1}) e eficiência de remoção de corante azul reativo BF G5, com a CALL e CALM em diferentes massas (1, 2 e 3 un).

CONCLUSÕES

A preparação e síntese dos adsorventes CALL e CALM não foram complexas ou trabalhosas. As características físicas, composição química e carga superficial dos materiais mostraram-se favoráveis para o uso seguro e eficaz na adsorção do corante azul reativo BF 5G em soluções aquosas. A adsorção do corante sobre a superfície dos adsorventes CALL e CALM foi influenciada pelo pH ácido da solução. O processo ocorreu de forma eficiente, sendo, então, dependente de temperatura e alcançando maior eficiência com três unidades do composto. Tanto a eficiência de remoção quanto a capacidade de adsorção atingiram os valores esperados.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

AGRADECIMENTOS

À equipe do LCGRS da FCT Unesp, ao CNPq e ao Programa FAPESP EMU (Equipamentos Multiusuários 2018/19251-7)

REFERÊNCIAS

Abdelwahab, O. et al. Kinetic and thermodynamic aspects of cadmium adsorption onto raw and activated guava (*Psidium guajava*) leaves. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 34, n. 2, p. 351–358, 4 mar. 2015.

Ahmed, M.; Mashkoo, F.; Nasar, A. Development, characterization, and utilization of magnetized orange peel waste as a novel adsorbent for the confiscation of crystal violet dye from aqueous solution. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 10, p. 100322, abr. 2020.

Alsawat, M. Congo red dye adsorption using $\text{CuSnO}_2\text{TiO}_2$ nanocomposites: Adsorption data interpretation by statistical modeling. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 9, n. 7, 2024.

Boina, R.F.; Estevam, B.R.; Freitas, R.F.; Rodrigues, J.M.M.; Boina, W.L. de O.; Sales, D.H.; De Souza, A.E.; Teixeira, S.R.; Pereira, N.C. Ceramic adsorbent material in removing reactive blue bf 5G dye from synthetic wastewater. **Separation and Purification Technology**, v. 201, p. 1071-1080, 2024.

Brasil. Lei Federal nº 12.305, de 10 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei Federal nº. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2010.

Dolfini, N.; Moreira, P. V.; Moreira, W.; Scheufele, F.; Arroyo, P.; Pereira, N. LDH/Alginate composite for anionic dye adsorption: synthesis, mechanisms and modeling. **Separation and Purification Technology**, v. 351, p. 128073, dez. 2024, .

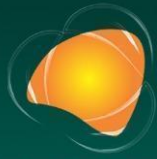
De Almeida, M. B. G.; De Jesus, D. A.; Pereira, A.; Fiore, F. Evaluating centrifuged water treatment plant sludge as an adsorbent for nutrients, microorganisms, and heavy metals removal from wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 468, p. 142975, ago. 2024.

Feltrin, N.; Cechinel, M. A. P. Remoção de ferro de soluções aquosas utilizando casca de laranja liofilizada. **Observatorio de La Economía Latinoamerica**, v. 22, n. 4, e4211, 2024.

Guerra, D. L. et al. Avaliação da eficiência de caulinita intercalada com dimetilsulfóxido em adsorção com o Zn(II) em meio aquoso: cinética do processo de adsorção. **Cerâmica**, v. 54, n. 331, p. 273–279, set. 2008.

Hagemann, S. E.; Gastaldini, A. L. G.; Cocco, M.; Jahn, S. L.; Terra, L. M. Synergic effects of the substitution of Portland cement for water treatment plant sludge ash and ground limestone: Technical and economic evaluation. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 916-926, 2019.

Hevira, L.; Ighalo, J. O.; Sondari, D. Chitosan-based polysaccharides for effective synthetic dye adsorption. **Journal of Molecular Liquids**, v. 393, p. 123604, jan. 2024.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

- Hosny, N. M.; Gomaa, I.; Elmahgary, M. G. Adsorption of polluted dyes from water by transition metal oxides: A review. **Applied Surface Science Advances**, v. 15, p. 100395, jun. 2023.
- Isawi, H.; Sadik, M. A.; Nasr, F. A. Combined electrocoagulation/flotation technique and membrane desalination for textile wastewater reuse. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 12, n. 5, p. 113661, out. 2024.
- Jaffari, Z. H.; Hong, J.; Park, K. Y. A systematic review of innovations in tannery solid waste treatment: A viable solution for the circular economy. **Science of The Total Environment**, v. 948, p. 174848, out. 2024.
- Korkmaz, G.; Aktay, N.; Palas, B.; Ersoz G.; Atalay, S. Photo Fenton-like oxidation of real textile wastewater: Operating conditions, kinetic modelling and cost analysis. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 204, p. 109951, out. 2024.
- Long, J. et al. Inactive Fusarium fungal strains (ZSY and MJY) isolation and application for the removal of Pb(II) ions from aqueous environment. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 72, p. 442–452, abr. 2019.
- Mahajan, P.; Jaspal, D.; Malviya, A. Adsorption of dyes using custard apple and wood apple waste: A review. **Journal of the Indian Chemical Society**, v. 100, n. 3, p. 100948, mar. 2023.
- Mouratib, R. et al. Low-cost ceramic membrane made from alumina- and silica-rich water treatment sludge and its application to wastewater filtration. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 40, n. 15, p. 5942–5950, dez. 2020.
- Pieczykolan, B.; Krzyżowska, P. Removal of Helaktyn Blue F-2R via adsorption onto modified post-coagulation sludge. **Desalination and Water Treatment**, v. 275, p. 103–115, nov. 2022.
- Ruviaro, A. S.; Silvestro, L.; Andrade Neto, J. da S.; Gleize, P. J. P.; Pelisser, F.. Eco-efficient cement production: Investigating water treatment plant sludge and eggshell filler use in LC3 systems. **Construction and Building Materials**, v. 394, p. 132300, ago. 2023.
- Shi, Y.; Chang, Q.; Zhang, T.; Song, G.; Sun, Y.; Ding, G. A review on selective dye adsorption by different mechanisms. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 6, 2022.
- Shrivastava P., Dwivedi M. K., Malviya V., Jain P., Yadav A., Jain N. Adsorption of Crystal violet dye from aqueous solution by activated sewage treatment plant sludge. **Desalination and Water Treatment**, v. 283, p. 222-236, 2023
- Streit A. F. M., Pereira H. A., Moreno-Pérez J., Mendoza-Castillo D. I., Reynel-Ávila H. E., Martinello K. B., Silva L. F. O., Ahmad N., Mohandoss S., Bonilla-Petriciolet A., Dotto G. L. New study of the adsorption mechanism of different dye molecules by high porous sludge activated carbon produced from a dairy-treatment effluent plant. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 12, n. 5, 2024.
- Xia, Y. et al. Selective adsorption of methylene blue dye by a flocculation sludge-derived adsorbent prepared by carboxymethyl chitosan-based flocculants. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 278, p. 134997, out. 2024.
- Zhai S., Li M., Wang D., Ju X., Fu S. Cyano and acylamino group modification for tannery sludge bio-char: Enhancement of adsorption universality for dye pollutants. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 1, 2021.