

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE HDLs MODIFICADOS PARA A
REMOÇÃO DE CORANTES EM MEIOS AQUOSOS****DEVELOPMENT AND EVALUATION OF MODIFIED LDHs FOR DYE REMOVAL IN
AQUEOUS MEDIA****Gabriela Mesquita Bruel¹; Giovani Balen Grass²; Juliana Steffens¹ e Rogério Marcos Dallago¹**

¹Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Erechim/RS, Brasil. gabi.mesquita.brue1@gmail.com; julisteffens@uricer.edu.br; dallago@uricer.edu.br

²Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Graduação em Engenharia Química, Erechim/RS, Brasil. giovanibalengrass@outlook.com

Resumo: Neste estudo, hidróxidos duplos lamelares (HDLs) foram sintetizados pelo método de co-precipitação a pH variável, utilizando carbonato de sódio (HDL-C) e dodecil sulfato de sódio (HDL-SDS) como ânions interlamelares. As amostras foram caracterizadas por difração de raios X (DRX) e área superficial BET, e aplicadas na adsorção dos corantes azul de metileno (AM, catiônico) e amarelo reativo BR (AR, aniônico). Os resultados de DRX confirmaram a formação da estrutura tipo hidrotalcita, com redução da cristalinidade e deslocamento do plano basal d003 para menores valores de 2θ no HDL-SDS, indicando aumento do espaçamento interlamelar. O HDL-C apresentou área superficial de $150,55 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$, enquanto o HDL-SDS apresentou $35,38 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$. Nos ensaios adsorptivos, o HDL-C exibiu maior eficiência para o corante AR (remoção de 93–99%), enquanto o HDL-SDS mostrou melhor desempenho para o AM (remoção de $\approx 99\%$), devido à presença dos grupos sulfônicos do surfactante, que favoreceram a interação com moléculas catiônicas. Os resultados demonstram que a modificação do HDL com SDS altera suas propriedades estruturais e eletrostáticas, tornando-o seletivo para corantes de diferentes naturezas iônicas.

Palavras chave: Hidróxidos Duplos Lamelares. Adsorção. Corantes.

Abstract: Layered double hydroxides (LDHs) have emerged as promising adsorbent materials for the removal of dyes from industrial effluents due to their lamellar structure, high anion exchange capacity, and ease of modification. In this study, LDHs were synthesized by the co-precipitation method at variable pH using sodium carbonate (LDH-C) and sodium dodecyl sulfate (LDH-SDS) as interlayer anions. The samples were characterized by X-ray diffraction (XRD) and Brunauer–Emmett–Teller (BET) surface area analysis, and applied to the adsorption of methylene blue (MB, cationic) and Reactive Yellow BR (RY, anionic) dyes. The XRD results confirmed the formation of a hydrotalcite-like structure, with reduced crystallinity and a shift of the basal plane (003) toward lower 2θ values in LDH-SDS, indicating an increase in interlayer spacing. The LDH-C exhibited a surface area of $150.55 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$, whereas the LDH-SDS showed $35.38 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$. In adsorption tests, LDH-C showed higher efficiency for the anionic dye RY (removal of 93–99%), while LDH-SDS exhibited superior performance for the cationic dye MB (removal $\approx 99\%$) due to the presence of sulfonate groups from the surfactant, which enhanced interactions with cationic species. The results demonstrate that SDS modification alters the structural and electrostatic properties of LDHs, making them selective toward dyes of different ionic natures.

Keywords: Layered Double Hydroxides. Adsorption. Dyes.

1. INTRODUÇÃO

O rápido processo de industrialização tem levado à liberação de grandes quantidades de substâncias tóxicas e perigosas no meio ambiente durante as etapas de produção, transporte e descarte de produtos e subprodutos industriais, resultando em sérios impactos sobre os ecossistemas aquáticos (WELDEGEBRIEAL, 2020). Entre os poluentes oriundos dessas atividades, os corantes orgânicos destacam-se como os principais responsáveis pela poluição das águas, sendo amplamente utilizados nas indústrias têxtil, de papel, de curtumes e de plásticos (GAUR et al., 2024; SUMI et al., 2025).

Dentre esses compostos, o azul de metileno (AM) é um dos corantes mais frequentemente encontrados em efluentes industriais, devido ao seu uso extensivo em diversos setores, como o alimentício, de papel, couro, plástico e têxtil. Mesmo em baixas concentrações, o AM pode causar efeitos adversos à saúde humana, como aumento da pressão arterial, dores de cabeça, náuseas e irritação na garganta, além de reduzir o teor de oxigênio dissolvido na água, afetando o equilíbrio ecológico e a vida aquática (MODI et al., 2022).

Diversas técnicas têm sido desenvolvidas para a remoção de corantes de efluentes, incluindo processos de oxidação avançada (POAs), adsorção, troca iônica, separação por membranas, biodegradação e fotocatalise. Entre esses métodos, a adsorção é considerada uma das abordagens mais eficientes e promissoras, devido à sua simplicidade operacional, baixo custo, alta eficiência e facilidade de regeneração (ABAZARI; SALEHI; MAHJOUB, 2018).

Nesse contexto, a busca por adsorventes ecologicamente corretos, economicamente viáveis e de alta capacidade adsorptiva tem se intensificado (RABIEE et al., 2023; SUN; CHEN, 2020). Entre os materiais que se destacam, os hidróxidos duplos lamelares (HDLs), também conhecidos como compostos do tipo hidrotalcita, têm recebido crescente atenção devido à sua não toxicidade, estabilidade, abundância, baixo custo e facilidade de síntese (DANG et al., 2023; SEIDI et al., 2021).

Os HDLs possuem fórmula geral $[M_{1-x}^{2+}M_x^{3+}(OH)_2]^{x+}(A^{n-})_{\frac{x}{n}} \cdot H_2O$, onde M^{2+} e M^{3+} representam metais divalentes e trivalentes, respectivamente, e A^{n-} corresponde ao ânion interlamelar (Yang et al., 2021). Devido à estrutura lamelar com carga positiva e grande área superficial, os HDLs apresentam alta capacidade de troca aniônica e forte afinidade por espécies aniônicas (GIDADO; AKANYETI, 2020; TIAN et al., 2020). No entanto, essa característica os torna menos eficientes na adsorção de poluentes catiônicos, como o azul de metileno (STARUKH; ROZOVIK; ORANSKA, 2016).

Por outro lado, a estrutura naturalmente eletropositiva dos HDLs não modificados favorece a interação com corantes aniônicos, como o amarelo reativo (AR), amplamente utilizado na indústria têxtil. Esses corantes, por apresentarem grupos sulfonatos ($-SO_3^-$) em sua estrutura, tendem a interagir fortemente com as camadas carregadas positivamente dos HDLs contendo ânions inorgânicos, como o carbonato interlamelar (HDL-C). Essa afinidade resulta em elevada eficiência de remoção de corantes aniônicos, tornando os HDLs convencionais especialmente adequados para esse tipo de aplicação (SREENAVYA; SAHU; SAKTHIVEL, 2020). Assim, o HDL-C pode ser considerado um material de referência na remoção de corantes com carga negativa, em contraste com as versões modificadas, mais eficazes para corantes catiônicos.

Para superar a limitação dos HDLs na remoção de poluentes catiônicos, diversos estudos têm explorado modificações estruturais, incluindo a intercalação de ânions orgânicos, processos de calcinação e o uso de surfactantes (PANG et al., 2019). A modificação com surfactantes aniônicos é especialmente promissora, pois pode alterar as propriedades de carga superficial, aumentar a distância interlamelar e introduzir sítios adicionais de adsorção, melhorando a interação com espécies catiônicas (AWAD et al., 2019; KUANG; ZHANG; ZHOU, 2020).

A intercalação de surfactantes de longas cadeias alquílicas, como o dodecil sulfato de sódio (SDS), pode transformar a superfície hidrofílica dos HDLs em hidrofóbica, favorecendo a adsorção de compostos orgânicos e aumentando a eficiência de remoção de poluentes iônicos (ZHU et al., 2020). Assim, o estudo e o desenvolvimento de HDLs modificados com surfactantes representam uma estratégia promissora para ampliar a aplicação desses materiais na remoção de corantes catiônicos e aniônicos de efluentes aquosos.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1. Síntese do HDL

A síntese dos hidróxidos duplos lamelares (HDLs) foi realizada conforme o procedimento descrito por Reichle (1986), com as devidas adaptações. Os HDLs destinados à aplicação como adsorventes foram obtidos pelo método de co-precipitação a pH variável.

Inicialmente, prepararam-se duas soluções denominadas A e B. Na solução A, foram dissolvidos 25,64 g de $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ e 18,87 g de $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ em 71,34 g de água deionizada, sob agitação constante até completa homogeneização. Na solução B, foram adicionados 10,11 g de NaOH em 113,83 g de água deionizada, também sob agitação contínua, até completa dissolução. Em seguida, incorporou-se 14,18 g de Na_2CO_3 à solução B, mantendo-se a agitação até a obtenção de uma solução homogênea.

Posteriormente, a solução A foi adicionada à solução B a uma taxa de $5 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, utilizando-se uma bureta, sob agitação constante e temperatura ambiente. Durante a adição, observou-se a formação de um gel branco e consistente, característico do precipitado lamelar.

Após o término da adição, o sistema foi mantido em repouso até a decantação completa do sólido. O precipitado obtido, com $pH \approx 9,5$, foi submetido à lavagem com água deionizada por filtração a vácuo até atingir $pH \approx 7,0$. Em seguida, o material foi seco em estufa a 105°C por 4 h.

Após a secagem, o sólido foi macerado até obtenção de um pó fino, o qual foi caracterizado por difração de raios X (DRX) e análise de área superficial específica (método BET). Esse material, contendo carbonato como ânion interlamelar, foi denominado HDL-C.

2.2. Síntese de HDL modificado com Dodecil Sulfato de Sódio

A síntese do HDL modificado com dodecil sulfato de sódio (SDS) foi conduzida de maneira análoga à descrita anteriormente, substituindo-se o carbonato de sódio (Na_2CO_3) pelo dodecil sulfato de sódio (NaDDS) em proporção molar equivalente.

Assim, na solução B, foram dissolvidos 5,76 g de SDS em substituição aos 14,18 g de Na_2CO_3 , mantendo-se todas as demais etapas do processo inalteradas.

O material obtido foi macerado e, posteriormente, caracterizado por DRX e área superficial BET, de modo a avaliar as modificações estruturais e texturais decorrentes da substituição aniônica.

2.3. Ensaios adsortivos

Os ensaios adsortivos foram conduzidos com o objetivo de avaliar a capacidade de remoção do corante azul de metileno (AM) e do corante amarelo reativo BR (AR) pelos hidróxidos duplos lamelares (HDLs) sintetizados. Foram empregados dois materiais adsorventes: o HDL convencional contendo carbonato interlamelar (HDL-C) e o HDL modificado com dodecil sulfato de sódio (HDL-SDS), em substituição ao carbonato de sódio.

Os experimentos foram realizados em frascos Erlenmeyer de 125 mL, contendo 0,20 g do adsorvente e 80 mL da solução sintética de corante. As amostras foram mantidas sob agitação constante (160 rpm) em agitador orbital tipo shaker, a 20 °C.

A concentração inicial da solução de azul de metileno foi fixada em $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. No entanto, devido à alta eficiência de adsorção observada para o HDL-SDS, as leituras espectrofotométricas apresentaram valores de absorbância inferiores ao limite de detecção confiável. Assim, os experimentos com esse material foram repetidos com uma concentração inicial de $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Para o corante amarelo reativo BR, a concentração empregada foi de 175 ppm.

O tempo de contato foi cronometrado a partir do início da agitação, e alíquotas individuais foram retiradas nos intervalos de 10, 30, 60, 90, 120, 180, 360 e 1440 minutos. Cada amostra foi filtrada em membrana PVDF ($0,45 \mu\text{m}$) e, quando necessário, diluída de modo que a absorbância medida apresentasse valores dentro da faixa de 0,100 a 1,200, garantindo maior precisão nas leituras.

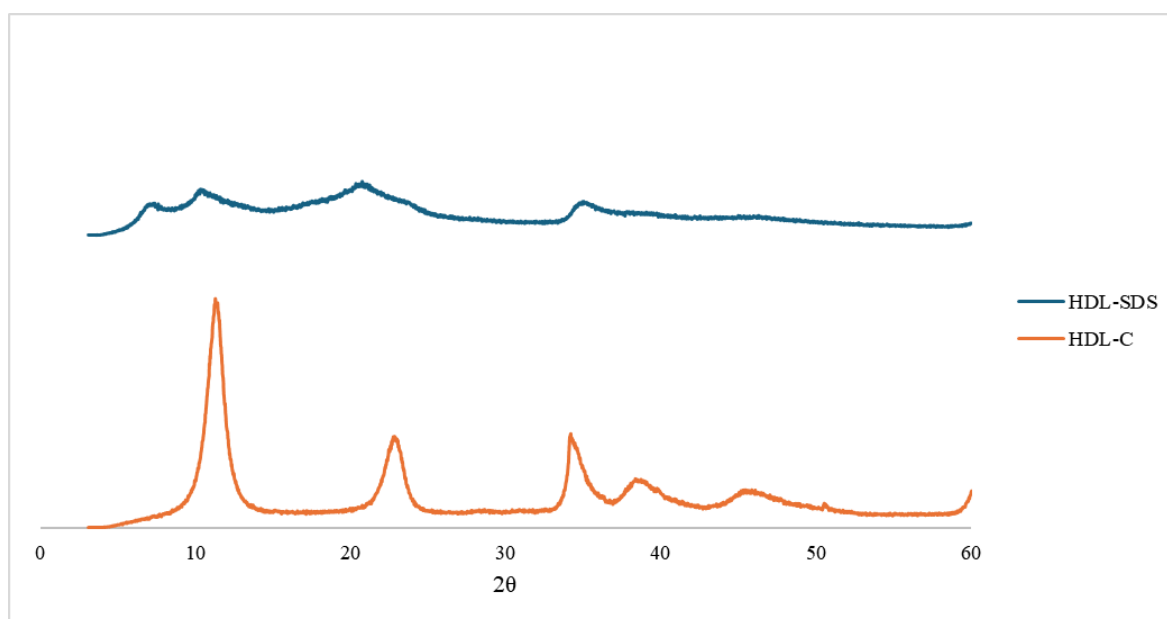
As análises foram realizadas em espectrofotômetro UV-Vis, utilizando o comprimento de onda de 662 nm para o AM e 411 nm para o AR. Para o tratamento dos dados, os valores de absorbância foram corrigidos pelo fator de diluição correspondente, obtendo-se assim as concentrações reais de corante remanescente em cada tempo de amostragem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Síntese dos HDLs

O material apresentou um difratograma de raios X característico de hidróxidos duplos lamelares (HDLs), com picos correspondentes aos planos basais d_{003} ($11,65^\circ$), d_{006} ($23,42^\circ$), d_{012} ($34,66^\circ$), d_{015} ($39,09^\circ$), d_{018} ($46,09^\circ$), d_{110} ($60,85^\circ$) e d_{112} ($62,33^\circ$), confirmando a formação da estrutura do tipo hidrotalcita. O difratograma obtido é apresentado na Figura 1.

Figura 1. Análise de difração de raios X em cascata para os materiais HDL-C e HDL-SDS.



A partir da intensidade e largura dos picos de difração, observa-se que os HDLs sintetizados apresentam boa cristalinidade, conforme relatado por Miotto *et al.*, 2021. O perfil do DRX para as amostras sintetizadas com dodecil sulfato de sódio (SDS) é semelhante ao perfil das amostras preparadas apenas com carbonato de sódio, embora o HDL-SDS apresente menor cristalinidade, evidenciada na diminuição das intensidades dos picos e pelo alargamento das bandas de difração. Esses resultados indicam que a ordem de empilhamento das lamelas diminui com a intercalação do surfactante aniônico, em concordância com as observações de Zhu *et al.*, 2008.

Além disso, nota-se que, com a intercalação do SDS, o pico correspondente ao plano basal d_{003} ($11,65^\circ$) desloca-se na direção de menor valor de 2θ , refletindo o aumento do espaçamento basal em decorrência da inserção das cadeias orgânicas do surfactante entre as lamelas.

A massa de material sólido resultante após a etapa de secagem em estufa e maceração foi de aproximadamente 9,6 g para o HDL-C e 12,15 g para o HDL-SDS, já a densidade aparente, para ambos os HDLs, foi de, aproximadamente, $0,359 \text{ g/cm}^3$.

Amostras dos materiais sintetizados foram submetidas à análise de área superficial específica pelo método Brunauer-Emmett-Teller (BET). Os valores obtidos encontram-se na Tabela 1, enquanto as isotermas de adsorção de N_2 são apresentadas nas Figuras 2 e 3 para os HDL-C e para o HDL-SDS, respectivamente.

Tabela 1. Dados da área superficial BET para os HDLs sintetizados.

Material	Área (m^2/g)
HDL-C	150,55
HDL-SDS	35,38

Figura 2. Isoterma linear de adsorção do HDL-C relacionando a pressão relativa com a quantidade adsorvida.

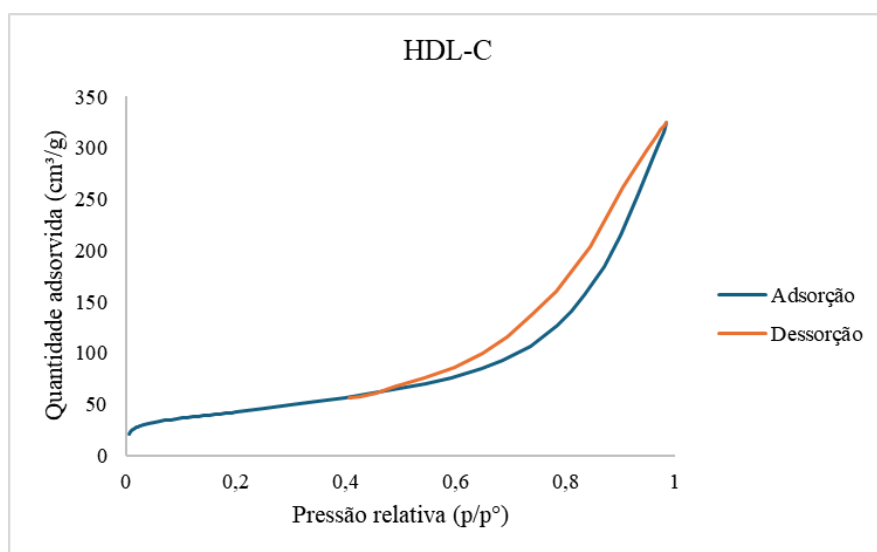
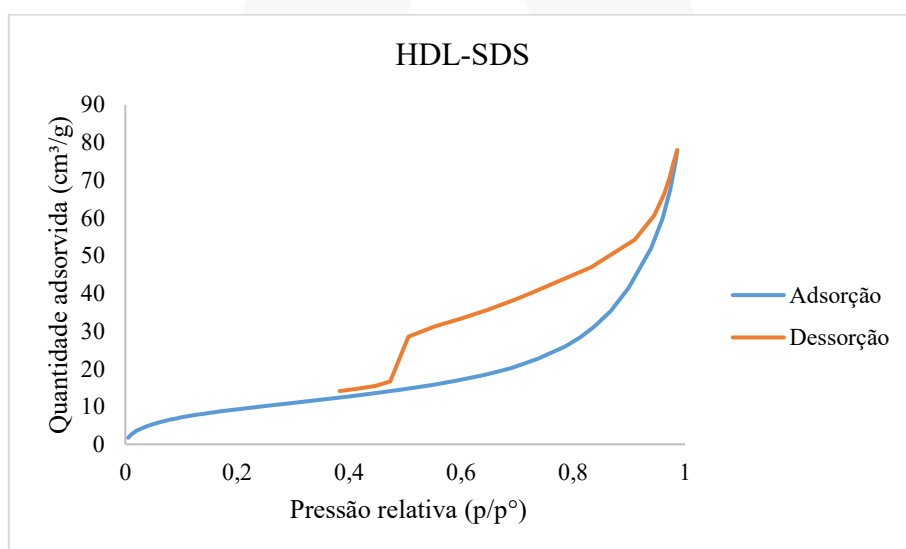


Figura 3. Isoterma linear de adsorção do HDL-SDS relacionando a pressão relativa com a quantidade adsorvida.

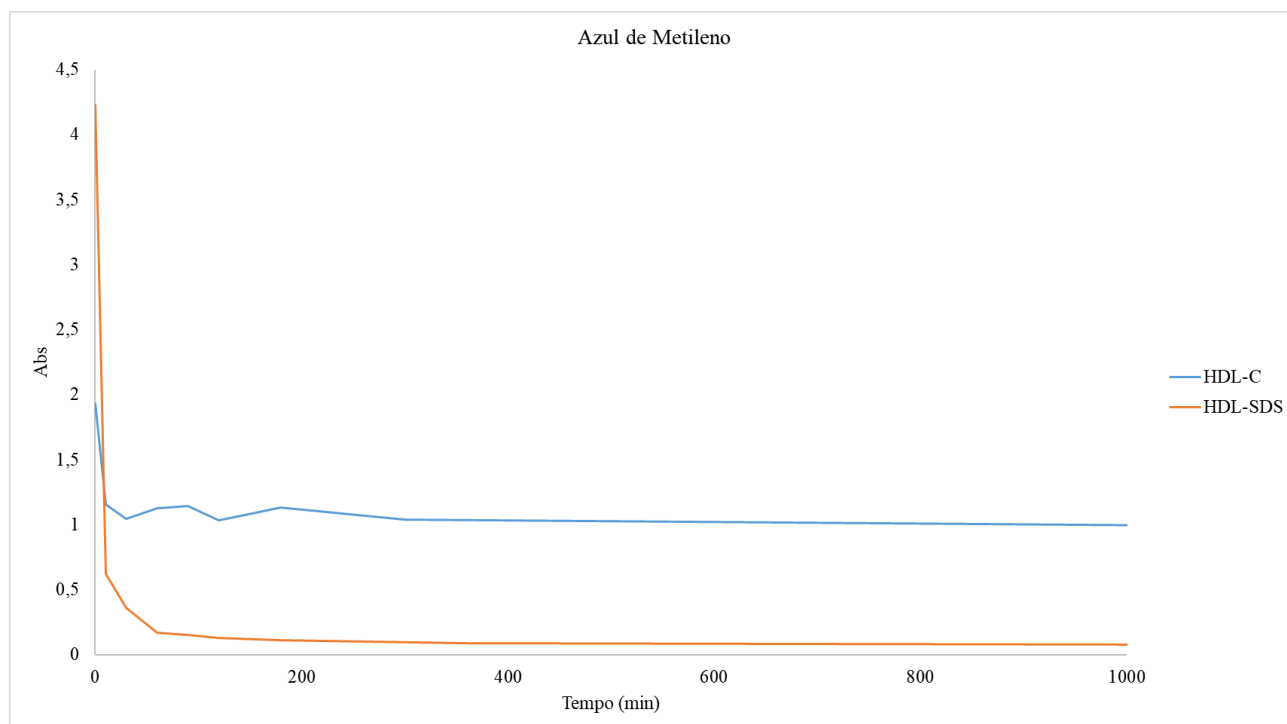


O perfil isotérmico do HDL-C apresenta características intermediárias entre os tipos II e V segundo a classificação da IUPAC, sugerindo um adsorvente com forte interação com o adsorbato e capacidade de adsorção em multicamadas, com ocorrência de condensação capilar. Já o HDL-SDS apresenta comportamento mais próximo dos tipos II e IV, indicando propriedades semelhantes, porém com predominância de adsorção em monocamada.

3.2. Ensaios adsortivos

Os tempos de equilíbrio adsortivo para os corantes azul de metileno (AM) e amarelo reativo (AR) apresentaram variações significativas entre os diferentes materiais. Para o HDL-C, o equilíbrio na adsorção do AM foi alcançado em aproximadamente 45 minutos, enquanto para o HDL-SDS, a estabilização ocorreu em cerca de 2 horas. No caso do corante AR, ambos os adsorventes atingiram o equilíbrio em aproximadamente 6 horas. O perfil cinético de adsorção do azul de metileno para os diferentes HDLs é apresentado na Figura 4.

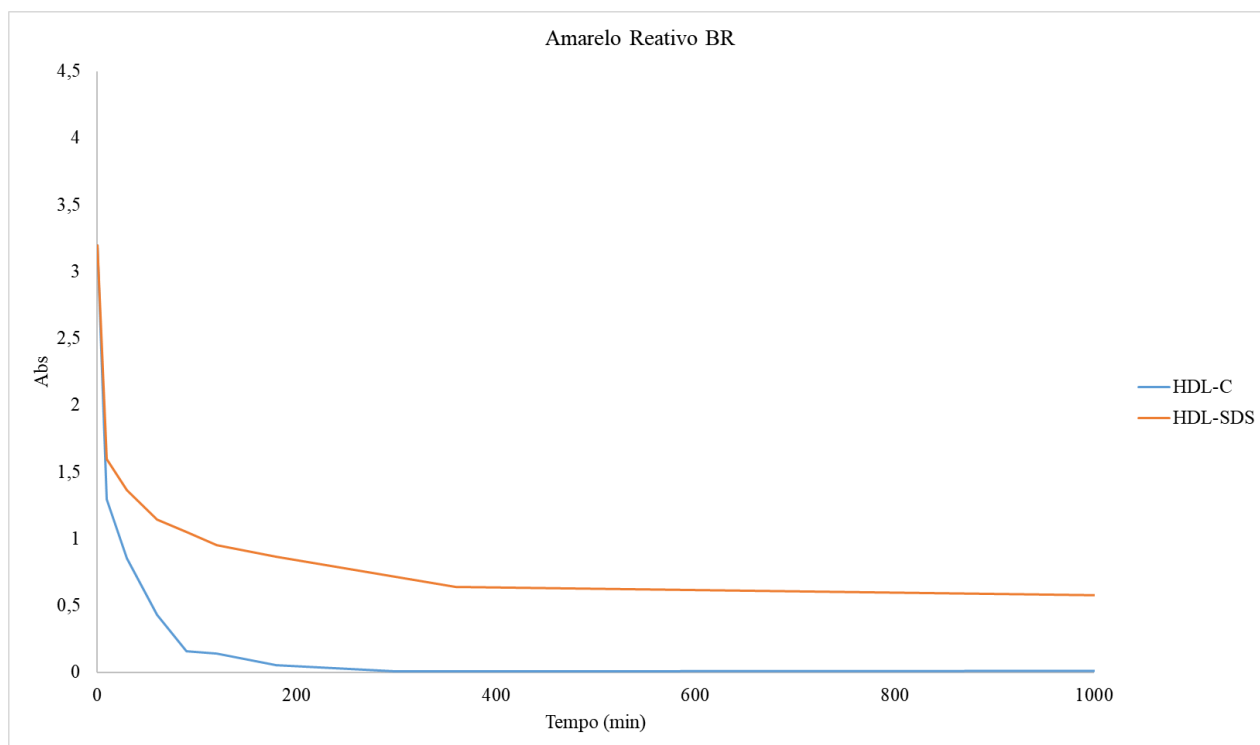
Figura 4. Gráfico de adsorção para o corante azul de metileno relacionando o tempo reacional à absorvidade corrigida.



Observa-se que os HDLs contendo íon carbonato removeram entre 30 e 40% do corante, enquanto o HDL-SDS apresentou uma eficiência de remoção próxima a 99%.

O gráfico de adsorção para o corante AR e os diferentes HDLs está representado pela Figura 5.

Figura 5. Gráfico de adsorção para o corante amarelo reativo BR relacionando o tempo reacional à absorvidade corrigida.



Nota-se que o HDL-C promoveu uma remoção entre 93 e 99% da concentração inicial do corante amarelo reativo BR, ao passo que o HDL-SDS apresentou eficiência entre 70 e 75%.

A análise cinética evidencia que, para o azul de metileno, o equilíbrio foi atingido mais rapidamente, especialmente com o HDL-C. Entretanto, esse material apresentou a menor capacidade de remoção, o que é consistente com a natureza catiônica do azul de metileno e o caráter aniônico das lamelas do HDL-C, que atua como um trocador aniônico. Assim, a adsorção de moléculas catiônicas é naturalmente desfavorecida. Por outro lado, a modificação do HDL com dodecil sulfato de sódio (SDS) altera o caráter superficial do material, reduzindo sua carga positiva e favorecendo a interação com espécies catiônicas. O SDS, por conter um grupo funcional sulfônico ($-\text{SO}_3^-$), confere ao HDL-SDS um comportamento mais anfifílico e eletronegativo, promovendo maior afinidade com o azul de metileno e, conseqüentemente, elevadas taxas de remoção. De forma coerente, o comportamento oposto foi observado para o corante amarelo reativo BR, de natureza aniônica. Nesse caso, o HDL-C, com íons carbonato interlamelares e caráter predominantemente positivo, apresentou as maiores eficiências de remoção, enquanto o HDL-SDS, devido à presença do surfactante aniônico, mostrou menor capacidade adsorptiva.

Esses resultados confirmam que a natureza da espécie interlamelar e a interação eletrostática entre adsorvente e adsorbato exercem influência determinante sobre o desempenho adsorptivo dos HDLs.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que a menor área superficial do HDL-SDS está associada ao modo de intercalação das moléculas de surfactante entre as lamelas metálicas, o que conduz à formação de estruturas mais compactas. Os ensaios adsorptivos demonstraram que todos os materiais avaliados apresentaram eficiência significativa na remoção de corantes, embora o desempenho varie de acordo com a natureza iônica do corante. O HDL-C, contendo íon carbonato interlamelar, exibiu maior

capacidade de remoção do corante amarelo reativo BR (aniônico), enquanto o HDL-SDS apresentou desempenho superior na adsorção do corante azul de metileno (catiônico). Esse comportamento pode ser atribuído à presença dos grupos sulfônicos do surfactante SDS, que, ao se ancorarem às lamelas metálicas, reduzem a repulsão eletrostática entre o adsorvente e as moléculas catiônicas do corante, favorecendo sua interação. Em contrapartida, no HDL-C, o caráter eletropositivo predominante das camadas de Mg/Al tende a dificultar a adsorção de espécies catiônicas, resultando em menor eficiência nesse caso. De modo geral, os resultados confirmam que a natureza do ânion interlamelar exerce influência decisiva sobre o comportamento estrutural e adsorptivo dos HDLs, determinando sua seletividade frente a corantes com diferentes cargas iônicas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio financeiro e incentivo à pesquisa. Agradecem também à Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI) pela disponibilização da infraestrutura e dos laboratórios utilizados na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABAZARI, R.; SALEHI, G.; MAHJOUR, A. R. Ultrasound-assisted preparation of a nanostructured zinc(II) amine pillar metal-organic framework as a potential sorbent for 2,4-dichlorophenol adsorption from aqueous solution. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 46, p. 59–67, set. 2018.
- AWAD, A. M. et al. Adsorption of organic pollutants by natural and modified clays: A comprehensive review. **Separation and Purification Technology**, v. 228, p. 115719, dez. 2019.
- DANG, R. et al. Construction of 3D Ni²⁺-Al³⁺-LDH/ γ -Fe₂O₃-Cd²⁺-Ni²⁺-Fe³⁺-LDH structures and multistage recycling treatment of dye and fluoride-containing wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 451, p. 138499, jan. 2023.
- GAUR, A. et al. Degradation of organic dyes by utilizing CaCu₃Ti₄O₁₂ (CCTO) nanoparticles via tribocatalysis process. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 129, p. 341–351, jan. 2024.
- GIDADO, S. M.; AKANYETI, I. Comparison of Remazol Brilliant Blue Reactive Adsorption on Pristine and Calcined ZnAl, MgAl, ZnMgAl Layered Double Hydroxides. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 231, n. 4, p. 146, 20 abr. 2020.
- KUANG, Y.; ZHANG, X.; ZHOU, S. Adsorption of Methylene Blue in Water onto Activated Carbon by Surfactant Modification. **Water**, v. 12, n. 2, p. 587, 21 fev. 2020.
- MODI, S. et al. Recent and Emerging Trends in Remediation of Methylene Blue Dye from Wastewater by Using Zinc Oxide Nanoparticles. **Water**, v. 14, n. 11, p. 1749, 29 maio 2022.
- PANG, H. et al. Recent Advances in Composites of Graphene and Layered Double Hydroxides for Water Remediation: A Review. **Chemistry – An Asian Journal**, v. 14, n. 15, p. 2542–2552, 26 ago. 2019.

RABIEE, N. et al. Green Biomaterials : fundamental principles. **Green Biomaterials**, v. 1, n. 1, p. 1–4, 13 out. 2023.

SEIDI, F. et al. Imidazole-functionalized nitrogen-rich Mg-Al-CO₃ layered double hydroxide for developing highly crosslinkable epoxy with high thermal and mechanical properties. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 611, p. 125826, fev. 2021.

SREENAVYA, A.; SAHU, A.; SAKTHIVEL, A. Hydrogenation of Lignin-Derived Phenolic Compound Eugenol over Ruthenium-Containing Nickel Hydrotalcite-Type Materials. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 59, n. 26, p. 11979–11990, 1 jul. 2020.

STARUKH, G.; ROZOVIK, O.; ORANSKA, O. Organo/Zn-Al LDH Nanocomposites for Cationic Dye Removal from Aqueous Media. **Nanoscale Research Letters**, v. 11, n. 1, p. 228, 27 dez. 2016.

SUMI, K. et al. Biomass-derived activated carbon/cerium oxide nanocomposite as adsorptive photocatalyst for effective removal of carcinogenic dye. **Materials Research Bulletin**, v. 183, p. 113212, mar. 2025.

SUN, Q.; CHEN, B. Biotemplated Fabrication of 3D Hierarchically Porous MgAl-LDH/CF Composites with Effective Adsorption of Organic Dyes from Wastewater. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 59, n. 38, p. 16838–16850, 23 set. 2020.

TIAN, S. et al. LDH-Derived (CuZn) x Al y Bifunctional Catalyst for Direct Synthesis of Dimethyl Ether from Syngas. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 59, n. 23, p. 11087–11097, 10 jun. 2020.

WELDEGEGBRIEAL, G. K. Synthesis method, antibacterial and photocatalytic activity of ZnO nanoparticles for azo dyes in wastewater treatment: A review. **Inorganic Chemistry Communications**, v. 120, p. 108140, out. 2020.

ZHU, Z. et al. Surfactant-modified three-dimensional layered double hydroxide for the removal of methyl orange and rhodamine B: Extended investigations in binary dye systems. **Journal of Solid State Chemistry**, v. 288, p. 121448, ago. 2020.