

Uso da Palha de Milho como Adsorvente Alternativo para a Remoção de Corante Têxtil em Água

Use of Corn Straw as Alternative Adsorbent for Textile dye Removal from Water

Nathália F. Guedes & Sílvia S. Freitas

Neste trabalho foi proposta uma forma de reaproveitamento para o resíduo gerado a partir da palha de milho (*Zea mays*) como adsorvente alternativo para a remoção do corante têxtil azul turquesa remazol G 133% em água. Os resultados mostraram que a adsorção foi bastante eficiente em pH 2, com remoção de até 99% do corante após 40 minutos, apresentando capacidade máxima de adsorção (Q_{max}) de 16,25 mg g⁻¹. Assim, o adsorvente obtido da palha de milho pode ser considerado como uma alternativa promissora para a remoção do corante têxtil de meio aquoso por processo de adsorção.

Palavras-chave: *adsorção; corante têxtil; adsorvente alternativo.*

In this work, a reuse for an agroindustrial waste, corn straw (*Zea mays*), as adsorbent was proposed for the removal of the textile dye turquoise blue remazol G 133% from aqueous medium. The results showed an efficient adsorption at pH 2, with removal of 99%, after 40 minutes and maximum adsorption capacity (Q_{max}) of 16.25 mg g⁻¹. Thus, the adsorbent obtained from corn straw can be considered as a promising alternative for textile dye removing from aqueous medium through adsorption process.

Keywords: *adsorption; textile dye; alternative adsorbent.*

Introdução

A utilização de corantes na indústria, em diferentes setores como cosméticos, alimentos, papel e têxtil, entre outros, resulta na geração de efluentes potencialmente prejudiciais ao meio ambiente.¹ Muitos corantes e seus produtos de degradação são tóxicos e a presença de cor também pode comprometer a atividade biológica em sistemas aquáticos uma vez que afeta a fotossíntese.^{2,3}

Na indústria têxtil, por exemplo, corantes sintéticos com elevado grau de fixação à fibra são preferidos para atender à demanda de qualidade exigida pelos consumidores sendo, muitas vezes, resistentes a biodegradação e à fotodegradação.¹ A persistência de cor no final do processo é um problema recorrente uma vez que, durante o tingimento das fibras têxteis, entre 10 a 20 % dos corantes é perdido devido à incompleta fixação às fibras.^{1,4} O lançamento de efluente têxtil em rios é facilmente percebido pela população e autoridades, mesmo em baixa concentração (1 mg L⁻¹),¹ trazendo bastante atenção para os métodos e tecnologias capazes de remover a cor desses rejeitos.

Muitos estudos mostram que a técnica de adsorção pode ser empregada para remover os corantes de despejos têxteis, que consiste na retenção das moléculas do corante na solução pela superfície de um material sólido, cujas características como porosidade e área superficial elevadas, entre outras, resultam em uma boa taxa de remoção.^{1,8}

Diversos materiais de origem vegetal podem apresentar potencial para serem utilizados como adsorvente para diferentes tipos de contaminantes de meio aquoso, sendo vantajosos por serem abundantes e facilmente obtidos.^{9,11} Alguns exemplos são: bucha vegetal,¹² sementes, cascas de árvore,¹³ casca de coco,^{14,15} entre outros. Estudos tem mostrado que estes materiais apresentam grupos funcionais característicos, que contribuem para a remoção dos compostos poluentes.^{10,11}

A utilização de materiais adsorventes obtidos a partir de subprodutos da cultura de milho (*Zea mays*) tem sido investigada.¹⁶ Neste trabalho é proposta uma forma de reaproveitamento para o resíduo gerado a partir da palha

do milho como adsorvente alternativo para o corante azul turquesa remazol G 133% (ou corante AT) em solução aquosa. Neste estudo, a capacidade adsorvente do material obtido a partir da palha de milho foi investigada em função do pH da solução, da massa, do tempo e da concentração.

Metodologia

PREPARO DO ADSORVENTE

A palha do milho foi obtida em comércio local. A palha foi seca por 24 horas em 70 °C. O material seco foi triturado (liquidificador) e peneirado (granulometrias usadas: 16 mesh, abertura de 1 mm; 20 mesh, abertura de 850 µm e 28 mesh, abertura de 600 µm). Os materiais retidos nas três peneiras foram descartados. O material que passou na peneira de 28 mesh (com partículas menores que 600 µm) foi lavado com água, seco a 80 °C (24 h) e armazenado até o momento dos ensaios.

PH NO PONTO DE CARGA ZERO (PH_{PCZ}) DO MATERIAL

A determinação do pH_{PCZ} foi feita preparando-se 12 soluções com valores de pH entre 1 e 12, que foram ajustados com a adição de HCl ou NaOH.¹⁷ Em 20 mL de cada solução foram misturados (com agitação manual) 100 mg do material, que permaneceu em repouso à temperatura ambiente. Após 24 h, o pH foi novamente medido e usado para plotar o gráfico ΔpH em função do pH inicial, onde ΔpH = pH medido – pH inicial. O valor do pH_{PCZ} foi obtido pela interseção com o eixo do pH inicial (pH = 0). Os ensaios foram feitos em triplicata.

EXPERIMENTOS DE ADSORÇÃO

Inicialmente, o pH de uma solução do corante AT em água (10 mg L⁻¹) foi medido (pH 6,2) e considerado como sendo o pH natural do corante. Para o teste do pH, foram preparadas soluções do corante AT a 10 mg L⁻¹ em pH natural (6,2) e em valores de pH 2, 3, 4 e 5. Em 20,00 mL de cada solução foram adicionados 0,2 g do adsorvente, seguido de agitação em mesa agitadora (150 rpm), por 30 min. Cada mistura foi centrifugada, o sobrenadante

removido e analisado no UV-vis (espectrofotômetro UV-vis, KASVI), no comprimento de onda de máxima absorção de cada solução, para determinar a quantidade de corante que permaneceu após a adsorção (os ensaios foram feitos em triplicata para cada pH). Assim, para as soluções em pH 2 e 3, as análises foram realizadas em 630,8 nm, para a solução em pH 4, o comprimento de onda usado foi 627,6 nm e para as soluções de pH 5 e pH natural, as análises foram feitas em 664,9 nm.

A quantidade de material avaliada (0,1; 0,15 ou 0,20 g) nos ensaios de massa foi adicionada à solução do corante (20 mL, concentração: 20 mg L⁻¹, em pH 2) e agitada por 20 min (150 rpm). Na sequência, o sobrenadante foi removido por centrifugação e analisado para determinação da concentração (UV-vis). Os ensaios foram em triplicata para cada massa avaliada. Para o estudo do tempo de contato, 0,2 g do adsorvente foi adicionado à solução do corante (20 mL, concentração: 20 mg L⁻¹ em pH 2) e agitado (mesa agitadora, a 150 rpm) com diferentes tempos de contato (1, 2, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 40 e 60 min). Após o tempo estabelecido, o sobrenadante foi removido e analisado (UV-vis) (ensaios em triplicata para cada tempo de contato avaliado).

Após o estabelecimento do pH da solução (pH 2), da massa do material adsorvente (0,20 g) e o tempo de adsorção (40 min), foram feitos experimentos utilizando soluções do corante AT com concentração variando de 18,6 até 717,2 mg L⁻¹. Os ensaios foram feitos em triplicata (T = 23 ± 1 °C).

A avaliação da adsorção em cada teste foi feita utilizando a Equação 1:

$$\% R = \frac{(C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}})}{C_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (1)$$

Sendo: %R a porcentagem de corante removida; C_{inicial} a concentração inicial (mg L⁻¹); C_{final} a concentração após a adsorção (mg L⁻¹). Uma curva analítica (Absorbância = -0,00141 + 0,0136 Concentração, R² = 0,99978) foi usada para determinar a concentração das soluções. Para a construção desta curva, as absorbâncias (em 630,8 nm) de soluções padrão do corante (1 a 75 mg L⁻¹, em pH

2), foram plotadas em função da concentração. Todas as soluções com concentrações superiores a 75 mg L⁻¹ foram convenientemente diluídas previamente à análise por UV-vis.

Resultados e Discussão

EFEITO DO PH NA ADSORÇÃO

Em solução, durante a adsorção, o corante pode ser atraído para a superfície do material através de diferentes tipos de interação, entre as quais encontram-se as interações eletrostáticas. Este tipo de interação acontece devido às cargas presentes na superfície do adsorvente e, também, às características iônicas do adsorvato, sendo importante considerar o pH do meio no processo, uma vez que a ionização dos grupos funcionais presentes pode sofrer influência do pH.^{18,19}

O adsorvato avaliado (corante AT, Figura 1) forma ânions coloridos em solução devido à presença do grupo funcional sulfonato (SO₃⁻). Já o adsorvente (palha de milho) é um material vegetal composto por fibras celulósicas naturais que apresentam diferentes grupos funcionais em sua superfície, que podem se modificar em função do pH, favorecendo ou não, a interação com o adsorvato.¹⁴

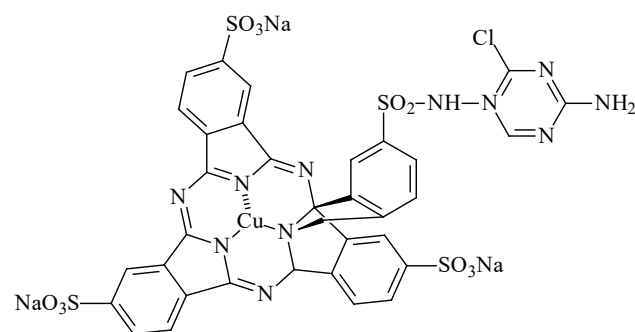


Figura 1. Estrutura molecular do corante azul turquesa remazol G 133%.

Dessa forma, o ajuste do pH do meio pode ser feito para que as cargas superficiais do adsorvente e as do adsorvato sejam opostas, melhorando o processo de

adsorção. O conhecimento do pH no ponto de carga zero (pH_{PCZ}) auxilia a compreensão do processo, uma vez que este parâmetro representa o pH em que é nula a carga líquida na superfície do adsorvente ($\Delta\text{pH} = 0$). Sendo assim, se a solução apresentar pH maior que pH_{PCZ} , o adsorvente apresentará, em sua superfície, predominantemente cargas negativas, sendo mais efetivo para a interação com cátions. No entanto, se o pH da solução estiver abaixo do pH_{PCZ} , a presença de cargas positivas predomina, favorecendo a interação com espécies aniônicas do adsorvato.¹⁴ Na Figura 2 pode ser observado o pH_{PCZ} (6,88) do material adsorvente avaliado.

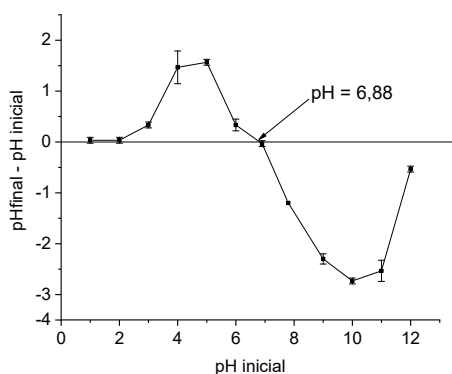


Figura 2. pH no ponto de carga zero (pH_{PCZ}) para o adsorvente da palha de milho.

Assim, a adsorção foi avaliada através de experimentos realizados com soluções de pH menores que o pH_{PCZ} (6,88), para favorecer a interação do adsorvente com o corante aniônico. A remoção do corante em pH 6,2 foi de 18,42 ($\pm 1,39$) % (Figura 3), sendo observado um aumento gradual na remoção com a diminuição do pH. Em pH 2,00 foi obtido o melhor resultado de remoção (99,31 $\pm 0,15$ %) e este valor foi utilizado nos demais experimentos.

EFEITO DA MASSA DE ADSORVENTE

Os resultados (Figura 4) mostram que 75,48% do corante foi removido da solução quando 0,10 g do material adsorvente foi utilizado. Com o aumento da

massa para 0,20 g, a remoção aumentou para 92,15%, devido à maior quantidade de grupos disponíveis para a interação com o corante.

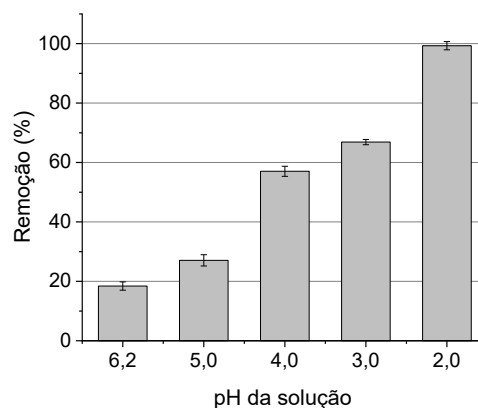


Figura 3. Efeito do pH da solução na remoção do corante AT. Volume de solução: 20 mL; tempo de contato: 30 min; concentração da solução: 10,00 mg L⁻¹.

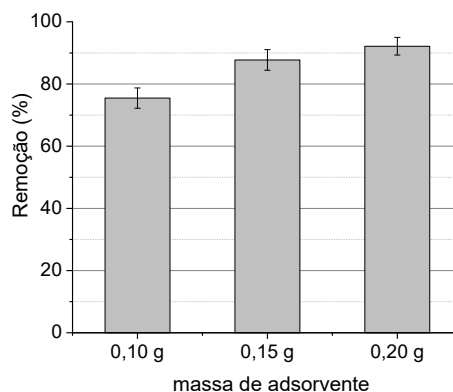


Figura 4. Efeito da massa de adsorvente na remoção do corante AT. (C = 20 mg L⁻¹, tempo de contato = 20 min, pH = 2).

ESTUDO DO TEMPO E CINÉTICA DE ADSORÇÃO

Os resultados obtidos (Figura 5) mostraram uma remoção superior a 50,00% para o primeiro valor avaliado (1 min), aumentando até atingir o equilíbrio em 40 min, com 96,80 ($\pm 0,68$) % de remoção.

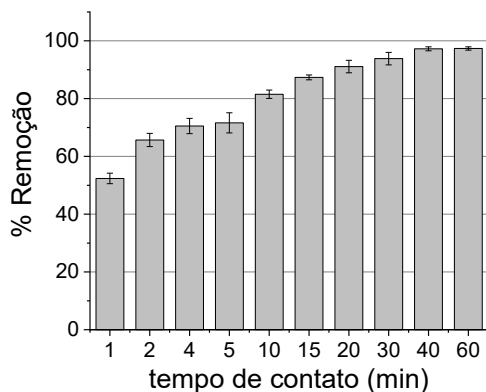


Figura 5. Influência do tempo de contato na remoção do corante pelo adsorvente palha de milho ($C = 20 \text{ mg L}^{-1}$, $\text{pH} = 2,00$).

A Equação 2 foi utilizada para determinar a quantidade do corante que foi adsorvida pelo material:

$$q_t = (C_{\text{inicial}} - C_t)V/m \quad (2)$$

Sendo q_t a quantidade de corante adsorvido (mg g^{-1}) no tempo t (min); C_{inicial} a concentração do corante no início (mg L^{-1}); C_t a concentração de corante no tempo t (mg L^{-1}); V o volume da solução (L); m a massa do adsorvente (g).

Os modelos cinéticos de pseudo primeira ordem, pseudo segunda ordem e Avrami (Tabela 1) foram utilizados para avaliar a cinética de adsorção.

Tabela 1. Modelos cinéticos de adsorção.

| Modelo cinético | Equação | Referência |
|-----------------------|---|------------|
| Pseudo primeira-ordem | $q_t = q_e(1 - \exp^{-k_1 t})$ | 20 |
| Pseudo segunda-ordem | $\frac{q_t}{q_e^2} = \frac{k_2}{q_e} t + \frac{1}{q_e}$ e $h_0 = k_2 q_e$ | 21 |
| Avrami | $q_t = q_e(1 - \exp^{-k_{AV} t})^{1/n_{AV}}$ | 22 |

O resultado do ajuste dos modelos cinéticos estudados (Figura 6) e os parâmetros cinéticos (Tabela 2) obtidos mostram que os modelos cinéticos de pseudo segunda ordem e Avrami foram capazes de ajustar os dados experimentais, uma vez que valores de $R^2 \geq 0,85$ são considerados adequados para ajustes não lineares.²³ No entanto, o melhor ajuste foi observado para o modelo cinético de Avrami

($R^2=0,99$), que considera que o mecanismo de adsorção não é constante e pode ser alterado durante o processo de adsorção, podendo ter ordens cinéticas múltiplas durante o processo de interação do adsorvato com o adsorvente.^{22,24}

Tabela 2. Parâmetros cinéticos para a adsorção do corante AT pelo material adsorvente obtidos da palha de milho. DP: desvio-padrão dos resultados.

| | |
|---|-----------------------|
| $q_e \text{ experimental} \pm \text{DP} (\text{mg g}^{-1})$ | $0,14075 \pm 0,0041$ |
| Pseudo-primeira ordem | |
| $q_e \pm \text{DP} (\text{mg g}^{-1})$ | $2,08936 \pm 0,04794$ |
| $k_1 \pm \text{DP} (\text{min}^{-1})$ | $0,6348 \pm 0,15997$ |
| R^2 | $0,69903$ |
| Pseudo-segunda ordem | |
| $q_e \pm \text{DP} (\text{mg g}^{-1})$ | $2,18434 \pm 0,0321$ |
| $k_2 \pm \text{DP} (\text{g mg}^{-1}\text{min}^{-1})$ | $0,39197 \pm 0,07339$ |
| $h_0 (\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1})$ | $1,87022$ |
| R^2 | $0,91603$ |
| Avrami (ordem fracionária) | |
| $q_e \pm \text{DP} (\text{mg g}^{-1})$ | $2,19493 \pm 0,01654$ |
| $k_{\text{avrami}} \pm \text{DP} (\text{min}^{-1})$ | $0,05659 \pm 0,00829$ |
| n_{AV} | $0,21013 \pm 0,01613$ |
| R^2 | $0,99221$ |

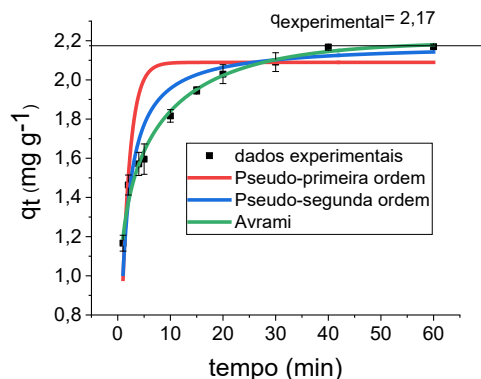


Figura 6. Modelos cinéticos não lineares para a adsorção do corante azul turquesa remazol pelo material vegetal, obtido a partir da palha de milho. Comparação entre os dados experimentais e os preditos pelos modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e Avrami. Concentração: $20,00 \text{ mg L}^{-1}$. (massa de adsorvente = $0,20 \text{ g}$).

ESTUDO DO EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DO CORANTE E DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Os resultados dos ensaios realizados para verificar a influência da concentração de corante (Figura 7) mostram que houve uma ótima remoção ($96,80 \pm 2,18\%$) para a menor concentração avaliada ($18,6 \text{ mg L}^{-1}$). No entanto, eficiência na remoção diminuiu com o aumento da concentração do corante na solução, provavelmente devido à saturação dos grupos de adsorção do material, sendo observada remoção de apenas $22,35 (\pm 1,21) \%$ para a maior concentração estudada ($717,2 \text{ mg L}^{-1}$).

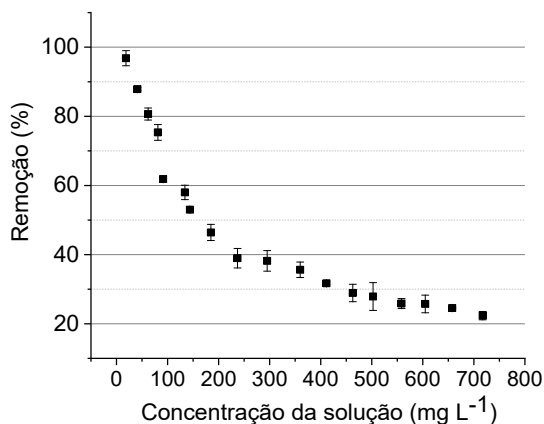


Figura 7. Remoção do corante pelo adsorvente em diferentes concentrações (tempo de contato: 40 min; dose do adsorvente 0,20 g; pH = 2,00) ($n=3$).

Isotermas de adsorção mostram a relação existente entre quantidade de adsorvato adsorvido (q_{eq}) em função da concentração (C_{eq}), quando o equilíbrio é alcançado. A Equação 3 foi usada para obter q_{eq} :

$$q_{eq} = (C_i - C_{eq})V/m \quad (3)$$

Sendo: q_{eq} : quantidade de corante adsorvido no equilíbrio por massa de adsorvente (mg g^{-1}); C_i : concentração inicial do corante (mg L^{-1}); C_{eq} : concentração após o equilíbrio (mg L^{-1}); V : volume da solução de corante (L); m : massa do adsorvente (g).

Os modelos de isoterma de Langmuir e Freundlich (Tabela 3) foram usados para melhor compreensão do processo de adsorção.

Tabela 3. Modelos para as isotermas de adsorção

| Modelo da isoterma | Equação | Referência |
|--------------------|---------------------------------------|------------|
| Langmuir | $= (Q_{max} k_L C_e) / (1 + k_L C_e)$ | 25 |
| Freundlich | $q_e = k_F C_e^{1/n_F}$ | 26 |

As isotermas de adsorção (Figura 8) e os parâmetros obtidos (Tabela 4) mostram que conforme a concentração do corante na solução aumenta, maior é o valor obtido para q_{eq} .

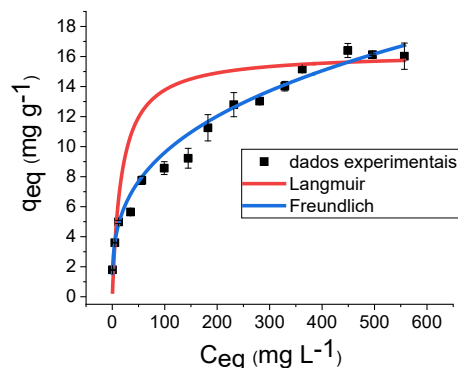


Figura 8. Isotermas de equilíbrio de adsorção do corante azul turquesa remazol pelo material vegetal, obtido a partir da palha de milho. Comparação entre os dados experimentais e os preditos pelos modelos de Langmuir e Freundlich. (tempo de contato: 40 min, massa do adsorvente: 0,20 g).

Tabela 4. Parâmetros dos modelos de Langmuir e Freundlich para a adsorção do corante AT pelo material adsorvente palha de milho.

| | |
|---|----------|
| Langmuir | |
| Q_{max} (mg g^{-1}) | 16,25331 |
| k_L (L mg^{-1}) | 0,05541 |
| R_L | 0,02455 |
| R^2 | 0,96707 |
| Freundlich | |
| k_F (mg g^{-1}) (L mg^{-1}) ^{-1/n} | 2,16374 |
| n_F | 3,08938 |
| R^2 | 0,99892 |

Também foi observada a saturação do adsorvente uma vez que ocorreu a estabilização de q_{eq} . Os dois modelos apresentaram um bom ajuste ($R^2 \geq 0,85$), no entanto, o modelo de *Freundlich* representa melhor os dados experimentais, apresentando R^2 muito próximo de 1,0. O modelo de adsorção proposto por *Freundlich* considera a adsorção em multicamadas, em superfície heterogênea contendo sítios de adsorção com diferentes energias e afinidade variada.²⁶ A constante de equilíbrio de *Freundlich* (k_F) representa a capacidade máxima de adsorção multicamada e o expoente adimensional (n_F) está relacionado à intensidade da adsorção. A adsorção é considerada favorável para n_F entre 1 e 10 e, quanto maior for o valor para n_F , mais forte será a interação entre o adsorbato e o adsorvente.²⁷ O valor de n_F obtido a partir deste modelo (3,089) indica que a adsorção é favorável.

No modelo de Langmuir, a constante adimensional (ou fator de separação, R_L), descrita pela Equação 4, é utilizada para avaliar o processo de adsorção. O valor de R_L entre 0 e 1 indica adsorção favorável.

$$R_L = 1/(1 + k_L C_i) \quad (4)$$

Sendo C_i a maior concentração do corante (mg L^{-1}). O resultado obtido para o parâmetro de equilíbrio da isoterma de Langmuir ($R_L=0,0245$) indica adsorção favorável, sendo a capacidade máxima de adsorção (Q_{\max}) do adsorvente para o corante AT estimada em $16,25 \text{ mg g}^{-1}$. A maior eficiência na remoção da cor foi observada para concentrações mais baixas do corante, no entanto, mesmo para as concentrações mais altas foi observado um bom desempenho na remoção da cor da solução.

Conclusões

Os resultados deste estudo mostraram que a cor da solução contendo o corante azul turquesa remazol G 133% diminuíram significativamente (remoção de até 96,8%) com a utilização de 0,20 g do material adsorvente obtido da palha de milho (*zea mays L.*) após 40 min., sendo a adsorção mais eficiente quanto menor o pH do meio, com melhor resultado de remoção em pH 2. O estudo da cinética e das isotermas de adsorção mostraram que adsorção do corante é favorável

(Q_{\max} de $16,25 \text{ mg g}^{-1}$). Assim, o material adsorvente obtido da palha do milho pode ser considerado uma alternativa promissora para a remoção de cor de soluções contendo o corante azul turquesa remazol.

Agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos ao CNPq, à CAPES e à UFCAT pelo auxílio na realização dos experimentos deste estudo.

Referências

1. GUARATINI, C.C.I.; ZANONI, M.V.B.; Quim. Nova **2000**, 23, 71.
2. SHARMA, Y. C.; UMA, A. S. K. S.; UPADHYAY, S. N.; J. Chem. Eng. **2010**, 55, 2662.
3. DALLAGO, R. M.; SMANIOTTO, A.; OLIVEIRA, L. C. A.; Quim. Nova **2005**, 28, 433.
4. PIMENTEL, J.G.; GANDOLFI, O.R.R.; SAMPAIO, V.S.; VERÍSSIMO, L.A.A.; RODRIGUES, L.B.; VELOSO, C.M.; FONTAN, R.D.I.; BONOMO, R.C.; Quim. Nova **2022**, 45, 1039.
5. KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Quim. Nova **2002**, 25, 78.
6. DEBRASSI, A.; LARGURA, M. C. T.; RODRIGUES, C. A.; Quim. Nova, **2011**, 34, 704.
7. ALBERTINI, S.; CARMO, L. F.; PRADO-FILHO, L. G.; Qui. Nova, **2009**, 32, 1239.
8. VARGAS, A. M. M.; CAZETTA, A. L.; MARTINS, A. C.; MORAES, J. C. G.; GARCIA, E. E.; GAUZE, G. F.; COSTA, W. F.; ALMEIDA, V.C.; Chem. Eng. J., **2012**, 181, 243.
9. GUPTA, V. K.; SUHAS.; J. Environ. Manage, **2009**, 90, 2313.
10. COELHO, G. F.; GONÇALVES, A. C.; SOUSA, R. F. B.; SCHWANTES, D.; MIOLA, A. J.; DOMINGUES, C. V. R.; Journal of Agronomic Sciences, **2014**, 3, 291.
11. TRAN, V. S.; HUU, H.; WENSHAN, G.; Jian, Z.; SHUANG, L.; CUONG, T. T.; XINBO, Z.; Bioresour. Technol., **2015**, 182, 353.
12. ALTINISIK, A.; GUR, E.; SEKI, Y.; J. Hazard. Mater., **2010**, 179, 658.
13. CHEN, C.; FU, Y.; YU, Li-Li; Li, J.; LI, De-Qiang; J. Dispers. Sci. Technol., **2017**, 38, 1142.

14. VIEIRA, A. P.; SANTANA, S. A. A.; BEZERRA, C. W. B.; SILVA, H. A. S.; CHAVES, J. A. P.; MELO, J. C. P.; SILVA FILHO, E. C.; AIROLDI, C.; J. Hazard. Mater., **2009**, 166, 1272.
15. FREITAS, S. S.; SOUZA Jr, A.A.; Brazilian Journal of Development, **2022**, 8, 80107.
16. PASKA, O.; PACURARIU, C.; MUNTEAN, S. G.; RSC Adv., **2014**, 4, 62621.
17. WANG, L.; ZHANG, J.; WANG, A.; Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp., **2008**, 322, 47.
18. ANNADURAI, G.; LING, L.Y.; LEE, J. F.; J. Hazard. Mater., **2008**, 152, 337.
19. TUNÇ, O.; TANACI, H.; AKSU, Z. J.; J. Hazard. Mater., **2009**, 163, 187.
20. LAGERGREN, S.; Handlingar, **1898**, 24, 1.
21. HO, Y.S.; MCKAY, G.; Chem. Eng. J., **1998**, 70, 115.
22. CESTARI, A.R.; VIEIRA, E. F.S.; VIEIRA, G. S.; ALMEIDA, L.E.; J. Hazard. Mater., **2006**, 138, 133.
23. PASSOS, C. G.; RIBASKI, F. S.; SIMON, N. M.; SANTOS Jr., A. A.; VAGHETTI, J. C. P.; BENVENUTTI, E. V.; LIMA, E. C.; J. Colloid Interface Sci., **2006**, 302, 396.
24. CALVETE, T.; LIMA, E. C.; CARDOSO, N. F.; DIAS, S. L. P.; PAVAN, F. A.; Chem. Eng. J., **2009**, 155, 627.
25. LANGMUIR, I.; Journal of American Chemistry Society, v.40, p.1361-1403, **1918**.
26. FREUNDLICH, H. M. F.; Journal Physics Chemistry, **1906**, 57, 384.
27. HAMEED, B.H.; TAN, I.A.W.; AHMAD, A.L.; Chem. Eng. J., **2008**, 144, 235.

Nathália F. Guedes¹ & Silvia S. Freitas^{1*}

¹Instituto de Química, Universidade Federal de Catalão (UFCAT), Av. Dr. Lamartine P. de Avelar, 1120, CEP: 75704-020, Catalão, GO

*E-mail: silviafreitas@ufcat.edu.br