

Área: Sustentabilidade | Tema: Temas Emergentes em Sustentabilidade

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO PROCION UTILIZANDO
BAGAÇO DE MALTE IN NATURA**

**EVALUATION OF PROCION RED DYE ADSORPTION CAPACITY USING IN NATURA MALT
BAGASSE**

Júlia Cristina Diel, Suelly Ribeiro Hollas, Taynan José Bender, Milena Santiago Chiquim e Isaac Dos Santos

Nunes

RESUMO

A presença de corantes sintéticos em efluentes industriais gera grande preocupação, devido à dificuldade de se degradarem naturalmente e também por apresentarem níveis de toxicidade, e em alguns casos, ter efeitos cancerígenos e mutagênicos, afetando tanto a biota aquática como os seres humanos. Dentre as técnicas utilizadas para o tratamento desses resíduos, destaca-se a adsorção, a qual consiste na remoção de um soluto presente em um líquido ou gás por meio do contato com um adsorvente sólido, cuja superfície apresenta afinidade especial com o soluto (adsorbato). Neste sentido, este trabalho visou avaliar a remoção do corante vermelho procion em solução aquosa com a utilização do bagaço de malte in natura, oriundo de indústria cervejeira. Realizaram-se testes para verificação do melhor pH e dosagem de adsorvente, e a partir desses resultados, avaliou-se o comportamento cinético e construiu-se isotermas de adsorção. Em relação aos ensaios, verificou-se que a adsorção foi favorecida em pH 2 e com a massa de 0,15 g de adsorvente. Pelas curvas cinéticas, determinou-se um tempo de equilíbrio de 90 min, com capacidade adsorptiva de 12,53 mg g⁻¹ e porcentagem de remoção de 79,1%. O modelo de pseudo-segunda ordem foi o mais adequado dentre os modelos estudados para representar a cinética de adsorção. O modelo de Sips representou satisfatoriamente as isotermas de equilíbrio com R² de 0,9986 e capacidade máxima de adsorção de 13,4 mg g⁻¹.

Palavras-Chave: tratamento de efluentes, adsorção, bagaço de malte, vermelho procion

ABSTRACT

The presence of synthetic dyes in industrial effluents is a major concern due to the difficulty of naturally degrading and its toxicity levels. In some cases, it may cause carcinogenic and mutagenic effects to both aquatic biota and humans. Among the techniques used for the treatment of these residues, adsorption stands out. It mainly consists in removing a solute, present in a liquid or gas, by contact with a solid adsorbent, whose surface has a special affinity for the solute (adsorbate). On this regard, this work aims to evaluate the removal of the procion red dye from the aqueous solution using malt bagasse in natura, from the brewing industry. Tests are performed to verify the best pH adjustment and adsorbent dosage. Then, the kinetic behavior are evaluated and adsorption isotherms are plotted. Results shows that the adsorption is favored at pH 2 and with a mass of 0.15 g of adsorbent. The kinetic curves show an equilibrium time of 90 min, adsorptive capacity of 12.53 mg g⁻¹ and removal percentage of 79.1%. The pseudo-second order model is the most appropriate among the models studied to represent the adsorption kinetics. The Sips model satisfactorily represented the equilibrium isotherms with R² of 0.9986 and maximum adsorption capacity of 13.4 mg g⁻¹.

Keywords: wastewater treatment, adsorption, malt bagasse, procion red

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO PROCION UTILIZANDO BAGAÇO DE MALTE *IN NATURA*

1 INTRODUÇÃO

Diversos segmentos industriais empregam corantes sintéticos em seus produtos, como alimentos, cosméticos, plásticos, papel e têxtil, os quais acabam gerando quantidades consideráveis de efluente colorido (SEN *et al.* 2014). A indústria têxtil é a que mais se destaca, devido à alta quantidade de água utilizada em seu processo, principalmente nas etapas de tingimento e acabamento, as quais produzem em torno de 50 a 100 L de efluente por quilo de tecido fabricado (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Muitos desses corantes possuem estruturas moleculares complexas, tornando-as difíceis de se degradarem naturalmente. A sua presença em corpos receptores tem causado o aumento da toxicidade e da demanda química de oxigênio, e também a redução da penetração da luz, afetando diretamente os fenômenos de fotossíntese (DUARTE *et al.*, 2012). Além disso, podem ser cancerígenos e ter efeitos mutagênicos, afetando tanto a biota aquática como os seres humanos (DOGAN *et al.*, 2008).

As principais técnicas empregadas para o tratamento desses efluentes envolvem processos físico-químicos, como coagulação/floculação, filtração por membrana, troca iônica, precipitação, ozonização e adsorção (VIRARAGHAVAN; SRINIVASAN, 2010). Entre esses, destaca-se a adsorção, devido ao seu baixo custo, à facilidade de operação, além da possibilidade de reutilização da água e do adsorvente aplicado (FERREIRA *et al.*, 2019).

Segundo McCabe *et al.* (2005), a adsorção consiste na remoção de um soluto presente em um líquido ou gás por meio do contato com um adsorvente sólido, cuja superfície possui afinidade especial com o soluto (adsorbato).

O carvão ativado é o adsorvente mais comumente utilizado na remoção de corantes, principalmente devido à sua eficiência, alta área superficial e resistência, porém, possui uso limitado em razão do seu alto custo de produção e regeneração (DOTTO *et al.*, 2015). Em razão disso, há várias pesquisas que relataram a viabilidade do uso de adsorventes de baixo custo, oriundos de materiais naturais, resíduos sólidos industriais e subprodutos agrícolas, como palha e sabugo de milho (CASAGRANDA, 2014; ARAUJO *et al.*, 2018), casca de arroz (FRANCO, 2016), casca de laranja (CARVALHO *et al.*, 2017) e bagaço de cana de açúcar (REIS *et al.*, 2019).

Outro exemplo é o bagaço de malte, oriundo da indústria cervejeira. Estima-se que a cada 100 L de cerveja são produzidos 20 kg de bagaço de malte, o que representa 85% dos subprodutos gerados nesse tipo de indústria (JUCHEN *et al.*, 2018). Assim, por meio da adsorção, pode-se explorar outra forma de aplicação deste resíduo, convertendo-o para produtos mais nobres, agregando valor econômico e ajudando a reduzir o custo de seu descarte (RAFATULLAH *et al.*, 2010).

É importante ressaltar que a eficácia do tratamento por adsorção não depende apenas das propriedades do adsorvente e adsorbato, mas também de condições ambientais e variáveis utilizadas no processo, como pH, temperatura, concentração do corante e de adsorvente, tempo de contato e velocidade de agitação (VIRARAGHAVAN; SRINIVASAN, 2010; DUARTE, *et al.* 2012).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade adsorptiva do bagaço de malte (BM) *in natura* na remoção do corante vermelho procion (VP). Realizaram-se testes para verificação do melhor ajuste de pH e dosagem de adsorvente, e a partir desses resultados, construiu-se curvas cinéticas e isotermas de adsorção para a biomassa em questão.

2 METODOLOGIA

2.1 PREPARO DO ADSORVENTE E ADSORVATO

O adsorvente utilizado foi o bagaço de malte proveniente de indústria cervejeira da cidade de Cerro Largo/RS. A biomassa foi seca durante 24 h em 105° C, e moída em moinho de facas tipo Willey.

Todas as soluções utilizadas nos ensaios de adsorção foram preparadas a partir da diluição de uma solução estoque de 100 mg L⁻¹ (produzida pela dissolução do corante VP em água destilada), para as concentrações de 10, 20, 30, 40 e 50 mg L⁻¹. Realizou-se a quantificação das concentrações em um espectrofotômetro, modelo Shimadzu UV-2600, no comprimento de onda de 512 nm. A curva de calibração foi construída a partir da diluição da solução inicial, para as concentrações que variaram entre 10 e 100 mg L⁻¹.

2.2 ENSAIOS DE ADSORÇÃO

2.2.1 Efeito do pH

Para avaliação do efeito do pH, transferiu-se 20 mL da solução de 50 mg L⁻¹ para nove erlenmeyers identificados. Em cada um deles ajustou-se o pH para 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 (com um limite de tolerância de 0,05 para mais ou para menos) com o uso de soluções de HCl (0,1 e 1 M) e NaOH (0,1 M). Acrescentou-se em cada erlenmeyer 0,02 g de BM e deixou-se a solução em contato com o adsorvente durante 120 min, sob agitação constante (180 rpm). As alíquotas foram coletadas com auxílio de uma seringa, a qual continha uma ponteira com filtro.

A determinação do pH mais favorável para adsorção do VP pelas partículas de BM foi realizada por meio da análise da eficiência de remoção (η), calculada pela Equação 1.

$$\eta = \frac{(C_0 - C_t) \cdot 100}{C_0} \quad (1)$$

sendo C_0 a concentração inicial de corante e C_t a concentração medida no intervalo de tempo.

2.2.2 Teste de dosagem

Avaliou-se as proporções de 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; e 0,25 g de biomassa em 20 mL de solução do corante VP (50 mg L⁻¹), ajustado na melhor faixa de pH.

A verificação da melhor dosagem de BM se deu pelo uso da Equação 1 e pelo cálculo da sua capacidade de adsorção (q_t), por meio da Equação 2.

$$q_t = \frac{V (C_0 - C_t)}{m} \quad (2)$$

sendo m a massa de adsorvente utilizada no processo de adsorção e V o volume de solução.

2.2.3 Cinética de adsorção

Este ensaio foi realizado utilizando-se as melhores condições de pH e dosagem de adsorvente, em 50 mL de solução na concentração de 50 mg L⁻¹. A concentração da solução

foi medida em intervalos de tempo regulares (a cada 5 min, até 30 min; a cada 15 min até 60 min; e após, a cada 30 min), até se atingir o ponto de equilíbrio entre adsorvato e adsorvente.

A partir dos resultados, determinou-se a capacidade de adsorção do BM em função do tempo.

2.2.4 Isotermas de adsorção

Utilizou-se nesse ensaio 50 mL de cinco soluções com diferentes concentrações (10, 20, 30, 40 e 50 mg L⁻¹), as quais foram ajustadas para o melhor valor de pH e que receberam a quantidade de adsorvente determinada pelo teste de dosagem. Após transcorrido o tempo de equilíbrio, realizou-se as leituras de concentração, e determinou-se a capacidade de adsorção do BM.

2.3 MODELAGEM DAS CINÉTICAS E ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Utilizou-se o pacote computacional MatLab[®] para a construção dos perfis cinéticos e avaliação das isotermas de adsorção para a estimação dos parâmetros de diferentes modelos, pelos métodos Levenberg-Marquardt e Trust-region. Os modelos testados foram o de pseudo-primeira ordem (PPO), pseudo-segunda ordem (PSO) e quimissorção de Elovich, apresentados nas Equações 3, 4 e 5, respectivamente.

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (3)$$

$$q_t = \frac{t}{(1/k_2 q_e^2) + (t/q_e)} \quad (4)$$

$$q_t = A + B \ln(t) \quad (5)$$

sendo k_1 a constante adimensional da taxa de adsorção de PPO; k_2 a constante adimensional da taxa de adsorção de PSO; t o tempo de adsorção, em min; q_e a capacidade de adsorção no equilíbrio (máxima capacidade adsortiva), em mg g⁻¹; A a taxa inicial de adsorção; e B uma constante relacionada ao grau de cobertura e a energia de ativação envolvida no processo.

Os valores de capacidade adsortiva em função da concentração de adsorvato, obtidos para a construção da isoterma de adsorção, foram ajustados aos modelos de Langmuir (Equação 6), Freundlich (Equação 7) e Sips (Equação 8).

$$q_e = \frac{(q_{máx} k_L C_e)}{(1 + k_L C_e)} \quad (6)$$

$$q_e = k_F C_e^{(1/n_F)} \quad (7)$$

$$q_e = \frac{(q_{máx} k_S C_e^{(1/n_S)})}{(1 + k_S C_e^{(1/n_S)})} \quad (8)$$

sendo q_e a quantidade de corante adsorvido no equilíbrio por unidade de massa de adsorvente, em mg g⁻¹; $q_{máx}$ a capacidade máxima de adsorção, em mg g⁻¹; C_e a concentração do adsorvato na solução após o equilíbrio ter sido atingido, em mg L⁻¹; k_L a constante de Langmuir, em L mg⁻¹; k_F uma constante empírica, dada em L mg⁻¹, relacionada à capacidade de adsorção do

adsorvente; k_s a constante de equilíbrio de Sips, em $L\ mg^{-1}$; e n uma constante empírica adimensional que representa a intensidade de adsorção.

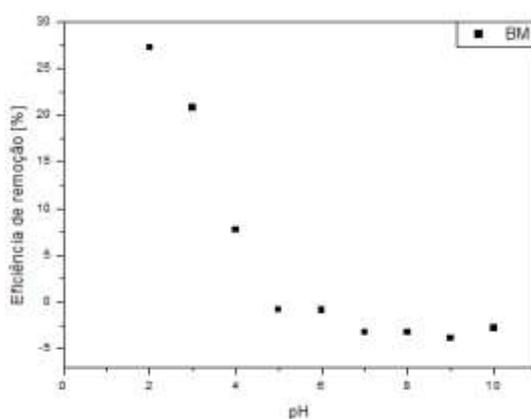
O coeficiente de correlação (R^2) e o erro relativo médio (ERM) foram os parâmetros analisados para verificação do melhor ajuste dos modelos cinéticos e das isotermas. Foram considerados como melhores ajustes aqueles que tiveram os maiores valores para o R^2 e menores valores de ERM.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 EFEITO DO PH

O efeito do pH na adsorção do corante VP utilizando BM como adsorvente está apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Efeito do pH na adsorção do corante VP



Fonte: autores.

Analisando a Figura 1, pode-se perceber que conforme o valor do pH diminuiu a remoção aumentou, tendo um potencial de remoção de aproximadamente 27,2%, em pH 2.

Em pH acima de 5 o BM demonstrou eficiências negativas, em decorrência de que há uma dessorção na superfície do adsorvente com o adsorbato.

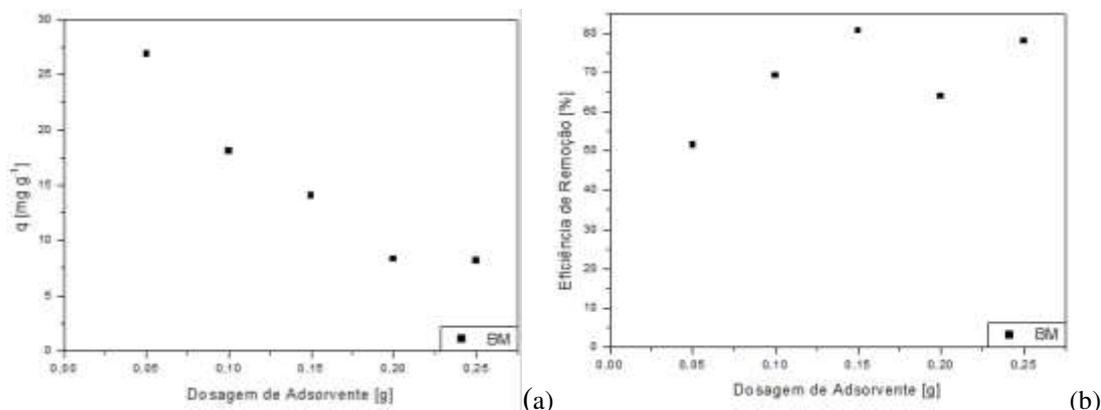
Em relação ao corante aniônico VP, Martins *et al.* (2018) realizaram a avaliação do efeito de pH, em que removeram 67,6% de contaminante no menor pH testado, pH 3, usando espumas de poliuretano com fibras naturais de adsorvente. Bender *et al.* (2019) efetuaram ensaio cinético utilizando bagaço de guabiroba modificado com NaOH em pH ajustado em 2, ao qual foi o valor que mais removeu o corante.

A partir destas observações, o pH ajustado em 2 foi a condição escolhida para os próximos ensaios.

3.2 ENSAIO DE DOSAGEM DE ADSORVENTE

A Figura 2 apresenta os resultados dos ensaios de dosagem, os quais mostram a capacidade de adsorção e a eficiência de remoção obtida nas massas de 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; e 0,25 g do adsorvente BM, com pH ajustado em 2.

Figura 2 - Dados experimentais da capacidade de adsortiva (a) e porcentagem de remoção (b) de VP obtida com diferentes massas de adsorvente



Fonte: autores.

Conforme verificado na Figura 2 (a), observou-se que com o aumento da massa de adsorvente, diminui-se sua capacidade de adsorção. Isso se explica devido à equação da capacidade (Equação 2) ser inversamente proporcional à massa. Em relação à Figura 2 (b), notou-se que a massa de 0,15 g obteve uma remoção de 80,8%, se tornando a quantidade de biomassa mais viável para o prosseguimento dos testes.

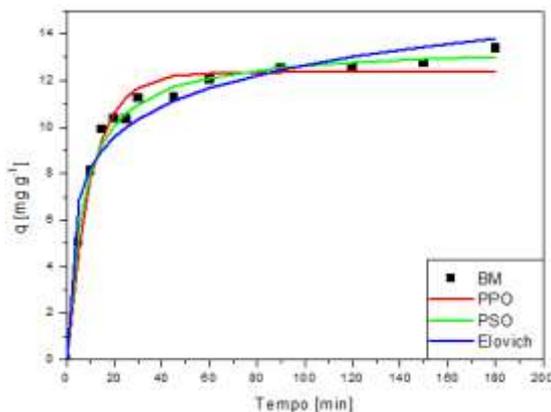
Georgin *et al.* (2018) usaram a casca do abacate modificada com H₂SO₄ e HNO₃ na adsorção do corante VP, e determinaram que a dosagem ideal para o prosseguimento do trabalho foi a menor massa testada, de 0,3 g de adsorventes, removendo valores acima de 96% do corante na concentração de 100 mg L⁻¹. Isso mostra que pequenas quantidades de biomassa demonstram boas eficiências na remoção do corante VP.

Além de pH 2, a massa de 0,15 g foi a ideal para o estudo da cinética do processo adsorptivo.

3.3 TESTE CINÉTICO

As curvas cinéticas consistem na determinação do tempo necessário em que o sistema adsorvente/adsorbato entra em equilíbrio. Os dados cinéticos com os modelos ajustados estão apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Perfis cinéticos com modelos ajustados ao processo de adsorção do VP



Fonte: autores.

A Figura 3 demonstra o desempenho da biomassa como adsorvente na remoção do corante em função do tempo. Observou-se que o equilíbrio do processo de adsorção foi atingido no tempo de 90 min, o qual apresentou-se uma eficiência de remoção do VP de 79,1% e capacidade adsortiva de 12,53 mg g⁻¹.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros dos modelos cinéticos de adsorção ajustados aos dados experimentais.

Tabela 1 - Parâmetros cinéticos de adsorção de VP

Modelos	Adsorvente	
	BM <i>in natura</i>	
Pseudo-primeira Ordem (PPO)		
q_1 [mg g ⁻¹]	12,33	
k_1 [min ⁻¹]	0,0977	
R^2	0,9775	
ERM [%]	3,7790	
Pseudo-segunda Ordem (PSO)		
q_2 [mg g ⁻¹]	13,51	
k_2 [g mg ⁻¹ min ⁻¹]	0,0107	
R^2	0,9911*	
ERM [%]	1,489	
Elovich		
A [mg g ⁻¹ min ⁻¹]	13,03	
B [g mg ⁻¹]	0,5133	
R^2	0,9585	
ERM [%]	6,972	

*Modelo de melhor ajuste.

Fonte: autores.

Com base nos valores de R^2 e ERM demonstrados na Tabela 1, verificou-se que o modelo de PSO foi o mais adequado para representar a cinética de adsorção do corante VP para o adsorvente BM, o qual apresentou um coeficiente de linearidade igual a 0,9911.

Chiquim *et al.* (2018) avaliaram a adsorção do azul de metileno com massa de 0,3 g de BM em concentração de 100 mg L⁻¹ de corante, e determinaram o modelo PSO como o de melhor ajuste para a dosagem. Comparando-se os resultados obtidos neste trabalho com a

literatura reportada, pode-se concluir que o modelo de PSO mostrou-se adequado também para trabalhos de outros autores que estudaram adsorção de VP.

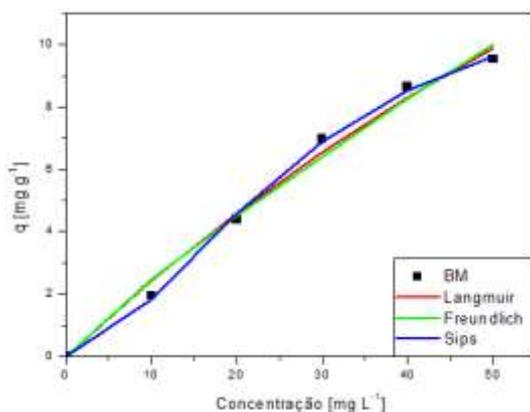
Segundo os resultados obtidos até então, a utilização da biomassa BM como adsorvente na remoção de corantes pode se configurar como uma alternativa para o tratamento destes efluentes. Embora havendo gastos associados aos reagentes necessários para o ajuste do pH, também se deve levar em conta que, em 90 min, o bioadsorvente remove mais de 75% de VP.

Para realização da construção das curvas de equilíbrio utilizou-se o tempo de equilíbrio de 90 min, conforme a Figura 3.

3.4 TESTE ISOTERMAS

Para avaliar o equilíbrio do processo de remoção do VP pela biomassa BM, foram traçadas as isotermas de adsorção no equilíbrio para cinco concentrações consideradas, como mostra a Figura 4. Já a Tabela 2 apresenta os parâmetros dos modelos de Langmuir, Freundlich e Sips ajustados aos dados experimentais.

Figura 4 - Perfis das isotermas com modelos ajustados ao processo de adsorção de VP, com BM como adsorvente



Fonte: autores.

Tabela 2 - Parâmetros das isotermas de adsorção de VP com adsorvente BM na temperatura de 25 °C

Modelos	Temperatura	
	25 °C	
Langmuir		
$q_{m\acute{a}x}$ [mg g ⁻¹]	42,05	
k_L [L mg ⁻¹]	0,0061	
R^2	0,9902	
ERM [%]	0,7025	
Freundlich		
k_F [mg g ⁻¹]	0,3318	
$1/n_F$ [L mg ⁻¹]	0,8711	
R^2	0,9865	
ERM [%]	0,9753	
Sips		

$q_{m\acute{a}x}$ [mg g ⁻¹]	13,40
k_s	0,0029
n_s	0,5769
R^2	0,9986*
ERM [%]	0,0989

*Modelo de melhor ajuste.

Fonte: autores.

A isoterma da Figura 4 demonstra um comportamento favorável, ou seja, boas capacidades adsorptivas podem ser obtidas com baixas concentrações de solutos. Com o aumento da concentração do corante, aumenta-se a capacidade do adsorvente, devido à maior quantidade de moléculas do contaminante na solução.

Pelos resultados descritos na Tabela 2, notou-se que os três modelos foram adequados para representar os dados experimentais, já que apresentaram baixos valores de ERM e altos R^2 . Os modelos de Sips e Langmuir indicaram desempenhos similares. No entanto, o modelo de Sips apresenta mais parâmetros do que Langmuir, se adequando mais aos dados de equilíbrio. A partir do modelo de Sips obteve-se uma capacidade máxima de adsorção de 13,4 mg g⁻¹.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi verificado o potencial do bagaço de malte como adsorvente na remoção do corante vermelho procion em soluções aquosas. Os resultados mostraram que o material apresenta um desempenho satisfatório na remoção do corante, utilizando-se uma massa de 0,15 g de adsorvente, e ajustando-se o pH para 2. A adsorção do VP pelo adsorvente BM apresentou capacidade adsorptiva de 12,53 mg g⁻¹, porcentagem de remoção de 79,1%, com o tempo de equilíbrio atingido em 90 min, sendo representado pelo modelo cinético de PSO. O modelo de Sips representou satisfatoriamente as isotermas de equilíbrio, com R^2 de 0,9986 e capacidade máxima de adsorção de 13,4 mg g⁻¹.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. A indústria têxtil no Brasil: uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes. **Projeto Qualidade da Água** – Ministério Público Federal, 2016. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/boletim-das-aguas/artigos-cientificos>>. Acesso em: 27 ago. 2019.
- ARAÚJO, S. S.; CUBA, R. M. F.; TERAN, F. J. C. Biossorvente produzido a partir de sabugo de milho para remoção de nitrato em soluções aquosas. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 1., 2018, Gramado. **Anais eletrônicos...** Gramado: IBEAS, 2018. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2018/XV-041.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2019.
- BENDER, T.J.; FERNANDES, D.M.; CRUZ, W. de A.; HOLLAS, S.; NUNES, I dos S. Estudo da adsorção do corante vermelho procion utilizando bagaço de guabiroba tratada como adsorvente. In: MOSTRA DE TRABALHOS DE ENGENHARIA QUÍMICA, 3., 2019, Santo Ângelo. **Anais eletrônicos...** Santo Ângelo: URI, 2019. Disponível em: <http://srvapp2s.santoangelo.uri.br/sites/site_novo/?page_id=3663>. Acesso em: 9 jul. 2019.

CARVALHO, K. Q. *et al.* Caracterização e Avaliação das Propriedades Adsorptivas da casca de Laranja na Remoção do Corante Direct Blue 86. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 2, p. 608-625, 2017. Disponível em: <<http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v9n2a11.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2019.

CASAGRANDA, Lucas. **Remoção de corante vermelho reativo 4b, utilizando como adsorvente palha de milho**. 2014. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

CHIQUIM, M.S.; DALLA PORTA, P.G.; ALVES, P.S.; COLOVINI, B.G.; NUNES, I dos S. Estudo da capacidade de adsorção de azul de metileno utilizando resíduo de bagaço de malte. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ADSORÇÃO, 12., 2018, Gramado. **Anais eletrônicos...** Gramado: UFSM, 2018. Disponível em: <http://scheneventos.com.br/eba/envio/files/444_arq1.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2019.

DOGAN, M. *et al.* Adsorption kinetics and mechanism of maxilon blue 5G dye on sepiolite from aqueous solutions. **Chemical Engineering Journal**, v. 139, p. 213-223, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.07.080>>. Acesso em: 26 ago. 2019.

DOTTO, G. L. *et al.* Adsorption of Methylene Blue by ultrasonic surface modified chitin. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 446, p. 133-140, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.01.046>>. Acesso em: 26 ago. 2019.

DUARTE, M. M. M. B. *et al.* Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R. **Química Nova**, v. 35, n. 7, p. 1369-1374, 2012. Disponível em: <http://www.quimicanova.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3547>. Acesso em: 26 ago. 2019.

DUPONT, G. K.; DIEL, J. C.; DALLA PORTA, P. G.; COLOVINI, B. G.; CHIQUIM, M. S.; NUNES, I. dos S. Avaliação da adsorção do corante vermelho do congo empregando resíduo de bagaço de malte. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ADSORÇÃO, 12., 2018, Gramado. **Anais eletrônicos...** Gramado: UFSM, 2018. Disponível em: <http://scheneventos.com.br/eba/envio/files/408_arq1.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2019.

FERREIRA, I. F. *et al.* Remoção do corante azul de metileno por adsorção em bagaço de coco (*cocos nucifera l.*). **Cadernos de graduação**, v. 5, n. 2, p. 339-348, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/view/6808>>. Acesso em: 26 ago. 2019.

FRANCO, D. S. P. **Modificações na casca de arroz para a adsorção de azul de metileno em batelada e leito fixo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

GEORGIN, J.; HERNANDES, P.; CABRAL, L.; PERES, E.C.; DOTTO, G.L.; ALLASIA, D. Uso da casca do abacate modificada quimicamente na adsorção do corante vermelho procion. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ADSORÇÃO, 12., 2018, Gramado. **Anais eletrônicos...** Gramado: UFSM, 2018. Disponível em: <http://scheneventos.com.br/eba/envio/files/21_arq1.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2019.

JUCHEN, P. T. *et al.* Biosorption of reactive blue BF-5G dye by malt bagasse: kinetic and equilibrium studies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, p. 7111-7118, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.11.009>>. Acesso em: 26 ago. 2019.

MARTINS, N. D.; SANTOS, A.; FREITAS, T. K. F. S.; LIMA, H. H.; FAVARO, S. L. Desenvolvimento de espumas de poliuretana com fibras naturais e sua aplicação na adsorção de corante têxtil. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO COENTÍFICA, 27., 2018, Maringá. **Anais eletrônicos...** Maringá: UEM, 2018. Disponível em: <<http://www.eaic.uem.br/eaic2018/anais/artigos/2827.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

MCCABE, Warren L.; SMITH, Julian C.; HARRIOTT, Peter. **Unit operations of chemical engineering**. 7. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2005.

RAFATULLAH, M. *et al.* Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 177, p. 70-80, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.047>>. Acesso em: 28 ago. 2019.

REIS, M. A. *et al.* Estudo da utilização de bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente de violeta cristal. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS, 6., 2019, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Concórdia: SBERA, EMBRAPA, 2019. Disponível em: <http://sbera.org.br/pt/wp-content/uploads/2019/08/sigera_vi_anais_2019.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2019.

SEN, T. K.; YAGUB, M. T.; AFROZE, S.; ANG, H. M. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 209, p. 172-184, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.04.002>>. Acesso em: 27 ago. 2019.

VIRARAGHAVAN, T.; SRINIVASAN, A. Decolorization of dye wastewaters by biosorbents: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 1915-1929, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.05.003>>. Acesso em: 26 ago. 2019.