

**ADSORÇÃO DO CORANTE TÊXTIL AZUL REMAZOL POR PECÍOLO DE BURITI
(*Mauritia flexuosa* L.f.)***ADSORPTION OF BLUE TEXTILE DYE REMAZOL FOR BURITI PETIOLE
(*Mauritia flexuosa* Lf)ADSORCIÓN DEL COLORANTE TEXTIL AZUL REMAZOL POR EL PECÍOLO DE BURITI
(*Mauritia flexuosa* L.f.)

Domingos S. A. Silva
Carlos A. Holanda
Sirlane A. A. Santana
Cícero W. B. Bezerra
Hildo A. S. Silva

Resumo: No presente trabalho foi investigada a remoção do corante azul remazol usando como adsorvente o pecíolo do buriti. A partir do espectro de infravermelho, foram identificados os principais grupos funcionais do adsorvente. O comprimento de onda de máxima absorção ($\lambda_{\text{máx}}$) do corante foi obtido por espectrofotometria na região do UV-visível foi 595nm. O pH no ponto de carga zero do adsorvente foi estimado graficamente em torno de 4,6. Foram investigados alguns parâmetros tais como: a influência do pH, o tempo de contato e a concentração do corante. A capacidade de adsorção do corante é maior em pH's mais baixos. Os modelos cinéticos de adsorção que apresentaram os melhores ajustes foram os de pseudossegunda ordem para a menor concentração ($R^2 \approx 93\%$) e Elovich para as concentrações de 400 e 800 mg.L⁻¹ ($R^2 \approx 97\%$). Os modelos isotérmicos utilizados foram os de Freundlich, Sips e Multicamada. Os modelos de Sips e Multicamada foram os que ajustaram melhor os dados de equilíbrio ($R^2 > 96\%$). A quantidade máxima adsorvida estimada pelo modelo de Sips foi 33 mg.g⁻¹. Essa capacidade de adsorção relativamente alta torna o pecíolo do buriti um adsorvente com potencial para remover corantes.

Palavras-chave: Pecíolo de buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.). Adsorção. Corantes têxteis.

Abstract: In the present study was investigated the removal of Remazol Blue dye using as adsorbent buriti petiole. From the IR spectrum, the main functional groups of the adsorbent were identified. The wavelength of maximum absorption ($\lambda_{\text{máx}}$) of the dye was obtained by spectrophotometric in the UV-visible was 595 nm. The pH at the point of zero charge of the adsorbent was estimated graphically at 4,6. Were investigated Some parameters were investigated such as: the influence of pH, the contact time and the concentration of the dye. The adsorption capacity of the dye is higher in lower pH's. The adsorption kinetic models that showed the best fits were the pseudo-second order for the lower concentration ($R^2 \approx 93\%$) and Elovich for concentrations of 400 and 800 mg.L⁻¹ ($R^2 \approx 97\%$). The isotherm models used were those of Freundlich, Sips and Multilayer. Sips and Multilayer models were best fitted the equilibrium data ($R^2 > 96\%$). The maximum amount adsorbed estimated by Sips model was 33 mg.g⁻¹. That relatively high adsorption capacity makes the buriti petiole a potential adsorbent to remove dyes.

Keywords: Buriti petiole (*Mauritia flexuosa* L.f.). Adsorption. Textile dyes.

Resumen: En el presente trabajo fue investigada la retirada del colorante azul remazol usando como adsorbente el pecíolo del buriti. A través del espectro infrarrojo se identificaron los principales grupos funcionales del adsorbente. La longitud de onda de absorción máxima ($\lambda_{\text{máx}}$) del colorante se obtuvo por espectrofotometria en UV-Visible en 595nm. El pH en el punto de carga cero del adsorbente foi aproximado graficamente en 4,6. Fueron investigados la influencia del pH, tiempo de contacto y la concentración del colorante. La capacidad de adsorción del colorante es mayor en pH's mas bajos. Los modelos cinéticos de adsorción que presentaron los mejores ajustes fueron los de pseudo-segundo orden para la menor concentración ($R^2 \approx 93\%$) e Elovich para las concentraciones de 400 y 800 mg.L⁻¹ ($R^2 \approx 97\%$). Los modelos isotérmicos utilizados fueron los de Freundlich, Sips y de Multicapas. Los modelos de Sips y de Multicapas fueron los que adecuaron mejor los datos del equilibrio ($R^2 > 96\%$). La cantidad máxima adsorbida calculada por el modelo de Sips fue de 33 mg.g⁻¹. Esta capacidad relativamente alta de adsorción define al pecíolo del buriti como un adsorbente con potencial para retirar colorantes.

Keywords: Pecíolo de buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.). Adsorción. Colorantes têxteis.

* Trabalho premiado durante o XXIII Encontro do SEMIC realizado na UFMA entre os dias 08 a 11 de novembro de 2011.
Artigo recebido em fevereiro 2012
Aprovado em abril 2012

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos provenientes das indústrias do setor têxtil causam sérios problemas à sociedade (VIEIRA et al., 2009). Os efluentes dessas indústrias dispõem de um grande conteúdo de corante que, em mistura com corpos d'água causam problemas graves, tais como o aumento da demanda química de oxigênio, a diminuição da penetração da luz, mutações, câncer e outros (SAHA et al., 2011; SOUZA, 2009). Estimativas apontam que existem cerca de 100 mil tipos de corantes e pigmentos comerciais e, anualmente, são produzidas mais 7x10⁵ toneladas de corantes (SHARMA; KAUR, 2011). Em torno de 10 a 20 % da produção mundial de corantes perdem-se no processo de tingimento (ANBIA; SALEHI, 2012; WU et al., 2012).

Os principais métodos usados para diminuir a concentração de corantes em efluentes industriais são oxidação química, coagulação e floculação, tratamentos biológicos, separação por membrana e adsorção (KULEYIN; AYDIN, 2011; WU et al., 2012). Entre essas técnicas, a adsorção é vista como a mais eficaz e economicamente viável. Entretanto adsorventes com alto potencial de remoção possuem barreiras que impedem sua aplicação em escala industrial, como é caso do carvão ativado que possui uma alta taxa de remoção, mas sua produção é onerosa (SOUZA, 2009). A esse respeito tem sido direcionada a atenção para a utilização de adsorvente de baixo custo, como pseudocaulis de bananeira (SILVA et al., 2010), epicarpo e mesocarpo de coco babaçu (VIEIRA et al., 2009, 2011) mesocarpo de coco verde (SOUZA, 2009), casca de arroz (COSTA et al., 2009) e vários outros. Nesse sentido podemos incluir o pecíolo (talo) do buriti como um adsorvente alternativo para remover corantes ou outros contaminantes.

O buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) é uma palmeira restrita à América do sul e difundida em toda a região amazônica. Desenvolve-se muito bem em condições de solos pobres, ácidos e alagados, os quais são impróprios para a agricultura. O buriti é importante na preservação da fauna, uma vez que seus frutos são fonte de alimentos para várias aves e mamíferos. Rico em vitamina A, é empregado na culinária regional no preparo de doces e geleias, além da extração do óleo. Além disso, sua presença é um indicador natural de áreas com recursos hídricos. As folhas são utilizadas na cobertura de moradias, as fibras no artesanato

e o pecíolo na confecção de móveis, brinquedos e gaiolas. Suas folhas e pecíolos, quando morrem, podem demorar vários meses na palmeira (GOMES et al., 2011; PASSOS; MENDONÇA, 2006). Quando as folhas são retiradas da palmeira, a maior parte do pecíolo fica no tronco ou é descartada em seguida, sem nenhuma reutilização.

O uso extrativista dos pecíolos, frutos e folhas do buriti é um dos fatores que favorece o desenvolvimento econômico e conservação ambiental das regiões de sua predominância. Na literatura não foi encontrado nenhum trabalho utilizando o pecíolo do buriti como adsorvente. Neste sentido propomos aplicar o pecíolo do buriti como adsorvente para a remoção do corante têxtil azul remazol.

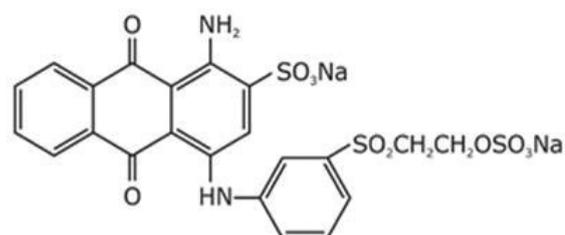
2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

O pecíolo do buriti, obtido no município de São Luís - MA, Brasil, foi triturado em moinho de facas, lavado com água destilada até condutividade constante, seco em estufa a 50 °C e peneirado para obtenção da faixa granulométrica desejada (0,088 a 0,177 mm).

O corante azul remazol, utilizado no processo de adsorção, foi cedido pela indústria Toalhas São Carlos, situada na cidade de São Carlos-SP e foi utilizado sem purificação prévia. A estrutura do corante está apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura molecular do corante têxtil azul remazol



Fonte: (SILVA, et al., 2010)

As soluções do corante foram preparadas em meio de KCl, 0,10 mol.L⁻¹ para manter a força iônica constante. A determinação dos pH's das soluções foi analisada em um pHmetro modelo Tec-3MP da Tecnal. Todos os testes de adsorção foram realizados em triplicata. Os gráficos dos experimentos de adsorção foram

plotados a partir da média e do desvio padrão dos pontos.

2.2 Métodos

2.2.1 Espectros na região do infravermelho do pecíolo do buriti e na região do UV-visível do corante

O comprimento de onda de máxima absorção ($\lambda_{m\acute{a}x}$) pelo corante foi obtido por espectrofotometria eletrônica na região do UV-visível em um equipamento da Varian modelo Cary 50, usando-se cubeta de quartzo de 1,0 cm de caminho óptico. O experimento foi realizado em diferentes valores de pH.

O espectro de infravermelho do adsorvente foi obtido a partir da técnica da pastilha (disco prensado) que usa brometo de potássio seco e pulverizado. Um espectrômetro Shimadzu, modelo IRPrestige-21, foi empregado para obtenção do espectro de absorção na faixa espectral de 4000 a 400 cm^{-1} .

2.2.2 O pH no ponto de carga zero (pH_{zpc})

O pH, no qual a superfície do adsorvente está em equilíbrio de cargas, foi obtido colocando-se 0,1000 g do adsorvente em contato com 25mL de soluções de KCl (0,1 mol.L^{-1}) com pH variando de 1 a 12. Tais pH's foram ajustados com soluções de HCl e/ou NaOH. As misturas ficaram sob agitação constante por 24 horas e, após esse tempo de contato, separou-se o adsorvente da mistura por filtração em peneira de granulometria menor que do adsorvente e mediou-se o pH final da solução. O valor do pH no ponto de carga zero foi estimado a partir do gráfico da variação do pH ($\text{pH}_{\text{inicial}} - \text{pH}_{\text{final}}$) em função do $\text{pH}_{\text{inicial}}$.

2.2.3 Estudo do pH

A influência do pH no processo de adsorção foi verificado colocando-se 0,1000g do adsorvente em contato com 25mL de uma solução do corante azul de remazol (200 mg.L^{-1}) em pH variando de 1 a 7, previamente ajustados com HCl ou NaOH, por um período de 24 horas e sob agitação constante. Após esse tempo, a mistura foi filtrada e sua nova absorbância foi determinada por espectrofotometria na região do UV-visível no comprimento de onda máximo relativo ao pH da solução. A concentração, C (mg.L $^{-1}$), do corante após o contato com o adsorvente foi calculada a partir da construção de

curvas analíticas, empregando-se a Equação de Lambert-Beer (Equação 1).

$$A=abC \quad \text{Equação 1}$$

Onde A é a absorbância (adimensional) da solução e a, b são a absorvidade ($\text{L.mg}^{-1}.\text{cm}^{-1}$) e o comprimento óptico dado em cm, respectivamente.

A quantidade adsorvida, $\Gamma(\text{mg.g}^{-1})$ do corante pelo pecíolo do buriti, foi determinada conforme a Equação 2.

$$\Gamma = \frac{(C_i - C_f)V}{m} \quad \text{Equação 2}$$

Onde C_i (mg.L^{-1}) e C_f (mg.L^{-1}) são as concentrações inicial e final, respectivamente; m (g) é a massa do adsorvente e V (L) é o volume da solução do corante utilizado.

2.2.4 Ensaios de adsorção

A quantidade adsorvida em função do tempo de contato, assim como a da concentração de equilíbrio do corante, foram obtidas em experimentos realizados em batelada. Os ensaios cinéticos de adsorção foram feitos colocando 0,1000g do adsorvente em contato com 25mL da solução do corante nas concentrações de 200, 400 e 800 mg.L^{-1} , e pH fixo de acordo com o estudo do pH, agitação e temperatura constantes. Após o tempo de contato (1, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 e 210 minutos), a concentração da solução final foi determinada por espectrofotometria. Para avaliar o processo cinético de adsorção, foram aplicados os modelos de pseudo-primeira ordem (Equação 3), pseudo-segunda ordem (Equação 4) e Elovich (Equação 5) (GUSMÃO et al., 2012).

$$\Gamma = \Gamma^\circ (1 - e^{-k_1 t}) \quad \text{Equação 3}$$

$$\Gamma = \frac{(\Gamma^\circ)^2 k_2 t}{1 + \Gamma^\circ k_2 t} \quad \text{Equação 4}$$

$$\Gamma = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln(t) \quad \text{Equação 5}$$

Onde Γ (mg.g^{-1}) e Γ° (mg.g^{-1}) são as quantidades adsorvidas em um tempo t e no equi-

líbrio, respectivamente, k_1 (min^{-1}), k_2 ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) e ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) são as constantes de velocidade de adsorção de pseudoprimeira ordem, pseudossegunda ordem e taxa de adsorção inicial de Elovich, respectivamente. O parâmetro, β ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$) do modelo de Elovich está relacionado com a extensão da cobertura da superfície e a energia de ativação para quimissorção.

Com o intuito de encontrar a quantidade máxima adsorvida do corante, isoterma a 25°C , semelhante aos experimentos cinéticos (m , V , pH e agitação constante), foi obtida. As concentrações utilizadas foram 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 e $800 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e o tempo de contato empregado determinado a partir da cinética de adsorção do corante. Os modelos de Freundlich (Equação 6), Sips (Equação 7) e Multicamada (Equação 8) foram aplicados aos dados experimentais para simular o processo de adsorção do corante (HOLANDA, 2010).

$$\Gamma = K_F C_{\text{eq}}^{1/n} \quad \text{Equação 6}$$

$$\Gamma = \frac{\Gamma_{\text{max}} K_S C_{\text{eq}}^{1/n_S}}{1 + K_S C_{\text{eq}}^{1/n_S}} \quad \text{Equação 7}$$

$$\Gamma = \frac{\Gamma_{\text{max}} K_S C_{\text{eq}}^{1/n_S}}{1 + K_S C_{\text{eq}}^{1/n_S}} \quad \text{Equação 8}$$

As constantes Γ_{max}^0 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) e Γ^0 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) são a quantidade máxima adsorvida e a quantidade adsorvida na primeira camada dos modelos de Sips e Multicamada, respectivamente, K_F ($(\text{L} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{g}^{-n})^{1/n}$), K_S ($(\text{L} \cdot \text{mg}^{-1})^{1/n_S}$), K_1 ($\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$) e K_2 ($\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$) são constantes de Freundlich, Sips e formação da primeira e segunda camada de adsorção do modelo de Multicamada, respectivamente; n e n_S são parâmetros relacionados à energia dos sítios ativos de Freundlich e Sips, respectivamente.

Os parâmetros estatísticos, R^2 (Coeficiente de Determinação) e χ^2 (Qui-quadrado), foram empregados para medir a adequação dos modelos cinéticos e isotérmicos.

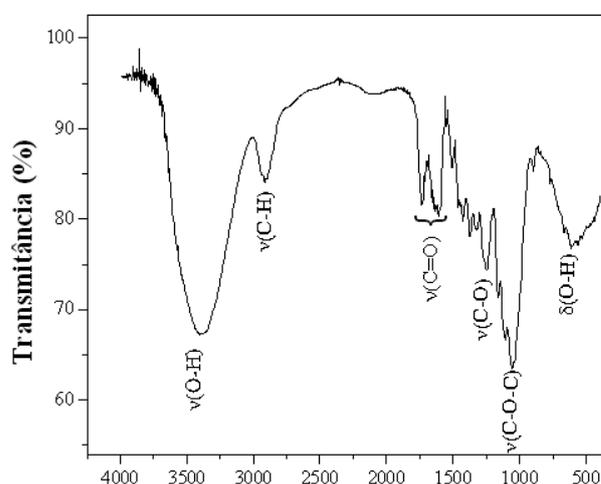
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Infravermelho do pecíolo do buriti

O gráfico 1 ilustra o espectro vibracional de infravermelho do pecíolo do buriti com

as principais atribuições. O espectro mostra que o adsorvente apresenta bandas relativas ao alongamento do grupo funcional OH em torno de $3200\text{-}3600 \text{ cm}^{-1}$. As bandas de alongamento de CH_2 e CH_3 são verificadas em $2800\text{-}3000 \text{ cm}^{-1}$. Na região de 1550 a 1750 cm^{-1} , estão as bandas de alongamento de grupos carbonila, referentes aos ésteres aldeídos e cetonas (SHIN, KARTHIKEYAN; TSHABALALA, 2007). A região por volta de $1300\text{-}1200 \text{ cm}^{-1}$ é referente ao estiramento $\nu(\text{C-O})$. Em torno de 1057 cm^{-1} ocorre o estiramento $\nu(\text{C-O-C})$ do éter alifático ($\beta\text{-1,4}$). A banda situada em $600\text{-}670 \text{ cm}^{-1}$ está relacionada à flexão de grupos OH fora do plano (SOUZA, 2009).

Gráfico 1 - Espectro vibracional na região do infravermelho do pecíolo do buriti

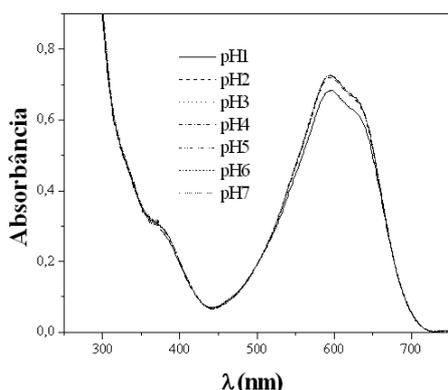


Fonte: Elaborada pelos autores

3.2 Espectro na região do UV-visível do corante

Os espectros eletrônicos em diversos valores de pH para o corante azul remazol podem ser visualizados no gráfico 2. O comprimento de máxima absorção luz ($\lambda_{\text{máx}}$), em torno de 595 nm , na região do visível está relacionado ao grupo cromóforo do corante antraquinona, que possui elétrons capazes de ser promovidos para outro nível de energia quando absorvem radiação. O pH da solução do corante não teve influência significativa no $\lambda_{\text{máx}}$. Resultado similar para $\lambda_{\text{máx}}$ foi encontrado por Souza (2009) que trabalhou com o mesmo corante usando como adsorvente o mesocarpo de coco verde.

Gráfico 2 - Espectro eletrônico na região do UV-visível do corante azul remazol na concentração de 56 mg.L⁻¹, em pH's variando de 1 a 7

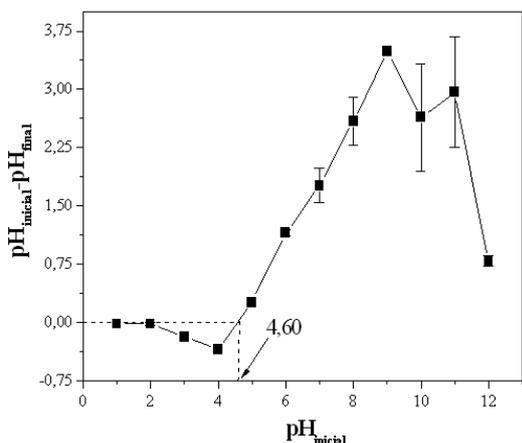


Fonte: Elaborada pelos autores

3.3 O pH no ponto de carga zero (pH_{zpc})

Conhecer o comportamento das cargas elétricas na superfície do adsorvente e como ele é influenciado pelo pH é de grande importância para os estudos de adsorção, uma vez que adsorção é também função da cargas superficiais do adsorvente, podendo aumentar ou diminuir a afinidade corante-adsorvente. No gráfico 3, está ilustrada a variação do pH em função do pH_{inicial}. O pH_{zpc} do adsorvente foi estimado em 4,6. Para valores de pH abaixo do pH_{zpc} a superfície do adsorvente está protonada, favorecendo a adsorção de corantes de caráter aniônico, e acima a superfície está desprotonada (negativamente carregada), favorecendo a remoção de corantes catiônicos. O pH_{zpc} estimado para o pecíolo do buriti está próximo dos valores encontrados para materiais lignocelulósicos como o mesocarpo do coco verde, 4,1 (SOUZA, 2009) e o pseudo-caule da bananeira, 5,7 (SILVA et al., 2010).

Gráfico 3 - O pH no ponto de carga zero do pecíolo do buriti

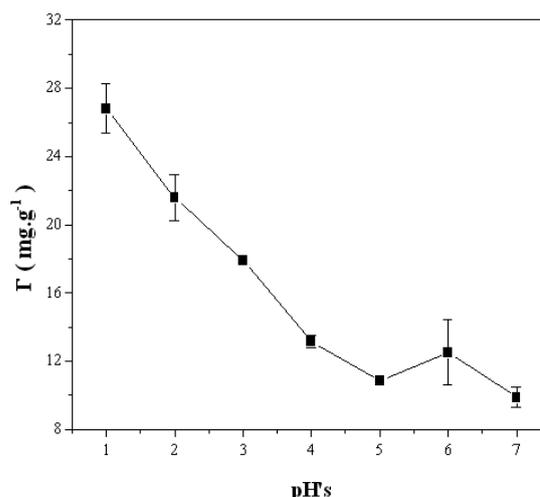


Fonte: Elaborada pelos autores

3.4 Estudo do pH

O gráfico 4 apresenta o perfil de máxima adsorção do corante em função do pH inicial da solução. Observa-se uma influência significativa do pH no processo de adsorção a qual está relacionada à interação eletrostática da superfície do adsorvente com o grupo sulfônico do corante (ELKADY; IBRAHIM; ABD EL-LATIF, 2011). Todavia, o processo de adsorção não é exclusivamente eletrostático, pois se observa remoção do corante em pH's superior ao pH_{zpc} do material, bem como em pH neutro. Este fato implica que outros tipos de interações, tais como: ligação de hidrogênio, elétrons π deslocalizados, forças de van der Waals podem estar influenciando a adsorção (MESSINA; SCHULZ, 2006). Entretanto, a interação por protonação da superfície do adsorvente contribui de forma significativa para a remoção do corante azul remazol.

Gráfico 4 - Efeito do pH inicial na remoção do corante azul remazol na concentração de 200 mg.L⁻¹



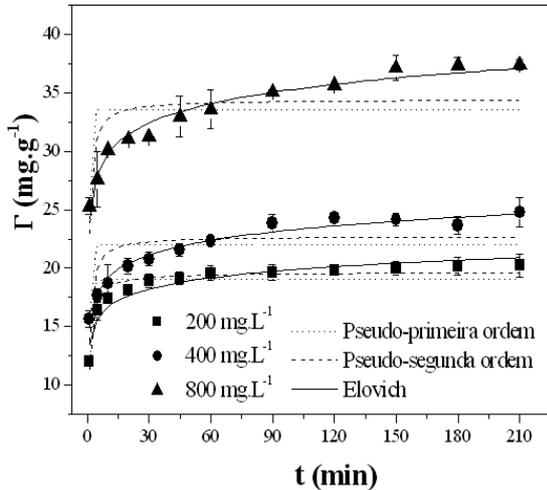
Fonte: Elaborada pelos autores

3.5 Cinética de adsorção

Os estudos cinéticos realizados em três concentrações 200, 400, 800mg.L⁻¹ do corante, assim como as modelagens cinéticas, estão apresentados no gráfico 5. Observa-se uma influência expressiva da concentração no tempo de equilíbrio. O estado estacionário é atingido dentro de 60, 120 e 150 minutos para as concentrações 200, 400 e 800mg.L⁻¹, respectivamente. Após 45 minutos de contato com o adsorvente, nota-se que mais de 90% de remoção atingida pelo adsorvente para as três concentrações já foram efetivamente concluídas, o que denota uma cinética de adsor-

ção rápida. A rapidez da adsorção nos estágios iniciais do processo se deve a uma maior disponibilidade de sítios ativos e, com o decorrer do tempo, há diminuição dos sítios ativos com o recobrimento da superfície do adsorvente pelas moléculas do corante, assim diminuindo o processo de remoção (SCHNEIDER, 2008).

Gráfico 5 - Influência do tempo de contato na adsorção do corante, experimento realizado em pH 2



Fonte: Elaborada pelos autores

Com relação aos modelos cinéticos aplicados, o de pseudoprimeira ordem afirma que a

variação temporal da quantidade removida é proporcional à concentração do corante. Essa relação para o presente trabalho é verdadeira a baixas concentrações do corante. Já o modelo de pseudossegunda ordem prevê uma relação não linear entre a taxa de remoção e a concentração do corante. Quando a superfície do adsorvente é energeticamente heterogênea, o modelo mais conveniente a ser usado é o de Elovich, que modelo também prevê a diminuição gradual da taxa de remoção com o aumento da concentração (AI; ZANG; MENG, 2011).

A proximidade do R^2 (Coeficiente de Determinação) da unidade indica o grande percentual de explicação do modelo, e o χ^2 (Qui-quadrado) mostra o grau de dispersão dos resultados previstos pelo modelo em relação aos experimentais: quanto menor for esse valor, melhor será o ajuste do modelo. Os parâmetros estatísticos, R^2 e χ^2 da modelagem, mostraram que o modelo de pseudossegunda ordem foi o mais adequado para a concentração de 200mg.L^{-1} ($R^2 \approx 0,93$, $\chi^2 \approx 0,39$), enquanto as concentrações de 400 e 800mg.L^{-1} ($R^2 > 0,93$, $\chi^2 < 0,47$) foram melhor representadas pelo modelo de Elovich (Tabela 1).

Nas menores concentrações do corante,

Tabela 1 - Parâmetros cinéticos obtidos na modelagem realizada para simular a adsorção do corante têxtil azul remazol por pecíolo de buriti

Modelos cinéticos	Pseudo-primeira ordem			Pseudo-segunda ordem			Elovich		
	Concentração (mg.L ⁻¹)	200	400	800	200	400	800	200	400
R ²	0,7516	0,3918	0,3683	0,9349	0,6337	0,5845	0,9176	0,9750	0,9724
χ^2	1,50	5,83	10,83	0,39	3,51	7,06	0,50	0,24	0,47
Parâmetros	$\Gamma^\circ(\text{mg.g}^{-1}); k_1(\text{min}^{-1})$			$\Gamma^\circ(\text{mg.g}^{-1}); k_2(\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1})$			$\alpha(\text{mg.g}^{-1}.\text{min}^{-1}); \beta(\text{g.mg}^{-1})$		
	19,08; 0,963	22,02; 1,213	33,58; 1,385	19,65; 0,070	22,74; 0,067	34,43; 0,058	24640,2; 0,724	7959,6; 0,558	61142,9; 0,418

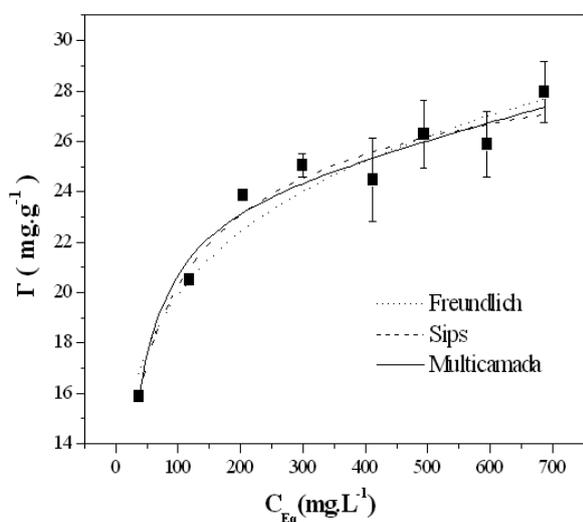
Fonte: Elaborada pelos autores

o tempo de equilíbrio é relativamente baixo, devido, talvez, à menor interação entre as moléculas do corante e maior disponibilidade de sítios ativos por moléculas do corante. Entretanto, nas concentrações mais elevadas, as interações adsorvato-adsorvato aumentam, dificultando a migração das moléculas do corante para a superfície do adsorvente. Nessa situação os sítios mais energéticos, devido à heterogeneidade da superfície do adsorvente, são ocupados primeiro, conforme foi mostrado pelo modelo de Elovich e reforçado pelo espectro de infravermelho do pecíolo do buriti que revelou vários grupos funcionais que podem atuar como sítios ativos de adsorção.

3.6 Isoterma de adsorção

Um fator importante a ser analisado no processo de adsorção é a concentração inicial da solução do corante. Essa variável foi estudada fazendo-se uma isoterma de adsorção a 25°C, em pH 2 e tempo de equilíbrio de 180 minutos. O gráfico 6 mostra o perfil de adsorção do corante em função da concentração de equilíbrio. O aumento da força motriz, provocado pela diferença de concentração do corante na fase fluida e sólida, gera o acréscimo na quantidade adsorvida, devido à transferência de massa por difusão. A agregação de moléculas do corante na superfície do adsorvente pode estar acompanhada da formação de outras camadas de adsorção, devido, possivelmente, às interações eletrostáticas das moléculas do corante.

Gráfico 6 - Isoterma de 25°C realizada em pH 2 e tempo de equilíbrio de 180 minutos



Fonte: Elaborada pelos autores

Os modelos de Sips e Multicamada foram

os que melhor descreveram os dados experimentais como pode ser justificado pelos $R^2 \approx 0,965$ e $\chi^2 < 0,74$, o que significa dizer que o desvio entre os dados experimentais e os teóricos é baixo (Tabela 2). O modelo de Sips previu a heterogeneidade da superfície do adsorvente, a quantidade máxima adsorvida estimada pelo modelo de Sips foi de 33,12mg.g⁻¹, enquanto o modelo de Multicamada garante que 24,46mg.g⁻¹ do corante estão presentes na primeira camada de adsorção. A soma das quantidades removidas nas camadas posteriores é estimada em torno de 8,66mg.g⁻¹, o que indica uma variação pequena da quantidade adsorvida em função do aumento da concentração de equilíbrio, ou seja, ocorre a saturação gradual da superfície do adsorvente. As quantidades máximas removidas do azul remazol por outros adsorventes *in natura*, como o pseudocaule da bananeira (SILVA et al., 2010) e epicarpo do coco babaçu (VIEIRA et al., 2011), em condições experimentais semelhantes, foram 100,39 e 6,98mg.g⁻¹, respectivamente. Isto mostra que o pecíolo do buriti tem potencial para remover corantes.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho mostrou-se que o processo de adsorção do corante azul remazol pelo pecíolo do buriti é influenciado por vários fatores, tais como a carga superficial do adsorvente, pH, tempo de equilíbrio e concentração inicial do corante. O espectro na região do infravermelho mostrou que o pecíolo do buriti apresenta grupos funcionais que agem com sítios ativos para adsorção. O comprimento de máxima absorção de radiação do corante é 595nm, como foi indicado pelo espectro na região do UV-visível. Quanto mais baixo for o valor do pH, melhor será a remoção de corantes aniônicos, como observado no estudo do pH e corroborado pelo pH_{zpc} .

O tempo de equilíbrio para as concentrações de 200, 400 e 800mg.L⁻¹ são, respectivamente, 60, 120 e 150 minutos. O modelo cinético de pseudossegunda ordem obteve o melhor ajuste para a concentração de 200mg.L⁻¹. Já as concentrações mais elevadas foram descritas pelo modelo de Elovich. A quantidade máxima adsorvida pelo pecíolo do buriti foi 33mg.g⁻¹, de acordo com a estimativa realizada pelo modelo de Sips. A isoterma de Multicamada mostrou que ocorre a formação de outra camada de adsorção de intensidade menor que a primeira. A quantidade máxima adsorvida pelo pecíolo do

Tabela 2 - Parâmetros dos modelos de Freundlich, Sips e Multicamada

Modelo	Freundlich		Sips		Multicamada
R ²	0,9431		0,9645		0,9653
χ^2	0,98		0,74		0,72
Parâmetros	$K_f (L \cdot mg^{-1} \cdot g^{-n})^{1/n}$ n		$\Gamma_{max}^o (mg \cdot g^{-1})$ 33,12		$\Gamma^o (mg \cdot g^{-1})$ 24,46
		9,08			
		5,86	KS (L. mg ⁻¹)/n _s 1,32x10 ⁻¹		K1 (L.mg-1) 4,79x10 ⁻²
			n _s 1,85		K2 (L.mg-1) 1,88x10 ⁻⁴

Fonte: Elaborada pelos autores

buriti mostrou que esse material pode ser utilizado como adsorvente para remover corantes, dependendo das condições experimentais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapema e ao CNPq pelo apoio financeiro e à Indústria Toalha de São Carlos pela doação da amostra do corante.

REFERÊNCIAS

- AI, L.; ZHANG, C.; MENG, L. Adsorption of methyl orange from aqueous solution on hydrothermal synthesized Mg-Al layered double hydroxide. *Journal of Chemical and Engineering Data*, v. 56, p. 4217-4225, 2011.
- ANBIA, M.; SALEHI, S. Removal of acid dyes from aqueous media by adsorption onto amino-functionalized nanoporous silica SBA-3. *Dyes and Pigments*, v. 94, p. 1-9, 2012.
- COSTA, Ediani P. et al. Uso da casca de arroz como adsorvente na remoção do corante têxtil vermelho de remazol 5R. *Cadernos de Pesquisa UFMA*, São Luís, v. 16, n. 2, p. 44-50, 2009.
- ELKADY, M.; IBRAHIM, A.; ABD EL-LATIF, M. Assessment of the adsorption kinetics, equilibrium and thermodynamic for the potential removal of reactive red dye using eggshell biocomposite beads. *Desalination*, v. 278, p. 412-423, 2011.
- GOMES, L. et al. Genetic diversity in natural populations of buriti (*mauritia flexuosa* L. f.). *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 11, p. 216-223, 2011.
- GUSMÃO, K. A. G. et al. Application of succinylated sugarcane bagasse as adsorbent to remove methylene blue and gentian violet from aqueous solutions e kinetic and equilibrium studies. *Dyes and Pigments*, v. 92, p. 967-974, 2012.
- HOLANDA, C. A. *Aguapé (Eichhornia crassipes) como bioadsorvente do corante turquesa remazol*. 2010. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, São Luís, 2010.

- KULEYIN, A.; AYDIN, F. Removal of reactive textile dyes (remazol brilliant blue R and remazol yellow) by surfactant-modified natural zeolite. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, v. 30, p. 141-151, 2011.
- MA, J. et al. Kinetics and thermodynamics of methylene blue adsorption by cobalt-hectorite composite. *Dyes and Pigments*, v. 93, p. 1441-1446, 2012.
- MESSINA, P.; SCHULZ, P. Adsorption of reactive dyes on titania-silica mesoporous materials. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 299, p. 305-320, 2006.
- PASSOS, M. A. B.; MENDONÇA, M. S. Epiderme dos segmentos foliares de *Mauritia flexuosa* L. f. (Arecaceae) em três fases de desenvolvimento. *Acta Amazonica*, v.36, p. 431-436, 2006.
- SAHA, B. et al. Preferential and enhanced adsorption of different dyes on iron oxide nanoparticles: a comparative study. *Journal of Physical Chemistry C*, v. 115, p. 8024-8033, 2011.
- SCHNEIDER, E. L. *Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado*. 2008. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Toledo, 2008.
- SHARMA, P.; KAUR, H. Sugarcane bagasse for the removal of erythrosin B and methylene blue from aqueous waste. *Applied Water Science*, v. 1, p 135-145, 2011.
- SHIN, E. W.; KARTHIKEYAN, K.G.; TSHABALALA, M. A. Adsorption mechanism of cadmium on juniper bark and wood. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 588-594, 2007.
- SILVA, Fabiana Melo da. et al. Adsorção do corante têxtil azul de remazol R por pseudocaule da bananeira (*Musa* sp). *Cadernos de Pesquisa UFMA*, São Luís, v. 17, n. 3, p. 71-77, 2010.
- SOUZA, J. L. *Mesocarpo do coco verde como adsorvente para os corantes: turquesa remazol e azul remazol*. 2009. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, São Luís, 2009.
- VIEIRA, A.P. et al. Kinetics and thermodynamics of textile dye adsorption from aqueous solutions using babassu coconut mesocarpo. *Journal of Hazardous Materials*, v. 166, p. 1272 - 1278, 2009.
- _____. Removal of textile dyes from aqueous solution by babassu coconut epicarp (*orbignya speciosa*). *Chemical Engineering Journal*, v. 173, p. 334-340, 2011.
- WU, X. et al. Adsorption of basic yellow 87 from aqueous solution onto two different mesoporous adsorbents. *Chemical Engineering Journal*, v. 180, p. 91-98, 2012.