**OTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UMA COLUNA DE LEITO FIXO PARA
ADSORÇÃO DO CORANTE REATIVO AZUL 5G PELA ESCAMA DE PEIXE**

Camila Vargas Neves*, Júnior Staudt, Guilherme Lustosa dos Santos, Lara Talita Schneider, Aparecido Nivaldo Módenes

* Universidade Estadual do Oeste do Paraná; e-mail: camilaneves_@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência do processo de adsorção do corante reativo azul 5G (RB5G) em coluna de leito fixo utilizando como adsorvente escamas de peixe do gênero *Oreochromis niloticus*, por meio da obtenção das curvas de ruptura experimentais. Foram utilizadas vazões de 2, 4, 6 e 8 mL min⁻¹. Os demais parâmetros pré-estabelecidos foram fixados: pH 2,0, concentração inicial da solução de corante 100 mg L⁻¹, massa de adsorvente 2,5 g e altura de leito 10 cm. Para cada vazão foram calculados capacidade de adsorção experimental (q_{exp}), capacidade total do leito (t_t), capacidade utilizável do leito (t_u), altura útil do leito (H_u) e eficiência do leito (n). Os resultados mostraram que a vazão de 2 mL min⁻¹ foi a que obteve uma maior eficiência (aproximadamente 74%) para o leito e um q_{exp} de 234,31 mg g⁻¹. Portanto, a escama de peixe (*Oreochromis niloticus*) pode ser considerada um adsorvente alternativo para remoção do corante RB5G, tendo em vista a grande disponibilidade do resíduo na região oeste do Paraná e alta capacidade de adsorção.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção corante reativo azul 5G, *Oreochromis niloticus*, curva de ruptura, efeito da vazão volumétrica.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the adsorption process efficiency of the reactive blue 5G dye in fixed bed column using as adsorbent fish scales (*Oreochromis niloticus*). Breakdown curves were obtained with different values of flow rates: 2, 4, 6, and 8 mL min⁻¹. The initial concentration of dye solution was 100 mg L⁻¹ and pH 2,0. The adsorbent mass used in the experiments was 2,5 g and the bed length was 10 cm. The experimental capacity adsorption (q_{exp}), total capacity of the bed (t_t), usable capacity of the bed (t_u), the usable length of the bed (H_u) and bed efficiency (n) were calculated for all flow rates studied in this work. The results showed that the best efficiency (approximately 74%) was obtained by flow rate of 2 mL min⁻¹ and q_{exp} of 234,31 mg g⁻¹. The fish scale (*Oreochromis niloticus*) can be considered an alternative adsorbent to remove RB5G dye of wastewater because of the high availability in the West region of Parana and high adsorption capacity.

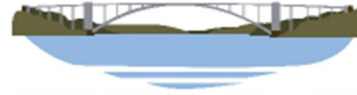
KEY WORDS: Adsorption of reactive blue 5G dye, *Oreochromis niloticus*, breakdown curve, volumetric flow rate effect

INTRODUÇÃO

A degradação de recursos hídricos vem se tornando um dos maiores problemas ambientais da sociedade atual e o setor têxtil é responsável por grande parte desta contaminação. O despejo do efluente têxtil no meio aquático afeta diretamente a coloração da água devido a presença de corantes que são descartados após o processo de tingimento. Os corantes são moléculas orgânicas de estrutura complexa e de difícil degradação, causam graves problemas aos seres vivos e meio ambiente, devido ao alto índice de toxicidade e por isso, precisam ser removidos das águas residuárias (XING et al., 2010; KATHERESAN et al., 2018).

Existem diversas técnicas utilizadas para o tratamento de efluentes têxteis, tais como: filtração, floculação, oxidação química, biodegradação, ozonização, entre outras. Contudo, estas técnicas possuem limitações que comprometem a eficiência do processo (KATHERESAN et al., 2018). Por isso, a adsorção pode ser uma excelente alternativa para o tratamento destes efluentes por ser um método de fácil aplicação e, quando se opera com adsorventes provenientes de resíduos industriais, o custo de operação é reduzido consideravelmente (ANASTOPOULOS & KYZAS, 2014).

A eficiência do processo de adsorção depende de diversos fatores, dentre eles, a escolha do adsorvente é fundamental, pois deve ser um material de custo não elevado, ter resistência mecânica, afinidade com o resíduo a ser tratado e também deve possuir uma alta capacidade de adsorção. Muitos destes materiais elevam o custo de operação do processo e o tornam inviável economicamente. Em virtude disso, uma grande quantidade de materiais não convencionais tem sido estudados



nos últimos anos com a finalidade de desenvolver adsorventes de baixo custo, como resíduos industriais e biomassas (ANASTOPOULOS & KYZAS, 2014; AHMED, 2016).

Devido a região oeste do estado do Paraná possuir diversas indústrias frigoríficas produtoras de carne de peixe, o principal resíduo desta atividade é a escama de peixe, a qual não possui um tratamento adequado. Este subproduto já tem sido utilizado na adsorção de corantes por ser um produto com baixo valor agregado e abundante na região (RIBEIRO, 2014; NEVES et al., 2017).

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da adsorção do corante RB5G pela escama de *Oreochromis niloticus* em leito fixo, por meio da obtenção das curvas de ruptura em diferentes vazões de operação.

METODOLOGIA

Para a realização dos experimentos de adsorção em leito fixo foi utilizada uma mistura granulométrica do adsorvente (16 a 32 mesh de escamas de peixe) e uma solução estoque de corante reativo azul 5G (RB5G) de 1000 mg L⁻¹ para posteriores diluições em água destilada. O módulo experimental era composto de uma coluna de leito fixo (1 cm de diâmetro e 30 cm de altura), recheada com 2,5 g de adsorvente e alimentada nas vazões de 2, 4, 6 e 8 mL min⁻¹ pela solução de corante, através de uma bomba peristáltica ligada ao reservatório, bem como um banho termostático para manter a temperatura do leito a 25 ° C. A concentração de corante RB5G na fase líquida foi determinada em espectrofotômetro UV-VIS no comprimento de onda de máxima absorção do corante RB5G (620 nm).

As amostras foram coletadas na saída da coluna de adsorção em leito fixo até ser atingido o equilíbrio de transferência de massa. A condição de equilíbrio é estabelecida quando a concentração de corante adicionada na coluna é a mesma concentração na saída da coluna, caracterizando a saturação ou exaustão da coluna (BORBA, 2006). A partir dos dados coletados, curvas de ruptura foram obtidas, assim como a determinação da concentração de equilíbrio, apresentada pela Equação 1.

$$q_{eq} = \frac{C_0 \cdot Q}{m_{ads}} \int_0^t \left(1 - \frac{C_s}{C_0}\right) dt \quad \text{equação (1)}$$

Em que: q_{eq} a concentração de equilíbrio na fase sólida (mg g⁻¹), C_0 a concentração da solução de corante alimentado na entrada da coluna (mg L⁻¹), Q a vazão volumétrica da fase líquida (L min⁻¹), m_{ads} a massa de adsorvente empacotada na coluna (g), C_s a concentração da fase líquida na saída da coluna (mg L⁻¹) e t é o tempo de operação experimental (h).

A capacidade total do leito, ou seja, o tempo equivalente até a total exaustão do leito (t_t) é dada pela Equação 2.

$$t_t = \int_0^\infty \left(1 - \frac{C_s}{C_0}\right) dt \quad \text{equação (2)}$$

A capacidade utilizável do leito, ou seja, o tempo que a coluna suporta até atingir a ruptura (t_u) é dada pela Equação 3.

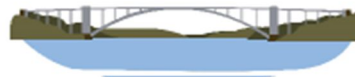
$$t_u = \int_0^{t_b} \left(1 - \frac{C_s}{C_0}\right) dt \quad \text{equação (3)}$$

Em que t_b é o tempo de ruptura (h).

A eficiência do leito é dada pelo tempo utilizável do leito, ou seja, o tempo em que ocorre a máxima adsorção sem que haja corante na saída, dividido pelo tempo de exaustão do leito, quando a concentração de alimentação e de saída são as mesmas. A eficiência é dada pela Equação 4.

$$n (\%) = \frac{t_u}{t_t} \cdot 100 \quad \text{equação (4)}$$

Relacionando, ainda, de forma semelhante ao cálculo da eficiência, o tempo útil (t_u) com o tempo total (t_t) (nesse caso tempo de ruptura t_b) e a altura total do leito utilizada no experimento H_t , é possível encontrar a altura útil do leito, entre outras palavras, a altura do leito que foi utilizada até a ruptura, dada pela Equação 5.



$$H_u = \frac{t_u}{t} H_t$$

equação (5)

Para determinar e avaliar a capacidade de remoção, bem como a eficiência da coluna, os experimentos foram realizados em quatro diferentes vazões para alimentação de corante na coluna em 2, 4, 6 e 8 mL min⁻¹. Os demais parâmetros como pH, concentração inicial na alimentação, temperatura do leito, massa de adsorvente e altura do leito foram fixados. O pH foi mantido em 2, concentração inicial (C₀) 100 mg L⁻¹, temperatura do leito 25 °C, mistura de granulometrias 16 e 32 para a massa de adsorvente 2,5 g e altura do leito em 10 cm.

RESULTADOS

Os experimentos elaborados neste trabalho consistiram em analisar e avaliar os efeitos provocados pela vazão volumétrica de alimentação na operação da coluna de leito fixo para a escama do peixe *Oreochromis niloticus*. As curvas de ruptura obtidas para cada uma das diferentes vazões operadas (2, 4, 6 e 8 mL min⁻¹) são apresentadas na Figura 1.

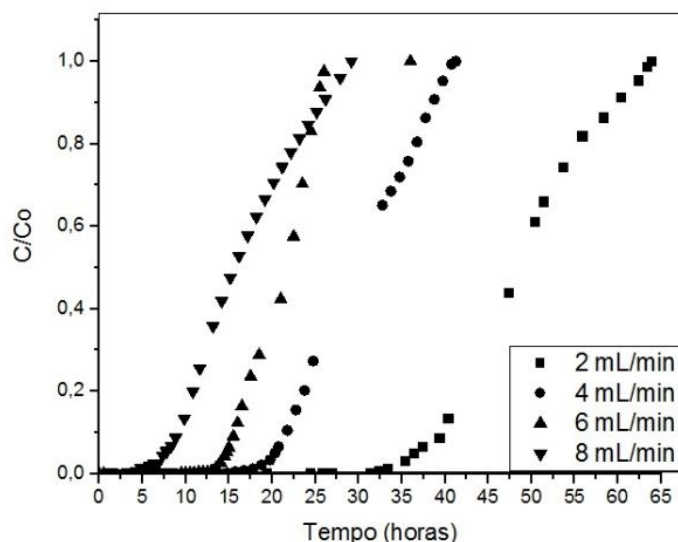


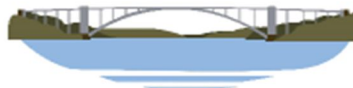
Figura 1 - Curvas de ruptura para os diferentes ensaios experimentais.

A Tabela 1 apresenta os valores calculados para a quantidade removida do corante RB5G pela escama até a saturação (q_{eq}); tempo equivalente a capacidade utilizável do leito (t_u); o tempo de exaustão do leito; (t_t); a altura útil do leito (H_u) e a eficiência experimental (n).

Tabela 1. Parâmetros da adsorção do corante RB5G pela escama do peixe *Oreochromis Niloticus*.

Vazão (mL min ⁻¹)	q _{eq} (mg g ⁻¹)	t _u (h)	t _t (h)	H _u (cm)	n (%)
2	234,31	36,33	63,83	7,398	73,98
4	285,85	20,33	41,25	6,846	68,46
6	302,58	14,75	36	6,988	69,88
8	316,77	7,75	29,16	4,6343	46,43

Conforme observado na Figura 1, as curvas de ruptura obtidas para as quatro vazões alimentadas no sistema demonstraram que o aumento da vazão volumétrica promove a saturação do leito de forma mais rápida do que quando operada em vazões menores. Essa situação é justificada, pois ocorre a diminuição do tempo médio de residência do fluido no interior do leito.



Representada pela região curvilínea da curva de ruptura, a zona de transferência de massa apresenta uma extensão do leito em que ocorre a transição da concentração no decorrer do tempo, em que ocorre o processo de troca, passando do ponto de ruptura para o ponto de exaustão do leito. Desse modo, quanto menor for o comprimento da zona de transferência de massa, maior será a eficiência do leito, ou seja, mais próximo da idealidade o sistema irá se encontrar, justificando uma menor resistência difusional (GEANKOPLIS, 1993).

A influência da vazão na zona de transferência de massa pode ser estabelecida com relação a etapa que controla a transferência de massa, ou seja, a resistência envolvida no filme interno ou externo. Durante a operação de adsorção, o acréscimo da vazão volumétrica provoca a redução da transferência de massa no filme líquido (BORBA, 2006). Este comportamento foi semelhante ao encontrado por Marin et al. (2014) que estudou a adsorção do corante RB5G utilizando resina como adsorvente. Todavia, deve se tomar nota que, mesmo com o aumento da vazão, esse efeito pode não ser relevante, como demonstra as vazões de 4 e 6 mL min⁻¹, as quais apresentam praticamente a mesma eficiência para a coluna. Em virtude disso, há a possibilidade de determinar uma vazão ótima que irá minimizar a resistência difusional para a realização do experimento.

O aumento da vazão faz com que a zona de transferência de massa seja ainda maior, pois com a mudança desse parâmetro, o tempo de residência do fluido a ser adsorvido é reduzido no interior do leito, resultando em um tempo menor para que ocorra a transferência desejada, ou seja, o tempo de residência será insuficiente para que ocorra a adsorção por parte da massa adsorvente (BORBA, 2006). Esse aumento da zona de transferência de massa pode ser facilmente observado, analisando as diferenças nas inclinações das curvas de ruptura. Quanto maior a vazão, mais rapidamente é atingido o ponto de ruptura da operação.

A alta vazão com que o fluido é alimentado no leito provoca, também, a diminuição da dispersão axial no interior da coluna. A dispersão axial é a passagem do fluido e transferência de massa que ele provoca a partir do centro para as paredes da coluna. Com essa passagem em alta velocidade, a dispersão é reduzida, diminuindo também a transferência de massa do processo.

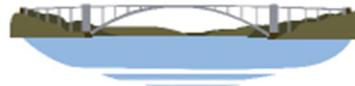
As baixas vazões volumétricas, como vistas anteriormente, aumentam o tempo de residência, de modo a permitir que ocorra a adsorção com boa transferência de massa, aumentando consigo a eficiência da coluna de adsorção. Esse tipo de caso ocorre quando o processo de adsorção é controlado pela resistência à transferência de massa no interior da partícula, e pode ser observado experimentalmente com base na vazão de 2 mL min⁻¹, a qual foi a menor vazão trabalhada e que obteve maior eficiência. Ainda, vale ressaltar a capacidade de adsorção da escama de peixe bastante elevada ($q_{eq}=243,31$ mg g⁻¹) quando comparada a outros trabalhos utilizando o mesmo corante, tais como resina $q_{eq}=198,48$ mg g⁻¹ (MARIN et al., 2014), escama de peixe $q_{eq}=251,3$ mg g⁻¹ (RIBEIRO, 2014) e $q_{eq}=271,3$ mg g⁻¹ (NARDINO et al., 2017).

CONCLUSÕES

Os ensaios experimentais realizados neste trabalho indicaram que a vazão volumétrica de 2 mL min⁻¹ foi a que apresentou o melhor resultado para a operação de adsorção, tendo em vista que nesta condição foram obtidos os maiores valores de capacidade útil do leito e eficiência (74%). Ainda, os ensaios de adsorção em leito fixo mostraram que a escama de peixe *Oreochromis niloticus* possui uma elevada capacidade de adsorção do corante RB5G ($q_{eq}=243,31$ mg g⁻¹). Portanto, a escama de peixe pode ser considerada um adsorvente viável para remoção do corante RB5G, tendo em vista a grande disponibilidade do resíduo na região e alta capacidade de adsorção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMED, M. J.; **Application of agricultural based activated carbons by microwave and conventional activations for basic dye adsorption: review**. Journal of Environmental Chemical Engineering. v. 4, p. 89-99. 2016.
2. ANASTOPOULOS, I.; KYZAS, G. Z. **Agricultural peels for dye adsorption: A review of recent literature**. Journal of Molecular Liquids, v. 200, p. 381-389, Nov. 2014.
3. BORBA, C. E. **Modelagem da remoção de metais pesados em coluna de adsorção de leito fixo**. Campinas, 2006. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas, Dez. 2006.
4. GEANKOPLIS, C.J. **Transport process and unit operations**. Prentice Hall International, 3rd edition. New Jersey, 1993.



5. KATHERESAN, V.; KANSEDO, J.; LAU, S. Y.; **Efficiency of various recente wastewater dye removal methods: a review.** Journal of Environmental Chemical Engineering. v. 6, p. 4676-4697, Fev. 2018.
6. MARIN, P.; BORBA C. E.; MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; OLIVEIRA, S. P. D.; KROUMOV, A. D.; **Determination of the mass transfer limiting step of dye adsorption onto comercial adsorbent by using mathematical models.** Environmental Technology. v. 35, p. 2356-2364. Apr. 2014.
7. NEVES, C. V.; SCHEUFELE, F. B.; NARDINO, A. P.; VIEIRA, M. G. A.; SILVA, M. G. C.; MÓDENES, A. N.; BORBA, C. E.; **Phenomenological modeling of reactive dye adsorption onto fish scales surface on the presence of electrolyte and surfactant mixtures.** Environmental Technology. v. 39, p. 2467-2483. Jul. 2017.
8. NARDINO, A. P., NEVES, C. V., RIBEIRO, C., SCHEUFELE, F. B., BORBA, C. E., **Modelagem matemática da adsorção do corante reativo azul 5G (RB5G) em coluna de leito fixo.** XXXVIII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. Maringá. Out. 2017.
9. RIBEIRO, C.; **Adsorção do corante reativo azul 5G utilizando escama de peixe como adsorvente.** Toledo, 2014. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fev, 2014.
10. XING, Y., LIU, D., ZHANG, L. P. **Enhanced sorption of methylene blue by EDTAD-modified sugarcane bagasse and photocatalytic regeneration of the sorbent.** Desalination. v. 259, p. 187–191, Set. 2010.