

# DETERMINAÇÃO DA ISOTERMA DE ADSORÇÃO DE CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

ALAOR VALÉRIO FILHO<sup>1</sup>; RAÍSSA XAVARÉ KULMAN<sup>2</sup>; NATÁLIA NARA  
JANNER<sup>2</sup>; GABRIELA SILVEIRA DA ROSA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pampa – alaorvf@msn.com

<sup>2</sup>Universidade Federal do Pampa – nnjanner@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal do Pampa – gabysrosa@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

Para fins de saúde pública, a água bruta é tratada por meio de processos de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção em Estações de Tratamento de Água (ETA). Anualmente são produzidas cerca de 100.000 toneladas de lodo como resíduo desses processos.

A Operação Unitária de Adsorção, é frequentemente utilizada no tratamento de efluentes pois consiste em reter numa substância alguns contaminantes, como corantes e metais pesados. O carvão ativado comercial é o adsorvente mais utilizado, porém seu custo é relativamente alto, devido a isto estudos têm sido realizados para produzir carvões de menor custo e *eco-friendly*.

Na adsorção, o equilíbrio entre as fases adsorvato e adsorvente depende de uma série de fatores, entre os quais é possível citar: a temperatura, a concentração do soluto, a concentração do solvente, entre outros. Esse equilíbrio pode ser representado por meio de gráficos, que descrevem o modelo da adsorção ocorrida, a quantidade de soluto adsorvida, entre outros fatores, e são chamados de isothermas de equilíbrio (TADINI *et al.*, 2016). Existem seis tipos de isothermas de equilíbrio consideradas pela IUPAC: a isoterma do tipo I é característica de adsorventes microporosos; a isoterma do tipo II é característica de adsorventes não porosos ou mesoporosos; as isothermas do tipo III e IV ocorrem quando o adsorvato interage mais entre si do que com o adsorvente (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Alguns modelos matemáticos foram desenvolvidos para interpretar tais isothermas, sendo os modelos de Langmuir e Sips os mais utilizados. O modelo de Langmuir descreve que ocorre a formação de uma monocamada no entorno do material adsorvente, onde, posteriormente, não ocorre mais adsorção (OLATEJU, ADEODU, DANIYAN, 2014). O modelo de Sips prevê que, em baixas concentrações de soluto, a adsorção se comporta segundo o modelo de Freundlich, ou seja, ocorre de maneira exponencial, fazendo com que os diversos tipos de sítios de adsorção possam ser caracterizados, enquanto em altas concentrações de soluto, a adsorção se comporta conforme o modelo de Langmuir (ARIM, 2014).

O objetivo do presente estudo foi analisar as isothermas de equilíbrio de carvões ativados e compará-las aos modelos encontrados na literatura.

## 2. METODOLOGIA

Foram produzidos dois tipos de carvão ativado a partir do lodo do tanque de sedimentação de uma ETA: o CA, que foi produzido a partir da pirólise do lodo seco; e o CAP, que, antes da etapa de pirólise, foi submetido a uma ativação química com cloreto de zinco e hidróxido de cálcio. Para determinar a isoterma de

equilíbrio para os carvões ativados analisados, foram produzidas soluções de azul de metileno com diferentes concentrações, as quais foram postas em contato com as amostras em mesa agitadora (NOVA ÉTICA, modelo 109-1) até atingirem o equilíbrio (2 h). Após a agitação, as amostras foram centrifugadas (QUÍMIS) a 3000 rpm por 10 min, para decantação dos sólidos remanescentes. Em seguida, a concentração foi determinada através de análise da absorbância em espectrofotômetro (Equilam, modelo UV755B), no comprimento de onda de 665 nm. Todos os ensaios foram realizados em duplicata. A capacidade de adsorção (Q) e o percentual de remoção (R) foram determinados através das Equações 1 e 2, respectivamente.

$$Q = \frac{C_i - C_f}{M} \cdot V \quad (1)$$

$$R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \cdot 100 \quad (2)$$

em que  $C_i$  é a concentração inicial do adsorvato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ),  $C_f$  é a concentração final do adsorvato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ),  $V$  é o volume da solução (L) e  $M$  é a massa de adsorvente (g).

Os resultados experimentais obtidos foram analisados utilizando modelos matemáticos de Langmuir e Sips, através das Equações 3 e 4, respectivamente.

$$Q_e = \frac{Q_m K_L C_e}{1 + Q_m K_L C_e} \quad (3)$$

$$Q_e = \frac{Q_{\max} K_s C_e^{1/n_s}}{1 + K_s C_e^{1/n_s}} \quad (4)$$

em que  $Q_m$  é a constante de energia ( $\text{L.mg}^{-1}$ ),  $K_L$  é a constante de Langmuir ( $\text{L.g}^{-1}$ ),  $C_e$  é a concentração do adsorvato no equilíbrio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ),  $Q_{\max}$  é a capacidade máxima de adsorção ( $\text{mg.g}^{-1}$ ),  $K_s$  é a constante de Sips ( $\text{mg.L}^{-1})^{-1/n}$  e  $n_s$  é o expoente de Sips.

Os parâmetros dos modelos matemáticos foram determinados através de regressão não linear e método de estimativa Quase Newton, em *software* estatístico. Para analisar o ajuste dos modelos aos dados experimentais, foi feito o cálculo do erro relativo médio (ERM), conforme a Equação 5.

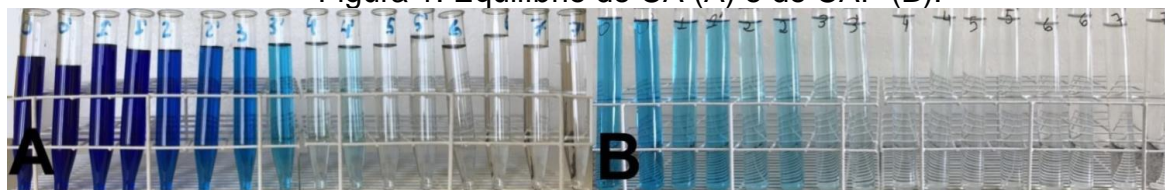
$$ERM = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{q_{i,model} - q_{i,exp}}{q_{i,exp}} \right| \quad (5)$$

em que  $q_{i,model}$  é o valor predito pelo modelo ajustado e  $q_{i,exp}$  é o valor obtido experimentalmente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos após os ensaios das isotermas de equilíbrio para o CA e o CAP estão ilustrados nas Figuras 1-A e 1-B, respectivamente.

Figura 1. Equilíbrio do CA (A) e do CAP (B).



Fonte: Autores, 2018.

A Tabela 1 apresenta a concentração inicial, concentração final e o percentual de remoção do azul de metileno, para os dois carvões utilizados.

Tabela 1. Remoção de azul de metileno para o CA e o CAP.

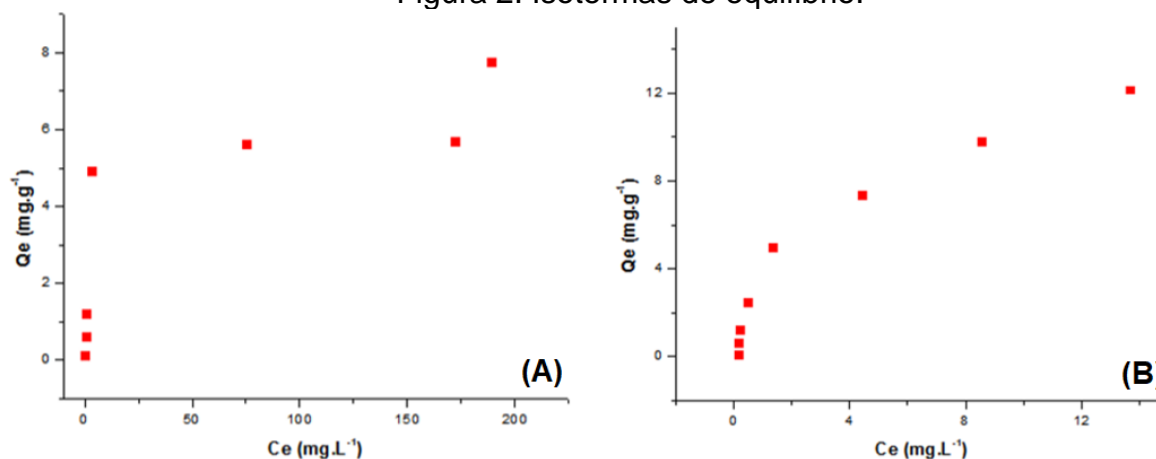
$C_i$ (mg.L <sup>-1</sup> )	CA		CAP	
	$C_e$ (mg.L <sup>-1</sup> )	R (%)	$C_e$ (mg.L <sup>-1</sup> )	R (%)
500	188,82	62,22	13,65	80,49
400	172,09	56,98	8,54	87,80
300	75,21	85,08	4,43	93,67
200	3,32	98,34	1,35	98,07
100	0,82	98,36	0,47	99,32
50	0,42	98,32	0,23	99,67
5	0,09	98,28	0,18	99,74

Fonte: Autores, 2018.

Pode-se observar que a adsorção com o CAP proporcionou resultados melhores em relação à remoção do azul de metileno, mesmo para maiores concentrações iniciais utilizadas.

As Figuras 2-A e 2-B ilustram, respectivamente, as isotermas de equilíbrio para o CA e para o CAP, a partir da capacidade de adsorção no equilíbrio e da quantidade de adsorvato remanescente.

Figura 2. Isotermas de equilíbrio.



Fonte: Autores, 2018.

Ambas as isotermas apresentam aumento na capacidade de adsorção na etapa inicial, o que indica que há compatibilidade entre o adsorvente e o adsorvato. As isotermas do CA e do CAP caracterizam-se como sendo do tipo II e IV, ou seja, sugerem a formação de multicamadas de azul de metileno sobre a superfície do adsorvente mesoporoso.

Os resultados obtidos, no equilíbrio, para os ajustes dos modelos matemáticos utilizados estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos de isotermas de equilíbrio.

		CA	CAP
Langmuir	$Q_m$ (mg.g <sup>-1</sup> )	0,4751	0,3139
	$K_L$ (L.min <sup>-1</sup> )	6,5773	14,0004
	$R^2$	0,9597	0,9896
	EMR (%)	32,9	14,0
Sips	$Q_{ms}$ (mg.g <sup>-1</sup> )	6,3762	18,4334
	$K_s$ (L.min <sup>-1</sup> )	0,5807	0,1524
	$n_s$	1,7919	0,7852
	$R^2$	0,9716	0,9917
	EMR (%)	12,1	5,33

Fonte: Autores, 2018.

De acordo com os parâmetros, o modelo de Sips é o que melhor se ajusta aos dados experimentais obtidos, já que dispõe de maiores valores para  $R^2$  e

menores EMR. As capacidades máximas de adsorção obtidas para o CA e para o CAP foram, respectivamente,  $6,8 \text{ mg.g}^{-1}$  e  $18,4 \text{ mg.g}^{-1}$ . Phatania, Sharma e Singh (2017) promoveram a remoção de azul de metileno utilizando carvão ativado produzido a partir de casca de árvore, e obtiveram parâmetros semelhantes para o modelo de Langmuir, com  $Q_m=0,4762 \text{ L.mg}^{-1}$ ,  $K_L=4,0 \text{ L.g}^{-1}$  e  $R^2=0,997$ . Alves (2013) apontou o modelo de Sips como sendo o mais adequado para representar a isoterma de adsorção do corante verde malaquita, utilizando argila como material adsorvente, com expoente de Sips de 1,8694 e  $R^2=0,9895$ .

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram constatar que o lodo proveniente do tanque de sedimentação de ETA possui as características necessárias para produção de carvão ativado, com a finalidade de promover a remoção do corante azul de metileno. Com o estudo da isoterma de equilíbrio desse material adsorvente, infere-se que as mesmas caracterizam-se como sendo do tipo IV, indicando que a adsorção ocorre com a formação de multicamadas de adsorvato na superfície do adsorvente. O CAP apresentou maior remoção de corante na fase líquida, com maior capacidade máxima de adsorção, predita pelo modelo de Sips. Sendo assim, conclui-se que é possível utilizar o lodo de estações de tratamento de água como matéria-prima para a produção de carvão ativado, agregando valor a esse resíduo produzido em larga escala.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, F. C. **Estudos dos processos de adsorção utilizando argila como adsorventes para remoção do corante verde malaquita**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras.

ARIM, A. L. **Análise da secagem de sementes de mamão formosa (Carica papaya L.) utilizadas na adsorção do corante vermelho do congo**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Pampa, RS. 2014.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 256, 2014.

OLATEJU, I. I.; ADEODU, A. O; DANIYAN, I. A. Isotherms study of equilibrium adsorption of a quaternary system unto activated carbon derived from oil palm empty fruit bunch. **Journal of Bioprocessing and Chemical Engineering**, Índia, v. 3, p. 2348-3768, 2014.

PHATANIA, D.; SHARMA, S.; SINGH, P. Removal of methylene blue by adsorption onto activated carbon developed from Ficus carica bast. **Arabian Journal of Chemistry**. Arábia Saudita, v.10, n.1, p. 1445-1451, 2017.

TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; MEIRELLES, A. J. A.; PESSOA FILHO, P. A. **Operações unitárias na indústria de alimentos**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.