

## MODELAGEM DO PROCESSO DE ADSORÇÃO DE COBRE E CÁDMIO EM ARGILA BENTONÍTICA

A. F. de Almeida Neto<sup>1</sup>, M. G. A. Vieira<sup>2</sup> e M. G. C. da Silva<sup>3\*</sup>

<sup>1,3</sup> UNICAMP/FEQ/DTF

<sup>2</sup> UNICAMP/FEQ/DPQ

\* UNICAMP/FEQ/DTF, Av. Albert Einstein, 500, 13083-852 Campinas – SP - Brasil  
e-mail: ambrosio@feq.unicamp.br, F. (19) 35213895 - Fax: (19) 35213922

### RESUMO

*Neste trabalho avaliou-se o processo de remoção de cobre e cádmio pela argila bentonítica tipo Bofe em leito poroso. Foi realizado um estudo fluidodinâmico para a definição da vazão operacional, com base na menor zona de transferência de massa (ZTM). O modelo que corresponde à função Logistic, disponível no software Origin 6.1, se ajustou aos resultados com um excelente coeficiente de correlação ( $R^2$ ). A modelagem permitiu selecionar uma função que descreve o comportamento de adsorção de cobre e cádmio em argila Bofe considerando os dados experimentais das curvas de ruptura. A condição operacional ótima foi obtida a uma vazão de 4 mL/min para o cobre e o cádmio, atingindo valores de 7,65 e 5,88 cm de ZTM, respectivamente, para uma coluna de 14 cm de comprimento total. Na vazão de 4 mL/min as quantidades removidas foram 0,1 e 0,27 mmol/g para o cobre e o cádmio, respectivamente.*

Palavras-chave: modelagem, adsorção, cobre, cádmio, argila

### INTRODUÇÃO

Metais pesados são altamente reativos e bioacumulativos, e, portanto, o organismo não é capaz de eliminá-los. Os mais frequentes são Cu, Mn, Mo, Zn, Ni, V, Cd, Cr, Hg e Pb. O cobre contribui na saúde humana, porém níveis excessivos deste elemento podem ser extremamente tóxicos, sendo o segundo elemento mais tóxico para os peixes. O cádmio não possui nenhuma função dentro dos organismos e a sua acumulação pode provocar graves doenças, sobretudo nos mamíferos.

A aplicação de argilas para a sorção ou eliminação de metais pesados presentes em efluentes tem sido recentemente objeto de estudo em muitas pesquisas em virtude das inúmeras vantagens econômicas<sup>(1-3)</sup>. O custo de argilas é relativamente baixo em comparação com demais adsorventes alternativos, incluindo

carvão ativado, zeólitas naturais e sintéticas, resinas de troca iônica, e de outros materiais adsorventes.

Argilas e minerais como montmorillonita, vermiculita, illita, caulinita e bentonita estão entre os materiais naturais que têm sido investigados como adsorventes de metais pesados <sup>(4,5)</sup>. A utilização de argilas bentoníticas é amplamente aplicada devido a sua boa capacidade de sorção, ao baixo custo e também à abundância deste material no Brasil. O estado da Paraíba, em particular, é o maior produtor desse material, concentrando cerca de 62,0% das reservas nacionais.

O potencial de adsorção de metais pesados em argilas diferentes bentoníticas tem sido atualmente investigado por diversos autores <sup>(6-9)</sup>.

Os modelos matemáticos e as técnicas computacionais auxiliam na identificação dos fenômenos envolvidos no processo, na análise e interpretação dos dados de equilíbrio, na predição de respostas a mudanças de condições de operação e na otimização dos processos. Estes modelos e a simulação computacional do processo de adsorção de metais pesados é uma importante ferramenta, pois permite a transferência de tecnologia da escala laboratorial para industrial <sup>(10)</sup>.

Vieira *et al.* <sup>(11)</sup> empregaram a função *Logistic* para simular a dinâmica de sorção simples dos íons metálicos níquel (II) em coluna de leito fixo em bentonita calcinada de diâmetro médio de 0,855mm. Para representar a taxa de adsorção foram testadas diferentes vazões: 4, 5, 6 e 8 mL/min e concentração de alimentação do leito de 0,85 mmol/L. O desempenho da função foi avaliado a partir dos dados experimentais. Com base na função obtida foram simuladas curvas de ruptura para vazões não realizadas experimentalmente.

Embora os resultados envolvendo a remoção de metais em argilas sejam significativos e promissores verifica-se ainda a necessidade de uma melhor compreensão destes resultados considerando a simulação do processo. Este trabalho teve como objetivo a simulação do processo de adsorção do cobre e cádmio em argila bentonita tipo Bofe calcinada usando a função *Logistic*.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foram utilizadas soluções de cádmio e cobre preparadas a partir dos sais nitrato de cobre ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) e nitrato de

cádmio ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ). A concentração inicial destas soluções sintéticas de cobre e cádmio em cada ensaio de remoção foram de 2,36 mmol/L e 1,33 mmol/L, respectivamente.

A argila bentonítica Bofe proveniente da região Nordeste do Brasil (Boa Vista-PB) e tratada termicamente por calcinação a  $500^\circ\text{C}$  foi utilizada como adsorvente na remoção de íons de cobre e cádmio. A composição química obtida por FRX corresponde a 69,03%  $\text{SiO}_2$ , 14,28%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 6,94%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 4,5%  $\text{MgO}$ , 0,57%  $\text{TiO}_2$ , 0,46%  $\text{CaO}$ , 0,24%  $\text{Na}_2\text{O}$ , 0,15%  $\text{K}_2\text{O}$ , 0,01%  $\text{MnO}$ , 0,04%  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 3,77% L.O.I. A área superficial obtida pelo método de BET foi de  $90,31 \text{ m}^2/\text{g}$ .

Nas análises de capacidade de troca catiônica (CTC), a argila Bofe foi submetida ao procedimento de troca catiônica por sódio, utilizando-se carbonato de sódio, filtrada e seca em estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 24 horas. Posteriormente os íons  $\text{Na}^+$  foram deslocados por  $\text{NH}_4^+$  <sup>(12)</sup> de uma solução de acetato de amônio 3M posta em contato sob agitação por 12 horas. A dispersão foi centrifugada, a concentração de sódio na fase fluida foi medida por absorção atômica e a partir dela determinada a CTC da amostra. A CTC estimada foi de 55,65 meq/100g. O diâmetro médio das partículas calcinadas obtido por análise granulométrica foi de 0,855 mm.

O sistema experimental consistiu de uma coluna de leito fixo, construída em acrílico, de 14 cm de altura e 1,4 cm de diâmetro. Na parte inferior da coluna foi inserida uma placa distribuidora com a finalidade de garantir um escoamento uniforme da solução de metal pelo leito. No topo da coluna colocou-se uma tela de contenção para evitar o arraste de material sólido pela solução.

A concentração de metal presente na fase líquida das soluções preparadas e submetidas aos ensaios de adsorção de cobre foi determinada por análise em Espectrofotômetro de Absorção Atômica. As amostras foram coletadas utilizando sistema contínuo (*Automated Fraction Collector*). A solução aquosa de metal foi bombeada através da coluna em fluxo ascendente usando uma bomba peristáltica. As amostras foram coletadas no topo da coluna em intervalos de tempos pré-determinados conforme a vazão utilizada, até se atingir o equilíbrio no sistema (exaustão da coluna), permitindo obter as curvas de ruptura ( $C/C_0$  vs.  $t$ ). As vazões operacionais de alimentação da solução metálica foram de 2, 4, 5 e 6 mL/min.

As quantidades de metal retidas no leito até o ponto de ruptura ( $q_u$ ) e até a saturação ( $q$ ) foram obtidas por balanço de massa na coluna usando os dados de saturação da mesma, a partir das curvas de ruptura, demonstrando que a área

abaixo da curva  $(1-C/C_0)$  até o ponto de ruptura é proporcional à  $q_u$  e até a exaustão do leito proporcional à  $q$ . Estas quantidades foram obtidas pelas Equações A e B.

$$q_u = \frac{C_0 V}{1000m} \int_0^{t_b} \left(1 - \frac{C|_{z=L}}{C_0}\right) dt \quad (A)$$

$$q = \frac{C_0 V}{1000m} \int_0^{\infty} \left(1 - \frac{C|_{z=L}}{C_0}\right) dt \quad (B)$$

Geankoplis <sup>(13)</sup> apresentou um método simplificado para o cálculo do comprimento da zona de transferência de massa (ZTM). A ZTM é uma fração da altura total (Ht) do leito e pode ser calculada pela substituição das Equações A e B na Equação C.

$$ZTM = \left(1 - \frac{q_u}{q}\right).Ht \quad (C)$$

A porcentagem de remoção total (%RL) foi determinada pela fração de metal em solução que ficou retida no sólido considerando toda solução metálica que foi utilizada no processo até a saturação do leito.

#### Modelo matemático

A modelagem através do software *Origin* 6.1 permite selecionar uma função que descreve o comportamento da adsorção dos metais estudados em argila Bofe calcinada considerando os dados experimentais das curvas de ruptura obtidas. Dentre as funções de ajuste disponíveis no software foi selecionada a função *Logistic* conforme a Equação D, sendo esta considerada a de melhor ajuste para todos os casos de vazão, pois apresentou alto coeficiente de correlação não linear ( $R^2$ ) e reproduziu bem o comportamento da curva experimental.

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^p} + A_2 \quad (D)$$

Em cada curva foi utilizado  $A_2$  na função *Logistic* como sendo igual a 1, ou seja, o valor para o qual tende o final da curva em  $C_i/C_0$ .  $A_1$  foi escolhido como sendo zero, representando a concentração de metal no efluente no primeiro instante. Para cada uma das vazões estudadas obteve-se a curva da função *Logistic* ajustada aos dados de ruptura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Estudo da vazão para a adsorção em leito fixo

No estudo de vazão realizado com base na Zona de Transferência de Massa (ZTM) a concentração da solução adsorbato de metal foi mantida constante em torno de 2,36 e 1,33 mmol/L para o cobre e cádmio, respectivamente, enquanto a vazão de alimentação variou em 2, 4, 5 e 6 mL/min. A Figura 1 apresenta as curvas de ruptura nas diferentes vazões estudadas para o processo de adsorção de cobre e cádmio. A partir da Figura 1, verifica-se que as curvas de ruptura apresentam comportamentos distintos, indicando a influência da vazão nas resistências difusionais. O processo de adsorção apresenta, para toda a faixa de vazão estudada, uma forte resistência à saturação do leito, comprovada pelas curvas de ruptura mais alongadas e amplas zonas de transferência de massa.

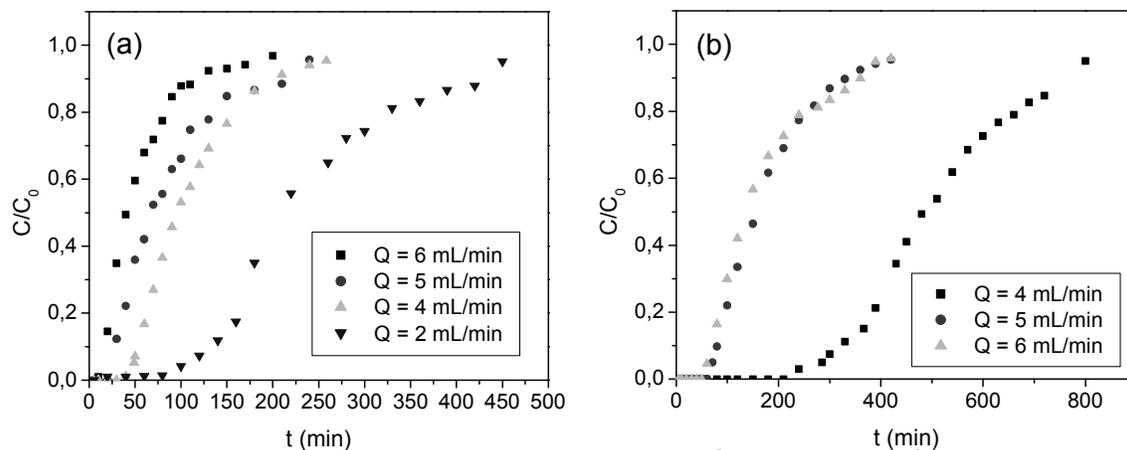


Figura 1: Curvas de ruptura para o sistema: (a)  $Cu^{2+}$ /Bofe; (c)  $Cd^{2+}$ /Bofe calcinada em diferentes vazões, 2,36 mol/L de cobre e 1,33 mmol/L de cádmio em solução.

De acordo com Geankoplis <sup>(13)</sup>, a zona de transferência de massa (ZTM) representada pelo comportamento curvilíneo da curva de ruptura delinea uma extensão do leito na qual a concentração passa do ponto de ruptura para o ponto de exaustão. Quanto menor o comprimento da ZTM, mais próximo da idealidade o sistema se encontra, indicando menor resistência difusional, e conseqüentemente, um processo de adsorção mais favorável.

Na Tabela 1 são apresentados os valores de ZTM,  $q_U$ ,  $q$  e porcentagem de remoção de cobre e cádmio sobre argila Bofe. Verifica-se que menores valores de ZTM e valores satisfatórios de quantidade adsorvida de metal útil e total e

percentagem de remoção total foram obtidos na vazão 4 mL/min para o cobre e o cádmio.

Tabela 1: Valores de ZTM,  $q_u$ ,  $q$  e remoção para a adsorção de cobre e cádmio em argila Bofe calcinada.

| Sistema                | Vazão (mL/min) | ZTM (cm)    | $q_u$ (mmol/g) | $q$ (mmol/g)  | %Rem         |
|------------------------|----------------|-------------|----------------|---------------|--------------|
| Cu <sup>2+</sup> /Bofe | 2              | 7,70        | 0,0423         | 0,1057        | 52,18        |
|                        | <b>4</b>       | <b>7,65</b> | <b>0,0403</b>  | <b>0,0999</b> | <b>42,48</b> |
|                        | 5              | 9,79        | 0,0275         | 0,0968        | 34,17        |
|                        | 6              | 11,09       | 0,0126         | 0,0732        | 25,83        |
| Cd <sup>2+</sup> /Bofe | <b>4</b>       | <b>5,88</b> | <b>0,1482</b>  | <b>0,2707</b> | <b>63,40</b> |
|                        | 5              | 8,15        | 0,0439         | 0,1176        | 41,97        |
|                        | 6              | 8,74        | 0,0439         | 0,1339        | 39,82        |

### Modelagem do Processo

A Figura 2 apresenta o ajuste da função *Logistic* aos dados experimentais das curvas de ruptura do cobre e cádmio ( $C_0 = 2,36$  mmol/L para o cobre e  $C_0 = 1,33$  mmol/L para o cádmio) para diferentes vazões de operação. Os valores de  $x_0$  e  $p$  estão apresentados na Tabela 2.

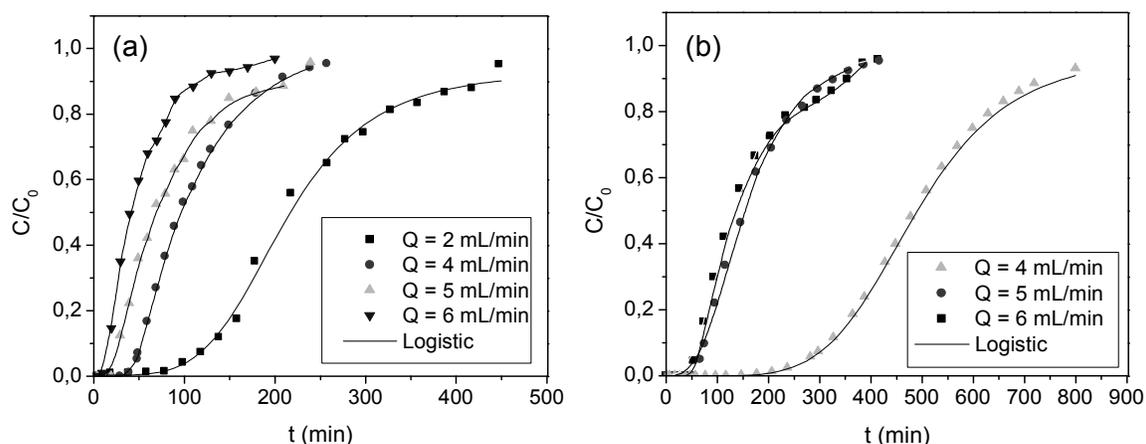


Figura 2: Curvas de ruptura do (a) cobre e do (b) cádmio em argila Bofe em diferentes vazões ajustadas pela função *Logistic*.

Tabela 2: Coeficientes do ajuste da função *Logistic* para as vazões consideradas.

| Sistema                | Vazão (mL/min) | $X_0$     | $p$     | $R^2$   |
|------------------------|----------------|-----------|---------|---------|
| Cu <sup>2+</sup> /Bofe | 2              | 210,64871 | 4,33822 | 0,9961  |
|                        | 4              | 95,8196   | 3,16984 | 0,99748 |
|                        | 5              | 67,0175   | 2,14434 | 0,99589 |
|                        | 6              | 40,5662   | 2,03553 | 0,99797 |
| Cd <sup>2+</sup> /Bofe | 4              | 486,6306  | 5,2291  | 0,9984  |
|                        | 5              | 153,7945  | 3,0159  | 0,9982  |
|                        | 6              | 133,1474  | 2,7881  | 0,9963  |

Observa-se que os coeficientes de ajuste da curva têm uma forte dependência dos valores de vazão. Assim, plotou-se cada coeficiente isoladamente em função da vazão, e efetuou-se o ajuste mais adequado. Os ajustes de  $x_0$  e  $p$  em função da vazão são mostrados nas Figuras 3 e 4. Substituindo os respectivos parâmetros nas Equações E, G e I, chega-se às Equações F e H para o cobre e J e K para o cádmio, que representam o comportamento dos coeficientes  $x_0$  e  $p$ , respectivamente.

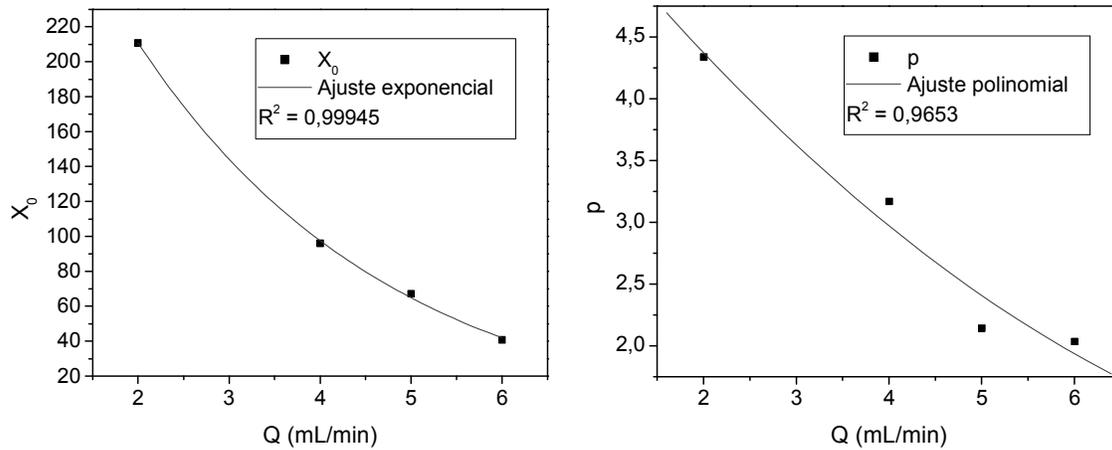


Figura 3: Ajustes polinomiais para os valores de  $X_0$  e  $p$  em função da vazão para o processo de adsorção de cobre em argila Bofe.

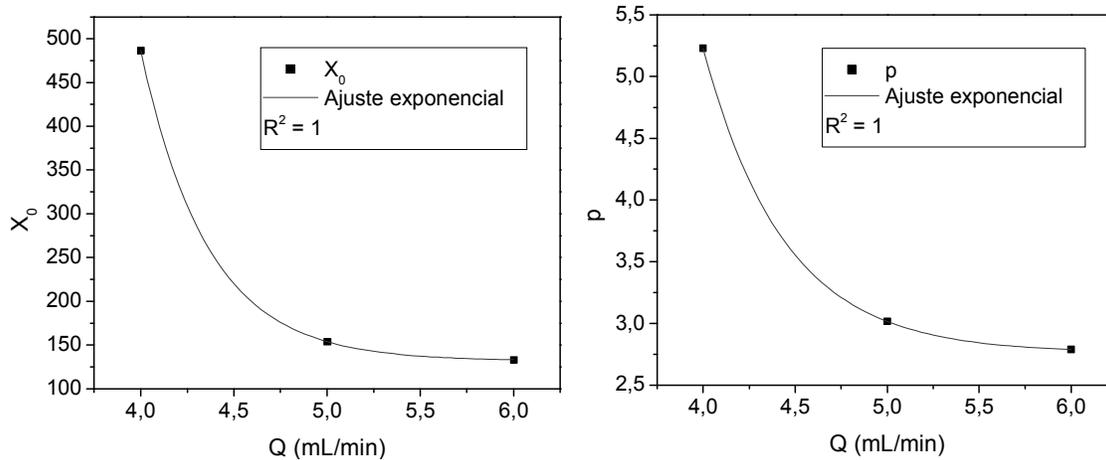


Figura 4: Ajustes polinomiais para os valores de  $X_0$  e  $p$  em função da vazão para o processo de adsorção de cádmio em argila Bofe.

|                 |  |     |
|-----------------|--|-----|
|                 | $Y = A + B.e^{x/C}$                              | (E) |
| $Cu^{2+}/Bofe:$ | $Y(X_0) = -11.80786 + 453.13789e^{(-x/2.80854)}$ | (F) |
|                 | $Y = A + B.x + C.x^2$                            | (G) |
|                 | $Y(p) = 6.13511 - 0.97301x + 0.04554x^2$         | (H) |
|                 | $Y = A + B.e^{x/C}$                              | (I) |
| $Cd^{2+}/Bofe:$ | $Y(X_0) = 131.7819 + 2.3962.10^7e^{(-x/0.3597)}$ | (J) |
|                 | $Y(p) = 2.762 + 22001.90226e^{(-x/0.43976)}$     | (K) |

Substituindo-se as expressões encontradas para  $x_0$  e  $p$  na equação do modelo *Logistic*, Equação D, e as variáveis correspondentes, tem-se a Equação L.

$$\frac{C}{C_0} = \frac{A_1 - A_2}{1 + \left(\frac{t}{x_0}\right)^p} + A_2 \quad (L)$$

em que,

Cobre:

$$x_0 = -11.80786 + 453.13789e^{(-x/2.80854)}$$

$$p = 6.13511 - 0.97301x + 0.04554x^2$$

$$A_1 = 0; A_2 = 1$$

Cádmio:

$$x_0 = 131.7819 + 2.3962 \cdot 10^7 e^{(-x/0.3597)}$$

$$p = 2.762 + 22001.90226e^{(-x/0.43976)}$$

$$A_1 = 0; A_2 = 1$$

A partir da Equação L, obtém-se um modelo numérico que é capaz de traçar a curva de ruptura completa para adsorção do cobre e do cádmio, bastando selecionar arbitrariamente um valor de vazão. A Equação L foi simulada pelo software *Origin* 6.1, para as mesmas vazões usadas nos experimentos, para comprovar a eficiência do modelo proposto, conforme modelagem apresentada nas Figuras 5 e 6.

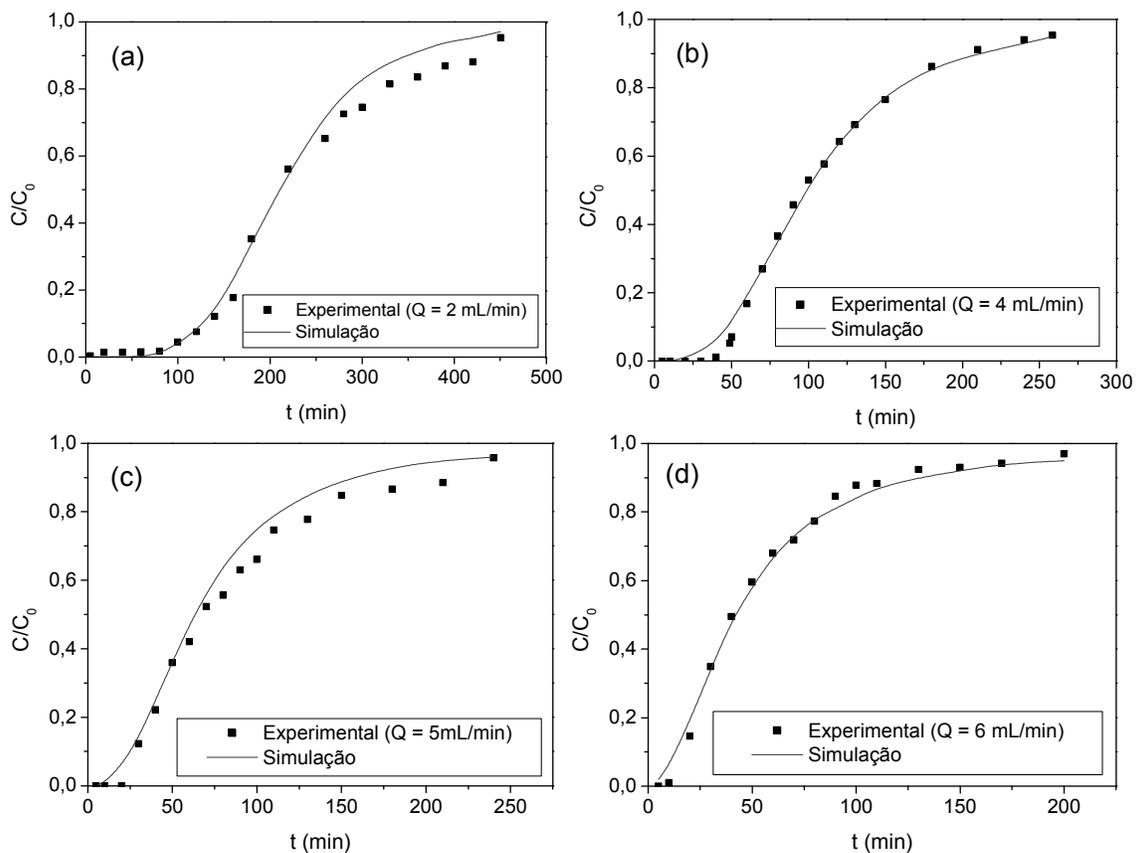


Figura 5: Curvas de ruptura do cobre e suas respectivas simulações: vazão (a) 2 mL/min; (b) 4 mL/min; (c) 5 mL/min; (d) 6 mL/min ( $d_p = 0,855\text{mm}$ ;  $C_0 = 2,36 \text{ mmol/L}$ ).

Os modelos propostos são válidos para a faixa de vazão estudada neste trabalho. A eficiência do ajuste pode ser verificada através da similaridade de comportamento entre as curvas experimentais e simuladas (Figuras 5 e 6).

Conforme observado nas Figuras 5 e 6, os modelos correspondentes à função *Logistic* do software *Origin 6.1* representaram adequadamente o comportamento da curva de ruptura completa para adsorção do cobre para a faixa de vazão de 2 a 6 mL/min e do cádmio para a faixa de vazão de 4 a 6 mL/min, obtendo-se um excelente ajuste dos modelos aos dados experimentais.

A partir da função obtida na Equação L pode-se simular curvas de ruptura para vazões não realizadas experimentalmente, tais como 3, 7 e 9 mL/min para o cobre e 7 e 9 mL/min para o cádmio, como mostra a Figura 7. Não foi possível simular curvas de ruptura para remoção de cádmio em vazões menores que 4 mL/min e, para vazões maiores ou iguais a 7 mL/min, o comportamento se mantém.

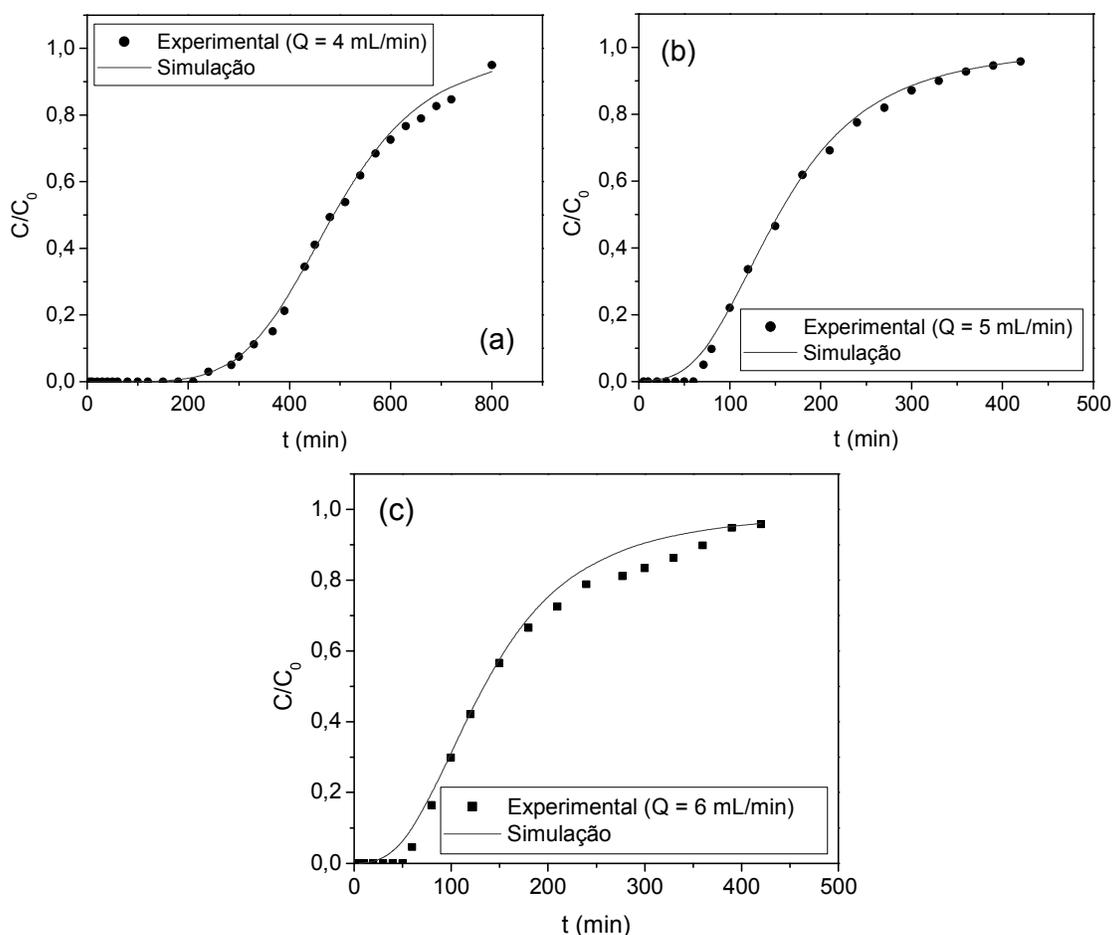


Figura 6: Curvas de ruptura do cádmio e seus respectivos modelos: vazão (a) 4 mL/min; (b) 5 mL/min; (c) 6 mL/min. ( $d_p = 0,855$ mm;  $C_0 = 0,44$  mmol/L).

A partir das curvas de ruptura simuladas, foram estimados valores de ZTM, quantidade útil e total de remoção e percentual total de remoção cobre e cádmio em argila Bofe, cujos valores encontram-se na Tabela 4.

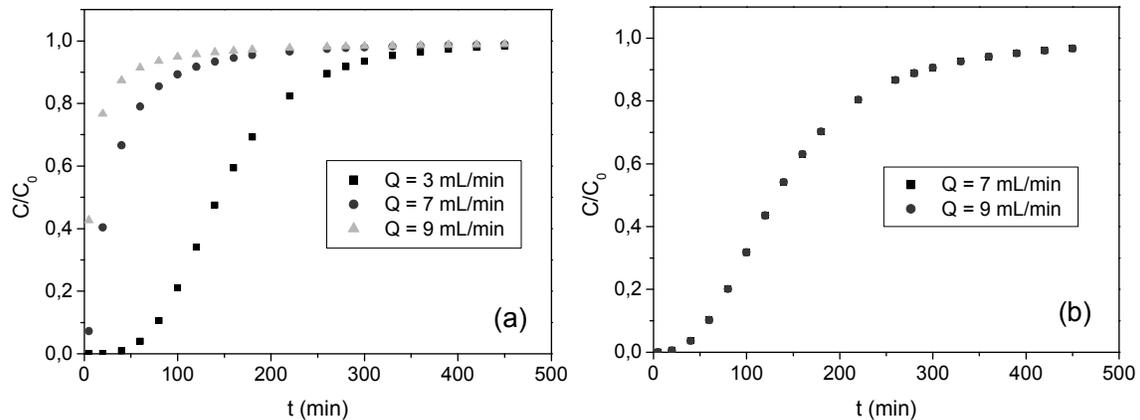


Figura 7: Curvas de ruptura simuladas da adsorção: (a) cobre e (b) cádmio

Tabela 4: Valores estimados de ZTM,  $q_u$ ,  $q$  e remoção para as curvas de ruptura simuladas de adsorção cobre e cádmio em argila Bofe.

| Sistema                | Vazão (mL/min) | MTZ (cm) | $q_u$ (mmol/g) | $q$ (mmol/g) | %Rem  |
|------------------------|----------------|----------|----------------|--------------|-------|
| Cu <sup>2+</sup> /Bofe | 3              | 8,10     | 0,0417         | 0,1106       | 34,71 |
|                        | 7              | 13,0     | 0,0            | 0,0725       | 9,75  |
|                        | 9              | 13,0     | 0,0            | 0,0467       | 4,89  |
| Cd <sup>2+</sup> /Bofe | 7              | 9,64     | 0,0367         | 0,142        | 33,78 |
|                        | 9              | 9,81     | 0,0448         | 0,1825       | 33,76 |

Comparando-se os valores estimados com os valores experimentais apresentados na Tabela 4, podemos concluir que a vazão 4 mL/min para o cobre e o cádmio é a vazão operacional mais adequada dentre toda a faixa de vazão estudada, ou seja, de 2 a 6 mL/min para o cobre e de 4 a 7 mL/min para o cádmio.

## CONCLUSÕES

A modelagem através do software *Origin* 6.1 permitiu a obtenção de uma função (*Logistic*) que descreve o comportamento da adsorção do cobre e cádmio em argila Bofe calcinada considerando os dados experimentais das curvas de ruptura obtidos em várias vazões. A partir da função obtida foram simuladas curvas de ruptura para vazões não realizadas experimentalmente.

O estudo de vazão indicou que a vazão mais apropriada para operação do leito proposto em escala de laboratório é 4 mL/min para adsorção do cobre ou do cádmio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) NOVAKOVIC, T.; ROZIC, L.; PETROVIC, S.; ROSIC, A. Synthesis and characterization of acid-activated Serbian smectite clays obtained by statistically designed experiments. **Chem. Eng. J.**, v.137, n.2, p. 436-442, 2008.
- (2) STATHI, P.; LITINA, K.; GOURNIS, D.; GIANNOPOULOS, T. S.; DELIGIANNAKIS, Y. Physicochemical study of novel organoclays as heavy metal ion adsorbents for environmental remediation. **J. Colloid Interface Sci.**, v.316, n.2, p.298-309, 2007.
- (3) OUHADI, V. R.; YONG, R. N.; SEDIGHI, M. Desorption response and degradation of buffering capability of bentonite, subjected to heavy metal contaminants. **Eng. Geol.**, v.85, n.1-2, p.102-110, 2006.
- (4) BHATTACHARYYA, K. G.; GUPTA, S. S. Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite: A review. **Adv. Colloid Interface Sci.**, v.140, n.2, p.114-131, 2008.
- (5) SAJIDU, S. M. I.; PERSSON I.; MASAMBA, W. R. L.; HENRY, E. M. T. Mechanisms of heavy metal sorption on alkaline clays from Tundulu in Malawi as determined by EXAFS. **J. Hazard. Mater.**, v.158, p.401-409, 2008.
- (6) VIEIRA, M. G. A.; ALMEIDA NETO, A. F. de; GIMENES, M. L.; SILVA, M. G. C. da. Removal of nickel on Bofe bentonite calcined clay in porous bed. **J. Hazard. Mater.**, v.176, p.109-118, 2010.
- (7) VIEIRA, M. G. A.; ALMEIDA NETO, A. F. de; GIMENES, M. L.; SILVA, M. G. C. da. Sorption kinetics and equilibrium for the removal of nickel ions from aqueous phase on calcined Bofe bentonite clay. **J. Hazard. Mater.**, v.177, p.362-371, 2010.
- (8) ZHI-RONG, L.; SHAO-QI, Z. Adsorption of copper and nickel on Na-bentonite. **Process Saf. Environ. Prot.**, v.88, p.62-66, 2010.
- (9) LI, J.; HU, J.; SHENG, G.; ZHAO, G.; HUANG, Q. Effect of pH, ionic strength, foreign ions and temperature on the adsorption of Cu(II) from aqueous solution to GMZ bentonite. **Colloids Surf., A**, v.349, p.195-201, 2009.
- (10) VOLESKY, B. Detoxification of metal – bearing effluents: Biosorption for the next century. **Hydrometallurgy**, v.59, p.203-216, 2001.
- (11) VIEIRA, M. G. A.; GIMENES, M. L.; SILVA, M. G. C. da. Modelling of the process of adsorption of nickel in bentonite clay. **Chem. Eng. Transactions**, v.17, p.421-426, 2009.

(12) LANGE, N. A. ***Lange's Handbook of Chemistry***. New York: Mc Graw Hill, 1973.

(13) GEANKOPLIS, C. J. ***Transport Process and Unit Operatons***. 3ª ed., Cap. 12, USA: PTR Pretice Hall, 1993.

## MODELING OF THE PROCESS OF ADSORPTION OF COPPER AND CADMIUM IN BENTONITE CLAY

### ABSTRACT

In this study we evaluated the removal of copper and cadmium by bentonite clay type Bofe in porous bed. A study was conducted to define the fluid dynamic flow operation, based on the smaller mass transfer zone (MTZ). The model that corresponds to the *Logistic* function, available in Origin software 6.1, fitted the results with excellent correlation coefficient ( $R^2$ ). Modeling allowed selecting a function that describes the adsorption behavior of copper and cadmium in clay Bofe considering the experimental data of breakthrough curves. The optimum operating condition was achieved at a flow rate of 4 mL/min for copper and cadmium, reaching values of 7.65 and 5.88 cm MTZ, respectively, for a column of 14 cm in total length. At a flow rate of 4 mL/min the amounts removed were 0.1 and 0.27 mmol/g for copper and cadmium, respectively.

Keywords: modeling, adsorption, copper, cadmium, clay.