



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

ADSORÇÃO DE CROMO (III) EM BENTONITA NATURAL

Gilvanise Alves Tito¹; Lúcia Helena Garófalo Chaves²

RESUMO

Vários trabalhos tratam da remoção de metais pesados por argilas utilizando processos de precipitação, troca iônica e adsorção. Neste trabalho estudou-se a adsorção de solução de Cr (III) em bentonita natural, tendo-se como variável o pH e utilizou-se a adequação dos modelos de Langmuir e Freundlich para descrever esta adsorção. Para a determinação da quantidade de Cr adsorvido, soluções (20 mL) com diferentes quantidades de Cr (10; 15; 20; 30; 50; 100; 150 e 200 mg Cr L⁻¹) ajustadas aos pH 4, 5 e 6, foram adicionadas a 2 g de bentonita e agitados por 2 horas. A adsorção de Cr é dependente do pH, ocorrendo maior adsorção em pH mais alto. O modelo de Freundlich foi o que apresentou melhor ajuste aos dados experimentais. Os modelos de Langmuir e Freundlich não são adequados para descrever o processo de adsorção de cromo pela bentonita tendo em vista as curvas representativas de tais modelos terem sido do tipo côncavo devido à baixa reatividade dos sítios energéticos da bentonita, e consideradas neste caso com desfavoráveis para explicar o fenômeno de adsorção.

Palavras-chave: remoção, pH, Langmuir, Freundlich

CHROMIUM (III) ADSORPTION IN NATURAL BENTONITE

ABSTRACT

Mineral clays have been extensively used for heavy metal removal using precipitation, ion exchange and adsorption processes. The present investigation assessed the adsorption of Cr (III) solution by natural bentonite varying the pH and to evaluated Langmuir and Freundlich isotherms applied to this adsorption. In order to quantify the adsorbed Cr, 2 g of bentonite were stirred in polyethylene tubes, for 2 h, with 20 mL of solution containing different quantities of Cr (10; 15; 20; 30; 50; 100; 150 and 200 mg Cr L⁻¹) adjusted to pH 4, 5 and 6. Chromium adsorption is dependent on pH with higher adsorption at pH higher. Freundlich model was the best fit to experimental data. Langmuir and Freundlich models are not adequate to describe the adsorption of chromium by bentonite as the type curves are concave, considered unfavorable.

Keywords: removal, pH, Langmuir, Freundlich

Trabalho recebido em 26/07/2009 e aceito para publicação em 14/12/2009.

¹ Engenheira Agrícola, doutoranda em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB. e-mail: gilvanisetito@yahoo.com.br;

² Professora Dra. Titular da Universidade Federal de Campina Grande. Departamento de Engenharia Agrícola. Campina Grande-PB. e-mail: lhgarofalo@hotmail.com.

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos metais são substâncias tóxicas e não são compatíveis com os tratamentos biológicos existentes; quando adicionados aos solos podem ser lixiviados, contaminando, assim, o lençol freático e os corpos d'água e/ou acumulados neste ambiente. Esse acúmulo possibilita a bioacumulação e biomagnificação na cadeia alimentar, ocasionando distúrbios no metabolismo dos seres vivos (PAGANINI et al., 2004). A bioacumulação faz com que concentrações não prejudiciais passem a ser tóxicas, até mesmo para o homem (SODRÉ et al., 2001).

Várias tecnologias incluindo, por exemplo, precipitação química, filtração, troca-iônica, osmose inversa e sistemas de membrana, foram desenvolvidas para a remoção de íons de metal de soluções aquosas. No entanto, nos últimos anos, o processo de adsorção foi mostrado como um método alternativo para remover tais íons de efluentes líquidos (BAYAT, 2002; POTGIETER et al., 2006), focalizando o uso de diferentes tipos de adsorventes, por exemplo, as argilas (HARVEY et al., 2001). Estas, a partir de então, de acordo com a literatura (NASEEM & TAHIR, 2001; MIRANDA-TREVINO & COLES, 2003; AYARI et al., 2005; BHATTACHARYYA & GUPTA, 2007), têm sido extensamente empregadas como

adsorventes devido ao seu baixo custo, fácil obtenção e suas propriedades físico-químicas, as quais lhe conferem a possibilidade de atuarem na remediação de ambientes contaminados por metais pesados.

O processo de curtimento do couro gera uma grande quantidade de efluentes, sendo o cromo, metal altamente tóxico, o principal elemento presente nos mesmos. Estes efluentes, antes de serem descartados no meio ambiente, de acordo com a legislação em vigor, devem ser submetido a tratamentos que venham a minimizar os efeitos tóxicos do cromo. O uso do argilo-mineral bentonita poderia ser uma alternativa para esses tratamentos, no sentido do mesmo adsorver o cromo uma vez que tem mostrado capacidade em adsorver outros metais pesados (SANCHEZ et al., 1999a; AYUSO & SANCHEZ, 2003; LACIN et al., 2005; ALMEIDA NETO et al., 2008; TITO et al., 2008a,b).

O fenômeno de adsorção de íons metálicos pode ser estudado através de isotermas de adsorção que são equações matemáticas usadas para descrever, em termos quantitativos, a adsorção de solutos por sólidos, à temperatura constante, sendo os modelos de Langmuir e de Freundlich os mais utilizados. O modelo de Langmuir baseia-se no fato da adsorção ocorrer em sítios uniformes com recobrimento em

monocamada e afinidade iônica independente da quantidade de material adsorvido (ATKINS, 1994). Esse modelo permite estimar o valor da constante relacionada à energia da ligação entre o soluto e a superfície adsorvente, além de estimar sua adsorção máxima (DIAS et al., 2001). O modelo de Freundlich considera a não uniformidade das superfícies reais, e quando utilizado, descreve bem a adsorção iônica dentro de certos limites de concentração, mas acima deles, apresenta dificuldade em considerar a quantidade de íons presentes no meio (BARROW, 1978).

As isotermas podem apresentar-se de várias formas, as quais fornecem informações sobre o mecanismo de adsorção, ou seja, a forma linear indica que a quantidade adsorvida é proporcional à concentração do fluido; as do tipo convexa são favoráveis, pois grandes quantidades adsorvidas podem ser obtidas com baixas concentrações de soluto, por outro lado, as de forma côncava são desfavoráveis, pois altas concentrações de fluido são necessárias para baixas concentrações de adsorvato no sólido. Isotermas deste tipo são raras, porém seu estudo torna-se importante na compreensão dos processos de dessorção.

Alguns trabalhos têm evidenciado a influência do pH no processo de adsorção (SANTOS et al., 2002; RODRIGUES et al., 2004; LACIN et al., 2005), desta

forma, objetivou-se com este trabalho avaliar o comportamento de adsorção de cromo pela bentonita variando o pH do meio, e avaliar qual dos modelos de Langmuir e/ou Freundlich que melhor representam esse comportamento, tendo em vista que os mesmos são os mais utilizados em estudos de adsorção de metais por superfícies sólidas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, PB utilizando amostras de bentonita coletadas na jazida Primavera, localizada no município de Boa Vista-PB. Estas amostras foram secas ao ar, na temperatura ambiente ($\pm 24^{\circ}\text{C}$), tendo sido necessário para isto um período de aproximadamente uma semana; em seguida foram passadas em peneira com malha de 2,0 mm de abertura.

As soluções de tratamento, com concentrações crescentes de Cr (C_0) (10; 15; 20; 30; 50; 100; 150 e 200 mg Cr L⁻¹), foram preparadas a partir de solução padrão de cromo (Ampolas de Titrisol). Para o estudo da adsorção de cromo, 2 g de bentonita, acondicionadas em tubos de centrífuga de volume de 50 ml, em três repetições, juntamente com 20 ml das

soluções de tratamento, foram agitadas por 2 horas, permanecendo em repouso por 24 horas e em seguida filtradas em papel de filtragem lenta.

As concentrações de cromo na solução de equilíbrio (C_e) foram determinadas em um espectrofotômetro de absorção atômica, cuja curva de calibração foi obtida a partir de leituras de soluções de cromo preparadas com concentrações crescentes do elemento (0 a 20 mg L⁻¹) a partir de solução padrão (Ampolas de Titrisol). As quantidades do metal adsorvidas pela fase sólida foram calculadas por diferença entre as quantidades do metal adicionadas e as quantificadas na solução de equilíbrio. Para os cálculos foram utilizadas amostras com a média de três repetições.

Como o processo de adsorção é influenciado pelo pH, as isotermas foram determinadas em pH 4, pH 5 e pH 6 ± 0,1 sendo que os mesmos foram ajustados com HCl 0,1N e NaOH 0,1N (SANCHEZ et al. 1999 b).

Para descrever a adsorção do cromo foram utilizadas a equação de Langmuir:

$$\frac{x}{m} = \frac{K_L C_e b}{(1 + K_L C_e)}$$

onde,

$\frac{x}{m}$ = quantidade de Cr adsorvida em mg g⁻¹

¹ de mineral de argila;

K_L = constante de Langmuir relacionada com a energia de ligação do Cr no mineral de argila (L mg⁻¹);

C_e = concentração de Cr na solução de equilíbrio em mg L⁻¹;

b = adsorção máxima (mg g⁻¹) e a equação de Freundlich:

$$\frac{x}{m} = K_F C_e^{\frac{1}{n}}$$

onde,

$\frac{x}{m}$ = quantidade de Cr adsorvida em mg g⁻¹

¹ de mineral de argila;

K_F = constante de Freundlich relacionada com a energia de ligação do Cr no mineral de argila (L mg⁻¹);

C_e = concentração de Cr na solução de equilíbrio em mg L⁻¹;

$\frac{1}{n}$ = fator de linearidade da isoterma

A capacidade máxima de adsorção (b) e a energia de ligação (K_L) foram calculadas por meio da equação de Langmuir linearizada:

$$\frac{C_e}{\frac{x}{m}} = \left(\frac{1}{K_L b}\right) + \left(\frac{1}{b}\right)C_e$$

As constantes n (que indica, qualitativamente, a reatividade dos sítios energéticos, ou seja, se a isoterma é favorável ou não) e K_F (que pode sugerir a

adsorção do íon), foram determinadas pela equação de Freundlich linearizada:

$$\log \frac{x}{m} = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$$

Valores de n no intervalo de 1 a 10 representam condições de adsorção favorável.

Os cálculos da porcentagem de remoção útil (% R) e da capacidade de remoção útil de cromo (q) nas bentonitas foram realizados empregando-se as equações:

$$\%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100$$

$$q = \frac{V}{m} (C_o - C_e)$$

onde,

q = mg de metal / g do sorvente;

C_o = concentração inicial de Cr em mg L⁻¹;

C_e = concentração de Cr na solução de equilíbrio em mg L⁻¹;

V = volume da solução, mL;

m = massa de adsorvente, g

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Independente do pH, a capacidade de remoção útil de cromo (q) pela bentonita aumentou em função das concentrações do elemento nas soluções de tratamento (C_o) (Tabela 1). O aumento na adsorção de metais pesados à superfície das partículas adsorventes é desejável, por ser uma forma de reduzir a mobilidade dos

mesmos no ambiente e seus impactos ambientais (PIERANGELI et al., 2009). Esse aumento também pode ser observado, indiretamente, através dos valores de remoção útil (R) que indicam a porcentagem do elemento que foi removida da solução de tratamento, ou seja, o que foi adsorvido pelas partículas de bentonita (Tabela 1). Estes valores aumentaram em função do aumento da concentração do elemento na solução de tratamento.

Em relação aos efeitos do pH no processo de remoção de cromo pela bentonita da solução, observou-se aumento na remoção em função do aumento do pH (Tabela 1) e indiretamente, na adsorção, constatando-se que ela é dependente do pH do meio. Alcantara; Camargo (2001), avaliando a adsorção de cromo em latossolos com e sem calagem, também observaram maior adsorção do elemento nos solos calcareados, ou seja, com maiores valores de pH.

Na Figura 1 também se pode observar, através dos dois modelos de isotermas, Langmuir (L) e Freundlich (F), que houve uma diminuição na concentração de cromo na solução de equilíbrio à medida que o pH aumentou. Nota-se que para quantidades iguais de cromo adsorvido nos três valores de pH, a concentração do elemento na solução de equilíbrio, é muito maior no pH 4 do que no pH 6,0.

Tabela 1. Percentagem de remoção (R) e quantidade adsorvida (q) de cromo por bentonita com diferentes tamanhos de partículas em pH 4, 5 e 6.

C_0 (mg L ⁻¹)	R (%)			q (mg g ⁻¹)		
	pH 4	pH5	pH 6	pH 4	pH5	pH 6
9,9	90,03	93,16	93,94	0,09	0,09	0,09
14,3	90,42	94,43	93,24	0,13	0,14	0,13
17,7	90,58	94,73	93,03	0,16	0,17	0,16
27,9	91,40	95,94	94,74	0,26	0,27	0,26
49,8	93,54	97,05	96,52	0,47	0,48	0,48
100,2	95,46	97,74	97,90	0,96	0,98	0,98
156,0	95,77	97,82	98,48	1,49	1,53	1,54
196,3	95,10	97,76	98,68	1,87	1,92	1,94

Isto mostra que o cromo, nesta situação, está mais sujeito a ser liberado para o meio ambiente, uma vez que a persistência e a mobilidade do metal no ambiente são determinadas pela intensidade com que é adsorvido. Esse comportamento foi observado em bentonita por Santos et al. (2002), Lacin et al. (2005) e Tito et al. (2008a). O efeito do pH na adsorção de cátions metálicos resulta, principalmente, das mudanças na carga protônica líquida das partículas adsorventes. Com o aumento do pH a carga protônica decresce para valores mais negativos, resultando em aumento na atração eletrostática do adsorvente pelo íon metálico. Santos et al. (2008) avaliando o efeito do pH na retenção de cromo por

argilas funcionalizadas com mercaptosilanos também observaram que a retenção do metal aumentou com o aumento do pH. Em valores de pH mais baixos, devido a protonação da argila, ocorre uma competição pelos sítios de adsorção entre os cátions metálicos e os íons H⁺, dificultando a retenção do metal. Outra hipótese estaria baseada no fato de que em pH 4 o íon cromo trivalente encontra-se hidratado como Cr(H₂O)₆⁺³ apresentando elevado raio iônico (4,61 Å), o que dificultaria sua adsorção pela bentonita (CARVALHO et al., 2000). Na medida em que o pH aumenta, este íon tende a se hidrolisar originando íons com menor raio e valência, o que facilitaria sua adsorção (FREITAS, 2006).

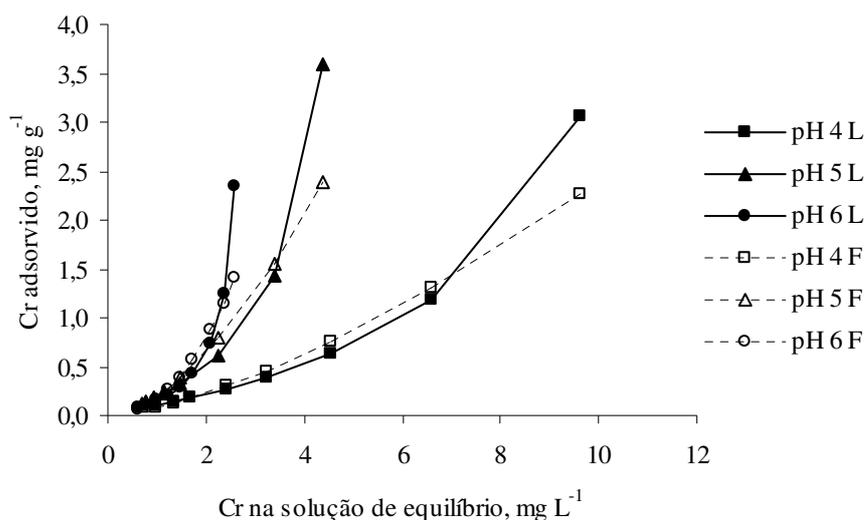


Figura 1. Relação entre os teores de cromo na solução de equilíbrio e os adsorvidos nas amostras de bentonita nos pHs 4, 5 e 6 ajustadas através dos modelos de Langmuir (L) e Freundlich (F)

As equações de Langmuir e Freundlich têm sido usadas por diversos autores (BEREKET et al., 1997; MELLAH; CHEGROUCHE, 1997) no estudo de adsorção de metais por bentonita, com coeficientes de determinação tão altos quanto os obtidos no presente trabalho (Tabela 2), o que indica que os modelos de Langmuir e Freundlich se ajustaram aos dados experimentais de adsorção do cromo. No

entanto, o modelo de Freundlich foi o que apresentou melhor ajuste, indicado pelos maiores valores deste coeficiente corroborando Almeida Neto et al. (2008) na avaliação da adsorção de cobre por bentonita. De acordo com Alcântara; Camargo (2001), este modelo conseguiu descrever satisfatoriamente a adsorção de cromo em amostras de latossolos.

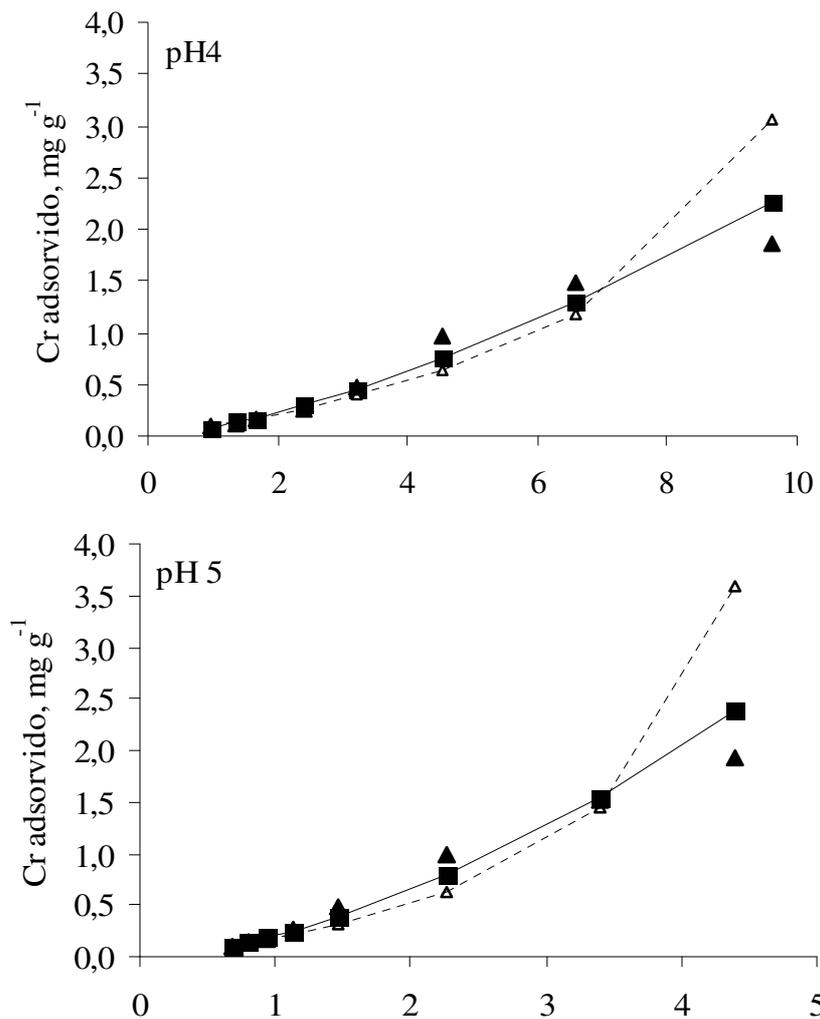
Tabela 2. Equações linearizadas das isotermas de Langmuir e Freundlich correspondente à adsorção de cromo pelas diferentes partículas de bentonita no pH 4, pH 5 e pH 6.

pH	Equação Langmuir	R ²	Equação Freundlich	R ²
4	$y = -0,8031 x + 10,89$	0,72*	$y = 1,4562 x - 1,08$	0,98**
5	$y = -1,1475 x + 6,27$	0,64*	$y = 1,6571 x - 0,69$	0,98**
6	$y = -3,4217x + 10,01$	0,86**	$y = 2,2236 x - 0,77$	0,90**

*,** significativos a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

Os valores obtidos em laboratório de cromo adsorvido às partículas de bentonita e as curvas obtidas a partir dos valores estimados pelos modelos de Langmuir e Freundlich, são apresentadas na Figura 2. A maior aproximação das curvas, obtidas através do modelo de

Freundlich aos dados obtidos em laboratório, confirma o que foi apresentado anteriormente com respeito a este modelo ter se adequado melhor às concentrações de cromo adsorvidas, tendo como base os coeficientes de correlação



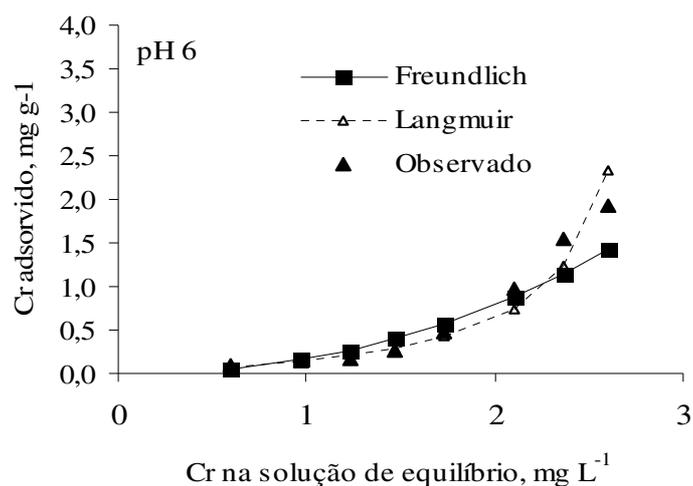


Figura 2. Isotermas de Langmuir e Freundlich para adsorção de cromo em bentonita em pHs 4 (a), 5 (b) e 6 (c) e pontos experimentais observados.

No entanto, de acordo com a Figura 2, observa-se que nas concentrações até 50 mg Cr L⁻¹ os modelos de Langmuir e Freundlich foram compatíveis com os resultados observados experimentalmente nos pHs 4 e 5; na concentração 100 mg Cr L⁻¹ estes modelos subestimaram os valores observados; no pH 4, para a concentração de 150 mg Cr L⁻¹ o valor observado experimentalmente continuou sendo subestimado pelos dois modelos, os quais voltaram a ser compatível com o valor observado no pH 5 e superestimaram o valor observado experimentalmente nos dois valores de pH para a concentração mais alta, 200 mg Cr L⁻¹. Já no pH 6, os dados experimentais observados foram mais compatíveis com a curva do modelo de Langmuir. O modelo de Freundlich superestimou os valores experimentais nas

concentrações mais baixas, até 100 mg Cr L⁻¹, para depois subestimá-los.

Na prática, os valores superestimados do cromo adsorvido, em relação aos valores observados, podem levar a interpretações errôneas a respeito do destino do metal no meio ambiente. Determinadas quantidades do elemento previstas de serem adsorvidas pela bentonita quando, por exemplo, adicionada a solos contaminados no intuito de remediá-los, podem, na realidade, permanecer na solução dos mesmos ficando à mercê de serem absorvidos pelas plantas e/ou serem lixiviados.

Apesar do ajuste dos modelos de Langmuir e Freundlich aos resultados experimentais, os mesmos não foram adequados para descrever o processo de adsorção do cromo pela bentonita, devido as curvas terem sido do tipo côncavo

(Figura 2). Isotermas representadas por este tipo de curva são consideradas desfavoráveis, uma vez que são necessárias altas concentrações do cromo para que baixas concentrações sejam adsorvidas (BARROS et al., 2000). Segundo Stadella et al. (2003), isto provavelmente possa ocorrer devido à hidrólise ou complexação do elemento.

A utilização do coeficiente de adsorção K_F permite identificar a capacidade de uma superfície em reter determinado soluto, possibilitando a estimativa da extensão de seu movimento na fase líquida. Este coeficiente pode ser entendido como uma medida da distribuição de equilíbrio entre as fases sólida e líquida de um sistema. Assim sendo, quanto maior a capacidade adsorptiva, maior será o K_F (ALCÂNTARA; CAMARGO, 2001). Com base nisto, pode-se observar que o aumento do pH do meio aumentou a adsorção de cromo pelas partículas de bentonita, tendo ocorrido maior adsorção, com base no valor de K_F , no pH 5 (Tabela 3). Alcântara; Camargo (2001) avaliando a adsorção de cromo em Latossolo Vermelho Escuro eutrófico (LVe) e Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVd), sem e com calagem, observaram que os valores de K_F no LVe e no LVd aumentaram de 63,9 para 104,2 $\text{cm}^3 \text{kg}^{-1}$ e de 23,6 para 35,7 $\text{cm}^3 \text{kg}^{-1}$, respectivamente, mostrando

que a elevação do pH do solo promoveu um aumento na adsorção do elemento. Este comportamento também foi observado por Tito (2009) avaliando adsorção de cobre e zinco em bentonita. Valores de K_F encontrados por este autor para a adsorção de cobre em pH 4, 5 e 6, corresponderam a 0,204; 0,260 e 0,362 L mg^{-1} , respectivamente, e para o zinco a 0,145; 0,195 e 0,269 L mg^{-1} , respectivamente.

Os parâmetros do modelo de Freundlich não demonstram nenhum significado físico (BARROW, 1978), no entanto, Sposito (1982) estudou as derivações da equação deste modelo para íons trocáveis e observou uma relação qualitativa entre o parâmetro n e a distribuição dos sítios energéticos na fração dispersa dos colóides do solo, observando, ainda, que quando $n=1$, todos os sítios energéticos se equivalem e os dados podem ser ajustados ao modelo teórico de Langmuir. Por outro lado, quando $n \neq 1$, a distribuição dos sítios energéticos tende a variar com a densidade de adsorção. No presente trabalho, os valores de n corresponderam a 0,68, 0,58 e 0,46 no pH 4, pH 5 e pH 6, respectivamente, ou seja, foram menores do que um, indicando a presença de sítios fracamente energéticos para adsorção do cromo. Barros et al. (2000) avaliando a remoção de cromo por um material carbonoso denominado “schungite”,

também encontraram valor de n menor do que um.

No modelo de Langmuir, o parâmetro b_L tem sido usado para estimar a adsorção máxima da superfície adsorvente para vários elementos químicos. Considerando os valores deste parâmetro na adsorção de cromo pela bentonita em módulo, pode-se observar que na medida

em que aumentou o pH do meio, a capacidade de adsorção aumentou. No entanto, a energia (K_L) que mantém os íons de cromo adsorvido às partículas de bentonita (também considerado em módulo) foi maior nos valores de pH mais baixos (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficientes das isotermas de adsorção de Freundlich e Langmuir para cromo em função do pH e tamanho de partícula da bentonita

Freundlich						Langmuir					
K_F ($L\ mg^{-1}$)			$1/n$			K_F ($L\ mg^{-1}$)			b_L ($mg\ g^{-1}$)		
pH 4	pH5	pH 6	pH 4	pH5	pH 6	pH 4	pH5	pH 6	pH 4	pH5	pH 6
0,084	0,204	0,169	1,456	1,657	2,224	-1,245	-0,871	-0,292	-0,07	-0,18	-0,34

4. CONCLUSÕES

A adsorção de cromo é dependente do pH do meio, ocorrendo maior adsorção em pH mais alto.

O modelo de Freundlich foi o que apresentou melhor ajuste aos dados experimentais de adsorção de cromo em bentonita.

Os modelos de Langmuir e Freundlich não são adequados para descrever o processo de adsorção de cromo pela bentonita tendo em vista as curvas representativas de tais modelos terem sido

do tipo côncavo devido à baixa reatividade dos sítios energéticos da bentonita, e consideradas neste caso com desfavoráveis para explicar o fenômeno de adsorção.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais ao CNPq, pela concessão de bolsas de doutorado à primeira autora, e a Bentonit União Indústria e Comércio Ltda. pelo fornecimento da bentonita.

6. REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, O. A. Isotermas de adsorção de Freundlich para o crômio (III) em latossolos. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 3, p. 567-572, 2001.
- ALMEIDA NETO, A. F.; MUNHOZ, L. F.; KLEINUBING, S. J.; SILVA, M. G. C. Adsorção de cátions de cobre sobre a mistura de bentonitas. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ADSORÇÃO, 7, 2008, Campina Grande, **Anais...** Campina Grande: UFCG, 2008. p.176.
- ATKINS, P.W. **Physical Chemistry**. 5.ed. Oxford: Oxford University Press.1072p. 1994.
- AYARI, F.; SRASRA, E.; TRABELSI-AYADI, M. Characterization of bentonitic clays and their use as adsorbent. **Desalination and the Environment**, v.185, n.1-3, p.391-397, 2005.
- AYUSO, E. A.; SÁNCHEZ, A. G. Removal of heavy metals from waste waters by natural and Na-exchanged bentonites. **Clays and Clay Minerals**, v. 51, n. 5, p. 475-480, 2003
- BARROS, A. R. B.; MOREIRA, R. F. P. M.; JOSÉ, H. J. Remoção de Metais em Água Utilizando Diversos Adsorventes. **Revista Tecnológica**. Ed. Especial, 65-72. 2000.
- BARROW, N. J. The description of phosphorus adsorption curves. **Soil Science**, v. 29, p.447-462, 1978.
- BHATTACHAYYA, K. G.; GUPTA, S. S. Adsorptive accumulation of Cd (II), Co (II), Cu (II), Pb (II) and Ni (II) from water on montmorillonite: Influence of acid activation. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.310, p.411-424, 2007.
- BAYAT, B. Comparative Study of Adsorption Properties of Turkish Fly Ashes: I. The Case of Nickel (II), Copper (II) and Zinc (II). **Journal of Hazardous Materials**, v. 95, p.251-273, 2002.
- BEREKET, G.; AROGUZ, A. Z.; OZEL, M. Z. Removal of Pb (II), Cd (II), Cu (II) and Zn (II) from aqueous solutions by adsorption on bentonite. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.187, p.338-343, 1997.
- CARVALHO, W. A.; MINCATO, R. L.; SILVA, L. A. S. Retenção de

- metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolecita (Morro Reuter-RS). **Revista Tecnológica**, v. 9, p.25-29, 2000. (Especial).
- DIAS, N. M. P.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C.; CAMARGO, O. A. Isotermas de adsorção de cádmio em solos ácidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, p.229-234, 2001.
- FREITAS, T. C. M. **O cromo na indústria de curtumes de Mato Grosso do Sul, Brasil: Aspectos Ecológicos**. 2006. 118 f. Tese (Doutorado) - Programa Multiinstitucional de Pós-Graduação em Ciência da Saúde, Campo Grande, 2006.
- HARVEY, N. W.; CHANTAWONG, V. Adsorption of Heavy Metals by Ballclay: their Competition and Selectivity. **Journal of Tokyo University of Information Sciences**, v.5, n.1, p. 79-86, 2001.
- LACIN, O.; BAYRAK, B.; KORKUT, O.; SAYAN, E. Modeling of adsorption and ultrasonic desorption of cadmium (II) and zinc (II) on local bentonite. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 292, p.330-335, 2005.
- MELLAH, A. ; CHEGROUCHE, S. The removal of znc from aqueous solutions by natural bentonite. **Water Research**, v.31, n.3, p.621-629, 1007.
- MIRANDA-TREVINO, J. C. ; COLES, C. A. Kaolinite properties, structure and influence of metal retention on pH. **Applied Clay Science**, v. 23, p. 133-139, 2003.
- NASEEM, R.; TAHIR, S. S. Removal of Pb (II) from aqueous/acidic solutions by using bentonite as an adsorbent. **Water Research**, v.35, n.16, p. 3982-3986, 2001.
- PAGANINI, W. S.; SOUZA, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, L. R.; LIMA, J. M. Avaliação do comportamento de metais pesados no tratamento de esgotos por disposição no solo. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.9, p. 225-239, 2004.
- PIERANGELI, M. A. P.; NÓBREGA, J. C. A.; LIMA, J. M.; GUILHERME, L. R. G.; ARANTES, S. A. C. M. Sorção de cádmio e chumbo em Latossolo Vermelho Distrófico sob efeito de calcário e fosfato. **Revista**

- Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, p.42-47, 2009.
- POTGIETER, J. H.; POTGIETER-VERMAAK, S. S.; KALIBANTONGA, P. D. Heavy metals removal from solution by palygorskite clay. **Minerals Engineering**, v.19, p. 463-470, 2006.
- RODRIGUES, M .G. F.; SILVA, M. L. P.; SILVA, M. G. C. Caracterização da argila bentonítica para utilização na remoção de chumbo de efluentes sintéticos. **Cerâmica**, v. 50, p.190-195, 2004.
- SANCHEZ, A. G.; ALASTUEY, A.; QUEROL, X. Heavy metal adsorption by different minerals: application to the remediation of pollutes soils. **The Science of the Total Environment**, v.242, p.179-188, 1999 a.
- SANCHEZ, A. G.; AYUSO, E. A.; BLAS, J. Sorption of heavy metals from industrial waste by low-cost mineral silicates. **Clay Minerals**, v.34, p.469-477, 1999 b.
- SANTOS, A. L.; BRAGA, A. H.; CARVALHO, W. A. Avaliação da retenção de cromo por argilas funcionalizadas com mercaptosilanos. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ADSORÇÃO, 7, 2008, Campina Grande, **Anais...** Campina Grande: UFCG, 2008. p.196.
- SANTOS, C. P. F.; MELO, D. M. A.; MELO, M. A. F.; SOBRINHO, E. V. Caracterização e usos de argilas bentonitas e vermiculitas para a adsorção de cobre (II) em solução. **Cerâmica**, v. 48, p. 178- 182, 2002.
- SODRÉ, F. F. LENZI, E.; COSTA, A. C. S. Utilização de modelos físicos-químicos de adsorção no estudo comportamento do Cobre em solos argilosos. **Química Nova**, v. 24, p. 324-330, 2001.
- SPOSITO, G. On the Langmuir equation in the interpretation of adsorption phenomena. II. The two – Surface Langmuir equation. **Soil Science Society American Journal**, v. 46, p.1174-1252, 1982.
- STADELLA, C. C.; POCRIFKA, J. R. O.; COSSICH, E. S. Efeito da utilização de solução tampão sobre a biossorção de cromo (III) pela biomassa da alga marinha *Sargassum* sp. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 25, p.77-82, 2003.

TITO, G. A. **Remediação de solos contaminados por metais pesados através do uso de bentonita**. 2009. 105 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Campina Grande, 2009.

TITO, G. A.; CHAVES, L. H. G.; RIBEIRO, S.; SOUZA, R. S.

Isotermas de adsorção de cobre por bentonite. **Caatinga**, v. 21, n.3, p. 16-21, 2008a.

TITO, G. A.; CHAVES, L. H. G.; SOUZA, R. S. Zinc adsorption in bentonite clay: particle size and pH influence. **Caatinga**, v. 21, n.5, p. 1-4, 2008b.