

# Capacidade de remoção do Cd por zeólita natural

*Removal capacity of Cd by natural zeolite*

Leticia Cristina de Souza<sup>1\*</sup>, Joana Cassetari Rodrigues<sup>2</sup>, Mari Lucia Campos<sup>3</sup>, Jaime Antônio de Almeida<sup>3</sup>, Cristian Berto da Silveira<sup>4</sup>, Felipe Cordova Machado<sup>5</sup>, Grasiela Spada<sup>5</sup>

Recebido em 17/11/2010; aprovado em 12/04/2012.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo determinar a eficiência na remoção de cádmio por zeólita natural disponível na região do Planalto Catarinense (zeólita basalto - ZB) comparando sua eficiência com uma zeólita comercial importada de Cuba (ZC). A capacidade de troca dos materiais zeolíticos foi determinada pelo método de Kitsopoulos (1999). O efeito do pH na remoção de Cd foi avaliado a pH 3,0; 4,0; e 5,0 ( $\pm 0,2$ ) e concentrações iniciais de 20 e 500 mg L<sup>-1</sup>. A competição entre o Cd e Cr foi determinado na concentração inicial de 20 mg L<sup>-1</sup> de Cd e Cr e valores de pH 4,0 e 5,0. A capacidade máxima de remoção de Cd foi avaliada em pH 4,0 e concentrações iniciais de 20, 40, 80, 120, 200, 500 mg L<sup>-1</sup>. A quantificação do teor de cádmio e cromo foi realizada por espectroscopia de absorção atômica com sistema de atomização por chama do tipo ar-acetileno. Para teste de médias da porcentagem removida de Cd<sup>+2</sup> e Cr<sup>+3</sup> em diferentes valores de pH foi utilizado Scott-Knott a 5% de significância. O aumento do pH de 3,0 para 4,0 para ZC aumentou a remoção de Cd e para ZB isso ocorreu no aumento do pH de 4,0 para 5,0. A ZC apresentou maior remoção em pH 4,0 e a ZB em pH 5,0. A maior porcentagem dessorvida foi para ZB na concentração inicial 500 mg L<sup>-1</sup>. Na remoção competitiva houve maior

remoção para cromo. A capacidade máxima de remoção calculada para Cd foi de 3433 mg kg<sup>-1</sup> para ZC e 1387 mg kg<sup>-1</sup> para ZB.

**PALAVRAS-CHAVE:** metais pesados, sorção, materiais zeolíticos.

## SUMMARY

This study aimed to determine the efficiency of the removal of cadmium by natural zeolite available in the region of Southern Brazil (zeolite basalt - ZB) comparing its performance with a commercial zeolite imported from Cuba (ZC). The exchange capacity of zeolite materials was determined by the Kitsopoulos (1999) method. The effect of pH on removal of Cd was measured at pH 3.0, 4.0 and 5.0 ( $\pm 0.2$ ) and initial concentrations of 20 and 500 mg L<sup>-1</sup>. The competition between Cd and Cr was determined in the initial concentration of 20 mg kg<sup>-1</sup> of Cd and Cr and pH 4.0 and 5.0. The maximum removal of cadmium was assessed at pH 4.0 and the initial concentrations of 20, 40, 80, 120, 200, 500 mg L<sup>-1</sup>. Quantification of cadmium and chromium was carried out by atomic absorption spectrometry with flame atomisation system type air-acetylene. To test the average percentage of removed Cd<sup>+2</sup> and Cr<sup>+3</sup> at different pH values we used the Scott-Knott 5% significance level. The increase in pH from

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV/UDESC. Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, SC. E-mail: leti\_quimica@yahoo.com.br. \* Autora para correspondência.

<sup>2</sup> Curso de Farmácia Univesc. Av. Marechal Floriano, 947, CEP 88501-103, Lages, SC, Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Solos e Recursos Naturais - CAV/UDESC.

<sup>4</sup> Centro de Educação Superior da Região Sul, CERES/UDESC. Avenida Colombo Machado Salles, s/n, Bairro Progresso, CEP 88.790.000, Laguna, SC, Brasil.

<sup>5</sup> Curso de Engenharia Florestal - CAV/UDESC.

3.0 to 4.0 for increased removal of ZC and ZB Cd that occurred on increasing the pH from 4.0 to 5.0. The ZC showed higher removal at pH 4.0 and pH 5.0 in ZB. The highest percentage was desorbed for ZB initial concentration 500 mg L<sup>-1</sup>. The competitive removal was more significant for chromium. The maximum removal of Cd was calculated to 3433 mg kg<sup>-1</sup> for ZC and 1387 mg kg<sup>-1</sup> for ZB.

**KEY WORDS:** heavy metals, sorption, zeolitic materials.

## INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas, industriais e outras têm contribuído para um aumento significativo de íons metálicos em águas, representando fonte de contaminação, principalmente quando se considera que esses íons podem ser disseminados via cadeia alimentar.

Os métodos utilizados frequentemente para reduzir a concentração de metais pesados em águas residuais como a precipitação química, troca iônica, eletrodialise, ultrafiltração, osmose reversa e a adsorção possuem algumas desvantagens, tais como alto custo e baixa eficiência operacional. Isso incentivou a busca por materiais adsorventes e tecnologias de baixo custo (WANG e PENG, 2010). Para a troca iônica, as zeólitas merecem uma atenção especial devido à sua seletividade para alguns cátions (BARROS et al., 2006). A grande aplicação desse mineral como adsorvente se deve a algumas de suas características como seletividade geométrica (peneiras moleculares), seletividade energética de adsorção e elevada capacidade de adsorção (SILVA, 1998). As zeólitas são utilizadas em: remoção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de efluentes municipais e industriais e metais pesados de efluentes industriais (ZAMBON, 2003). As zeólitas podem melhorar a eficácia no uso de nutrientes como o aumento da disponibilidade de P da rocha fosfática e melhorando o aproveitamento do N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (BERNARDI et al., 2008). Na área ambiental são utilizadas na recuperação de áreas afetadas por derrames de petróleo, óleo combustível e gasolina, em águas

contaminadas por metais pesados (CORREIA et al., 2010a; CORREIA et al., 2010b), tratamento de drenagem ácida de minas (SOUSA, 2010) e águas poluídas por material orgânico (MONTE e REZENDE, 2005).

Sendo assim, levando em consideração o alto custo dos tratamentos químicos convencionais para a remoção de metais pesados de efluentes e a disponibilidade de material zeolítico de baixo custo e com potencial para uso como adsorvente, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do pH na remoção de cádmio por material zeolítico de origem mineral identificado e coletado no município de Urupema, SC.

## MATERIAL E MÉTODOS

As análises foram realizadas no Departamento de Solos e Recursos Naturais do Centro de Ciências Agroveterinárias, UDESC, Lages, SC, em 2009 e 2010. Foi utilizado um material zeolítico que preenche o basalto (ZB), encontrado no município de Urupema, SC, e, para efeito de comparação, uma zeólita comercial importada de Cuba (ZC) pela Empresa Celta Brasil, do tipo clinoptilolita. As amostras dos materiais zeolíticos foram peneiradas com o intuito de uniformizar a granulometria do material e obter partículas de diâmetro < 0,75 mm.

A caracterização mineralógica desses materiais zeolíticos foi realizada por Correia et al. (2010a) através de difratometria de raios-X. A amostra de ZC à temperatura ambiente foi identificada como sendo uma zeólita do tipo clinoptilolita e a amostra da ZB em temperatura ambiente do tipo heulandita.

A capacidade de troca catiônica (CTC) foi determinada pelo método de saturação de amônio descrito por Kitsopoulos (1999). Para tanto foram pesados 20 g dos materiais (ZC e ZB) e adicionados 125 mL de uma solução de NH<sub>4</sub>OAc 1 mol L<sup>-1</sup> tamponada a pH 7. O tempo de contato, entre os materiais zeolíticos e o acetato de amônio foi de 12 dias. Após o tempo de contato o amônio foi destilado em semi-micro Kjeldahl e quantificado por titulação. A CTC foi determinada pela quantidade de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> adsorvido

eletrostaticamente no complexo de troca dos materiais.

Os testes de remoção foram conduzidos de acordo com o protocolo descrito por Kocaoba et al. (2007). O pH das soluções foi ajustado utilizando  $\text{HNO}_3$  a  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  e  $\text{NaOH}$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . A relação material:solução utilizada foi de 1:10. O tempo de contato do material foi de 2 horas, sendo 1 hora de agitação e 1 hora de repouso. Após o tempo de contato, as suspensões de cada material foram centrifugadas e o sobrenadante retirado para leitura.

A quantidade removida foi calculada, aplicando-se as seguintes equações:

$Mrem = (Ci - Ce) * (V \div m)$ ;  $Madc = [(Ci) * (V \div m)]$ ; e  $\%M = [(Mrem \div Madc)] * 100$  em que: Mrem é a quantidade de Cd removido, em  $\text{mg kg}^{-1}$  de material; Ce é a concentração de equilíbrio depois de 2 horas, em  $\text{mg L}^{-1}$ ; m é a massa de material, em g; Madc é a quantidade de Cd adicionado, em  $\text{mg kg}^{-1}$  de zeólita; Ci é a concentração inicial de Cd, em  $\text{mg L}^{-1}$ ; V é o volume, em mL, da solução padrão de Cd para se atingir as concentrações desejadas; e % M é a porcentagem de Cd removido pelos materiais.

Os sais utilizados foram o  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , PA; e  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , PA. Os testes de remoção para Cd compreendiam um ciclo de remoção e um de dessorção. Para dessorção foi utilizado a zeólita saturada com o metal (processo de remoção) mais 10 mL de água destilada com ajuste de pH para o desejado. O tempo de dessorção foi de uma hora de agitação seguido de centrifugação e o sobrenadante foi retirado para leitura. Cabe informar que a dessorção não foi realizada com o intuito de medir eficiência de recuperação do adsorvente, mas, para quantificar quanto do Cd dessorve em solução extremamente diluída.

A quantificação do teor de cádmio e cromo foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica com sistema de atomização por chama do tipo ar-acetileno. Todos os testes foram conduzidos em triplicata.

No caso específico do teste de efeito de pH foram utilizadas as concentrações iniciais de 20 e  $500 \text{ mg L}^{-1}$ , os valores de pH  $3,0 \pm 0,2$ ;

$4,0 \pm 0,2$ ; e  $5,0 \pm 0,2$  nas condições descritas acima. Para teste de médias da porcentagem removida em diferentes valores de pH foi utilizado Scott-Knott a 5% de significância.

Para determinação da capacidade máxima de remoção de Cd foram utilizadas as concentrações iniciais de 20, 40, 80, 120, 200,  $500 \text{ mg L}^{-1}$  e ajuste de pH no valor  $4,0 \pm 0,2$ . Para o cálculo da capacidade máxima de remoção de Cd pelos materiais zeolíticos foram construídas isotermas.

Na competição entre o Cd e Cr a solução padrão continha concentração inicial de  $20 \text{ mg L}^{-1}$  de Cd e Cr e seu pH foi ajustado para 4,0 e 5,0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para CTC houve diferença estatística entre os materiais, sendo que a ZC possui maior CTC que a ZB (Tabela 1). Os valores de CTC foram de  $424,5 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1} \text{ NH}_4^+$  para ZC e  $85,1 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1} \text{ NH}_4^+$  para ZB. Isso pode ser explicado pelo fato de que a ZB apresenta apenas 25% de heulandita em sua composição, enquanto que a ZC possui 90% de clinoptilolita. Se a ZB fosse constituída de 100% de Heulandita, resultaria em uma CTC de  $343,48 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1} \text{ NH}_4^+$ . Estes dados corroboram com os dados obtidos por Doula (2006) para uma clinoptilolita proveniente da Grécia, com valor de CTC  $235 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1} \text{ NH}_4^+$  obtida através de dedução de fórmula química.

A análise de variância revelou interação significativa entre pH, material e dose. Entretanto, verificou-se que não houve efeito do pH para os materiais na menor concentração inicial ( $20 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Tabela 2).

Tabela 1 - Capacidade de troca de cátions (CTC) de ZC e ZB expressa em milequivalente de  $\text{NH}_4^+$  por 100 g de zeólita.

Materiais	CTC (meq 100 g / $\text{NH}_4^+$ )
ZC	424,5 A*
ZB	85,1 B

\*Médias não seguidas da mesma letra diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Para ZC a porcentagem de Cd removido, na maior Ci adicionada (500 mg L<sup>-1</sup>) aumentou com o aumento do pH de 3,0 para 4,0 e diminuiu em pH 5,0 (Tabela 2). Para ZB a porcentagem removida aumentou com o aumento do pH de 4,0 para 5,0. A porcentagem removida de Cd variou entre 36,6 – 97,6% para ZC e entre 23,5 – 99,1% para ZB.

O aumento da remoção com o aumento do pH é explicado pelo fato de que com o aumento do pH a concentração de íons H<sup>+</sup> livres em solução diminui. No processo de troca iônica na zeólita, quanto mais ácida for a solução, maior será a competição entre os íons H<sup>+</sup> e os metais de transição pelos sítios de adsorção, o que dificulta a adsorção destes. Rao et al. (2006) estudaram a adsorção de Cd e Zn de soluções aquosas por zeólitas e bentonita e encontraram a remoção máxima de Cd em pH 6,0 (Ci 25,0 a 100 mg L<sup>-1</sup> e pH 2,0 a 8,0) e a adsorção de Cd e Zn aumentou com o aumento do pH da solução. Isto difere do encontrado no presente estudo onde a maior porcentagem removida foi em pH 5,0 e o aumento da remoção com o aumento do pH foi observado na maior Ci adicionada (500 mg L<sup>-1</sup>) para ZC de 3,0 para 4,0 e para ZB de 4,0 para 5,0.

Comparando a porcentagem removida entre os materiais na Ci 500 mg L<sup>-1</sup>, a maior

porcentagem removida para ZC foi 75,68% a pH 4,0, enquanto que para ZB foi 98,96 a pH 5,0 (Tabela 2). Essas diferenças encontradas na remoção entre os materiais demonstram que a diferença no valor de CTC não influenciou no processo, mas que o aumento do pH foi o fator preponderante para o aumento da remoção pela ZB. Izidoro (2008) verificou o efeito do pH inicial na remoção de Cd<sup>2+</sup> por zeólitas (Ci = 562 mg L<sup>-1</sup>, tempo de contato 2 horas) e encontrou uma menor porcentagem de remoção, 82% a pH 5,0, inferior a porcentagem de remoção observado neste trabalho para ZB.

A análise de variância para a dessorção revelou que não houve interação significativa entre pH, material e dose. As interações foram encontradas para pH e dose e material e dose. A maior porcentagem dessorvida ocorreu a pH 3,0 na Ci 500 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 3). Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que o cádmio é um elemento químico de transição com orbital d<sup>10</sup> preenchido (SHAWABKEH et al., 2004) e é adsorvido quimicamente, na forma de complexo de esfera externa. Isso é um processo reversível, porém, se faz necessária uma grande quantidade de energia para que ocorra a dessorção.

O Cd apresenta tendência à adsorção eletrostática e conseqüentemente adsorve

Tabela 2 - Porcentagem de Cd removido em ZC e ZB em pH 3,0; 4,0 e 5,0 nas concentrações iniciais 20 mg L<sup>-1</sup> e 500 mg L<sup>-1</sup>.

pH	Materiais Zeolíticos	
	ZC	ZB
Concentração inicial de Cd 20 mg L <sup>-1</sup>		
3,0	97,58 Aa*	95,89 Aa
4,0	96,48 Aa	97,93 Aa
5,0	97,66 Aa	99,13 Aa
Concentração inicial de Cd 500 mg L <sup>-1</sup>		
3,0	36,67 Ca	30,67 Ba
4,0	75,68 Aa	23,52 Bb
5,0	50,69 Bb	98,96 Aa

\*Médias não seguidas da mesma letra, maiúsculas na vertical e minúsculas na horizontal, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p < 0,05).

as cargas negativas do mineral, ou seja, no complexo de troca. Isso pode explicar também o porquê da maior dessorção a pH 3,0. Neste valor de pH houve a troca entre  $\text{Cd}^{2+}$  e o íon  $\text{H}^+$  nos sítios de troca do mineral. Verificou-se, ainda, que na menor  $\text{Ci}$  ( $20 \text{ mg L}^{-1}$ ) não houve diferença entre os materiais, enquanto que para  $500 \text{ mg L}^{-1}$  a dessorção foi maior para ZB (Tabela 4), o que pode ser atribuído à sua menor CTC ( $85,1 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$  de  $\text{NH}_4^+$ ) comparativamente a ZC ( $424,5 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$  de  $\text{NH}_4^+$ ).

As curvas tipo sigmóide, observada para ZC e ZB na Figura 1 caracterizam-se por baixa taxa de adsorção em pequenas concentrações de metal na solução de equilíbrio e aumento da remoção com o aumento do metal até atingir a estabilização, ou seja, a capacidade máxima de remoção ( $\text{CM}_{\text{MáxRem}}$ ). A  $\text{CM}_{\text{MáxRem}}$  de Cd a pH 4,0 foi de  $3433 \text{ mg Kg}^{-1}$  para ZC e  $1387 \text{ mg Kg}^{-1}$  para ZB. A diferença na  $\text{CM}_{\text{MáxRem}}$  é atribuída a CTC dos materiais, sendo que a ZC possui uma CTC alta em relação à ZB.

Apiratikul e Pavasant (2008) avaliaram a adsorção de  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$  utilizando uma zeólita modificada por cinzas de carvão e a ordem de capacidade de remoção em uma unidade de mol  $\text{Kg}^{-1}$  foi  $\text{Pb}^{2+}$  (2,03) >  $\text{Cu}^{2+}$  (1,43) >  $\text{Cd}^{2+}$  (0,870), maior que a encontrada no presente estudo. No entanto, Bosso e Enzweler (2002) avaliaram a capacidade máxima de adsorção de  $\text{Cd}^{2+}$  na zeólita

escolocita sódica e obtiveram  $0,18 \text{ mg/g}$ . Isso se deve às diferenças nas condições experimentais, como tempo de contato, pH, natureza e CTC do material, temperatura e concentração inicial.

A análise de variância para porcentagem de remoção de cádmio revela que não houve diferença significativa entre zeólitas, porém houve diferença estatística na porcentagem removida entre sistemas (Isolado e Competindo). A porcentagem removida de Cd diminui na presença do Cr (Tabela 5). A explicação desse comportamento pode estar relacionado às diferenças físico-químicas entre os metais, como o raio hidratado, a carga iônica (valência) e a força coulômbica de interação com as zeólitas. A elevada remoção de Cr está associada a sua maior força coulômbica de interação com a zeólita, pois ele é um cátion trivalente, enquanto o cádmio é divalente e apresenta adsorção eletrostática, que são reações rápidas e reversíveis.

O Cr é considerado uma base forte de Lewis e reage com os grupamentos aluminol ( $\text{Al-OH}$ ), silanol ( $\text{Si-OH}$ ) e siloxane ( $\text{Si-O-Si}$ ), pois, os dois primeiros comportam-se como bases intermediárias e o último como base forte de Lewis (ALLOWAY, 1995). Os grupos silanol e aluminol quando deprotonados são considerados bases fortes de Lewis, por causa da presença do par de elétrons livres do oxigênio, podendo formar um complexo de coordenação

Tabela 3 – Porcentagem de Cd dessorvido em pH 3,0 4,0 e 5,0 nas concentrações iniciais ( $\text{Ci}$ )  $20 \text{ mg L}^{-1}$  e  $500 \text{ mg L}^{-1}$ .

$\text{Ci mg L}^{-1}$	pH		
	3,0	4,0	5,0
20	0,91 Ab*	0,40 Ab	0,36 Ab
500	36,64 Aa	5,74 Ba	6,55 Ba

\*Médias não seguidas da mesma letra, maiúsculas na vertical e minúsculas na horizontal, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Tabela 4 – Porcentagem de Cd dessorvido nas concentrações iniciais ( $\text{Ci}$ )  $20 \text{ mg L}^{-1}$  e  $500 \text{ mg L}^{-1}$ .

Material	$\text{Ci mg L}^{-1}$	
	20	500
ZC	0,11 Ab*	11,18 Ba
ZB	1,00 Ab	23,30 Aa

\*Médias não seguidas da mesma letra, maiúsculas na vertical e minúsculas na horizontal, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

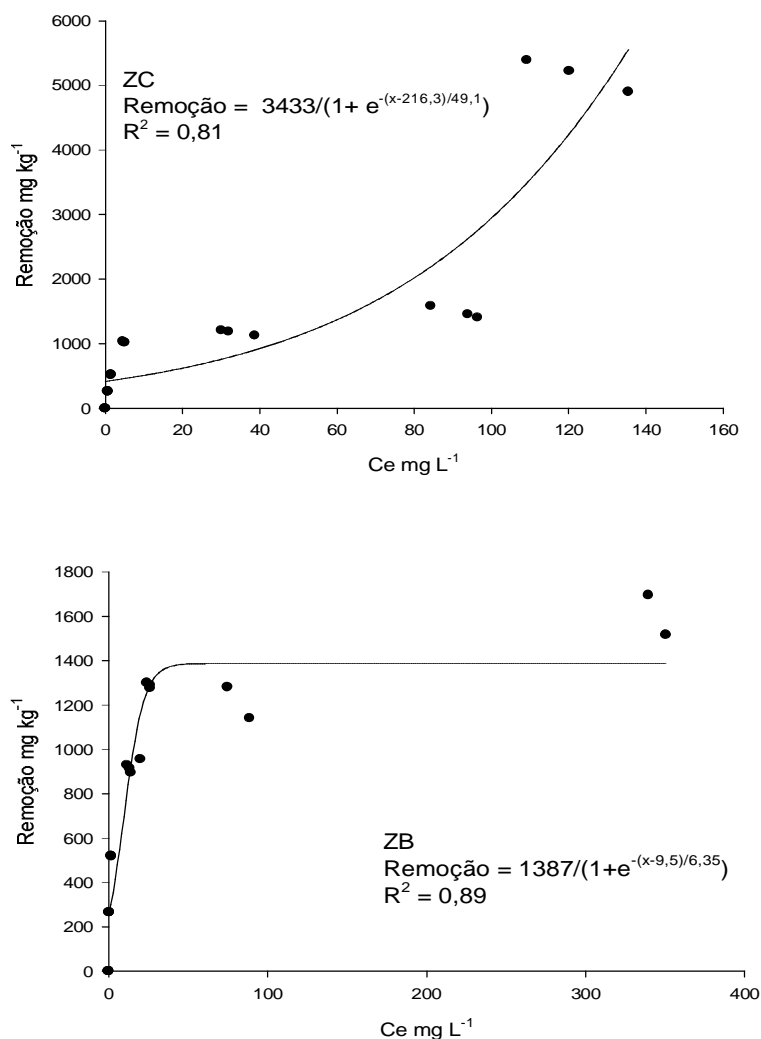


Figura 1 – Regressões utilizadas no cálculo da capacidade máxima de remoção de Cd por ZC e ZB em pH 4,0.

Tabela 5 – Porcentagem de remoção média de Cd e Cr em sistema isolado e competindo na concentração inicial de 20 mg L<sup>-1</sup>.

Sistema	% Cd removido	% Cr removido
Competição	93,77 A*	99,37 A
Isolado	98,40 A	99,42 A

\*Médias não seguidas da mesma letra diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

com entidades químicas elétron-deficiente, com os íons metálicos (PIMENTEL et al., 2006) e neste caso possuem maior interação com o Cr<sup>+3</sup> (complexo de esfera interna) em detrimento do Cd.

Jimenez et al. (2004) estudaram o efeito do pH na remoção de metais pesados Cd(II), Cr(III), Mn(II) e Ni(II) em sistema isolado pela zeólita natural escolecita proveniente do município de

Morro Reuter, RS, no qual as concentrações variaram de 10 a 5000 mg L<sup>-1</sup> com ajuste de pH para 4,0; 5,0; ou 6,0 pela adição de soluções 0,1 mol L<sup>-1</sup> de NaOH ou HCl. Para o cromo (III) a remoção total dos cátions ocorreu em concentrações de até 50 mg L<sup>-1</sup> e atingiu 96,5% quando o efluente continha 100 mg L<sup>-1</sup> do metal. Para cádmio a remoção foi praticamente total em baixas concentrações atingindo 75% com 50 mg

L<sup>-1</sup> do metal.

No presente trabalho obtivemos uma remoção de 93,77% para Cd e 99,37% para Cr na Ci de 20 mg L<sup>-1</sup>. Dal Bosco et al. (2004) avaliou o comportamento da zeólita natural escolecita na adsorção seletiva de cátions em pares e realizou testes para Cr/Cd. Esses autores não encontraram o mesmo comportamento deste estudo, pois a escolecita teve preferência pelo cádmio (II), quando a concentração inicial foi superior ou igual à do cromo (III). Os autores concluíram que nesse caso, a preferência da zeólita não foi determinada pela maior valência do cátion, mas sim pelo menor raio e energia de hidratação do Cd em relação ao Cr, sendo que, a diferença na energia de hidratação é bastante expressiva, 442 KJ mol<sup>-1</sup> para o Cd (II) e 1806 KJ mol<sup>-1</sup> para o Cr (III).

## CONCLUSÕES

Houve diferença estatística na CTC dos materiais, sendo que a ZC apresentou uma CTC maior do que a ZB.

Para cádmio a capacidade de remoção de soluções aquosas encontrada para ZC foi maior que a da ZB.

A porcentagem removida de Cd aumentou com o aumento do pH na Ci de 500 mg L<sup>-1</sup>.

No sistema de competição entre Cd e Cr houve maior remoção para cromo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. 2 ed. London: Blackie Academic & Professional, 1995. cap.1, 2 e 6, 368p.

APIRATIKUL, R.; PAVASANT, P. Sorption of Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, and Pb<sup>2+</sup> using modified zeolite from coal fly ash. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne v.144, p. 245-258, 2008.

BARROS, M. A. S. D. et al. Chromium uptake from tricomponent solution in zeolite fixed bed. **Adsorption**, Boston, v.12, p.239-248, 2006.

BERNARDI, A.C. de C. et al. **Potencial de uso de zeólitas na agropecuária**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. Disponível

em: <<http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/070publicacao gratuita/documentos/documentos85.pdf/view>> Acesso em: 12 mai. 2010.

BOSSO, S.T.; ENZWEILER, J. Evaluation of heavy metal removal from aqueous solution onto scolecite. **Water Research**, New York, v.36, p.4795-4800, 2002.

CORREIA, T. A. et al. Caracterização de zeólitas do Município de Urupema, SC, e sua capacidade de remoção de Cu<sup>+2</sup> de soluções aquosas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.9, p.29-38, 2010a.

CORREIA, T. A. et al. Zeólitas como materiais alternativos para remoção de Zn<sup>+2</sup> de soluções aquosas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.9, p.187-194, 2010b.

DALBOSCO, S.M. et al. Aplicação da zeólita escolecita na remoção de metais pesados de efluentes industriais: competição entre cátions e processo de dessorção. **Eclética Química**, São Paulo, v.29, p.47-56, 2004.

DOULA, M.K. 2006. Removal of Mn<sup>+2</sup> ions from drinking water by using Clinoptilolite and a Clinoptilolite-Fe oxide system. **Water Research**, New York, v.40, p.3167-3176, 2006.

IZIDORO, J. de C. **Estudos sobre a remoção de íons metálicos em água usando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão**. 2008. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nuclerares), São Paulo, 2008.

JIMENEZ, R. S. et al. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolecita – influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. **Química Nova**, São Paulo, v.27, p.734-738, 2004.

KITSOPOULOS, K. P. Cation-exchange capacity (CEC) of zeolitic materials; Applicability of the ammonium acetate saturation (AMAS) method. **Clays and clays Minerals**, v.47, p.688-696, 1999.

KOCAOBA, S. et al. Kinetics and equilibrium studies of heavy metal ion removal by use of natural zeolite. **Elsevier**, Amsterdam, v.214, p.1-

10, 2007.

MONTE, M. B. de M.; RESENDE, N. G. A. M. Zeólitas Naturais. In: CETEM Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia Coordenação de Processos Mineraiis – COPM. **Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações**. Rio de Janeiro, CETEM, 2005, cap. 33, p. 699-720.

PIMENTEL, P.M. et al. Caracterização e uso de xisto para adsorção de chumbo (II) em solução. **Cerâmica**, São Paulo, v.52, p.194-199, 2006.

RAO, G.P.C. et al. Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by zeolite 4A, zeolite 13X and bentonite. **Desalination**, Amsterdam, v.81, p.265–272, 2006.

SHAWABKEH, R.; et al. Conversion of oil shale ash into zeolite for cadmium and lead removal from wastewater. **Desalination**, Amsterdam, v.83, p.981-985, 2004.

SILVA, C.F. da. **Efeitos da troca iônica em zeólitas na adsorção de frutose**. 1998. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

SOUSA, K.C. **Avaliação da capacidade de remoção de metais por zeólitas e diatomitas em solução simuladora de drenagem ácida de mina**. 2010. 53p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

ZAMBON, G. A. **Remoção de Chumbo (Pb<sup>2+</sup>) utilizando Zeólita Natural Clinoptilolita**. 2003, 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas FE, Campinas – São Paulo, 2003.

WANG, S.; PENG, Y.; Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. **Desalination**, Amsterdam, v.156, p.11–24, 2010.