



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 METAIS PESADOS EM LUVISSOLOS E CAMBISSOLOS DO ESTADO DA PARAIBA

Lucia Helena Garófalo Chaves¹; Ramara Sena de Souza²; Iêde de Brito Chaves³;

Gilvanise Alves Tito⁴

RESUMO

A adsorção de metais pesados pode ser avaliada por modelo matemático descrito pela equação de Langmuir. O presente trabalho objetivou avaliar a adsorção de cobre e cádmio em amostras superficiais de Luvissoles e Cambissoles do Estado da Paraíba. Para a determinação das quantidades adsorvidas destes elementos, soluções (20 mL) com diferentes quantidades de Cu (5, 10, 20, 40, 60, 80 mg L⁻¹) e Cd (20, 30, 50, 100, 150, 200 mg L⁻¹), ajustadas ao pH 6, foram adicionadas a 2 g de terra fina seca ao ar, e deixadas em equilíbrio por 24 horas. O estudo mostrou que o modelo de Langmuir conseguiu descrever satisfatoriamente a adsorção do Cu e Cd pelos solos estudados; nenhuma das propriedades dos solos avaliada se correlacionou com os parâmetros de adsorção dos elementos; os Luvissoles e Cambissoles adsorvem mais cádmio e cobre, respectivamente. Nos dois solos estudados o cádmio é perdido como maior facilidade para o meio ambiente.

Palavras-chave: cobre, cádmio, modelo matemático, impacto ambiental.

HEAVY METALS ADSORPTION IN LUVISOLS AND CAMBISOLS OF PARAÍBA STATE

ABSTRACT

The adsorption of heavy metal can be evaluated by mathematical model described by Langmuir equation. The objective of this study was to evaluate copper and cadmium adsorption in surface samples of Luvisols and Cambisols from Paraíba State, Brazil. In order to quantify these adsorbed elements, 2 g of air-dried soil were equilibrated with 20 mL of solution containing different concentration of Cu (5, 10, 20, 40, 60, 80 mg L⁻¹) and of Cd (20, 30, 50, 100, 150 e 200 mg L⁻¹). The study showed that Langmuir model offered a good fit for Cu and Cd; the soil properties evaluated not correlated with parameters of adsorption of copper and cadmium; Luvisols e Cambisol adsorbs more cadmium and copper, respectively. In both soil cadmium is more easily lost.

Key-words: copper, cadmium, mathematical model, environmental impact.

Trabalho recebido em 03/04/2009 e aceito para publicação em 07/05/2009.

¹ Professora Dra.Titular da Universidade Federal de Campina Grande. Departamento de Engenharia Agrícola. Campina Grande-PB. e-mail: lhgarofalo@hotmail.com;

² Graduanda em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB. e-mail: ramarasena2005@yahoo.com.br;

³ Professor Dr. Associado II da Universidade Federal da Paraíba. Departamento de Solos e Engenharia Rural. Areia-PB. e-mail: iedebchaves@hotmail.com;

⁴ Doutoranda em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB.e-mail: gilvanisetito@yahoo.com.br.

1. INTRODUÇÃO

Em estudos ambientais, há a necessidade de se conhecer o comportamento adsorptivo de metais por solos, pois o efeito desfavorável em função de altas concentrações no meio ambiente está relacionado à habilidade desses substratos em adsorver tais substâncias.

A adsorção de metais é uma das mais importantes interações entre as fases sólida e líquida dos solos que determinam a retenção e/ou a liberação dos mesmos para o ambiente (HARTER, 1991). Esta interação pode ser influenciada por diversas propriedades dos solos, tais como, pH, conteúdo de argila, teor de matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (MARTINEZ; MOTTO, 2000). A elevação do pH aumenta o número total de cargas negativas do solo e, conseqüentemente, sua capacidade de adsorção de metais; os minerais de argila afetam a adsorção desses elementos através do seu efeito sobre a capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos e, a matéria orgânica influencia a adsorção devido à formação de substâncias complexas, solúveis e insolúveis, entre as substâncias húmicas e o elemento (WANG; HARRELL, 2005).

O comportamento de um metal no solo pode ser estudado aplicando-se modelos físico-químicos de adsorção. Em geral, a relação entre a quantidade de um

metal adsorvido pela fase sólida do solo e a sua concentração na solução do solo é determinada através de uma isoterma que permite conhecer a natureza dos processos de adsorção. Segundo Nascimento & Fontes (2004) o modelo de Langmuir descreve com facilidade o processo de adsorção de íons no solo permitindo fornecer parâmetros a serem relacionados com as propriedades do solo. Ele tem se mostrado adequado para estudos de adsorção de vários elementos em solos brasileiros como, por exemplo, zinco, cobre, boro e cromo, dentre outros (ARAÚJO; AMARAL SOBRINHO, 2000; SILVEIRA; ALLEONI, 2003; NASCIMENTO; FONTES, 2004; CHAVES et al., 2009).

Os elementos cobre (Cu) e cádmio (Cd), considerados como metais pesados, normalmente encontram-se associados à poluição, à contaminação e toxicidade. No entanto, o Cu é essencial aos seres vivos e por atender aos critérios de essencialidade para as plantas, é classificado como micronutriente. Apesar disto, este elemento, quando presente em altas concentrações no solo pode apresentar caráter tóxico. O Cd, por sua vez, é considerado um elemento-traço potencialmente tóxico para homens, animais e plantas.

De acordo com a literatura as concentrações médias dos elementos no solo são muito variadas. Tal variação é resultado da aplicação ao solo de pesticidas, fertilizantes orgânicos e inorgânicos, corretivos (AMARAL SOBRINHO et al., 1992; ADRIANO; ELRASHIDI, 1994; ALLOWAY, 1995; ARIAS et al., 2005), e, mais recentemente, da aplicação de resíduos domésticos e industriais em decorrência do crescente interesse pela sua utilização na agricultura (OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001; OLIVEIRA et al., 2002; McBRIDE; CHERNEY, 2004).

Cada solo possui uma capacidade adsorptiva própria, o conhecimento desta capacidade irá oferecer subsídios para a previsão de fitotoxicidade e da possível contaminação do lençol freático uma vez que, se essa capacidade for ultrapassada, o metal ficará potencialmente disponível para ser lixiviado (ARAÚJO; AMARAL SOBRINHO, 2000).

Considerando que os Luvisolos e Cambissolos são solos muito agricultáveis e de ocorrência na região Agreste do Estado da Paraíba, e, portanto, mais sujeitos as possíveis contaminações, objetivou-se com este trabalho avaliar a adsorção de cobre e de cádmio nos referidos solos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande-PB. Para os ensaios foram coletadas amostras da camada superficial (0 - 20 cm) de duas classes de solos com ocorrência na área da Bacia Hidrográfica do Riacho Camará: três amostras de Luvisolos Háplicos Órtico lítico (TXo-1; TXo-2; TXo-3); uma de Luvisolo Crômico Órtico vertissólico (TCo) e quatro de Cambissolos Háplicos Tb eutrófico (CXbe-1; CXbe-2; CXbe-3; CXbe-4). As amostras de solo foram destorroadas, secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm de diâmetro de malha e caracterizadas química e fisicamente de acordo com os métodos preconizados por Embrapa (1997) (Tabela 1). A referida bacia, cuja área total corresponde a 200 km², estende-se desde a região Agreste até a região do Brejo Paraibano, no Estado da Paraíba, Brasil.

O estudo de adsorção de cobre (Cu) e de cádmio (Cd) só foi possível ser realizado em seis (TXo-1; TXo-2; TXo-3; CXbe-1; CXbe-3; CXbe-4) e em sete amostras de solo (TXo-2; TXo-3; TCo; CXbe-1; CXbe-2; CXbe-3; CXbe-4), respectivamente.

Tabela 1. Propriedades químicas e física das amostras de solos utilizadas no estudo de adsorção.

Solo	pH	CO	P- disponível	CTC	Argila
		%	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	g kg ⁻¹
Luvisolo Haplico Ortico TXo-1	7,06	0,59	15,0	3,41	89
Luvisolo Haplico Ortico TXo-2	6,20	0,54	5,2	3,86	100
Luvisolo Haplico Ortico TXo-3	6,29	0,83	6,2	4,90	151
Luvisolo Crômico Ortico TCo	6,46	0,46	10,9	2,50	69
Cambissolo Haplico CXbe-1 (10)	6,36	0,47	3,8	5,41	69
Cambissolo Haplico CXbe-2 (11)	7,84	1,20	126,0	8,92	69
Cambissolo Haplico CXbe-3 (13)	6,10	0,65	10,9	3,92	39
Cambissolo Haplico CXbe-4 (14)	5,94	0,60	24,3	3,49	49

As amostras de solo (2g de TFSA), acondicionadas em tubos de centrífuga de 50 mL, em três repetições, foram agitadas por 1 h a 140 rpm e deixadas em repouso por 24 h à temperatura ambiente (22 ± 2 °C) com as soluções de tratamento de Cu (20 mL) de concentrações 5, 10, 20, 40, 60, 80 mg L⁻¹ e com as soluções de tratamento de Cd (20 mL) de concentrações 20, 30, 50, 100, 150 e 200 mg L⁻¹.

O pH das suspensões solo-solução de tratamento foi ajustado a valores próximos de pH $6,0 \pm 0,1$, com soluções diluídas de HCl e NaOH. Após o período de repouso, as suspensões foram filtradas e analisadas para Zn, Cu e Cd por espectrofotometria de absorção atômica. As concentrações de Cu e Cd adsorvidas foram consideradas a diferença entre aquelas inicialmente adicionadas (Co) e as remanescentes (Ce) após o período de equilíbrio.

A partir dos dados obtidos experimentalmente foram construídas isotermas de adsorção, plotando-se as quantidades de Cu e Cd adsorvidos na ordenada e as concentrações nas soluções de equilíbrio na abscissa.

A forma hiperbólica da equação de Langmuir é dada pela expressão:

$$\frac{x}{m} = \frac{(a \cdot b \cdot C_e)}{(1 + a \cdot C_e)} \quad (1)$$

em que x/m é a quantidade de Cu ou Cd adsorvidos ao solo em mg Cu(x) / g solo (m); “b” é a capacidade máxima de adsorção (CMA) do solo, em mg g⁻¹ de Cu ou Cd no solo; C_e é a concentração de Cu ou Cd na solução de equilíbrio (sobrenadante), em mg L⁻¹, e “a” é a constante relacionada com a energia de adsorção dos elementos ao solo, em (mg L⁻¹)⁻¹.

As constantes “a” e “b” foram estimadas através da equação linear de Langmuir, obtida pela transformação da equação hiperbólica, que corresponde a: $Ce/x/m = 1/ab + Ce/b$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises químicas dos solos (Tabela 1), interpretados segundo Lopes & Guidolin (1989), indicam, de acordo com os valores de pH, que os solos apresentam reação variando de fraca acidez até fraca alcalinidade, tendo uma amostra apresentado elevada alcalinidade e outra média acidez. Segundo os mesmos autores a capacidade de troca catiônica (CTC) varia de baixa (0 a 4,5 cmolc kg⁻¹) a média (4,6 a 10 cmolc kg⁻¹); os teores de matéria orgânica variam de baixo (0 a 15 g kg⁻¹) a médio (16 a 30 g kg⁻¹) tendo uma só amostra apresentado alto teor (>30 g kg⁻¹), e os teores de fósforo disponível variam de baixo (0 a 20 mg dm⁻³) a alto (> 30 mg dm⁻³), entretanto, predominam teores baixos.

Na Tabela 2 são apresentadas as equações linearizadas de Langmuir para a adsorção de cobre e cádmio. O modelo foi adequado aos valores experimentais corroborando com vários trabalhos encontrados na literatura (SODRÉ et al., 2001; SILVEIRA; ALLEONI, 2003; NASCIMENTO; FONTES, 2004; IGLESIAS; ALLEONI, 2007; CHAVES et

al., 2009). Entretanto, segundo Pierangeli et al. (2009), dados de adsorção de cádmio em Latossolo Vermelho Amarelo tiveram melhor ajuste pelo modelo de Freundlich.

As diferentes relações entre os teores de cobre e de cádmio nas soluções de equilíbrio e os adsorvidos nos solos (Figura 1 e 2), indicam que esses solos são diferentes quanto à afinidade de adsorção dos elementos. Essa afinidade é resultante de vários processos que interagem e que são influenciados pelas propriedades dos solos, como por exemplo, pH, teor de matéria orgânica, teor e tipo de argila, CTC, entre outras. Por essa razão é que diferentes amostras de solo, mesmo pertencentes a uma mesma classe de solo, podem apresentar comportamentos diferentes quanto à adsorção dos elementos, como por exemplo, no caso do cobre e do cádmio, as amostras TXo-1 e CXbe-4, e as amostras TCo, CXbe-1 e CXbe-3, em relação as demais amostras, respectivamente.

As quantidades adsorvidas de cobre aumentaram em função das doses adicionadas sendo que à medida que estas aumentaram, o incremento da adsorção foi menos acentuado, com exceção das amostras TXo-1 e CXbe-1, o que pode ser observado pela inclinação das curvas (Figura 1).

Tabela 2. Equações de Langmuir em sua forma linearizada e seus coeficientes de determinação; parâmetros de ajuste da equação de Langmuir referentes aos dados de adsorção de cobre e cádmio nos solos estudados.

Solo	Equação	R ²	CMA	Energia de ligação
			mg g ⁻¹	L mg ⁻¹
Cobre				
TXo-1	$C/x/m= 1,3750 C + 0,2459$	0,72	0,7273	5,5915
TXo-2	$C/x/m=1,1972 C + 1,1953$	0,98	0,8353	1,0016
TXo-3	$C/x/m= 1,5867 C + 1,1584$	0,88	0,6302	1,3698
CXbe-1	$C/x/m= 1,4841 C + 0,1850$	0,94	0,6738	8,0223
CXbe-3	$C/x/m= 1,3976 C + 0,2945$	0,99	0,7155	4,7457
CXbe-4	$C/x/m= 1,0548 C + 0,9852$	0,82	0,9480	1,0707
Cádmio				
TXo-2	$C/x/m= 0,762 C + 1,115$	0,98	1,1315	0,7924
TXo-3	$C/x/m= 0,761 C + 2,004$	0,95	1,3141	0,3796
TCo	$C/x/m= 1,186 C + 4,787$	0,99	0,8430	0,2478
CXbe-1	$C/x/m= 2,342 C + 4,002$	0,98	0,4270	0,5851
CXbe-2	$C/x/m= 0,883 C + 1,149$	0,99	1,1324	0,7688
CXbe-3	$C/x/m= 2,049 C + 2,438$	0,98	0,4881	0,8404
CXbe-4	$C/x/m= 0,928 C + 2,345$	0,98	1,0776	0,3956

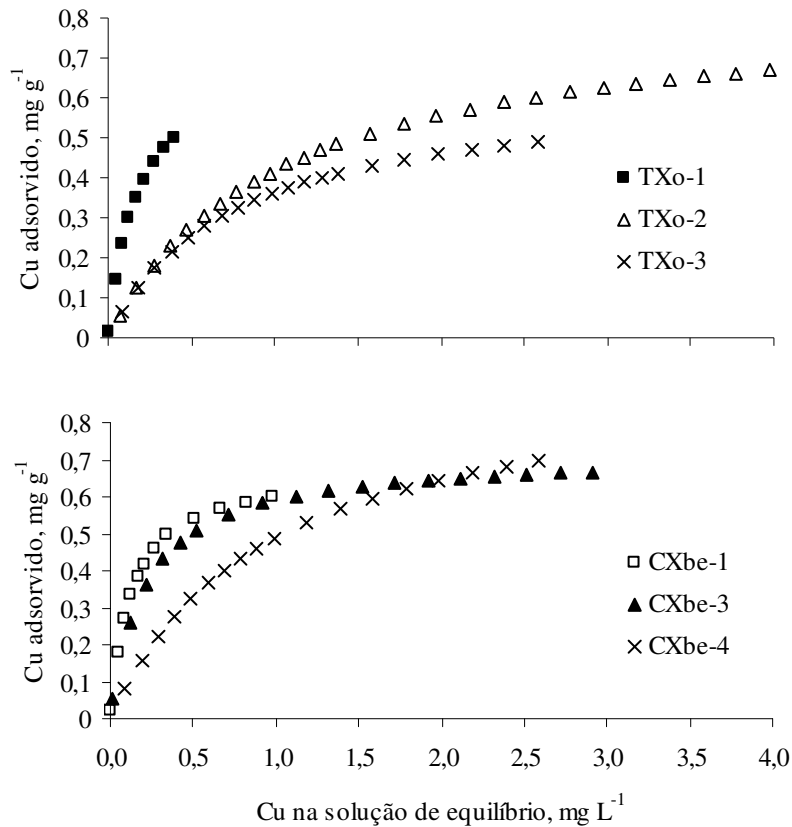


Figura 1. Relação entre os teores de Cu na solução de equilíbrio e os adsorvidos nas amostras de Luvisolos (TXo) e Cambissolos (CXbe)

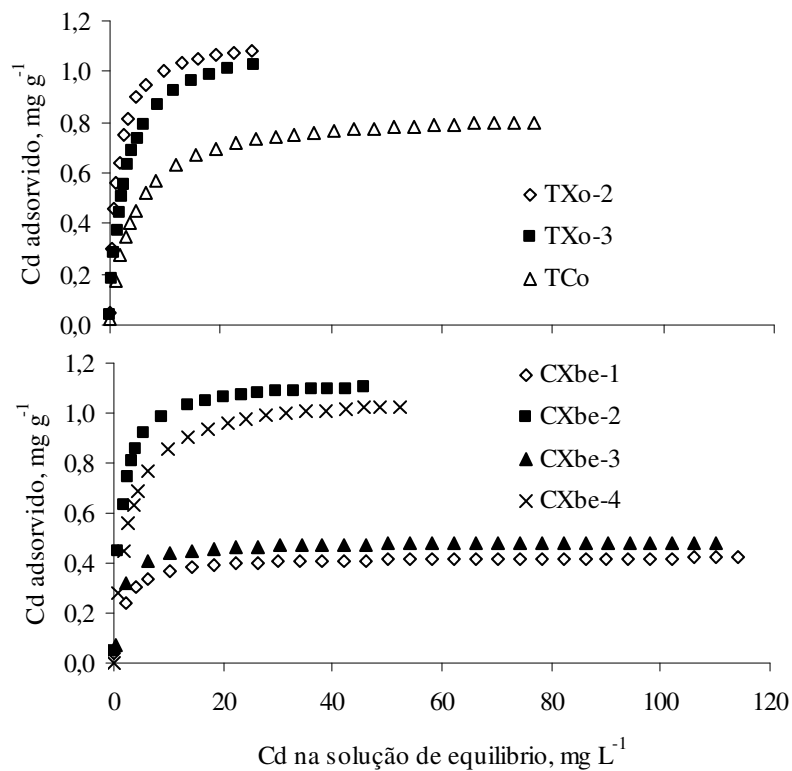


Figura 2. Relação entre os teores de Cd na solução de equilíbrio e os adsorvidos nas amostras de Luvisolos (TXo, TCo) e Cambissolos (CXbe).

De acordo com Silveira & Alleoni (2003), quanto mais concentrada a solução, menos fortemente o elemento é retido. O cobre, em baixas concentrações forma ligações de alta estabilidade com a superfície dos colóides (SPARKS, 1995), porém, à medida que os sítios de adsorção vão se saturando, diminui a afinidade do solo pelo metal (PETRUZZELLI et al., 1985). Nas amostras TXo-1, CXbe-1 e CXbe-3, houve elevada afinidade do cobre pelos seus sítios de adsorção, cujas isotermas são do tipo “H”, conforme classificação de Giles et al. (1974).

Comparando os valores da capacidade de adsorção do cobre pelos LUVISSOLOS pode-se observar que há pouca diferença entre eles, no entanto, vale ressaltar que no TXo-1 o elemento ficou retido com maior energia (Tabela 2). No caso dos CAMBISSOLOS, o comportamento da adsorção foi semelhante, ou seja, a amostra CXbe-1 foi a que apresentou menor capacidade de adsorção do cobre, no entanto, adsorve o elemento com maior energia, provavelmente, por apresentar maior teor de argila e CTC que as demais amostras de solo, corroborando com Silveira & Alleoni (2003) e Chaves et al. (2009). O fato das reações químicas ocorrerem, em grande parte, na superfície dos colóides, a fração argila, que possui superfície específica

reativa, exerce um controle considerável na adsorção do cobre (ALLEONI et al., 2005).

As inclinações das curvas (isotermas do tipo “H”) (Figura 2), correspondentes às amostras TXo-2, TXo-3, CXbe-2 e CXbe-4, indicam a elevada afinidade do cádmio pelos sítios de adsorção dessas amostras. Isto fez com que a quantidade de cádmio adicionada, principalmente nas baixas concentrações, fosse quase toda adsorvida, permanecendo na solução de equilíbrio baixas concentrações do elemento. Em menor proporção isto também é observado na amostra TCo. O contrário pode ser observado nas amostras de solo CXbe-1 e CXbe-3, que apresentaram menor adsorção de cádmio, permanecendo na solução de equilíbrio grande quantidade do elemento adicionado ao solo (isoterma do tipo “L”).

Comparando os valores de CMA de cádmio pelos LUVISSOLOS, nota-se que a amostra TXo-3, com maiores teores de argila e de carbono orgânico (CO), conseqüentemente, maior CTC, foi a que apresentou o maior valor de CMA (Tabela 2). Entre os CAMBISSOLOS, a amostra CXbe-2 apresentou maior valor de CMA seguida da amostra CXbe-4, na qual a adsorção de cádmio deve ter sido influenciada tanto pelo teor de argila quanto ao do CO. O menor valor de CMA correspondente a amostra CXbe-1,

provavelmente, foi decorrente do menor teor de CO presente na mesma, uma vez que apresenta o mesmo teor de argila que a amostra CXbe-2.

A partir dos parâmetros obtidos pelas equações de Langmuir (variáveis independentes) (Tabela 2) e, considerando algumas características dos solos estudados (variáveis explicativas) (Tabela 1), fez-se um estudo de correlação simples entre variáveis, cujos resultados encontram-se na Tabela 3. Este tipo de análise torna-se importante por oferecer um sentido mais prático às observações.

Em relação à adsorção de cobre, não houve correlação significativa entre os parâmetros da equação de Langmuir e as propriedades dos solos (Tabela 3), discordando de Sodré, et al. (2001), que encontraram correla o significativa com os valores de CTC, de Alleoni et al. (2005), que encontraram efeito do pH e teor de argila e de Nascimento & Fontes (2004), que encontraram efeito significativo do pH, carbono orgânico (CO) e CTC. Vale salientar que estes últimos autores encontraram efeito significativo do P remanescente sobre a CMA. A adsor o do cobre não foi influenciada de forma significativa pelo CO, corroborando com Sodré et al. (2001). Segundo estes autores, este relacionamento pode parecer paradoxal, tendo em vista a

grande afinidade entre o cobre e os componentes orgânicos.

A ausência de efeito direto da CTC na adsor o de cobre demonstra, possivelmente, uma menor contribui o da adsor o não específica, através do mecanismo de forma o de complexos de esfera externa (sítios de troca) para solos intemperizados (McBRIDE, 1989; McBRIDE et al., 1997; SPOSITO, 1989; ALLOWAY, 1995). Provavelmente, o cobre   adsorvido através da forma o de complexos de esfera interna, demonstrando a importância da adsor o específica na reten o do elemento.

Quanto   adsor o de cádmio, também não houve correla o significativa entre os parâmetros obtidos pelas equa es de Langmuir (Tabela 3) e as características químicas dos solos (Tabela 1), discordando de vários autores (PETRUZZELLI et al., 1985; DIAS et al., 2001; ALLEONI et al., 2005). De acordo com Pierangeli et al. (2005), vários trabalhos não têm evidenciado correla es significativas entre a matéria orgânica e a adsor o de cádmio (YUAN; LAVKULICH, 1997; McBRIDE et al., 1997; GRAY et al., 1999), principalmente pela utiliza o de solos com teores semelhantes de matéria orgânica e por não haver, na maioria das vezes, controle do pH, no qual a adsor o está ocorrendo.

Tabela 3. Correlação entre constantes da isoterma de Langmuir e características dos solos.

Propriedades dos solos	Energia de ligação		CMA	
	Cu	Cd	Cu	Cd
pH	0,48 ns	0,23 ns	-0,39 ns	0,22 ns
C.O.	-0,40 ns	0,32 ns	-0,36 ns	0,48 ns
P-disp	-0,28 ns	0,31 ns	0,72 ns	0,30 ns
CTC	0,39 ns	0,55 ns	-0,68 ns	0,08 ns
Argila	-0,35 ns	-0,26 ns	-0,45 ns	0,63 ns

ns, não-significativo

Como citado por McBride et al. (1997) e Dias et al. (2001), o efeito do pH pode sobrepujar o efeito de alguns atributos do solo na adsorção de cádmio e outros elementos-traço. Segundo Alleoni et al. (2005), os diferentes resultados encontrados na literatura relacionados ao efeito dos atributos dos solos sobre a adsorção de Cd, se devem as diferenças na natureza dos constituintes minerais e orgânicos e na composição da solução do solo, que determinam o comportamento dos metais.

Embora no presente trabalho não tenha havido correlações significativas entre a adsorção de cádmio e os atributos dos solos, pode-se dizer, com base no que foi exposto, que os valores de CMA devem ter sido influenciados pelos teores de argila e principalmente pelos de CO presentes nos solos. Segundo Dias et al. (2003), o principal sitio de adsorção de cádmio é a superfície dos grupos carboxílicos e

fenólicos. Nesses grupos, o radical OH apresenta-se quase sempre dissociados nas condições normais de pH do solo, o que permite a retenção eletrostática de cádmio. A formação de complexos húmicos é pouco provável, pois as constantes de estabilidade destes complexos com o elemento são muito baixas (SAUVÉ et al., 2000).

A persistência e a mobilidade de cádmio no solo são determinadas pela intensidade da adsorção pelos colóides, sendo este elemento considerado relativamente móvel no perfil dos solos, em comparação com outros metais pesados (PARDO, 2000). Desta forma, em solos que apresentam baixa energia de adsorção, muitas vezes, apresentando alto valor de CMA, como é o caso do TXo-3 e CXbe-4 (Tabela 2), o cádmio pode ser mais facilmente liberado para o ambiente.

Aumento na adsorção de metais à superfície das partículas dos solos é

desejável, por ser uma forma de reduzir a mobilidade dos mesmos no perfil do solo e seus impactos ambientais (PIERANGELI et al., 2009). Como base nos valores de CMA (Tabela 2), pode-se dizer que, em geral os LUVISSOLOS têm maior capacidade de adsorver cádmio do que cobre, no entanto o elemento é retido com menor força de ligação, ficando mais sujeito a liberação para o meio ambiente. Já os CAMBISSOLOS, apresentam maior capacidade em adsorver cobre em relação ao cádmio.

4. CONCLUSÕES

O modelo de Langmuir conseguiu descrever satisfatoriamente a adsorção do cobre e cádmio para os solos estudados.

As propriedades dos solos avaliadas não se correlacionaram com os parâmetros de adsorção do cobre e do cádmio.

Os LUVISSOLOS e CAMBISSOLOS adsorvem mais cádmio e cobre, respectivamente.

Nos dois solos estudados o cádmio é perdido como maior facilidade para o meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica concedida à segunda autora

REFERÊNCIAS

- ADRIANO, D. C.; ELRASHIDI, M. A. Interactions of contaminants with soil components and environmental restoration. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15., 1994, Acapulco. **Proceedings...** Acapulco: ISSS/Mexican Society of Soil Science, 1994. v.6b, p.667-691.
- ALLEONI, L. R. F.; IGLESIAS, C. S. M.; MELLO, S. C.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; LAVORENTI, N. A. Atributos do solo relacionados a adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.27, n.4, p.729-737, 2005.
- ALLOWAY, B. J. The origins of heavy metals in soil. In: ALLOWAY, B. J. (org.). **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley. p.29-39. 1995.
- AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A. C. X. Metais pesados em fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.271-276, 1992.
- ARAUJO, W. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Influência das propriedades físicas e químicas de solos intemperizados na adsorção de chumbo, cobre e zinco. **Floresta e Ambiente**, v.7, n.1, p.167-180, 2000.
- ARIAS, M.; PÉREZ-NOVO, C.; OSORIO, F.; LÓPEZ, E.; SOTO, B. Adsorption and desorption of copper and zinc in the surface layer of acid soils. **Colloid and Interface Science**, v.288, n.1, p.21-29, 2005.
- CHAVES, L. H. G.; BRITO, M. E. B.; CARVALHO, A. P.; DANIEL, R.; RIBEIRO, S.; SANTOS, R. T. Adsorção de cobre em amostras de plintossolo do Estado do Piauí, com diferentes características. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.226-232, 2009.

- DIAS, N. M. P.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C.; CAMARGO, O. A. Adsorção de cádmio em dois Latossolos ácidos e um Nitossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.297-304, 2001.
- DIAS, N. M. P.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C.; CAMARGO, O. A. Energia livre da reação de adsorção de cádmio em latossolos ácidos. **Ciência Rural**, v.33, p.829-834, 2003.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 212p. 1997.
- GILES, C. H.; SMITH, D.; HUITSON, A. A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm. I. Theoretical. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.47, n.2, p.755-765, 1974.
- GRAY, C. W.; McLAREN, R. G.; ROBERTS, A. H. C.; CONDRON, L. M. Solubility, sorption and desorption of native and added cadmium in relation to properties of soils in New Zealand. **European Journal Soil Science**, v.50, p.127-137, 1999.
- HARTER, R. D. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils. In: MORTVERDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (ed.). **Micronutrient in the agriculture**. Madison: Soil Science Society of America. p.59-88. 1991.
- IGLESIAS, C. S. M.; ALLEONI, L. R. F. 2007. Adsorção competitiva de Cd, Cu, Ni e Zn em solos tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...**Gramado: SBCS, 2007. CDRom.
- LOPES, A. S.; GUIDOLIN, J. A. **Interpretação de análise do solo: conceitos e aplicações**. 2.ed. São Paulo: ANDA. 64p. 1989.
- MARTINEZ, C. E.; MOTTO, H. L. Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. **Environmental Pollution**, v.107, n.1, p.153-158, 2000.
- McBRIDE, M. B. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. **Advances in Soil Science**, v.10, n., p.1-55, 1989.
- McBRIDE, M. B.; CHERNEY, J. **Molybdenum, sulfur and other trace elements in farm soils and forages after sewage sludge application**. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.35, n.3-4, p.517-535, 2004.
- McBRIDE, M. B.; SAUVÉ, S.; HENDERSHOT, W. Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. **European Journal Soil Science**, v.48, p.337-346, 1997.
- NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F. Correlação entre características de Latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p.965-971, 2004.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, v.58, n.4, p.807-812, 2001.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ABREU JUNIOR, C. H. Movimentação de metais pesados em Latossolo adubado com composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.12, p.1787-1793, 2002.
- PARDO, M. T. **Sorption of lead, copper, zinc and cadmium by soils: effect of nitroacetic acid on metal retention**. Communications in Soil Sciences and Plant Analysis, v.33, p.31-40, 2000.
- PETRUZZELLI, G.; GUIDI, G.; LUBRANO, L. **Ionic strength effect on heavy metal adsorption by soil**. Communication in Soil Science and Plant Analysis, v.16, p.971-986, 1985.

- PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; COSTA, E. T. S. Efeito do pH na adsorção e dessorção de cádmio em Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.4, p.523-532, 2005.
- 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, n.1, p.42-47, 2009.
- SAUVÉ, S.; NORVELL, W. A.; McBRIDE, M.; HENDERSHOT, W. Speciation and complexation of cadmium in extracted soil solutions. **Environmental Science & Technology**, v.34, p.291-296, 2000.
- SILVEIRA, M. L. A.; ALLEONI, L. R. F. Copper adsorption in tropical soils. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.46, n.4, p.529-536, 2003.
- SODRÉ, F. F.; LENZI, E.; COSTA, A. C. S. Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos. **Química Nova**, v.24, n.3, p.324-330, 2001.
- SPARKS, D. L. Sorption phenomena on soils. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Environmental soil chemistry**. San Diego: California. p.99-139. 1995.
- SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press. 234p. 1989.
- WANG, J. J; HARRELL, D. L. Effect of ammonium, potassium, and sodium cations and phosphate, nitrate and chloride anions on zinc sorption and lability in selected acid and calcareous soils. **Soil Science Society America Journal**, v.69, n.4, p.1036-1046, 2005.
- YUAN, G.; LAVKULICH, L. M. **Sorption behavior of copper, zinc, and cadmium in response to simulated changes in soils properties**. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.28, n. 3-4, p.571-587, 1997.