

Ramara S. Souza¹Lúcia H. G. Chaves²Josely D. Fernandes³

Adsorção de zinco e sua relação com características de solos do Estado da Paraíba

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, caracterizar a adsorção de Zn em amostras de onze solos do Estado da Paraíba e as influências das propriedades dos solos sobre os parâmetros de adsorção obtidas pela equação de Langmuir. Para tanto, foram utilizadas 20 mL de solução de NaCl 0,01 M com diferentes quantidades de Zn (1, 2, 5, 10, 15, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 mg L⁻¹) adicionados a 2 g de terra fina seca ao ar e agitados durante 2 h. A equação de Langmuir foi eficiente na determinação dos parâmetros de adsorção de Zn, sendo a capacidade de troca catiônica a propriedade dos solos mais bem relacionada com a capacidade de adsorção desse elemento. O pH, carbono orgânico, P remanescente e o teor de argila dos solos, não se correlacionaram com os parâmetros de adsorção de Zn. Os solos com argila de alta atividade, e os solos mais intemperizados, foram os que apresentaram maior e menor capacidade máxima de adsorção, respectivamente.

Palavras-chave: micronutriente, isoterma de adsorção, Langmuir

Adsorption of zinc and its relationship with characteristics of soils of Paraíba State, Brazil

ABSTRACT

The present study examined the adsorption of zinc and its relationship with characteristics of eleven soils from the State of Paraíba, Brazil, with a wide range of chemical properties. In order to quantify the adsorbed Zn, 2 g of air-dried soil were stirred in tubes, for 2 h with 20 mL of a NaCl (0,01 M) solution containing different quantities of Zn (1, 2, 5, 10, 15, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 mg L⁻¹). The Langmuir equation was adequate for providing Zn adsorption coefficients. The cation exchange capacity was the soil property that best correlated to Zn adsorption of soils. The pH, organic carbon, remaining P and the clay contents were not correlated to coefficients of Zn adsorption. Soils with clay of high activity and weathered soils presented highest and lowest maximum adsorption capacity, respectively.

Key words: micronutrients, adsorption isotherms, Langmuir

¹ Graduanda em Engenharia Agrícola, Bolsista do PIBIC/CNPq

² Professora Titular, Dept° de Engenharia Agrícola, UFCG, lhgarofalo@hotmail.com

³ Doutorando, Bolsista do CNPq, josehsolo@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O elemento zinco (Zn), apesar de essencial aos seres vivos pode, em concentrações elevadas, tornar-se tóxico para plantas e animais. O aumento da concentração do elemento no solo pode ser resultado da aplicação de agrotóxicos, fertilizantes orgânicos e inorgânicos, corretivos (Amaral Sobrinho et al., 1992; Adriano, 1994; Alloway, 1995; Arias et al., 2005) e, mais recentemente, da aplicação de resíduos domésticos e industriais em decorrência do crescente interesse pela utilização desses resíduos na agricultura (Oliveira & Mattiazzo, 2001; Oliveira et al., 2002; McBride & Cherney, 2004).

A concentração de Zn nos solos é governada pelos processos de adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, complexação e oxirredução, que podem ser influenciados 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 Zn; os minerais de argila afetam a adsorção do elemento através do seu efeito sobre a capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos e a matéria orgânica influencia a adsorção de Zn devido à formação de substâncias complexas, solúveis e insolúveis, entre as substâncias húmicas e o elemento (Wang & Harrell, 2005). A adsorção é, talvez, o principal processo entre os acima citados, a ser considerado para o entendimento da disponibilidade de Zn visto que as reações de adsorção/dessorção tendem a ser mais rápidas que os processos de precipitação/dissolução (Harter, 1991).

Como cada solo possui uma capacidade adsorptiva própria, o conhecimento desta capacidade oferecerá 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).

A utilização de isotermas de adsorção para estudos dos fenômenos de adsorção vem sendo utilizada há muitos anos. Elas, embora não esclareçam sobre os mecanismos químicos envolvidos na adsorção, ajudam, por correlação entre seus parâmetros e as propriedades dos solos, a descrever as características da adsorção. Entre os diversos modelos que descrevem a adsorção dos elementos no solo, os mais citados na literatura são aqueles propostos por Langmuir e por Freundlich (Sposito, 1989). Esses modelos são facilmente aplicáveis para adsorção de quaisquer íons pelo solo e se tem mostrado adequados para estudos de adsorção de Zn em solos brasileiros (Cunha et al., 1994; Araújo & Amaral Sobrinho, 2000; Silveira & Alleoni, 2003); eles apresentam, ainda, a vantagem de fornecer parâmetros que possam ser relacionados com propriedades dos solos (Nascimento & Fontes, 2004), tais como capacidade de troca catiônica (Silveira & Alleoni, 2003), matéria orgânica e óxidos de ferro (Silveira et al., 2002). Em trabalho realizado com diversos Latossolos, os teores de argila foram a característica mais bem relacionada com a capacidade de adsorção de Zn (Nascimento & Fontes, 2004) enquanto, Araújo & Amaral Sobrinho (2000) estudando a adsorção de Zn em vários solos brasileiros encontraram

maior correlação com o carbono orgânico mas Machado & Pavan (1987), não observaram relação entre matéria orgânica ou teor de argila com parâmetros de adsorção de Zn. Arias et al (2005), por sua vez, notaram em seus estudos, maior correlação com a CTC e com o pH dos solos.

Considerando-se a importância em se conhecer a capacidade de adsorção de um elemento para previsão da sua mobilidade e biodisponibilidade objetivou-se, com este trabalho, caracterizar a adsorção de Zn em diversos solos do Estado da Paraíba e analisar a influência das características dos solos sobre os parâmetros de adsorção obtidos pela equação de Langmuir.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande. Para os ensaios foram selecionados onze solos de diferentes municípios do Estado da Paraíba, com diferentes propriedades químicas e físicas. Tais solos fazem parte do banco de solos do Departamento de Solos e Engenharia Rural/CCA/UFPB os quais foram recentemente coletados nos locais das descrições dos mesmos, citados no Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba (Brasil, 1972). A atualização da nomenclatura dos solos foi feita com base nos critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999). Após a coleta, as amostras da camada arável dos solos (0–20 cm) foram destorroadas, secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm de diâmetro de malha; em seguida, as amostras foram caracterizadas física e quimicamente (Tabela 1) de acordo com Embrapa (1997).

As amostras de solo (2g de TFSA), acondicionadas em tubos de centrífuga de 50 mL, em três repetições, foram agitadas por 2 h a 140 rpm e deixadas em repouso durante 24 h a temperatura ambiente (22 ± 2 °C) com as soluções de tratamento de Zn (20 mL) de concentrações 1, 2, 5, 10, 15, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 mg L⁻¹ do elemento na forma de ZnCl₂ em 0,01 M de NaCl. 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 por espectrofotometria de absorção atômica. As concentrações de Zn adsorvidas foram consideradas a diferença entre aquelas inicialmente adicionadas e as remanescentes após o período de equilíbrio.

A equação de Langmuir, $C/x/m = 1/kb + C/b$, foi ajustada aos dados experimentais de adsorção de Zn e, nela, C = concentração de Zn na solução de equilíbrio em mg L⁻¹, x/m = quantidade de Zn adsorvida em mg g⁻¹ de solo, b = adsorção máxima (mg g⁻¹) e k = constante relacionada com a energia de ligação (L mg⁻¹) de Zn no solo. Após linearização da equação (C/x/m em função de C), a declividade (1/b) e o intercepto (1/kb) foram usados para calcular a capacidade máxima de adsorção (CMA); b, e a constante relacionada com a energia de ligação (k). A significância estatística dos coeficientes de

Tabela 1. Propriedades químicas e físicas das amostras de solos e municípios de coleta**Table 1.** Chemical and physical properties of the soil samples and municipality of collection

Solo	Município	pH	CO*	P-rem*	CTC*	Ki **	Argila (g kg ⁻¹)
			(dag kg ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	(cmol _c dm ⁻³)		
Argissolo Amarelo Distrófico, PAd	Jacumã	5,85	0,35	45	2,74	1,72	50
Argissolo Acinzentado Distrófico, PACd	Mamanguape	4,42	1,07	47	7,20	1,92	120
Argissolo Vermelho Eutrófico, Pve (1)	Sousa	6,30	0,90	35	10,38	2,11	220
Argissolos Vermelho-Amarelo Eutrófico, PVAe	Areia	5,46	1,07	28	8,18	2,46	250
Argissolos Vermelho Eutrófico, Pve (2)	Alagoa Grande	4,95	0,80	28	7,20	2,25	430
Luvissolo Hipocrômico Órtico, caráter planossólico, TPo-p	São Miguel de Taipu	6,19	0,76	41	13,74	3,42	130
Luvissolo Hipocrômico Órtico, caráter vértico, TPo-v	Cuité	7,23	0,43	37	19,84	4,21	200
Neossolo Litólico Eutrófico, RLe	Pocinhos	6,18	0,38	45	5,83	2,93	80
Neossolo Regolítico Eutrófico, RRe	Esperança	7,03	0,34	54	3,97	2,17	30
Neossolo Flúvico Ta Eutrófico, RUve	Sousa	7,33	0,89	44	16,91	3,20	240
Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, LVAe	Cuité	5,93	0,59	44	5,18	2,16	250

* CO = carbono orgânico

P rem = fósforo remanescente

CTC = capacidade de troca catiônica

** Ki = coeficiente de intemperização, dados apresentados em Brasil (1972)

correlação para as isotermas, tanto na forma original com na forma linearizada, foi o critério pelo qual os dados das mesmas foram testados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH dos solos variaram de 4,42 a 7,33 correspondentes, segundo Lopes e Guidollin (1989) à acidez elevada e alcalinidade fraca, respectivamente; os teores de argila variaram de 30 a 430 g kg⁻¹ e os valores de CTC foram de 3,97 a 19,84 cmol_c kg⁻¹, classificados como baixo e alto, respectivamente (Tabela 1).

Apesar das diferenças em propriedades físicas e químicas entre solos (Tabela 1), os coeficientes de correlação mostram que os dados experimentais foram bem ajustados à isoterma de Langmuir, tanto pela equação original quanto pela linearizada (Tabela 2) indicando que este modelo de isoterma é bem ajustado a diversos tipos de solo. Dados semelhantes foram obtidos por Machado & Pavan (1987), Yuan & Lavkulich (1997) e Nascimento & Fontes (2004).

As diferentes relações entre os teores de Zn na solução de equilíbrio e os adsorvidos nos solos (Figura 1) indicam que esses solos são diferentes quanto à afinidade de adsorção do elemento.

A maior afinidade pelo Zn pode ser notada pelas concentrações mais baixas remanescentes na solução de equilíbrio para os solos TPo-v, TPo-p, RUve, PVAe e PVe(1) (Figura 1). Os demais solos apresentaram menor afinidade pelo Zn, como pode ser constatado pela maior concentração do elemento na solução de equilíbrio e corroborado pelos valores da energia de ligação e da CMA obtidos a partir da isoterma em sua forma linearizada (Tabela 2) e apresentados na Tabela 3. A afinidade de um solo pelo Zn 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 e CTC, entre outras. No caso específico do presente trabalho, os solos com maior afinidade pelo Zn, apesar de diferirem entre si quanto à maioria dessas propriedades têm,

em comum, valores de CTC maiores que aqueles correspondentes aos solos com menor afinidade pelo elemento.

A mais alta quantidade adsorvida de Zn foi 1,0038 mg g⁻¹, encontrada no RUve, seguida de 0,9686 e 0,9481 mg g⁻¹ encontradas no TPo-v e TPo-p, respectivamente. A principal propriedade física que influencia a reatividade de um elemento no solo é a superfície específica das suas partículas. Em nossas condições, a superfície específica está relacionada ao teor de argila (Grohmann, 1970), o que poderia explicar, ao

Tabela 2. Equações de Langmuir em suas formas original e linearizada, e coeficiente de correlação referentes aos dados de adsorção de zinco nos solos estudados**Table 2.** Original and linear models of Langmuir equations and coefficient of correlation for the data of Zn adsorption of studied soils

Solo	Equação	r
Argissolo Amarelo Distrófico, PAd	$x/m = (0,2034 \times 0,2107 C)/(1 + 0,2034 C)$ $C/x/m = 23,336 + 4,7451 C$	0,8397** 0,9787**
Argissolo Acinzentado Distrófico, PACd	$x/m = (0,1680 \times 0,3823 C)/(1 + 0,1680 C)$ $C/x/m = 14,112 + 1,067 C$	0,9456** 0,9758**
Argissolo Vermelho Eutrófico, Pve (1)	$x/m = (0,4116 \times 0,6969 C)/(1 + 0,4116 C)$ $C/x/m = 3,486 + 1,453 C$	0,9730** 0,9762**
Argissolos Vermelho-Amarelo Eutrófico, PVAe	$x/m = (0,7884 \times 0,7885 C)/(1 + 0,7884 C)$ $C/x/m = 1,6086 + 1,2682 C$	0,9935** 0,9839**
Argissolos Vermelho Eutrófico, Pve (2)	$x/m = (0,1304 \times 0,6191 C)/(1 + 0,1304 C)$ $C/x/m = 12,385 + 1,6151 C$	0,9766** 0,9339**
Luvissolo Hipocrômico Órtico, caráter planossólico, TPo-p	$x/m = (0,1772 \times 0,9481 C)/(1 + 0,1772 C)$ $C/x/m = 5,9527 + 1,0547 C$	0,9878** 0,8391**
Luvissolo Hipocrômico Órtico, caráter vértico, TPo-v	$x/m = (0,2939 \times 0,9686 C)/(1 + 0,2939 C)$ $C/x/m = 3,5126 + 1,0324 C$	0,9899** 0,922**
Neossolo Litólico Eutrófico, RLe	$x/m = (0,1878 \times 0,5685 C)/(1 + 0,1878 C)$ $C/x/m = 9,365 + 1,759 C$	0,9909** 0,9869**
Neossolo Regolítico Eutrófico, RRe	$x/m = (0,3009 \times 0,5291 C)/(1 + 0,3009 C)$ $C/x/m = 6,2806 + 1,8898 C$	0,9889** 0,9922**
Neossolo Flúvico Ta Eutrófico, RUve	$x/m = (0,3707 \times 1,0038 C)/(1 + 0,3707 C)$ $C/x/m = 2,6871 + 0,9962 C$	0,9798** 0,9619**
Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, LVAe	$x/m = (0,31511 \times 0,4614 C)/(1 + 0,3151 C)$ $C/x/m = 6,8781 + 2,1674 C$	0,9714** 0,9909**

** : significativo a 1%

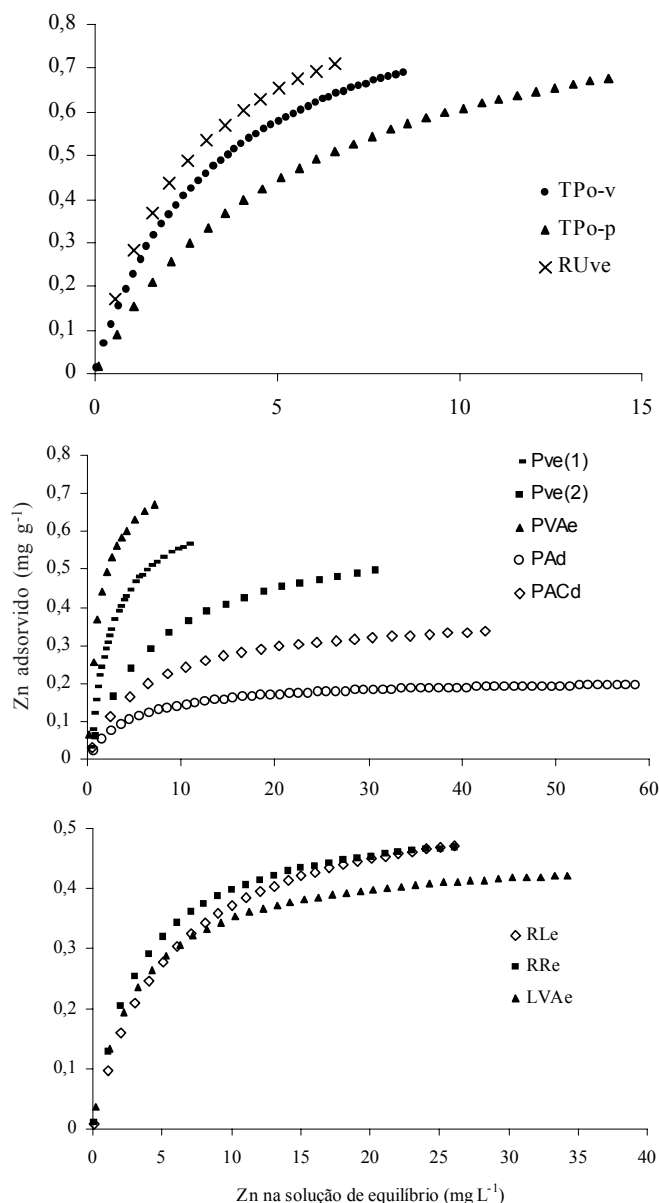


Figura 1. Relação entre os teores de Zn na solução de equilíbrio e os adsorvidos no solo

Figure 1. Relationship between Zn content in the equilibrium solution and adsorbed in soil

menos parcialmente, a maior adsorção de Zn. No entanto, o RUve, TPo-v e TPo-p não são os solos que apresentam os maiores teores de argila porém, segundo Brasil (1972), são pouco intemperizados ($K_i > 2,4$) (Tabela 1), com argila de atividade alta, argilas 2:1, o que lhes confere altos valores de CTC, favorecendo, assim, a adsorção de Zn. O fato dessas argilas serem expansíveis aumenta a capacidade de adsorção de Zn pelas mesmas uma vez que o elemento pode ser adsorvido entre suas lâminas no momento da expansão (Bradl, 2004). Em relação às propriedades químicas, esses solos apresentam, em geral, maiores teores de CO, valores de pH mais altos e, conseqüentemente, mais cargas negativas sobre a superfície dos colóides, o que deve ter contribuído para maior CMA de Zn. Resultados diferentes foram apresentados por Nascimento &

Tabela 3. Parâmetros de ajuste da equação de Langmuir para dados de adsorção de zinco nos solos estudados

Table 3. Parameters of the Langmuir equation for Zn adsorption data of studied soils

Solo	Energia de ligação (L mg ⁻¹)	CMA (mg g ⁻¹)
Argissolo Amarelo Distrófico, PAd	0,2034	0,2107
Argissolo Acinzentado Distrófico, PACd	0,1680	0,3823
Argissolo Vermelho Eutrófico, Pve (1)	0,4116	0,6969
Argissolos Vermelho-Amarelo Eutrófico, PVAe	0,7884	0,7885
Argissolos Vermelho Eutrófico, Pve (2)	0,1304	0,6191
Luvissolo Hipocrômico Órtico, caráter planossólico, TPo-p	0,1772	0,9481
Luvissolo Hipocrômico Órtico, caráter vértico, TPo-v	0,2939	0,9686
Neossolo Litólico Eutrófico, RLe	0,1878	0,5685
Neossolo Regolítico Eutrófico, RRe	0,3009	0,5291
Neossolo Flúvico Ta Eutrófico, RUve	0,3707	1,0038
Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, LVAe	0,3151	0,4614

Fontes (2004), Shuman (1975) e por Machado & Pavan (1987) que encontraram maiores valores de adsorção máxima de Zn para solos mais argilosos, independentemente dos teores de matéria orgânica.

A CMA de Zn para os solos Pve(2), Pve(1) e PVAe, corresponderam a 0,6191, 0,6969 e 0,7885 mg g⁻¹, respectivamente. O Pve(2) apresenta maior teor de argila que o PVAe e o Pve(1); no entanto, por diversas razões, tem menor CMA de Zn. Algumas dessas razões podem ser menor teor de CO, maior acidez e, conseqüentemente, menor CTC. Apesar do pH deste solo ter sido aumentado quando do ajuste do pH da suspensão solo-solução de tratamento com, provavelmente, o aparecimento de mais cargas negativas nas superfícies de seus colóides, isto talvez não tenha sido suficiente para provocar aumento na sua capacidade adsorviva. Segundo Sims & Kline (1991) o aumento do pH do solo, de 4,8 a 7,1, diminui a concentração de Zn trocável e aumenta a complexação do elemento pelos óxidos presentes nos solos, o que pode, também, ter ocorrido com o Pve(2). O PVAe, embora apresente maior teor de argila que o Pve(1); todavia, argila de atividade baixa, sua CTC é menor. Neste caso, sua maior capacidade em adsorver Zn deve estar relacionada ao maior teor de CO e provavelmente, ao aumento de cargas negativas na superfície dos colóides decorrente do ajuste do pH da suspensão solo - solução de tratamento a pH 6, estando de acordo com Harter (1983) e McBride (1989).

Os solos PAd e PACd, que ocorrem na região litorânea do estado, onde a precipitação pluviométrica é alta, são os mais intemperizados dentre os demais solos estudados (Tabela 1); eles apresentaram os menores valores de CMA de Zn, 0,2107 e 0,3823 mg g⁻¹, respectivamente, indicando a menor capacidade desses solos em adsorver o elemento. Comparativamente, o PACd apresentou maior CMA de Zn, provavelmente em função de seus maiores teores de argila e CO.

O LVAe, RLe e RRe tiveram comportamento semelhante em relação à adsorção de Zn (Figura 1) apresentando valores de CMA de 0,4614, 0,5685 e 0,5291 mg g⁻¹, respectivamente (Tabela 3). O LVAe, apesar de apresentar maior teor de argila do que o RLe e RRe, por ocorrer em região de maior precipitação pluviométrica, é um solo mais intemperizado e mais lixiviado (Tabela 1), o que lhe confere um valor de CTC semelhan-

te aos outros dois solos. O RLe, ao contrário, apesar de ter menor teor de argila, por ser um solo pouco intemperizado, possui, ainda, em sua constituição mineral de atividade alta e pH mais elevado o que, provavelmente, lhe confere mais cargas negativas na superfície dos colóides e, em consequência, um valor de CTC semelhante ao do LVAe.

De acordo com a literatura, as propriedades dos solos, tais como pH, conteúdo de argila, teor de matéria orgânica e capacidade de troca catiônica, dentre outras (Martinez & Motto, 2000) influenciaram a adsorção de Zn; todavia, no presente trabalho a única correlação significativa entre os parâmetros de adsorção da equação de Langmuir e as propriedades dos solos, foi obtida com os valores de CTC dos solos (Tabela 4)

Tabela 4. Correlações entre constantes da isoterma de Langmuir e propriedades dos solos

Table 4. Correlation between the parameters obtained in Langmuir equation and soil properties

Solo	Energia de ligação	CMA#
pH	0,12 ^{ns}	0,53 ^{ns}
Carbono orgânico	0,41 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Fósforo remanescente	-0,41 ^{ns}	-0,38 ^{ns}
Argila	0,18 ^{ns}	0,35 ^{ns}
Capacidade de troca catiônica	0,10 ^{ns}	0,89**

^{ns} e ^{**}: Não-significativo e significativo a 1%, respectivamente

CMA - Capacidade Máxima de Adsorção

concordando com Kiekens (1990), Singh et al. (1997) e Arias et al. (2005) e discordando de Pulford (1986), Cunha et al. (1994), Nascimento et al (2002) e Nascimento & Fontes (2004), que obtiveram baixa correlação entre os parâmetros de adsorção de Zn com a CTC. Segundo os últimos autores, o teor de argila do solo é o principal fator determinante na adsorção de Zn. A relação significativa entre os parâmetros de adsorção de Zn e a CTC e as relações não significativas com os valores de pH, teor de CO, P-rem e argila observadas, evidenciam a importância da troca iônica na retenção do Zn. Nascimento & Fontes (2004) estudando a adsorção de Zn em Latossolos também não encontraram correlação significativa entre os parâmetros da equação de Langmuir e os valores de pH, CO e P-rem. De acordo com estes autores, as diferenças entre os teores de CO e os solos e a maior afinidade entre Zn e superfície dos minerais, podem ser responsáveis pela ineficiência do P-rem em refletir adequadamente a capacidade de adsorção de Zn nesses solos.

CONCLUSÕES

A equação de Langmuir foi adequada na determinação dos parâmetros de adsorção de Zn nos solos estudados.

Os solos com argila de alta atividade, como o RUve, TPOp e TPO-v, e os solos mais intemperizados como PAD e PACd, foram os que apresentaram maior e menor capacidade máxima de adsorção, respectivamente.

A capacidade de troca catiônica foi a propriedade dos solos mais bem relacionada com a capacidade de adsorção do Zn nos solos.

O pH, carbono orgânico, P remanescente e teor de argila dos solos, não se correlacionaram com os parâmetros de adsorção de Zn.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba na pessoa do Professor Fábio Henrique Tavares de Oliveira por ceder as amostras de solo do banco de solos do referido Departamento.

LITERATURA CITADA

- 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.
- Alloway, B.J. The origins of heavy metals in soil. In: Alloway, B.J. (org.). Heavy metals in soils. New York: John Wiley, 1995. p.29-39.
- 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, Campinas, 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, Rio de Janeiro, 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, San Diego, v.288, n.1, p.21-29, 2005.
- Bradl, H.B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soil constituents. Journal of Colloid and Interface Science, San Diego, v.277, n.1, p.1-18, 2004.
- Brasil. Ministério da Agricultura. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro:MA/SUDENE, 1972. 683p. Boletim Técnico 15, Série Pedologia, 8
- Cunha, R.C.A.; Camargo, O.A.; Kinjo, T. Aplicação de três isotermas na adsorção de zinco em Oxissolos, Alfissolos e Ultissolos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.18, n.1, p.5-20, 1994.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- Grohmann, F.A. A superfície específica e sua correlação com propriedades físicas e físico-químicas do solo. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1970.52p. Tese Doutorado

- Harter, R.D. Effect of soil pH on sorption of lead, copper, zinc and nickel. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.47, p.47-51, 1983.
- Harter, R.D. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils. In: Mortvedt, J.J.; Cox, F.R.; Shuman, L.M.; Welch, R.M. (ed.). *Micronutrient in the agriculture*. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p.59-88.
- Kiekens, L. Zinc. In: Alloway, B.J. (ed.). *Heavy metals in soils*. Glasgow: Blackie and Son, 1990. p.261-277.
- Lopes, A.S.; Guidolin, J.A. Interpretação de análise do solo: conceitos e aplicações. 2.ed. São Paulo: Comitê de Pesquisa/Técnico/ANDA, 1989. 64p.
- Machado, P.L.O.; Pavan, M.A. Adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.11, n. 2, p.253-256, 1987.
- Martinez, C.E.; Motto, H.L. Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. *Environmental Pollution*, Essex, v.107, n.1, p.153-158, 2000.
- McBride, M. B. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. *Advances in Soil Science*, Baltimore, 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*, Philadelphia, v.35, n.3-4, p.517-535, 2004.
- Nascimento, C.W.A.; Fontes, R.L.F.; Neves, J.C.L.; Melicio, A.C.F.C. Fracionamento, dessorção e extração química de zinco em Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, n.3, p.599-606, 2002.
- 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*, Viçosa, v.28, n.6, p.965-971, 2004.
- Oliveira, F.C.; Mattiazzi, M.E. Mobilidade de metais pesados em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.58, n.4, p.807-812, 2001.
- Oliveira, F.C.; Mattiazzi, M.E.; Marciano, C.R.; Abreu Junior, C.H. Movimentação de metais pesados em Latossolo adubado com composto de lixo urbano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.12, p.1787-1793, 2002.
- Pulford, I.D. Mechanisms controlling zinc solubility in soils. *Journal Soil Science*, Oxford, v.37, n.3, p.427-438, 1986.
- Silveira, M.L.A.; Alleoni, L.R.F. Copper adsorption in tropical soils. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v.46, n.4, p.529-536, 2003.
- Silveira, M.L.A.; Alleoni, L.R.F.; Camargo, O.A.; Casagrande, J.C. Copper adsorption in oxidic soils after removal of organic matter and iron oxides. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Philadelphia, v.33, n.19-20, p.3581-3592, 2002.
- Sims, J.T.; Kline, J.S. Chemical fractionation and uptake of heavy metals in soils amended with co-composted sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.20, n.2, p.387-395, 1991.
- Singh, D., McLaren, R.G.; Cameron, K.C. Desorption of native and added zinc from a range of New Zealand soils in relation to soil properties. *Australian Journal of Soil Research*, Collingwood, v.35, n.6, p.1253-1266, 1997.
- Shuman, L.M. The effect of soil properties on zinc adsorption by soils. *Soil Science Society of America Proceeding*, Madison, v.39, n.2, p.454-458, 1975.
- Sposito, G. *The chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1989. 234p.
- 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*, Madison, 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*, Philadelphia, v.28, n. 3-4, p.571-587, 1997.