

Adsorção de zinco em Argissolos do Estado da Paraíba: efeito do pH¹

Zinc adsorption in Argisol from Paraíba State, Brazil: effect of pH

Lucia Helena Garófalo Chaves^{2,*}, Ramara Sena de Souza³ e Gilvanise Alves Tito⁴

Resumo - As reações dos metais pesados com o solo são importantes na determinação do destino dos mesmos no ambiente. O pH influencia a adsorção de cátions devido a variação das cargas elétricas. Este trabalho foi conduzido para investigar como a variação do pH da solução do solo afeta a adsorção de zinco em Argissolos do Estado da Paraíba. A partir de experimentos tipo “batch” foram elaboradas isotermas de adsorção, com quantidades crescentes de Zn (1 - 90 mg L⁻¹), submetidas a variações de pH (4 e 6). As isotermas foram do tipo H e L, e os resultados experimentais ajustaram-se ao modelo de Langmuir. A adsorção máxima variou de 0,1103 a 0,7491 mg g⁻¹ (pH 4) e de 0,3823 a 0,7885 mg g⁻¹ (pH 6), sendo que, o PVAe e o PVe (1), foram os solos que apresentaram maior capacidade de adsorção de zinco. A adsorção de Zn aumentou com a elevação do pH, embora a energia de ligação, em alguns solos tenha diminuído.

Palavras-chave - Langmuir. Metal pesado. Isoterma de adsorção.

Abstract - Reactions of heavy metals with the soil are important in determining metal fate in the environment. The pH influences the adsorption of cations due to the variation of the electric charge. This study was carried out to investigate how varying soil solution pH affects the zinc adsorption in Argisol samples from Paraíba State, Brazil. Adsorption isotherms were elaborated from batch adsorption experiments, with increasing Zn concentration (1 - 90 mg L⁻¹) and with 4 and 6 pH values. Isotherms were H and L - type and experimental results were fitted to nonlinear Langmuir model. Maximum adsorption ranged from 0.1103 - 0.7491 mg g⁻¹ (pH 4) and from 0.3823 - 0.7885 mg g⁻¹ (pH 6). Soils PVAe and PVe (1) had greater capacity for adsorption of Zn. Zinc adsorption increased with the elevation of the pH, although the bonding energy, in some soils, had decreased.

Key-words - Langmuir. Heavy metal. Adsorption isotherm.

*Autora para correspondência

¹Recebido para publicação em 22/02/2008; aprovado em 11/10/2008

²Eng. Agrônoma, Ph. D., Profa. Titular da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Av. Aprígio Veloso, 882, CEP: 58 109-970, Campina Grande, PB, lhgarofalo@hotmail.com

³Graduanda em Engenharia Agrícola, UAEAg/UFCEG, ramarasena2005@yahoo.com.br

⁴Eng. Agrícola, M. Sc., Doutoranda em Engenharia Agrícola, UAEAg/UFCEG, gilvanisetito@yahoo.com.br

Introdução

Os metais pesados podem ser adicionados aos solos através da aplicação de agrotóxicos, fertilizantes, corretivos (ARIAS et al., 2005), e recentemente, pela aplicação de resíduos domésticos e industriais em decorrência do crescente interesse pela utilização destes na agricultura (OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001; OLIVEIRA et al., 2002; McBRIDE; CHERNEY, 2004).

Nas últimas décadas tem sido observado que a concentração de zinco (Zn), em alguns solos agrícolas, tem aumentado em função do uso desses materiais (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). A fitotoxicidade do Zn e o risco de contaminação das águas superficiais e do lençol freático dependem da concentração do elemento na solução do solo, a qual é governada pelos processos de precipitação/dissolução, complexação, oxirredução e, principalmente, adsorção/dessorção (MARTINEZ; MOTTO, 2000).

Estudos em diferentes tipos de solos têm mostrado que os teores de argila, de óxidos, de matéria orgânica (MO) e carbonatos (KALBASI et al., 1978; PAPADOPOULOS; ROWELL, 1989; CATLETT et al., 2002), assim como o pH do solo, a força iônica e a composição da solução do solo são os principais fatores físicos e químicos que governam o processo de adsorção do zinco.

Solos intemperizados, como por exemplo, os Argissolos, geralmente apresentam baixa densidade de cargas elétricas, predominando nos mesmos, colóides com cargas elétricas dependentes do pH (McBRIDE, 1994). Assim, conforme o pH do solo, podem predominar cargas negativas ou positivas na superfície dos colóides, ou ainda, estes podem exibir carga líquida zero. Termo também conhecido como ponto de efeito salino nulo (PESN).

O aumento do pH dos solos com cargas elétricas variáveis modifica a superfície de cargas dos colóides, regulando a magnitude da adsorção nesses solos (CASAGRANDE et al., 2004; ARIAS et al., 2005). Em geral, a adsorção de metais pesados é pequena a valores baixos de pH, e em altos valores de pH, os íons metálicos são completamente retidos (BRADL, 2004). Lopes e Alleoni (2007), avaliando o efeito do pH na adsorção de metais, em solos do Estado de São Paulo, observaram para todos eles aumento na adsorção com a elevação do pH, até atingir, aproximadamente, 7. Sob condições tropicais, onde predominam solos ácidos, cuja acidez sempre é corrigida, a adsorção do Zn pode aumentar em função do aumento do pH influenciando na mobilidade e na biodisponibilidade do elemento, representando uma alternativa de remediação de solos contaminados (GARCIA-SANCHEZ et al., 1999). De acordo com Sims e Kline (1991), o aumento do pH de um solo ácido de 4,8

para 7,1 contribuiu para a redução do Zn trocável de 42 para 2%, aumentando as formas complexadas, bem como as ligações com óxidos.

No Estado da Paraíba predominam os Argissolos Vermelhos-Amarelos. Na região litorânea, mais úmida, estes solos, originados dos Sedimentos Barreiras, são distróficos, mais lixiviados; para o interior do Estado, originados do complexo gnaisse e granito, são todos eutróficos e mais férteis à medida que o clima se torna mais seco. Por ocorrerem em regiões sub-úmidas e úmidas, são solos intensivamente cultivados (BRASIL, 1972). Tendo em vista o predomínio de Argissolos no Estado, torna-se necessária a compreensão do comportamento destes em relação à adsorção do Zn para previsão da fitotoxicidade e de possível contaminação do lençol freático por esse elemento. Desta forma, objetivou-se com este trabalho, investigar como a variação do pH do solo afeta a adsorção de Zn em amostras de Argissolos do Estado da Paraíba.

Material e métodos

O trabalho foi realizado no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande - PB. Para o desenvolvimento do ensaio, foram selecionados quatro Argilossolos de diferentes municípios do Estado da Paraíba, com diferentes propriedades químicas e físicas. Após a coleta, as amostras dos solos (0–20 cm) foram destorroadas, secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm de diâmetro de malha, sendo a caracterização física e química efetuada de acordo com Embrapa (1997) (Tabela 1). O ponto de efeito salino nulo (PESN) foi obtido titulando as amostras dos solos com H^+ e OH^- , tendo as mesmas recebido soluções de NaCl nas concentrações 0,001; 0,01 e 0,1 M, de acordo com Alleoni e Camargo (1994). O valor do potencial elétrico de superfície (ψ_o) expresso em mV, foi calculado utilizando-se a equação de Nernst simplificada por Raji e Peech (1972) da seguinte forma: $\psi_o = 59,1 (PESN - pH)$.

Para o estudo de adsorção, utilizando-se uma modificação dos procedimentos citados por Casagrande et al. (2004), amostras de solo (2 g de TFSA) acondicionadas em tubos de centrifuga de 50 mL, com três repetições, foram agitadas por 2 h a 140 rpm e deixadas em repouso por 24 h à 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 4,0 e $6,0 \pm 0,1$, com soluções diluídas de HCl e NaOH. Após o período de repouso as suspensões foram filtradas e nos extratos obtidos, o Zn foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica. As concentrações

Tabela 1 - Propriedades químicas e físicas dos solos e respectivos municípios de coleta

Solo	Município	pH	PESN	CO1	CTC2	Ψ_0 3	Argila
Argissolo Acinzentado Distrófico, PACd	Mamanguape	4,42	3,48	10,7	7,20	-55,55	120
Argissolo Vermelho Eutrófico, PVe (1)	Sousa	6,30	4,29	9,0	10,38	-118,79	220
Argissolos Vermelho-Amarelo Eutrófico, PVAe	Areia	5,46	3,06	10,7	8,18	-120,13	250
Argissolos Vermelho Eutrófico, PVe (2)	Alagoa Grande	4,95	3,51	8,0	7,20	-85,10	430

¹CO = Carbono orgânico; ²CTC= capacidade de troca catiônica; ³ Ψ_0 = potencial elétrico

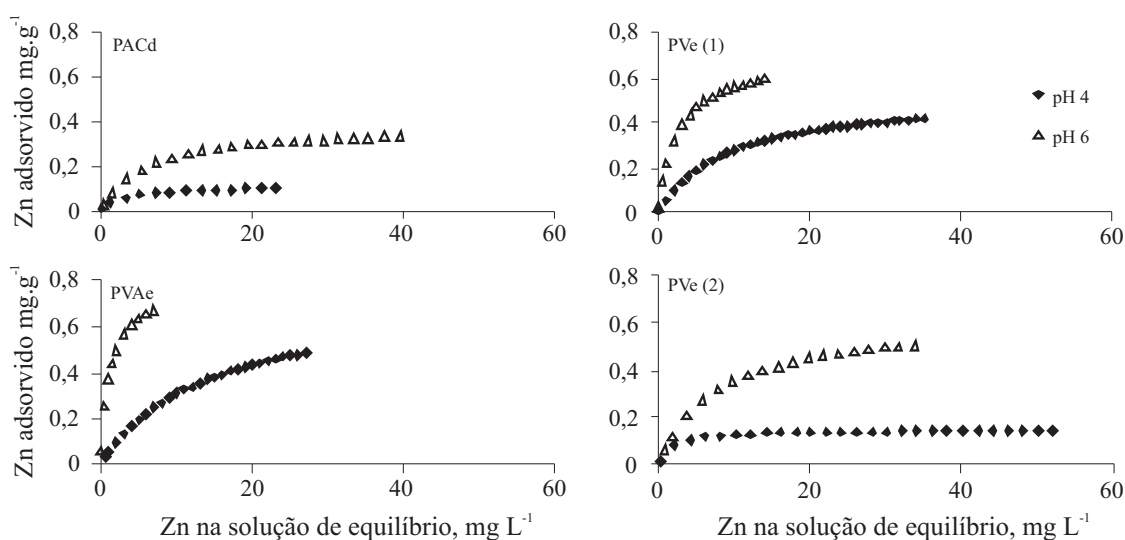


Figura 1 - Relação entre os teores de Zn na solução de equilíbrio e os teores adsorvidos nos solos para os diferentes valores de pH

de Zn adsorvidas foram consideradas pela diferença entre aquelas inicialmente adicionadas e as remanescentes nas suspensões, após o período de equilíbrio.

Os dados experimentais de adsorção de Zn foram ajustados ao modelo de Langmuir, $C/x/m = 1/kb + C/b$, através do programa CurveExpert 1.3, o qual, após o ajuste, indica os coeficientes de correlação. Nessa equação, 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 correlação para x/m em função de C, foi o critério pelo qual os dados das isotermas foram testados.

Resultados e discussão

Os valores do PESN de todas as amostras de solo foram menores do que os valores de pH das mesmas (Tabela 1), indicando predominar cargas elétricas negativas na superfície dos seus colóides.

O aumento do pH destas amostras de solo tem implicação sobre a magnitude de suas cargas elétricas, ou seja, aumenta a carga negativa na superfície dos colóides e, conseqüentemente, pode aumentar a adsorção dos metais pesados (McBRIDE, 1994). Este fenômeno tem sido observado por vários pesquisadores trabalhando com diferentes tipos de solo (APPEL; MA, 2002; CORNU et al., 2003; CASAGRANDE et al., 2004). As equações de Langmuir simularam adequadamente os resultados experimentais de adsorção de Zn, corroborando com Nascimento e Fontes (2004) e Casagrande et al. (2008). Apenas em um caso o coeficiente de determinação não foi

Tabela 2 - Equações das isotermas de Langmuir correspondentes a adsorção de Zn por amostras de Argissolos para diferentes valores de pH

Solo	pH	Equação	R ²
Argissolo Acinzentado Distrófico, PACd	pH 4	$x/m = (0,1103x 0,3140 C)/(1 + 0,3140 C)$	0,7627*
	pH 6	$x/m = (0,3823 x 0,1680 C)/(1 + 0,1680 C)$	0,9456**
Argissolo Vermelho Eutrófico, PVe (1)	pH 4	$x/m = (0,5251 x 0,1109 C)/(1 + 0,1109 C)$	0,9935**
	pH 6	$x/m = (0,6969 x 0,4116 C)/(1 + 0,4116 C)$	0,9730**
Argissolos Vermelho- Amarelo Eutrófico, PVAe	pH 4	$x/m = (0,7491 x 0,0675 C)/(1 + 0,0675 C)$	0,9990**
	pH 6	$x/m = (0,7885 x 0,7884 C)/(1 + 0,7884 C)$	0,9839**
Argissolos Vermelho Eutrófico, PVe (2)	pH 4	$x/m = (0,1475 x 0,5380 C)/(1 + 0,5380 C)$	0,6013ns
	pH 6	$x/m = (0,6191 x 0,1304 C)/(1 + 0,1304 C)$	0,9339**

*. **, ns: significativo a 5% e 1%, e não significativo, respectivamente

significativo, ou seja, no PVe (2) a pH 4 (Tabela 2). Os altos valores dos coeficientes de determinação indicam que o modelo de Langmuir é bem ajustado a diversas condições de solo. Com as relações entre os teores de Zn na solução de equilíbrio e os adsorvidos (Figura 1), pode-se comparar a capacidade de adsorção entre as amostras dos Argissolos e entre os valores de pH. As inclinações das curvas de adsorção mostram o comportamento da adsorção de Zn pelos solos. Para o pH 4, por exemplo, a inclinação das curvas de adsorção foi menor porque deveria haver menos sítios de adsorção nas superfícies dos colóides onde Zn poderia ser adsorvido, permanecendo, assim, maior concentração do elemento em solução.

Os solos PVe (1) e PVAe, a pH 6,0, apresentam o tipo H (Hight) de isoterma, conforme classificação proposta por Giles et al. (1974), e utilizada por diversos autores (SODRÉ et al., 2001; CASAGRANDE et al., 2004; IGLESIAS; ALLEONI, 2007; CASAGRANDE et al., 2008), o que indica alta afinidade de adsorção, enquanto que no pH 4 e os demais solos apresentaram isotermas do tipo L (Langmuir), com menor energia de adsorção, caracterizadas por baixa inclinação devido os sítios de adsorção disponíveis diminuírem quando aumenta demasiadamente a cobertura da superfície adsorvente. Iglesias e Alleoni (2007), encontraram para Argissolo Vermelho Amarelo, isotermas de adsorção de zinco do tipo L, enquanto que Casagrande et al. (2008), encontraram, para solos intemperizados, isotermas de adsorção deste elemento dos tipos L e H, sendo este último quando o pH estava próximo de 7.

Embora os solos PVe (1) e PVAe tenham menor percentagem de argila em relação ao PVe (2), a adsorção de Zn nestes solos foi maior, talvez devido aos maiores conteúdos de CO e valores de CTC que apresentam (Tabela 1), decorrentes do tipo de argila, corroborando com Lopes e Alleoni (2007). Esses autores observaram que o Chernossolo Argilúvico, entre outros solos do Estado de São Paulo, foi o que apresentou a maior adsorção, decorrente, principalmente, da sua alta CTC, comparada com as dos demais solos. Em contrapartida, o Argissolo Vermelho, estudado por esses autores, foi o que apresentou menor adsorção de Zn devido suas quantidades de argila, CTC, CO e óxidos de ferro terem sido as mais baixas de todos os solos. De acordo com Araújo e Amaral Sobrinho (2000), esses atributos são os principais responsáveis pela adsorção do Zn, sendo o CO o atributo que mais influencia na adsorção. Entretanto, Casagrande et al. (2008), constataram que em solos altamente intemperizados, a adsorção de zinco depende principalmente do pH.

O PACd adsorveu menor quantidade de Zn quando comparado ao PVAe, provavelmente, por apresentar menor teor de argila e/ou predominantemente, argila do grupo da caulinita (BRASIL, 1972), pois o qual apresenta baixo número de sítios para a adsorção. Neste caso, o CO não deve ter influenciado na diferenciação da adsorção de Zn por esses solos, uma vez que os mesmos apresentam valores iguais desse atributo. A adsorção de Zn nos solos estudados teve comportamento semelhante ao esperado nos colóides com cargas dependentes do pH, ou seja, aumentou de acordo com o aumento dos valores de pH, corroborando com os resultados

Tabela 3 - Parâmetros de ajuste da equação de Langmuir para dados de adsorção de Zn nos solos estudados para os diferentes valores de pH

Solo	k ¹ (L mg ⁻¹)		b ² (mg g ⁻¹)	
	pH 4	pH 6	pH 4	pH 6
Argissolo Acinzentado Distrófico, PACd	0,3140	0,1680	0,1103	0,3823
Argissolo Vermelho Eutrófico, PVe (1)	0,1109	0,4116	0,5251	0,6969
Argissolos Vermelho-Amarelo Eutrófico, PVAe	0,0675	0,7884	0,7491	0,7885
Argissolos Vermelho Eutrófico, PVe (2)	0,5380	0,1304	0,1475	0,6191

¹k = energia de ligação; ²b = capacidade máxima de adsorção

encontrados por Appel e Ma (2002) e Imtiaz et al. (2006). Quando o pH aumenta, íons de hidrogênio são liberados do complexo coloidal, favorecendo a adsorção do íon Zn²⁺ nas superfícies (CASAGRANDE et al., 2008). Com o aumento do pH também podem ocorrer reações de hidrólise, com a conseqüente formação do íon ZnOH⁺. Segundo Casagrande et al. (2008), a concentração deste íon (ZnOH⁺) aumenta dez vezes para cada unidade de incremento no pH. Uma vez que o íon ZnOH⁺ é monovalente, a barreira energética que deve ser superada quando ele se aproxima da superfície das partículas é menor do que no caso do íon Zn²⁺ (YU, et al., 1997), favorecendo, assim, o aumento da adsorção não específica do elemento.

Os valores dos parâmetros *b* e *K*, obtidos após ajuste da equação de Langmuir, são usados para avaliar a capacidade máxima de adsorção e a energia de ligação, respectivamente (Tabela 3). Tais valores indicam que a adsorção variou de acordo com o solo e com o pH. A capacidade máxima de adsorção de Zn foi maior nos solos PVAe e PVe (1), provavelmente, por apresentarem maiores valores de potencial elétrico negativo (Tabela 1). Pois, de acordo com Casagrande et al. (2004), quanto maior for o potencial elétrico negativo das superfícies dos colóides, maior será a adsorção de Zn nessas superfícies.

Os valores de *b* e *k* mostraram pronunciado efeito do pH sobre a adsorção, o que tem sido encontrado por outros pesquisadores (MAFTOUN et al., 2000). Quando o pH aumentou de 4 para 6 os valores da capacidade máxima de adsorção de Zn (*b*) aumentaram em todas as

amostras dos solos (Tabela 3), provavelmente, por ter também aumentado o balanço de cargas negativas nas superfícies das mesmas, favorecendo a adsorção de Zn. Isto pode representar a existência, nestes solos, de sítios de adsorção com grande afinidade pelo Zn, evidenciando a diferença existente entre os Argissolos em relação a adsorção de Zinco.

Ficou evidente também o efeito do aumento do pH na adsorção do Zn, embora o risco de contaminação das águas superficiais e/ou do lençol freático continue existindo principalmente nos solos PACd e PVe (2). Isto porque, nestes solos, embora a capacidade máxima de adsorção de Zn tenha aumentado em função do pH, a energia de ligação (*k*) (Tabela 3) do elemento nos colóides, diminuiu, sugerindo a possibilidade dos íons de Zn serem mais facilmente liberados para a solução dos mesmos.

Conclusões

- 1.A equação de Langmuir descreveu adequadamente a adsorção de Zn nos Argissolos em diferentes valores de pH.
- 2.Os Argissolos Vermelho-Amarelo Eutrófico (PVAe) e Vermelho Eutrófico (PVe (1)) apresentaram maior capacidade de adsorção de zinco.
- 3.A adsorção de zinco aumentou com a elevação do pH nos solos estudados.

Referências

- ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Pontos de efeito salino nulo de latossolos ácidos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 18, n. 02, p. 175-180, 1994.
- APPEL, C.; MA, L. Concentration, pH, and surface charge effects on cadmium and lead sorption in three tropical soils. **Journal Environmental Quality**, v. 31, n. 02, p. 581-589, 2002.
- 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. 07, n. 01, p. 167-180, 2000.
- ARIAS, M. et al. Adsorption and desorption of copper and zinc in the surface layer of acid soils. **Colloid and Interface Science**, v. 288, n. 01, p. 21-29, 2005.
- BRADL, H.B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 217, p. 1-18, 2004.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: MA/SUDENE, 1972. 683 p. (Boletim Técnico, 15; Série Pedologia, 8).

- CASAGRANDE, J. C. et al. Effects of pH and ionic strength on zinc sorption by a variable charge soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, n. 15-16, p. 2087-2095, 2004.
- CASAGRANDE, J. C.; SOARES, M. R.; MOUTA, E. R. Zinc adsorption in highly weathered soils. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, n. 01, p. 131-139, 2008.
- CATLETT, K. M. et al. Effects of soil chemical properties on zinc²⁺ activity in 18 Colorado soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 1182-1189, 2002.
- CORNU, S. et al. The influence of pH, electrolyte type, and surface coating on arsenic (V) adsorption onto kaolinites. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 1127-1132, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- GARCIA-SANCHEZ, A.; ALASTUEY, A.; QUEROL, X. Heavy metal adsorption by different minerals: application to the remediation of polluted soils. **Science of the Total Environment**, v. 242, p. 179-188, 1999.
- 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, p. 755-765, 1974.
- IGLESIAS, C. S. M.; ALLEONI, L. R. F. Adsorção competitiva de Cd, Cu, Ni e Zn em solos tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1 CD.
- IMTIAZ, M. et al. Zinc sorption in selected soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 37, p. 1675-1688, 2006.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001.
- KALBASI, M.; RACZ, G. J.; LOEWEN-RUDGERS, L. A. Mechanism of zinc adsorption by iron and aluminum oxides. **Soil Science**, v. 125, p. 146-150, 1978.
- LOPES, C. M.; ALLEONI, L. R. F. Efeito do pH na adsorção competitiva de metais em solos do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1. CD.
- MAFTOUN, M.; HAGHIGHAT NIA, H.; KARIMIAN, N. Characterization of zinc adsorption in some calcareous paddy soils from Fars province. **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources**, v. 04, p. 71-84, 2000.
- McBRIDE, M. B. **Environmental chemistry in soils**. New York: Oxford University Press, 1994. 406 p.
- 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. 03-04, p. 517-535, 2004.
- MARTINEZ, C. E.; MOTTO, H. L. Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. **Environmental Pollution**, v. 107, n. 01, p. 153-158, 2000.
- 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. 06, 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 Agricola**, v. 58, n. 04, p. 807-812, 2001.
- OLIVEIRA, F. C. et al. Movimentação de metais pesados em Latossolo adubado com composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1787-1793, 2002.
- PAPADOPOULOS, P.; ROWELL, D. L. The reactions of copper and zinc with calcium carbonate surfaces. **Journal of Soil Science**, v. 40, p. 39-48, 1989.
- RAIJ, B. V.; PEECH, M. Electrochemical properties of some oxisols and alfisols of the tropics. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 36, p. 587-593, 1972.
- 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**, v. 20, n. 02, p. 387-395, 1991.
- 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. 03, p. 324-330, 2001.
- YU, T. R.; SUN, H. Y.; ZHANG, H. Specific adsorption of cations. In: YU, T. R. (Ed.). **Chemistry of variable charge soils**. New York: Oxford University Press, 1997. p. 140-174.