

Adsorção de cobre em Latossolo Bruno e Nitossolo Vermelho

Adsorption of copper in oxisol and alfisol

Claudia Lopes^{1*}, Mari Lucia Campos², Maurício de Souza², Cristian Berto da Silveira³, Michelle Pelozato⁴

Recebido em 07/11/2011; aprovado em 18/12/2013.

RESUMO

O acúmulo de cobre (Cu) no solo pode proporcionar a entrada em excesso desse elemento na cadeia alimentar através da contaminação do solo e água. O estudo do comportamento químico do Cu torna-se necessário para o conhecimento da mobilidade desse elemento no perfil do solo. O objetivo desse trabalho foi conhecer os teores nativos de Cu, avaliar o efeito de pH, força iônica (FI) e quantificar a capacidade máxima de adsorção (CMA) de Cu em Latossolo Bruno (LB) e Nitossolo Vermelho (NV). A adsorção foi avaliada em pH 4,5; 5,5 e 6,5 e na FI de 15 e 150 mmol L⁻¹ de Ca(NO₃)₂. Para quantificar a CMA foram utilizadas doses de Cu nas concentrações de: 0, 0,075, 0,15, 0,30, 0,60, 1,50 mmol L⁻¹, relação solo:solução final de 1:100. A elevação do valor de pH aumentou a adsorção de Cu e o aumento da força iônica da solução não diminuiu a adsorção de Cu. A CMA calculada para Cu no NV foi de 3354 mg kg⁻¹. Não foi possível calcular a CMA para Cu no LB.

PALAVRAS-CHAVE: sorção do solo, contaminação química, isotermas.

SUMMARY

The accumulation of copper (Cu) in soil can

provide input in excess of these elements in the food chain through the contamination of soil and water. The study of the chemical behavior of Cu is needed for the knowledge of mobility of these elements in the soil profile. The aim of this study was to know the background Cu concentration, to evaluate the effect of pH, ionic strength (FI) and to quantify the maximum adsorption capacity (CMA) of Cu in Oxisol and Alfisol. The adsorption rate was evaluated at pH 4.5, 5.5 and 6.5 and the FI 15 and 150 mmol L⁻¹ of Ca(NO₃)₂. To quantify the CMA were used rates of Cu concentrations of 0, 0.075, 0.15, 0.30, 0.60, 1.5 mmol L⁻¹, final soil: solution 1 : 100. Raising the pH value increased the adsorption of Cu and increasing the ionic strength of the solution didn't reduce the adsorption of Cu. The CMA calculated for Cu in Alfisol was 3354 mg kg⁻¹. It was not possible to calculate the CMA in Oxisol.

KEY WORDS: soil sorption, chemical contamination, isotherms.

INTRODUÇÃO

O acúmulo de cobre (Cu) no solo pode contaminar os mananciais hídricos através da lixiviação e erosão superficial e ainda, favorecer a entrada em excesso desses elementos na cadeia alimentar, oferecendo riscos à saúde

¹ Programa de Pós-graduação em Manejo do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UDESC, Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, SC, Brasil. Email: claulps@yahoo.com.br. *Autora para correspondência.

² Departamento de Solos e Recursos Naturais - CAV/UDESC.

³ Departamento de Engenharia da Pesca, Centro de Educação Superior da Região Sul, Universidade do Estado de Santa Catarina - CERES/UDESC, Rua Cel. Fernandes Martins, 270, Bairro Progresso, CEP 88790-000, Laguna, SC, Brasil.

⁴ Centro Universitário Leonardo da Vinci – UNIASSELVI, Av. Papa João XXIII, 1.352, Bairro Petrópolis, CEP 88505-200, Lages, SC, Brasil.

humana e animal. O Cu pode ser depositado no solo principalmente através da aplicação de fertilizantes, fungicidas, algicidas e adubação orgânica (WHO, 1998).

O solo tem a capacidade de adsorver o Cu, diminuindo a mobilidade dele no perfil do solo. Segundo Sparks (1995), o processo de adsorção determina a quantidade de nutrientes, metais, pesticidas e outros compostos orgânicos que são retidos na superfície do solo e, portanto, é um dos processos primários que afetam o transporte de nutrientes e contaminantes do solo. Porém, quando a capacidade máxima de adsorção (CMA) é ultrapassada, o Cu solúvel aumenta, podendo então ser lixiviado alcançando o lençol freático ou ser absorvidos pelas plantas. Uma forma de avaliar o comportamento dos metais no solo é através da construção de isotermas de adsorção. As isotermas de adsorção são convenientes para representar a relação entre os elementos adsorvidos e aqueles que permaneceram na solução de equilíbrio (HINZ, 2001), principalmente se outras variáveis como pH e força iônica (FI) da solução forem controladas (SPOSITO, 1989).

Portanto, pH e FI são fatores que podem afetar a adsorção de metais no solo. Em trabalho desenvolvido por Chaves e Tito (2011), que avaliaram a adsorção de Cu em bentonita, a adsorção foi maior com o aumento do pH. Em pH 6,0 e 4,0 a adsorção foi de 90,50 e 81,77%, respectivamente. Da mesma forma, outros autores observaram aumento da adsorção de metais com o aumento de pH, como Chaves et al. (2009), analisando a adsorção de Cu em Plintossolos, e Pierangeli et al. (2005), que encontrou aumento igual a 27% em pH 4,5; 35% em pH 5,5 e 55% em pH 6,5 para Cd em Latossolo.

Em relação à força iônica, a avaliação do efeito de diferentes valores de FI no comportamento da adsorção fornece subsídios para inferir sobre o mecanismo de adsorção (CAMPOS et al., 2006). Segundo McBride (1994), para íons que formam complexos do tipo esfera externa ocorre diminuição na adsorção com o aumento da força iônica, enquanto que íons que formam complexo de esfera interna apresentam

aumento ou ausência do efeito de adsorção com o aumento da força iônica. Para Pierangeli et al. (2007) em valores elevados de FI é provável que a adsorção de íons seja menor devido à competição entre eles pelos sítios de adsorção e também pela diminuição de suas atividades.

Considerando a importância das reações de adsorção na mobilidade e disponibilidade de Cu em solos, o presente estudo teve como objetivos conhecer os teores nativos de Cu, avaliar o efeito de pH e da força iônica sobre a adsorção de Cu, bem como quantificar a capacidade máxima de adsorção de Cu em Latossolo Bruno e Nitossolo Vermelho.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras do horizonte A (0-20 cm) de um Latossolo Bruno (LB) e um Nitossolo Vermelho (NV) coletados nos municípios de Curitiba (SC) e Ipira (SC), respectivamente. As amostras foram coletadas em locais reconhecidamente não sujeitos a contaminação intencional com Cu. As características físicas, químicas e mineralógica dos solos analisados são apresentadas nas tabelas 1 e 2. O detalhamento das metodologias utilizadas para a caracterização física, química e mineralógica dos solos encontram-se em Corrêa (2004).

Para determinação do teor de Cu, as amostras foram peneiradas inicialmente em peneira plástica de 1,5 mm. Após, foram trituradas utilizando-se um gral de ágata até passar inteiramente por uma peneira descartável de náilon de 0,15 mm. A extração do Cu (HCl 0,1M) foi realizada segundo método descrito por Tedesco (1995). O extrato foi filtrado e seu volume completado para 40 mL com água destilada. O procedimento de digestão também foi conduzido em oito amostras em branco que foram utilizados para o cálculo do Limite de Detecção Qualitativo do método (LDQ) (APHA, 1989), segundo a equação: $LDQ = Fd * (M \pm k * s)$, onde, Fd é o fator de diluição das amostras, M é a média das provas em branco, k é o coeficiente de

Tabela 1 - Características físicas do Nitossolo Vermelho (NV) e Latossolo Bruno (LB).

| Solos | Horizonte | argila | silte | areia | C org |
|-------|-----------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| | | -----g kg ⁻¹ ----- | | | |
| NV | A | 370 | 460 | 170 | 51,40 |
| | B | 540 | 410 | 50 | 12,32 |
| LB | A | 783 | 193 | 24 | 37,20 |
| | B | 822 | 145 | 33 | 11,60 |

C org: carbono orgânico.

Tabela 2 - Características químicas e mineralógicas do Nitossolo Vermelho (NV) e Latossolo Bruno (LB).

| Solos | Hor. | pH água | SB | Al | H + Al | CTC pH 7 | V | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | Ki |
|-------|------|------------|---|------|-----------|-------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|
| | | | -----cmol _c kg ⁻¹ ----- | | | | | -----%----- | | | |
| NV | A | 5,9 | 15,3 | 0,00 | 3,95 | 19,26 | 79,5 | 16,06 | 13,27 | 20,96 | 2,06 |
| | B | 5,6 | 10,4 | 0,13 | 3,82 | 14,19 | 73,0 | 33,62 | 21,72 | 20,13 | 2,61 |
| LB | A | 4,6 | 0,8 | 3,39 | 11,50 | 12,30 | 6,5 | 25,27 | 21,96 | 21,26 | 1,96 |
| | B | 5,0 | 0,3 | 2,12 | 6,65 | 6,95 | 4,3 | 29,87 | 27,53 | 20,83 | 1,84 |

Hor- horizonte; SB- Soma de bases [Σ (Ca, Mg, K, Na)]; V= saturação por bases; Ki = SiO₂/Al₂O₃.

Kaiser que possui valor fixo igual a 3 (SKOOG, 2002), e *s* é o desvio padrão das provas em branco. A quantificação do teor de Cu para todas as análises foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica, usando equipamento Perkin Elmer AAnalyst 100 com atomização em chama. Os valores médios e desvio padrão dos teores foram calculados usando o software SISVAR 4.3 (FERREIRA, 2000).

O ensaio de adsorção encontra-se subdividido em três experimentos apresentados a seguir:

1. Efeito da força iônica (FI) da solução na adsorção de Cu

Foram preparadas suspensões de TFSA dos solos NV e LB em solução de fundo de Ca(NO₃)₂ em dois valores de força iônica de 15 mmol L⁻¹ e 150 mmol L⁻¹, a relação solo: solução de fundo foi de 1:68 (0,5 g de solo e 34 mL de solução). A força iônica 15 mmol L⁻¹ foi usada, pois é semelhante à observada na solução de solos intemperizados como os Latossolos. Todas as suspensões tiveram pH ajustado à 5,5 (± 0,2) utilizando-se soluções de Ca(OH)₂ e HNO₃ a 10 mmol L⁻¹. Após adição da base ou do ácido as amostras foram agitadas por 12 horas e deixadas

em repouso por mais 12 horas e esses ciclos de agitação e repouso foram repetidos por 72 horas, quando ocorreu a estabilização do pH no valor desejado. Após a estabilização do pH foi adicionado 16 mL de solução de Cu(NO₃)₂ (0,15 mmol L⁻¹) na solução de fundo. A relação solo:solução final foi de 1:100. O tempo de contato foi de 72 horas divididas em ciclos de 12 horas agitando e 12 horas em repouso. Após as 72 horas de reação, a suspensão de cada solo foi filtrada e o sobrenadante foi retirado para leitura.

2. Efeito de diferentes valores de pH na adsorção de Cu

Foi utilizado o mesmo procedimento descrito anteriormente, porém o pH da solução de fundo ajustado a 4,5, 5,5 e 6,5 (± 0,2) e a concentração da solução de fundo utilizada foi de 15 mmol L⁻¹.

3. Capacidade máxima de adsorção de Cu (CMA)

As suspensões de cada solo (pH = 5,5; FI = 15 mmol L⁻¹; relação solo:solução = 1:68) foram colocadas para reagir com solução de Cu(NO₃)₂ nas seguintes doses de Cu 0, 0,075, 0,15, 0,30, 0,60, 1,5,0 mmol L⁻¹ (relação solo:solução final

= 1:100), utilizando o procedimento descrito anteriormente. Para identificação do tipo de isoterma foram relacionados em gráfico a adsorção (q) em função da concentração de equilíbrio (C_e) (SPARKS, 1995), ou seja, a concentração do metal determinada após as 72 horas de incubação e ajustados os modelos convenientes de acordo com classificação proposta por Sposito (1989). A capacidade máxima de adsorção (CMA) é o valor obtido quando a adsorção se estabiliza formando um patamar.

A quantidade adsorvida foi calculada seguindo as equações abaixo:

$$M_{ads} = (C_i - C_e) * \left(\frac{V_1 + V_2}{M_s} \right);$$

$$M_{adc} = C_i * \left(\frac{V_1 + V_2}{M_s} \right);$$

$$\%q = \frac{q}{M_{adc}} * 100$$

onde, q é o Cu adsorvido em mg kg^{-1} de solo; C_e é a concentração de equilíbrio após 72 h (mg L^{-1}); M_s é a massa do solo (g); M_{adc} é o Cu adicionado em mg kg^{-1} de solo; C_i é a concentração inicial (mg kg^{-1}) de Cu, V_1 é o volume da solução padrão de Cu utilizada para atingir a concentração de $0,15 \text{ mmol L}^{-1}$ (mL); V_2 é o volume de solução de fundo ($\text{Ca(NO}_3)_2$ 15 mmol L^{-1} em mL e $\%q$ é a porcentagem de Cu adsorvido pelo solo.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com três repetições. A análise de variância se efetuou utilizando o software SISVAR 4.3 (FERREIRA, 2000). Para comparação entre médias utilizou-se o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores nativos de Cu encontrados no LB e NB foram de 56 e 27 mg kg^{-1} , respectivamente. Esses valores encontram-se abaixo do valor orientador de Cu para solos agrícolas (200 mg kg^{-1}) conforme resolução nº 420 do Conama. (CONAMA, 2009).

Em relação à adsorção de Cu em diferentes

valores de pH, o aumento do pH proporcionou um aumento na adsorção de Cu para os dois solos (Tabela 3). A razão para o aumento da adsorção com o aumento do pH é, teoricamente, devido à deprotonação das superfícies de troca e consequentemente geração de cargas negativas, as quais ocorrem em valores de pH mais elevado (ALLOWAY, 1990). Comportamento semelhante foi observado por Chaves et al. (2009) para Cu em Plintossolo. Esses autores encontraram variação da adsorção do Cu em função do pH ocorrendo maior adsorção no pH 6,0 (maior valor de pH avaliado). Esse comportamento se repete para outros elementos. Joris et al. (2012) avaliaram o efeito da calagem na adsorção de Cu e outros metais (cádmio, níquel e zinco), em Latossolo Vermelho manejado em sistema de plantio direto, e encontraram aumento da adsorção para todos os metais principalmente na camada superficial de 0-5 e 5-10 cm. Pierangeli et al. (2005) observaram que a elevação do pH aumentou a adsorção de Cd, que foi em média 30% maior em pH 6,5, comparativamente ao pH 4,5. Do mesmo modo, Dias et al. (2001) verificaram aumento da adsorção de Cd com o aumento do pH em Latossolos ácidos.

O aumento do pH de 5,5 para 6,5 (Tabela 3) resultou em 100% de adsorção para os dois solos, o que pode indicar que a maior porcentagem adsorvida de Cu pelos dois solos seja o somatório dos fenômenos de adsorção específica e eletrostática. Em pH 4,5 a adsorção de Cu é preferencialmente específica, porém a medida que o pH aumenta para 5,5 e 6,5 a adsorção eletrostática na CTC também aumenta (WANG et al., 2003). Casagrande et al. (2004) também obtiveram em Latossolo Vermelho acriférrico a adsorção de praticamente todo o Cu adicionado (400 mg kg^{-1}) em pH 7,5. No entanto, deve-se considerar que em pH acima de 6,0 poderá ocorrer a precipitação do Cu concomitantemente ao fenômeno de adsorção (MCBRIDE, 1994), o que poderia superestimar os valores de Cu adsorvidos. Chaves e Tito (2011) não encontram diferença na adsorção de Cu entre pH 5 e 6 e atribuíram isso ao fato de ter sido utilizada grande

Tabela 3 - Porcentagem adsorvida de Cu em diferentes valores de pH (4,5, 5,5 e 6,5) e concentração inicial de 150 mmol L⁻¹.

| Solos | pH | | |
|-------|--------------------|-------|--------|
| | 4,5 | 5,5 | 6,5 |
| | ----- Cu (%) ----- | | |
| LB | 38 Bb* | 75 Ab | 100 Aa |
| NV | 73 Aa | 92 Aa | 100 Aa |

*Letras maiúsculas comparam a % adsorvida de Cu entre os valores de pH e letras minúsculas comparam a % adsorvida de Cu entre solos pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).

Tabela 4 - Porcentagem adsorvida de Cu em diferentes valores de FI (15 e 150 mmol L⁻¹) e concentração inicial de 0,15 mmol L⁻¹.

| Solos | FI | |
|-------|-------------------------|--------------------------|
| | 15 mmol L ⁻¹ | 150 mmol L ⁻¹ |
| | ----- Cu (%) ----- | |
| LB | 75 Aa* | 82 Aa |
| NV | 92 Aa | 88 Aa |

*Letras maiúsculas comparam a % adsorvida de Cu entre solos e letras minúsculas comparam a % adsorvida de Cu entre os valores de FI pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).

quantidade de NaOH para a elevação do pH, o que pode ter resultado na precipitação do Cu.

Não houve alteração da adsorção de Cu com o aumento da FI (Tabela 4). O Cu é adsorvido preferencialmente por adsorção específica na superfície dos colóides, o que diminui acentuadamente a mobilidade. Neste caso o Ca presente na solução de fundo não possui capacidade de competir com o Cu pelos sítios de ligação nos colóides, o que garante uma similar adsorção em diferentes valores de FI. Ladonin e Margolina (1997) também observaram esse comportamento. Os autores não verificaram alteração na adsorção de Cu pelos ácidos húmicos quando se elevou a força iônica da solução, indicando que, para Cu, existe adsorção específica. Outros metais como Pb e As possuem comportamento semelhante. Para As, Campos et al. (2006) também não encontraram diferença na adsorção entre os valores de força iônica 15 e 150 mmol L⁻¹ (63,51 e 64,46%). O mesmo foi constatado por Pierangeli et al. (2001) com Pb em Latossolos utilizando as FI de 5 e 50 mmol L⁻¹.

As isotermas de adsorção apresentaram curva tipo L no NV (Figura 1a) e tipo S no LB (Figura 1b), segundo classificação proposta por Sposito (1989). As curvas tipo L (Langmuir), se caracterizam pelo incremento na adsorção com

o aumento da concentração de metal da solução de equilíbrio (Ce) até atingir a estabilização da adsorção, ou seja, a capacidade máxima de adsorção (CMA). Para Chaves et al. (2009), a adsorção de Cu em Plintossolo foi menos pronunciada a medida em que se aumentaram as concentrações do elemento adicionado a essas amostras. Segundo os autores, sempre que se aumenta a concentração do metal, mais sítios de adsorção vão sendo preenchidos, dificultando a retenção do Cu. Canellas et al. (1999) também obtiveram isoterma do tipo L avaliando a adsorção de Cu em lodo de esgoto. A CMA de Cu encontrada no NV foi de 3354 mg kg⁻¹. Os valores da CMA de Cu encontrados por Komy et al. (2014) em pH 6,0 foram 2710 e 2460 mg kg⁻¹ em hematita e caulinita, respectivamente, e entre 2500 e 2980 mg kg⁻¹ em ácidos húmicos, dependendo dos grupamentos funcionais.

As curvas tipo S (Figura 1b), caracterizam-se por baixa taxa de adsorção em pequenas concentrações de metal na solução de equilíbrio, seguido de um aumento abrupto na adsorção e novamente diminuição da adsorção até atingir a estabilização. Porém, no LB a adsorção não atingiu a estabilização, então não foi possível calcular a CMA, pois a quantidade de Cu na Ce não foi suficiente, indicando maior CMA de Cu em LB que NV. Para Alloway (1990), óxidos de

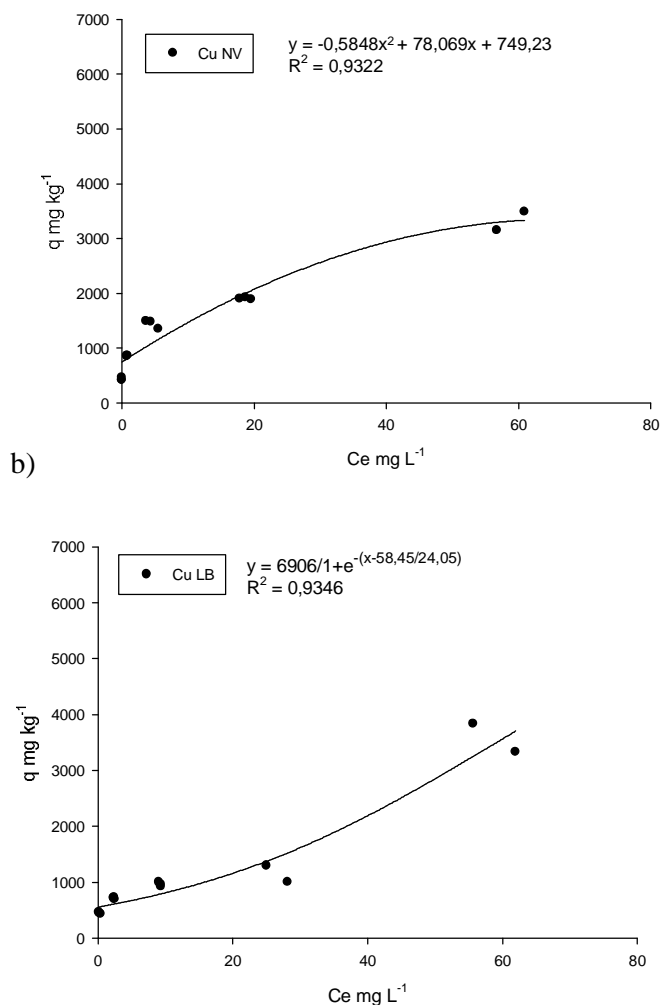


Figura 1 - Isotermas de adsorção de Cu à pH 5,5 e força iônica 15 mmol L⁻¹ em Latossolo Bruno (LB) e Nitossolo Vermelho (NV). Quantidade adsorvida (q) de Cu em função da concentração de equilíbrio (Ce). a) Adsorção de Cu em NV; b) Adsorção de Cu em LB.

Fe, Al e Mn são os principais grupos responsáveis pela adsorção específica dos cátions. Como a adsorção de Cu é preferencialmente específica, espera-se que esse elemento tenha afinidade pelos sítios de adsorção de óxidos e hidróxidos de solos bastante intemperizados como os Latossolos. Isso pode ser constatado observando-se os valores de K_i ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) na tabela 2, que são menores em LB, devido ao intemperismo mais avançado em LB que NV.

De modo geral, em relação ao descarte de resíduos e aplicação de substâncias contendo Cu no solo, como lodo de esgoto, dejetos suínos, fungicidas etc., e de acordo com os resultados obtidos nesse estudo, percebeu-se que a adsorção e por consequência a disponibilidade

de Cu pode ser menor em solos de pH elevado, como aqueles submetidos à calagem. Quanto às isotermas, observou-se que o Latossolo suportaria mais o descarte de resíduos contendo Cu comparativamente ao Nitossolo, devido à maior capacidade máxima de adsorção de Cu do Latossolo.

CONCLUSÕES

A elevação do valor de pH aumentou a adsorção de cobre tanto para Latossolo Bruno quanto para o Nitossolo Vermelho.

O aumento da força iônica não diminuiu a adsorção de cobre.

A isoterma de adsorção apresentou curva

do tipo L no Nitossolo Vermelho e do tipo S no Latossolo Bruno.

A capacidade máxima de adsorção foi de 3354 mg kg⁻¹ no Nitossolo Vermelho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. New York: J. Wiley, 1990. 339p.
- APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and waster**. 17. ed. Washington, 1989. 1215p.
- ATANASSOVA, I. Competitive effect of copper, zinc, cadmium and nickel on ion adsorption and desorption soil clays. **Water Air Soil Pollution**, Dordrecht, v.113, p.115-125, 1999.
- CAMPOS, M.L. et al. Força iônica da solução de equilíbrio na adsorção de arsênio em latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.457-460, 2006.
- CANELLAS, L. P. et al. Adsorção de Cu²⁺ e Cd²⁺ em ácidos húmicos extraídos de resíduos orgânicos de origem urbana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, p.21-26, 1999.
- CASAGRANDE, J. C. et al. Copper desorption in a soil with variable charge. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, p.196-202, 2004.
- CHAVES, L.H.G. et al. Adsorção de cobre em amostras de Plintossolo do Estado do Piauí, com diferentes características. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.226-232, 2009.
- CHAVES, L.H.G.; TITO, G.A. Cadmium and copper adsorption on bentonite: effects of pH and particle size. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, p.278-284, 2011.
- CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial da União, 30 dez., 2009, p.81-84.
- Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 02 mar. 2012.
- CÔRREA, J. **Mineralogia e gênese das principais classes de solos de encostas basálticas do Estado de Santa Catarina**. 2004. 92p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Manejo do Solo. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2004.
- DIAS, N.M.P. et al. Adsorção de cádmio em dois Latossolos ácidos e um Nitossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.297-304, 2001.
- FERREIRA, D.F. **Manual do sistema Sisvar para analyses estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000. 63p.
- HINZ, C. Description of sorption data with isotherm equations. **Geoderma**, Amsterdam, v.99, p.225 -243, 2001.
- JORIS, H.A.W. et al. Adsorção de metais pesados após calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, p.1-10, 2012.
- KOMY, Z.R. et al. Kinetic study for copper adsorption onto soil minerals in the absence and presence of humic acid. **Chemosphere**, Oxford, v.99, p.117–124, 2014.
- LADONIN, D.V., MARGOLINA, A. Interaction between humic acids and heavy metals. **Eurasian Soil Science**, Moscou, v.30, p.710-715, 1997.
- MCBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soil**. 1.ed. New York: Oxford University Press, 1994. 341p.
- NAIDU, R. et al. Ionic-strength and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 45, p.419-429, 1994.
- PIERANGELI, M.A.P. et al. Efeito do pH na adsorção-dessorção de chumbo em Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.269-277, 2001.
- PIERANGELI, M.A.P. et al. Efeito do pH na adsorção e dessorção de cádmio em Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.523-532, 2005.

PIERANGELI, M.A.P. et al. Comportamento sortivo, individual e competitivo, de metais pesados em Latossolos com mineralogia contrastantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.819-826, 2007.

SKOOG, D.A. **Princípios de análise instrumental**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 836p.

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic Press, 1995. 267p.

SPOSITO, G. The chemistry of soils. Oxford University Press: New York, 1989. 277p.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

WANG, S.Q. et al. Effect of o-phenylenediamine on Cu adsorption and desorption in red soil and its uptake by paddy rice (*Oryza sativa*). **Chemosphere**, Amsterdam, v.51, p.77-83, 2003.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Environmental Health Criteria: Copper**. Geneva, 1998. Disponível em: <www.inchem.org>. Acesso em: 20 jan. 2009.