



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Brasil

Campos, Mari Lucia; Guimarães Guilherme, Luiz Roberto; Siqueira Lopes, Rafael; Silveira Antunes, Alessandra; Granate de Sá e Melo Marques, João José; Curi, Nilton  
TEOR E CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE ARSÊNIO EM LATOSSOLOS BRASILEIROS  
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 31, núm. 6, 2007, pp. 1311-1318  
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214061010>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# TEOR E CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE ARSENÍO EM LATOSSOLOS BRASILEIROS<sup>(1)</sup>

Mari Lucia Campos<sup>(2)</sup>, Luiz Roberto Guimarães Guilherme<sup>(3)</sup>, Rafael Siqueira Lopes<sup>(4)</sup>, Alessandra Silveira Antunes<sup>(5)</sup>, João José Granate de Sá e Melo Marques<sup>(3)</sup> & Nilton Curi<sup>(3)</sup>

## RESUMO

A alta toxicidade do As aos animais e humanos e a possibilidade de existência de grande número de áreas contaminadas tornam imprescindível o conhecimento do teor semitotal em solos ditos não-contaminados e dos processos de adsorção do As em solos de carga variável. O objetivo deste trabalho foi determinar o teor e a capacidade máxima de adsorção de As (CMADS<sub>As</sub>) em Latossolos. O teor total foi determinado pelo método USEPA 3051A, e a CMADS<sub>As</sub>, com auxílio de isotermas de Langmuir com base nos valores de adsorção obtidos em dose de As (0, 90, 190, 380, 760 e 1.150  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) (relação solo:solução final = 1:100), a pH 5,5 e força iônica de 15 mmol L<sup>-1</sup>. Os 17 Latossolos apresentaram teor médio total de As de 5,92 mg kg<sup>-1</sup> e CMADS<sub>As</sub> média de 2,013 mg kg<sup>-1</sup>. O teor de argila e os óxidos de Fe e Al apresentaram influência positiva na CMADS<sub>As</sub>.

**Termos de indexação:** sorção, contaminação química, poluente, elementos-traço.

## SUMMARY: CONTENT AND MAXIMUM CAPACITY OF ARSENIC ADSORPTION IN BRAZILIAN OXISOLS

*In view of the toxicity of As for man and animals and the possibility of existence of a great number of contaminated areas it is imperative to know the total As content in soils considered uncontaminated and about As sorption processes in soils of variable charge. The objective of this work was to determine the total content and maximum capacity of As*

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Recebido para publicação em janeiro de 2005 e aprovado em julho de 2005.

<sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Solos, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Caixa Postal 281, CEP 88040-900, Florianópolis (SC). E-mail: a2mlc@cav.udesc.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 27, CEP 37200-000, Lavras (MG).

*adsorption (CMADS<sub>As</sub>) in Oxisols. The total content was determined by the USEPA 3051A method. The cmADS<sub>As</sub> was determined by the Langmuir Isotherms using six solution concentrations (0, 0.09, 0.19, 0.38, 0.76, 1.15 mmol L<sup>-1</sup>) (1:100 soil: solution ratio), pH values 5.5 and ionic strength 15 mmol L<sup>-1</sup>. In the 17 Oxisols the average total As content was 5.92 mg kg<sup>-1</sup> and mean cmADS<sub>As</sub> was 2.013 mg kg<sup>-1</sup>. Clay, and Fe and Al oxides content influenced cmADS<sub>s</sub> positively.*

*Index terms: sorption, chemical contamination, pollutants, trace elements.*

## INTRODUÇÃO

A manutenção da função agrícola e ecológica do solo passa preferencialmente pelo monitoramento de eventuais fontes de poluição. Estudos com elementos-traço (Ets) em ecossistemas revelam que os solos têm sido contaminados com Pb, Cd, Hg, As e outros (Alloway, 1990) e que o aumento das concentrações de Ets nos solos de áreas agrícolas resulta da deposição atmosférica e da aplicação de defensivos agrícolas, resíduos orgânicos e inorgânicos, fertilizantes e corretivos (Amaral Sobrinho et al., 1992). No caso específico do As, as adições antropogênicas ao solo advêm do uso de pesticidas e fertilizantes, de emissão derivada de mineração e fundição do ouro, chumbo, cobre e níquel, de produção de Fe e aço, da combustão de carvão e da irrigação com água contaminada (Sparks, 1995; Smith et al., 1999; Baird, 2002; Roychowdhury et al., 2002).

A ausência de regiões sem nenhuma entrada de contaminantes de origem antropogênica (Chen et al., 1999; Rice, 1999) possibilita a determinação apenas da concentração chamada de concentração de base (*background*), a qual é encontrada em um tempo particular durante um estudo ou programa de monitoramento. O conhecimento dessa concentração de As em Latossolos é de extrema relevância, já que estes constituem uma classe de solos que ocupa mais de 50 % do território nacional (Oliveira, 2005).

Tão importante quanto o conhecimento da concentração de base de Ets é o conhecimento da capacidade de adsorção deles pelo solo. A capacidade de adsorção fornece indícios do poder-tampão do sistema, visto que muitos atributos do solo (como textura, teor de óxidos de Fe e Al, entre outros) interferem na capacidade-tampão e, por consequência, influenciam a perda por lixiviação. A retenção seletiva de elementos-traço em sítios de troca na superfície de minerais de carga variável e nas arestas quebradas dos argilominerais tem sido identificada como adsorção específica ou adsorção química (formação de *complexos de esfera interna*) (McBride, 1994; Gustafsson & Jacks, 1995; Smith et al., 1999); nos óxidos, ocorre ligação do tipo binuclear ou bidentada (Hiemstra & van Riemsdijk, 1999).

forte, H<sub>3</sub>AsO<sub>4</sub>, que possui os valores de pK<sub>a</sub> 6,94 e 11,5 (McBride, 1994). A espécie predominante de As(V) em soluções de solos ácidos é o íon H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub><sup>-</sup>, enquanto na solução de solos alcalinos predomina a forma HAsO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Hayes & Traina, 1998; Smith et al., 1998). As reações que controlam a disponibilidade de As(V) em solos compreendem adsorção/dessorção, precipitação/dissolução (Smith et al., 1998).

A adsorção de As(V) em diferentes solos tem sido avaliada por isoterma de Freundlich e por cinética e normalmente segue o modelo de cinética de primeira ordem, com constantes cinéticas de adsorção (0,01 a 0,14 min<sup>-1</sup>) em função de temperatura e adsorvente e tamanho de partícula (Singh et al., 1998; Namasivayam & Senthilkumar, 1998).

A alta toxicidade do As aos seres vivos e a possibilidade de existência de grande número de solos contaminados tornam de suma importância o entendimento dos processos de adsorção do As em solos tropicais, já que esses processos irão determinar a mobilidade e a biodisponibilidade do As no solo. Neste trabalho teve como objetivo conhecer a adsorção de As em solos nativos e a capacidade máxima de adsorção de As em Latossolos de diferentes regiões geográficas brasileiras.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras da camada superficial (0–20 cm) de 15 Latossolos localizados em experimentais das Embrapas e dois Latossolos do campus da UFPA, compondo assim um banco de solos representativo sobre Latossolos de todas as regiões geográficas brasileiras (Quadro 1). Esses Latossolos já foram alvo de outros estudos de adsorção de As (Campos et al., 1998; Pierangeli et al., 2001a,b,c, 2002; Campos et al., 2006), de teores semitotais de As (Campos et al., 2003), entre outros. A caracterização física, química e mineralógica desses solos foi encontrada em Silva et al. (1996) e Silva et al. (1998).

Para determinação do teor de As, utilizou-se o protocolo do método USEPA 3051A (www.epa.gov/SW-846/3051a.pdf), que prevê a digestão de 1,0 a 0,5 g de material em 10 mL de HNO<sub>3</sub> 16M.

Quadro 1. Classificação e localização dos solos estudados

Solo		Classificação	Localização	Material de origem
LVd 1	Latossolo Vermelho distrófico típico		Passo Fundo – RS	Basalto e arenito (mistura)
LVd 2	Latossolo Vermelho distrófico psamítico		Paranavaí – PR	Arenito Caiuá
LVd 3	Latossolo Vermelho distrófico típico		Jaboticabal – SP	Basalto com influência de
LVd 4	Latossolo Vermelho distrófico típico		Lavras – MG	Gnaiss granítico mesocrá
LVd 5	Latossolo Vermelho distrófico típico		Sete Lagoas – MG	Rochas pelíticas do grupo
LVd 6	Latossolo Vermelho distrófico típico		Goiânia – GO	Sedimentos argilosos retra
LVd 7	Latossolo Vermelho distrófico típico		Planaltina – DF	Sedimento argilosos de cob
LVdf 1	Latossolo Vermelho distroférico típico		Ijuí – RS	Basalto
LVdf 2	Latossolo Vermelho distroférico típico		Chapecó – SC	Basalto
LVdf 3	Latossolo Vermelho distroférico típico		Londrina – PR	Basalto
LVdf 4	Latossolo Vermelho distroférico típico		Dourados – MS	Rochas eruptivas básicas
LVdf 5	Latossolo Vermelho distroférico típico		Ponta Grossa – PR	Rochas diversas do Pré-ca
LVec 1	Latossolo Vermelho eutroférico típico		Campinas – SP	Diabásio
LAd 1	Latossolo Amarelo distrófico típico		Ubajara – CE	Arenito
LAd 2	Latossolo Amarelo distrófico típico		Lavras – MG	Gnaiss granítico leucocrá
LAd 3	Latossolo Amarelo distrófico típico		Areia – PB	Sedimento areno-argiloso
LAX 1	Latossolo Amarelo coeso típico		Tomé Açu – PA	Sedimentos do terciário

triplicata (Quadro 2). As amostras controle são utilizadas para comparar as baterias de digestão, facilitando assim a identificação de problemas durante esse processo.

Para determinação da capacidade máxima de adsorção, foram preparadas suspensões de TFSA dos 17 Latossolos em solução salina de NaCl 15 mmol L<sup>-1</sup> com pH ajustado a 5,5 (± 0,2). O ajuste do valor de pH foi realizado com NaOH e HCl 10 mmol L<sup>-1</sup>. A escolha do sal para preparo da solução de fundo (Quadro 3) se fundamenta na possibilidade de precipitação do arsenato na forma de arsenato de Ca, caso se optasse pela utilização de CaCl<sub>2</sub>. O valor de pH 5,5 foi escolhido por dois motivos: por ser um dos valores de pH em que ocorre máximo de adsorção e por ser o mais próximo do valor médio de pH (4,8) dos Latossolos estudados.

As suspensões de cada solo foram colocadas para reagir com soluções de Na<sub>2</sub>HAsO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O nas seguintes doses de As: 0, 90, 190, 380, 760 e 1.150 µmol L<sup>-1</sup>. Essas doses de As foram escolhidas após análise de especiação no programa MINTEQ (Quadro 3), no qual se observou que a maior dose de As que poderia ser utilizada sem que houvesse precipitação de sais de arsenato era de 1.500 µmol L<sup>-1</sup>. A relação solo:solução final foi de 1:100, e todas as amostras foram avaliadas em triplicata.

O tempo de contato entre o solo e a solução foi de

Quadro 2. Teor de arsênio esperado e encontrado em amostras controle e limite de detecção quantitativo (LMQ)

Amostra controle	Teor	
	Esperado	Encon
	mg kg <sup>-1</sup>	
AC 02-115	1,86 ± 0,2	1,44 ±
AC 02-103	3,75 ± 1,6	2,09 ±
ESAL 1	-	9,73 ±
LDQ <sup>(1)</sup>	0,013	

<sup>(1)</sup> LDQ = Fd\*(M ± k\*s) (ALPHA, 1989), em que LDQ é a detecção qualitativo do método analítico; Fd: fator das amostras; M: média das provas em branco; k: de Kaiser que possui valor fixo igual a 3 (Skoog, desvio-padrão das provas em branco.

para leitura. A quantificação do teor de As nas análises foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica, usando equipamento PerkinElmer Analyst 800, com atomização eletrotérmica de grafite. As condições de leitura utilizadas foram temperatura de pirólise de 500 °C (recomendado pelo fabricante) e 0,003 mg de Mg na forma de de-

isotermas de Langmuir, sendo estas as mais utilizadas no estudo de adsorção de As (Singh et al., 1996; Namasivayam & Senthilkumar, 1998; Ladeira et al., 2002). A equação da isoterma de Langmuir,  $\frac{x}{m} = \frac{C_e}{\frac{1}{k} + C_e}$ , apresenta x como a quantidade de As adsorvido; m, a quantidade do adsorvente;  $C_e$ , a concentração de equilíbrio da solução; e k, a constante de ajuste. Em altas concentrações do adsorvato, a quantidade adsorvida se torna constante, ou seja, a superfície do adsorvente torna-se saturada e alcança um máximo de adsorção ou CMADS do elemento estudado (Tan, 1992). Para avaliar a correlação entre algumas características químicas, físicas e mineralógicas e a  $CMADS_{As}$ , foi efetuada análise de correção entre eles (Quadro 4).

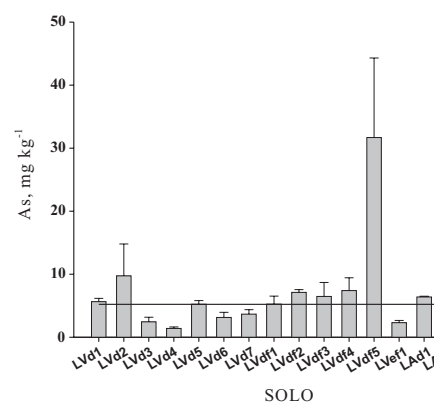
**Quadro 3.** Dados referentes à especiação conduzida no programa MINTEq para maior dose de As ( $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ) utilizada no experimento  $CMADS_{As}$ . Na simulação foram considerados NaCl  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  e pH 5,5

Componente	Concentração total do componente	Espécie
	%	
$Cl^-$	99,424	$Cl^-$
	0,576	NaCl (aq)
$AsO_4^{3-}$	4,810	$HAsO_4^{2-}$
	95,144	$H_2AsO_4^-$
	0,046	$H_3AsO_4$
$Na^+$	99,424	$Na^+$
	0,576	NaCl (aq)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Latossolos avaliados no presente trabalho apresentam teor médio de As de  $5,2 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 1). Dos 17 solos, 16 apresentaram teor de As abaixo de  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ , valor este apresentado por Fitz & Wenzel (2002) e Smedley & Kinniburgh (2002) para solos não-contaminados.

A exceção é o Latossolo Vermelho distroférrico típico (LVdf 5), que apresentou  $31,7 \pm 12,6 \text{ mg kg}^{-1}$  de As no solo. O teor de As de LVdf 5 pode ser considerado normal, quando comparado com o intervalo de valor para solos não-contaminados apresentado no boletim da WHO (2001):  $1\text{--}40 \text{ mg kg}^{-1}$ . O teor de As do LVdf 5 também se encontra abaixo do observado em Latossolo Ferrífero ( $36 \text{ mg kg}^{-1}$  de As) por Curi & Franzmeier



**Figura 1.** Teor semitotal de As nos 17 Latossolos brasileiros determinado após digestão pelo método USEPA 3051A. As barras representam o desvio-padrão, e a linha indica o valor médio de As dos Latossolos.

semitotais, podem ser utilizados como referência para solos não contaminados. Os dados representam o máximo do As disponível.

As equações de regressão linear, usadas no cálculo da  $CMADS$ , foram significativas (Figura 2), e o coeficiente de correlação entre o predito e o observado variou de 0,56 a 0,99.

A  $CMADS_{As}$  média para os 17 Latossolos foi  $2,012 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 3); o LVdf 4 apresentou o maior teor de As ( $753 \text{ mg kg}^{-1}$  de As) e o LVdf 4 a maior capacidade de adsorção ( $3,449 \text{ mg kg}^{-1}$ ). A capacidade de adsorção de LVdf 4 assemelha-se à encontrada no Latossolo coletado em Paracatu-MG, de  $3,2 \text{ mg kg}^{-1}$  (Ladeira & Ciminelli, 2004). A capacidade de adsorção dos solos estudados é superior à encontrada em solos chineses, que variou de  $21,9$  a  $524,8 \text{ mg kg}^{-1}$  (Jiang et al., 2005a,b). Essa menor capacidade de adsorção dos solos chineses deve estar relacionada ao baixo teor de argila ( $< 460 \text{ g kg}^{-1}$ ), óxido de Fe ( $< 2 \text{ g kg}^{-1}$ ) e óxido de alumínio ( $< 2 \text{ g kg}^{-1}$ ). A alta capacidade de adsorção observada no solo LVdf 4, o qual possui os maiores teores de argila, está de acordo com a hipótese de que o teor de argila e os componentes dessa fração controlam a adsorção de As, como o arsenato (Jacobs et al., 1970; Smith et al., 1999). É conveniente salientar que, em sistemas complexos como o solo, características como textura dos constituintes minerais, pH e presença de íons competidores (Smith et al., 1999) determinam uma particular  $CMADS_{As}$  para cada solo e

A  $CMADS_{As}$  dos 17 Latossolos apresentou correlação significativa positiva com o  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ , superfície específica (SE), bentonita

TEOR E CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE ARSÊNIO EM LATOSSOLOS BRASILEIROS..

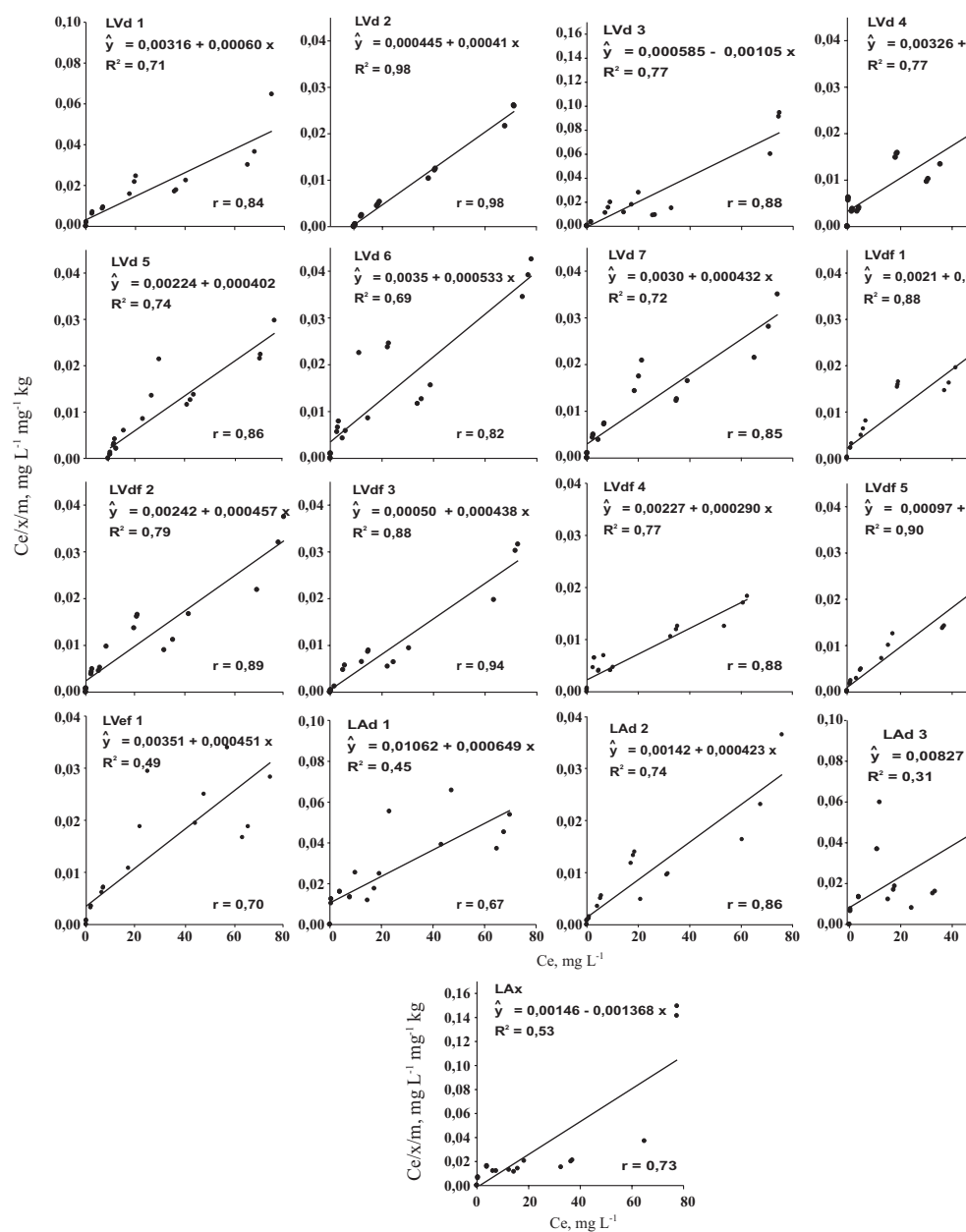


Figura 2. Regressões lineares utilizadas no cálculo da capacidade máxima de adsorção de As (CMA) amostras do horizonte A dos 17 Latossolos avaliados.

em condições de solos ácidos (McBride, 1994). Ladeira et al. (2002) observaram que as colas com elevado teor mostrou correlação significativa negativa entre as CMA e a capacidade máxima de adsorção de As (CMA).

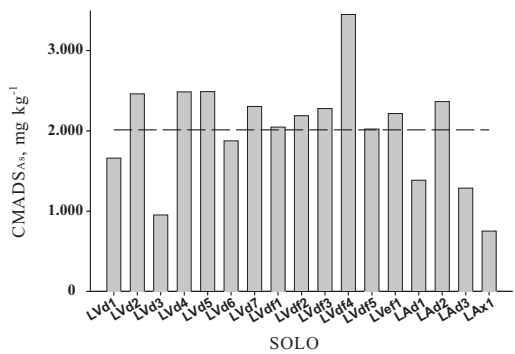


Figura 3. Capacidade máxima de adsorção de As das amostras do horizonte A dos 17 Latossolos. A CMADS<sub>As</sub> foi obtida pela equação: CMADS<sub>As</sub> = 1/b, sendo b a inclinação da reta obtida por regressão linear (Figura 2).

Quadro 4. Coeficiente de correlação entre os atributos físicos, químicos e mineralógicos de 17 Latossolos brasileiros e CMADS<sub>As</sub>, a qual foi obtida pela equação: CMADS<sub>As</sub> = 1/b, sendo b a inclinação da reta

Atributo	Correlação (r) CMAD <sub>As</sub>
Argila	0,46*
MO	-0,09 <sup>ns</sup>
SE	0,43*
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ataque sulfúrico)	0,43*
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ataque sulfúrico)	0,63**
SiO <sub>2</sub> (ataque sulfúrico)	0,42*
Fe <sub>DCB</sub>	0,52*
Fe <sub>Ox</sub>	0,37 <sup>ns</sup>
Ki	0,02 <sup>ns</sup>
Kr	-0,42*
Caulinita	0,19 <sup>ns</sup>
Gibbsita	0,27 <sup>ns</sup>
Hematita	0,51*
Goethita	0,30 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> e \*: Não-significativo e significativo a 5 %.

CONCLUSÃO

1. Os teores médios de As dos 17 Latossolos apresentaram-se dentro da faixa de teores normalmente

inferências para essa classe de solo para o monitoramento de eventuais contaminações.

2. A CMADS<sub>As</sub> apresentou correlação positiva com o teor de argila, com a área superficial específica, com o teor e tipo de óxidos de Fe e Al presentes na fração argilosa.

3. Solos com menor índice Kr apresentaram menor capacidade de adsorver arsênio.

LITERATURA CITADA

ALLOWAY, B.J. Heavy metals in soil. New York, John Wiley & Sons, 1990. 339p.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; OLIVEIRA, J. & VELLOSO, A.C.X. Metais pesados em solos: fertilizantes e corretivos. R. Bras. Ci. Solo, 16:199-204, 1992.

BAIRD, C. Química ambiental. 2.ed. Porto Alegre: Interciência, 2002. 621p.

CAMPOS, M.L.; GUILHERME, L.R.G.; VIEIRA, J.R.; ANTUNES, A.S.; CURI, N.; MARQUES, J.J. & M.L.N. Força iônica da solução de equilíbrio de arsênio em Latossolos brasileiros. Pesq. Agr. Bras., 41:457-460, 2006.

CAMPOS, M.L.; PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J. & CURI, N. Baseline concentrations of heavy metals in Brazilian Latosols. Comm. Soil Sci. Anal., 34:547-557, 2003.

CHEN, M.; MA, L.Q. & HARRIS, W.G. Baseline concentrations of 15 trace elements in Florida surface soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 53:1173-1181, 1999.

CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Effect of parent material on the chemical and mineralogical properties of some Brazilian soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:153-158, 1987.

FITZ, W.J. & WENZEL, W.W. Arsenic transformation in the soil-rhizosphere-plant system: fundamentals and application to phytoremediation. J. Biotechnol., 100:2002.

GUILHERME, L.R.G. & ANDERSON, S.J. Copper and zinc kinetics in two oxide-rich soils (Oxisols) after phosphate pretreatment. In: JENNE, E.A., ed. Bioremediation of metals by geomedia: Variables, mechanisms and applications. San Diego, Academic Press, 1998. 228.

GUJASTAFSSON, J.P. & JACKS, G. Arsenic geochemistry in soils: A review. In: JENNE, E.A., ed. Bioremediation of metals by geomedia: Variables, mechanisms and applications. San Diego, Academic Press, 1998. 228.

## TEOR E CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE ARSÊNIO EM LATOSSOLOS BRASILEIROS..

- HAYES, K.F. & TRAINA, S.J. Metal speciation and its significance in ecosystem health. In: HUANG, P.M., ed. Soil chemistry and ecosystem health. Soil Sci. Soc. Am. J., 1998. p.45-84. (SSSA Special Publication, 52)
- HIEMSTRA T. & van RIEMSDIJK, W.H. Surface structural ion adsorption modeling of competitive binding of oxyanions by metal (hydr)oxides. *J. Colloid Inter. Sci.*, 210:182-193, 1999.
- JACOBS, L.W.; SYERS, J.K. & KEENEY, D.R. Arsenic sorption by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34:750-754, 1970.
- JIANG, W.; ZHANG, S.; SHAN, X.; FENG, M.; ZHU, Y.; MCLAREN, R.G. Adsorption of arsenate on soils. Part 2: Modeling the relationship between adsorption capacity and soil physicochemical properties using 16 Chinese soils. *Environ. Poll.*, 138:285-289, 2005a.
- JIANG, W.; ZHANG, S.; SHAN, X.; FENG, M.; ZHU, Y. & MCLAREN, R.G. Adsorption of arsenate on soils. Part 1: Laboratory batch experiments using 16 Chinese soils with different physicochemical properties. *Environ. Poll.*, 138:278-284, 2005b.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soil and plant. 3.ed. Boca Raton, CRC, 2001. 413p.
- LADEIRA, A.C.Q. & CIMINELLI, V.S.T. Adsorption and desorption of arsenic on an oxisol and its constituents. *Water Res.*, 38:2087-2094, 2004.
- LADEIRA, A.C.Q.; CIMINELLI, V.S.T. & NEPOMUCENO, A.L. Seleção de solos para imobilização de arsênio. *R. Esc. Minas*, 55:215-221, 2002
- MARQUES, J.J.G.S.M. Trace element distributions in Brazilian Cerrado at the landscape and micrometer scales. West Lafayette, Purdue University, 2000. 173p. (Tese de Doutorado)
- MCBRIDE, M.B. Environmental chemistry of soils. New York, Oxford University, 1994. 406p.
- NAMASIVAYAM, C & SENTHILKUMAR, S. Removal of arsenic (V) from aqueous solution using industrial solid waste: Adsorption rates and equilibrium studies. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 37:4816-4822, 1998.
- NIEDZIELSKI, P.; SIEPAK, M. & SIEPAK, J. Comparison of modifiers for determination of arsenic, antimony and selenium by atomic absorption spectrometry with atomization in graphite tube or hydride generation and in-situ preconcentration in graphite tube. *Microchem. J.*, 72:137-1445, 2002.
- OLIVEIRA, J.B. Pedologia aplicada. Piracicaba, FEALQ, 2005. 574p.
- PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; ANDERSON, S.J. & LIMA, J.M. Adsorção e dessorção de
- PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, M.L.N.; LIMA, J.M. & COSTA, E.T.S. Efeito da adsorção e dessorção de cádmio em Latossolos brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:523-532, 2005.
- PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, M.L.N.; OLIVEIRA, L.R. & LIMA, J.M. Efeito da adsorção-dessorção de chumbo em Latossolos brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:269-277, 2001a.
- PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, M.L.N.; OLIVEIRA, L.R. & LIMA, J.M. Teoria da capacidade máxima de adsorção de chumbo em solos brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:279-288, 2001b.
- PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; OLIVEIRA, L.R., CURI, N. & SILVA, M.L.N. Efeito da força iônica na solução de equilíbrio na adsorção de cádmio em solos brasileiros. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:737-745, 2003.
- PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; OLIVEIRA, L.R., CURI, N. & SILVA, M.L.N. Efeito da força iônica na solução de equilíbrio sobre a adsorção de chumbo em Latossolos brasileiros. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:1077-1084, 2001c.
- RICE, K.C. Trace-element concentrations in sediment across the conterminous United States. *Environ. Sci. Technol.*, 33:2499-2504, 1999.
- ROYCHOWDHURY, T.; UCHINO, T.; TOKUNAGA, T. & ANDO, M. Arsenic and other heavy metals in sediment from an arsenic-affected area of West Bengal, India. *Chemosphere*, 49:605-618, 2002.
- SILVA, M.L.N. Erosividade da chuva e proposição de metodologia para estimar a erodibilidade de Latossolos em Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras, 2001. (Tese de Doutorado)
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; MARQUES, J.; GUILHERME, L.R.G. & LIMA, J.M. Ponto de efeito salino nulo e sua determinação com propriedades mineralógicas e químicas de solos brasileiros. *Pesq. Agropec. Bras.*, 31:663-671, 1996.
- SINGH, D.B.; PRASAD, G. & RUPAINWAR, D.C. Adsorption of arsenic (V) on kaolinite: A kinetic study and a technique for the treatment of As (V)-rich water. *Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. Appl.*, 56, 1996.
- SKOOG, D.A. Princípios de análise instrumental. São Paulo, Alegre, Bookman, 2002. 836p.
- SMEDLEY, P.L. & KINNIBURGH, D.G. A review of the geochemical behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.*, 17:517-568, 2002.
- SMITH, E.; NAIDU, R. & ALSTON, A.M. Arsenic in the soil environment: a review. *Adv. Agron.*, 64:149-180, 2000.
- SMITH, E.; NAIDU, R. & ALSTON, A.M. Chemistry of arsenic in soils: I. Sorption of arsenate and arsenite on Australian soils. *J. Environ. Qual.*, 28:1719-1728, 1998.



TAN, K.H. Principles of soil chemistry. 2.ed. New York, Marcel Dekker, 1992. 362p.

USEPA. Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods. SW-846. 3.ed. Washington, U.S. Gov. Print. Office , 1995.

WHO. Arsenic and arsenic compounds. 2.ed. 2004. (Environmental Health Criteria Series, 224) em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc224.htm>>. Acesso Julho de 2005.