

Adsorção de cobre e zinco em Latossolos submetidos a fertilizantes na forma de quelatos de EDTA, sulfatos e líquidos

Regina Maria Quintão Lana¹, Adriane de Andrade Silva², Bruno Nicchio¹, Ângela Maria Quintão Lana³

¹Universidade Federal de Uberlândia – UFU, ICIAG/PPGA – Instituto de Ciências Agrárias/Programa de Pós-graduação em Agronomia, *Campus* Uberlândia, MG.

²Universidade Federal de Uberlândia – UFU, ICIAG – Instituto de Ciências Agrárias, *Campus* Monte Carmelo, MG.

³Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Departamento de Zootecnia, Belo Horizonte, MG.

rmqlana@iciag.ufu.br, zoodrika@uol.com.br, bruno_nicchio@hotmail.com, lana@vet.ufmg.br

Resumo: Diferente das fontes sulfatadas e líquidas as fontes revestidas com quelato reduzem os processos de adsorção pelo seu revestimento orgânico. A adsorção torna-se o principal processo a ser considerado para o entendimento da disponibilidade de micronutrientes. Portanto, objetivou-se avaliar a adsorção de Cu e Zn em Latossolos utilizando fertilizantes com diferentes características, quelatos de EDTA, fontes líquidas e na forma de sulfato. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com oito doses, três repetições em quatro tipos de solos, totalizando 96 análises. As curvas de adsorção de Cu e Zn no solo foram determinadas pela adição de 20 ml de uma solução que continha as concentrações de 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 e 140 mg L⁻¹ do nutriente, na forma dos fertilizantes, quelatos de EDTA, fertilizantes líquidos e sulfatos; em 0,01 mol L⁻¹ de CaCl₂.2H₂O. Foram determinadas as concentrações do Cu e Zn remanescentes após o período de equilíbrio com CaCl₂ através do espectrofotômetro de absorção atômica. Com a obtenção dos dados, estes foram submetidos à análise de variância pelo teste F e seguido de regressão polinomial a 5% pelo teste Tukey. Os resultados demonstraram que a adsorção do Cu foi menor utilizando-se a fonte quelatada com EDTA e entre as fontes sulfatadas e líquidas o comportamento com relação à adsorção foram semelhantes. Não houve diferença significativa entre as doses aplicadas, mas entre as fontes, onde a fonte quelatada foi a que resultou em menor adsorção de Zn. O Zn-EDTA resultou em uma menor adsorção de Zn seguida da fonte sulfatada e líquida. As fontes de micronutrientes quelatadas com EDTA apresentaram menor adsorção de Cu e Zn, independente do solo avaliado em relação às demais fontes.

Palavras-Chave: cosmoquel-EDTA, fertilizantes e micronutrientes.

Adsorption of copper and zinc in oxisols undergoing fertilizers in the form of EDTA chelates, sulfates and liquid

Abstract: Different sources of sulphated and liquid sources chelate coated reduce adsorption processes for its organic coating. The adsorption becomes the main process to be considered for understanding the availability of micronutrients. Therefore, this study aimed to evaluate the adsorption of Cu and Zn in Oxisols using fertilizers with different characteristics, EDTA chelates, liquid resources and as sulphate. The experimental design was completely

randomized in a factorial design with eight doses, three replicates in four soil types, totaling 96 analyzes. Adsorption curves of Cu and Zn were determined by adding 20 ml of a solution containing concentrations of 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 and 140 mg L⁻¹ of the nutrient in form of fertilizers EDTA chelates, sulfates and liquid fertilizers; in 0.01 mol L⁻¹ CaCl₂.2H₂O. The concentrations of Cu and Zn remaining after the equilibrium period with CaCl₂ by atomic absorption spectrophotometer. After obtaining the data, these were subjected to analysis of variance followed by F test and polynomial regression at 5 % by Tukey test. The results showed that the adsorption of Cu was less using the source chelated with EDTA and sulfated between the sources and the liquid with respect to the adsorption behavior were similar. There was no significant difference between the doses, but between sources, where the source was chelated which resulted in lower adsorption of Zn. The Zn -EDTA resulted in a lower adsorption Zn then sulfated and liquid source. The sources of micronutrients chelated with EDTA showed lower adsorption of Cu and Zn, independent of soil evaluated in relation to other sources.

Keywords: cosmoquel - EDTA, fertilizers and micronutrients.

Introdução

Os micronutrientes são essenciais ao desenvolvimento e à sobrevivência de vegetais, devido sua participação de forma direta ou indireta em várias atividades metabólicas nos seres vivos tendo como fonte primária o solo, mas os solos de regiões tropicais são pobres em micronutrientes (Kabata-Pendias e Pendias, 2001; Molina et al., 2009).

O principal processo a ser considerado para o entendimento da disponibilidade de micronutrientes é a adsorção, que fornece indicativos da solubilidade e mobilidade desses nutrientes e sua disponibilidade para as plantas. Os micronutrientes podem ser adsorvidos por atração eletrostática na dupla camada difusa (adsorção não específica) ou pela complexação de superfície (adsorção específica), processo no qual os solutos se ligam à matriz do solo para formar complexos de esfera interna, onde os cátions são retidos fortemente por ligações covalentes com diminuição acentuada das suas labilidades (Selim, 1992).

O aumento de áreas com deficiência de Cu (cobre) e Zn (zinco) no Brasil é evidente, principalmente a resistência dos produtores em aplicar fontes de baixa disponibilidade e alta adsorção dos mesmos (sulfatos e óxidos), que normalmente não respondem a exigências das culturas limitando a produção (Komarek, 2010).

A baixa concentração de Cu e Zn no solo, é também agravada com a intensificação na remoção do micronutriente pelas colheitas e em algumas situações, pelo aumento excessivo do pH do solo (Abreu et al., 2007; Joris et al., 2012). Essa diminuição de disponibilidade com elevação do pH para as plantas é devido sua redução na solubilidade e redistribuição do micronutriente da fração trocável para as frações oxídicas (óxidos de Fe e Al

cristalino e amorfo), tornando-o menos disponível para as plantas (Borges e Coutinho, 2004; Abreu et al., 2007).

As características químico-físicas dos solos e dos fertilizantes interferem na disponibilidade dos micronutrientes tornando necessário conhecer os fatores que afetam nos processos de disponibilidade e adsorção, os quais podem ser corrigidos com fertilizantes, técnicas de manejo adequadas e um bom planejamento sustentável (Marschner, 1995).

Com a utilização de quelatos deve-se lembrar de que o complexo formado pelo íon metal + EDTA, são mais estáveis quimicamente, pois esse complexo está protegido em uma esfera interna. O EDTA é um ligante multidentado ou quelante o que determina que a ligação destes nutrientes seja considerada ligações mais fortes, em que a ligação do metal e ligante é recoberta por moléculas do solvente que protegem a interação química (Andrade, 2009).

A fonte sulfatada para ser adsorvida ao solo depende principalmente dos teores, dos tipos de argilominerais, de óxidos presentes no solo, e dos grupos funcionais das arestas quebradas da caulinita e aqueles da superfície dos óxidos de ferro que são os que possuem maior capacidade de reter esse íon (Ensminger, 1954; Peak et al., 1999).

Para a fonte líquida, diluída em solução aquosa, estas tendem a encontrar um estado de equilíbrio, em que as características de ligações e polaridades das cargas tende a serem de mais difícil explicação, pois não se tem um comportamento ideal e todas as interações físicas e químicas estão atuando, não sendo possível em uma solução observar o comportamento de um único íon. (Andrade, 2009). A compreensão das interações que ocorrem no sistema solo-planta-água-atmosfera é o que define a capacidade das plantas em responder aos nutrientes adicionados no solo (Alleoni et al., 2009).

No entanto, muitas vezes, a adição de fertilizantes específicos para micronutrientes tem sido negligenciada (Carvalho et al., 2012). Diante disso diversos estudos tem indicado a dificuldade de se avaliar o efeito de micronutrientes para aumento da produtividade, pela dependência de outros fatores como o teor disponível na solução, fontes aplicadas, presença de nutrientes aplicados via defensivos agrícolas, adsorção ao solo e matéria orgânica que podem interferir na resposta.

Assim o trabalho teve como objetivo caracterizar a adsorção de Cu e Zn em quatro Latossolos do Triângulo Mineiro, utilizando-se quelatos de EDTA, fertilizante líquido e sulfato.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Análises de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia. As soluções tiveram seus valores de pH corrigidos para 5,5 imediatamente antes do início do experimento.

As suspensões solo-solução foram agitadas por 30 minutos a 220 rpm e, em seguida, centrifugadas a 2000 rpm por 10 minutos, filtradas e analisadas, para o Cu e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica.

As curvas de adsorção de micronutrientes nos solos foram determinadas pela adição de 20 ml de uma solução com as seguintes concentrações: 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 e 140 mg L⁻¹ do nutriente, na forma dos fertilizantes: quelatos de EDTA (Cosmoquel-EDTA), fornecido pela empresa Triada do Brasil, fertilizante líquido de Cu e Zn comercializado pela STOLLER e sulfato de Cu e Zn; em 0,01 mol L⁻¹ de CaCl₂.2H₂O aplicados a 2,0 g de solo seco ao ar, em três repetições, seguindo a metodologia relatada por Soares (2004).

Foram determinadas as concentrações de Cu e Zn remanescentes após o período de equilíbrio com CaCl₂ através da multiplicação da leitura no espectrofotômetro pela diluição (Tabela 1).

Tabela 1. Diluições efetuadas para cada concentração estabelecida nas diferentes fontes

Concentrações (mg dm ⁻³)	1 ^o - diluição	2 ^o - diluição
40	1ml do extrato + 3ml de CaCl ₂	4
60	1ml do extrato + 4ml de CaCl ₂	5
80	1ml do extrato + 5ml de CaCl ₂	6
100	1ml do extrato + 6ml de CaCl ₂	7
120	1ml do extrato + 7ml de CaCl ₂	8
140	1ml do extrato + 8ml de CaCl ₂	9

As concentrações de 10 e 20 mg dm⁻³ não tiveram uma segunda diluição, sendo somente a primeira diluição de 20 mg dm⁻³.

As concentrações do micronutriente adsorvido foram consideradas pela diferença entre aquelas inicialmente adicionadas e as concentrações do micronutriente disponível. A caracterização química dos solos avaliados neste experimento encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química dos solos utilizados no experimento, Uberlândia, 2010

Solo	pH*	P	K	S	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V	m	MO	Cu	Zn
		-----mg dm ⁻³ -----			-----cmol dm ⁻³ -----					-----%-----		dag kg	mg dm ⁻³		
1	6,3	15,7	111	12	0,0	1,9	0,9	2,50	4,88	7,38	66	0	3,3	0,8	1,9
2	6,5	13,9	31	4	0,0	1,8	0,5	1,90	2,48	4,38	57	0	1,3	0,7	1,8
3	5,5	14,6	27	4	0,2	0,4	0,2	5,20	1,07	6,27	17	16	3,2	1,0	0,4
4	5,1	1,6	19	4	0,7	0,2	0,1	4,90	0,25	5,15	5	74	1,8	0,4	0,2

* pH em H₂O (1;25); P, K = (HCL 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹); Al, Ca, Mg = (KCL 1 mol L⁻¹) ; MO = (Walkley – lack) SB = Soma de bases/t = CTC efetiva/T = CTC a pH 7,0/V = Sat . por bases / m = Sat por Al; Cu e Zn determinado com o extrator DTPA conforme descrito EMBRAPA (1997).

Foram utilizados quatro tipos de solos pertencentes originalmente ao bioma cerrado, com duas texturas diferentes e dois usos e ocupação: 1- Latossolo Amarelo textura muito argilosa (LATma) com o uso e ocupação atual com cultivo de soja; 2- Latossolo Amarelo textura média (LATm) com uso e ocupação atual com cultivo de milho; 3- Latossolo Vermelho textura muito argilosa (LVtma) com uso e ocupação atual com cerrado nativo típico; e 4- Latossolo Amarelo textura média (LATm) com uso e ocupação atual com cerrado nativo em área de chapadão. Todos os solos utilizados no experimento foram coletados na profundidade de 0-10 cm.

As amostras de solo foram analisadas, sendo feitas três repetições para cada amostra em oito concentrações, totalizando 96 análises para cada solo e cada fonte avaliada.

Com a obtenção dos dados, estes foram submetidos à análise de variância pelo teste F e seguido de regressão polinomial a 5% pelo teste Tukey.

Resultados e Discussão

Os teores de Cu (cobre) adsorvido diferiram entre a fonte quelatada (EDTA) e o fertilizante líquido (Tabela 3). Entre os solos LVtma e LATm a adsorção foi menor com o uso da fonte quelatada independente do solo, em todas as concentrações. Em relação a fonte líquida observa-se que os valores de Cu adsorvidos foram para o solo LVtma entre 10,00 e 107 mg dm⁻³, e para o solo LATm entre 7 e 46,66 mg dm⁻³.

Tabela 3. Teores de Cu adsorvidos no Latossolo Vermelho textura muito argilosa (LVtma – cerrado nativo) e no Latossolo Amarelo textura média (LVtm – cerrado nativo em chapadão), Uberlândia, 2010

Concentração mg l ⁻¹	LVtma		LATm	
	EDTA	Fertilizante Líquido	EDTA	Fertilizante Líquido
10	4,00 a	10,00 b	3,00 a	7,00 b
20	6,33 a	20,00 b	5,00 a	13,00 b
40	3,33 a	38,33 b	3,33 a	22,00 b
60	4,00 a	55,33 b	3,00 a	30,33 b
80	4,00 a	71,00 b	2,66 a	36,33 b
100	2,66 a	85,00 b	2,33 a	42,00 b
120	0,66 a	99,66 b	1,33 a	46,66 b
140	2,00 a	107,66 b	-----	-----

*Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV = 2,59% (LVtma); CV = 6,49% (LATm);

Esses valores indicam que no Latossolo Vermelho a adsorção com o uso de fertilizante líquido foi próxima a 100%, mesmo tendo uma redução no Latossolo Amarelo à adsorção foi elevada, principalmente, quando compara-se com o uso do fertilizante quelatado com EDTA.

Em relação a adsorção do Zn (zinco) ao solo também foi em menor quantidade para todas as doses com a fonte quelatada com EDTA (Tabela 4). Observa-se que a adsorção do zinco para os LATma e LATm houve diferença significativa entre as fontes, onde o Zn-quelatado apresentou menor adsorção que o Zn no fertilizante.

Tabela 4. Teores de Zn adsorvidos no Latossolo Amarelo de textura muito argilosa (LATma – cultivo de soja) e no Latossolo Amarelo de textura média (LATm – cultivo de milho), Uberlândia, 2010

Concentração mg l ⁻¹	LATma		LATm	
	Quelato	Líquido	Quelato	Líquido
10	2,33 a	8,00 b	1,00 a	8,00 b
20	5,33 a	15,00 b	3,66 a	13,00 b
40	6,33 a	27,66 b	2,66 a	21,66 b
60	8,66 a	37,33 b	5,00 a	27,33 b
80	12,66 a	45,33 b	6,66 a	32,00 b
100	15,33 a	52,00 b	9,00 a	35,00 b
120	18,66 a	59,33 b	8,66 a	38,66 b
140	22,66 a	64,33 b	10,66 a	44,00 b

*Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV = 4,70% (LATma e LATm).

Conforme foi verificado neste trabalho Costa (2008) avaliando diferentes fontes de Zn em solo deficiente cultivado com milho em casa de vegetação, observou que a fonte

quelatada (Zn-EDTA) apresentou menores teores adsorvidos no solo em dose de $4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Zn}$ em relação a fonte orgânica (Zn-LS) e a inorgânica (ZnSO_4).

Nava et al. (2011) avaliaram a disponibilidade de metais pesados em um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com soja, com a aplicação de fertilizantes formulados com diferentes fontes de Zn, observaram que, os teores de Zn foram maiores em sua disponibilidade, assim diminuindo sua adsorção no solo, mas influenciou de forma negativa nas plantas de soja, pelo favorecimento da maior disponibilidade de metais pesados.

O uso de fertilizantes na forma de quelato no Latossolo Vermelho e amarelo causou redução na adsorção do Cu (Figura 1 e 2). Em relação a fonte sulfatada e o fertilizante líquido, observa-se um comportamento semelhante, ambos com adsorção linear e crescente em função das dosagens (Figura 1). No entanto, com o uso do EDTA observa-se um comportamento constante, tendendo a redução com o incremento da dose de Cu, indicando que o uso do quelato reduziu a adsorção do Cu aos colóides do solo, mantendo-se disponível na solução do Latossolo Amarelo de textura média com cultivo de milho (Figura 1).

As curvas de adsorção de Zn, no Latossolo Vermelho de textura muito argilosa, observa-se que o quelato (EDTA) também resultou em menor adsorção, seguido pelo sulfato e depois pelo fertilizante líquido, que obteve a maior adsorção de Zn (Figura 1).

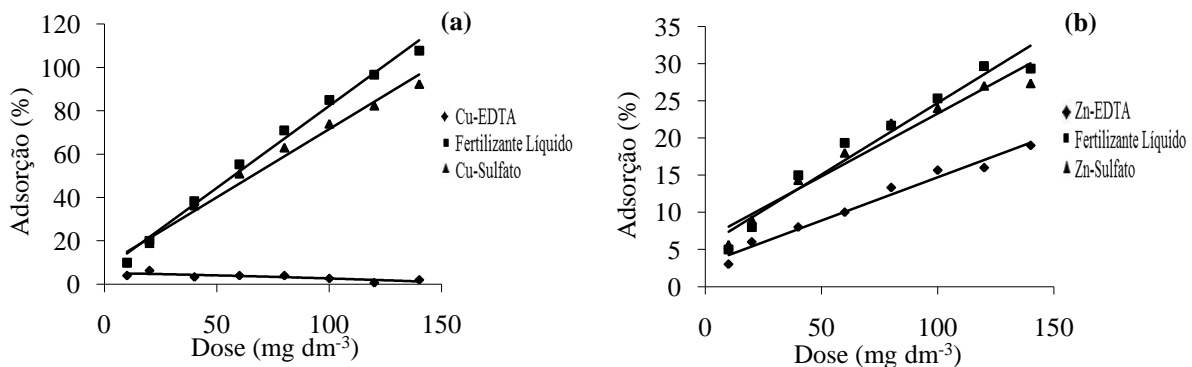


Figura 1. Curva de adsorção de Cu (a) e Zn (b) com fontes de quelatos de EDTA, líquida e sulfato em um Latossolo Vermelho de textura muito argilosa (LVtma – cerrado nativo), Uberlândia, 2010.

Assim ao avaliar a inclinação das curvas, percebemos que o fertilizante líquido e o sulfato apresentam um comportamento muito semelhante, diferente da fonte quelatada (EDTA), que quanto maior a dose aplicada menor foi à adsorção quando comparada as outras fontes.

Em relação à fonte líquida observa-se que os valores de Cu adsorvidos foram para o Latossolo Vermelho (Figura 1), textura muito argilosa entre 10,00 e 107 mg dm⁻³, e para o Latossolo Amarelo, textura média entre 7 e 46,66 mg dm⁻³ (Figura 2). Esses valores indicam que no solo Latossolo Vermelho de textura muito argilosa, a adsorção com o uso de fonte líquida foi próxima a 100%, mesmo apresentando uma redução no solo Latossolo Amarelo de textura média, a adsorção foi bastante elevada principalmente quando se compara com o uso do fertilizante quelatado com EDTA (Figuras 1 e 2).

Corroborando com estudo Moreira (2004) avaliando a adsorção em um Latossolo vermelho (LV) muito argiloso e Latossolo Amarelo (LA) argiloso observou que a adsorção máxima de Cu em um sistema competitivo (SC) foi maior no Latossolo (LA) e já no sistema não competitivo (SNC) a adsorção não variou entre as duas classes de solo. Joris et al. (2012) observaram em Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa que a calagem em sistema plantio direto resultou em incremento na adsorção de Cu e Zn, principalmente na camada superficial.

O comportamento da adsorção do Zn do Latossolo Amarelo de textura muito argilosa com o uso e ocupação atual com cultivo de soja pode ser verificado nas curvas de regressão (Figura 2). Observa-se que a fonte que sofreu menor adsorção foi a quelatada (EDTA). As curvas de regressão da fonte líquida e de sulfato foram equivalentes.

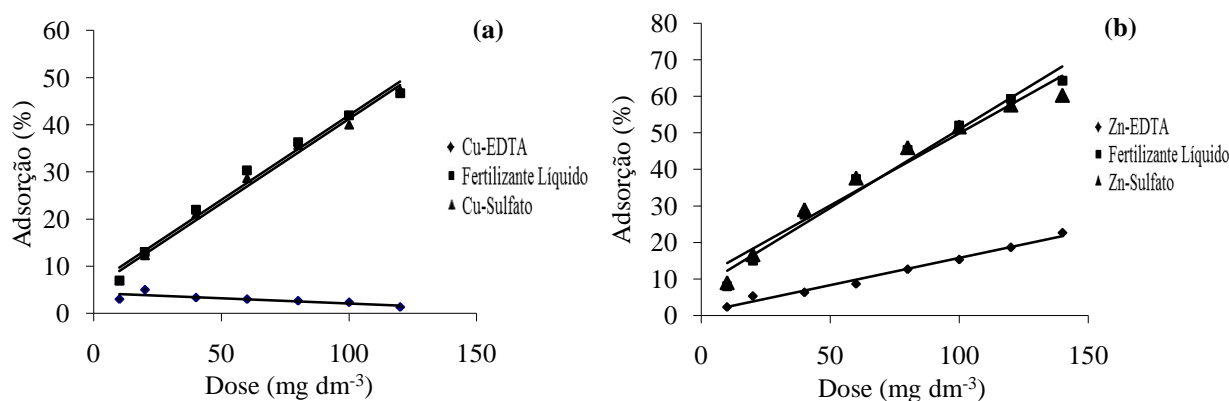


Figura 2. Curva de adsorção de Zn (a) e Cu (b) com fontes de quelatos de EDTA, líquida e sulfato em um Latossolo Amarelo textura muito argilosa (LATma – cultivo de soja), Uberlândia, 2010.

O mesmo comportamento observado na tabela 3 foi verificado no Latossolo Amarelo de textura média (Figura 2). Independente da textura argilosa ou média e do teor de matéria

orgânica, o fertilizante quelatado com EDTA não apresentou adsorção no Latossolo Vermelho.

Para Latossolo Amarelo textura média (LATm), observa-se na figura 3 que a fonte Zn-quelatada (EDTA) obteve menor adsorção, seguido do sulfato e da fonte líquida, resultando na maior adsorção. Para todas as fontes obteve-se um comportamento linear em função do aumento das doses.

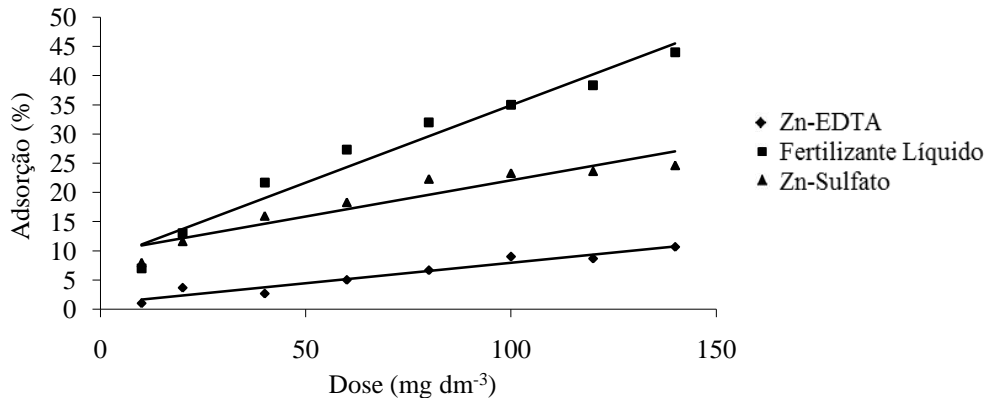


Figura 3. Curva de adsorção de Zn com fontes de quelatos de EDTA, líquida e sulfato em um Latossolo Amarelo textura média (LATm – cultivo de milho), Uberlândia, 2010.

Entre os dois Latossolo Amarelo (LATma e LATm), observou-se que a fonte Zn-quelatada (EDTA) em ambos os solos apresentou o mesmo comportamento, baixa adsorção mesmo nas doses mais elevadas (Figuras 2 e 3). Contudo, nos fertilizantes líquido e sulfatada observou-se no LATm com cultivo de milho com menor teor de matéria orgânica, que o sulfato apresentou uma redução na adsorção em relação ao LATma com cultivo de milho.

Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Silva et al. (2010) trabalhando com um Latossolo Vermelho textura muito argilosa e por Matias et al. (2010) trabalhando com um Latossolo Amarelo textura muito argilosa.

Segundo Linhares et al. (2010), esse fato pode ser explicado pelo menor teor de argila quanto ao baixo teor de matéria orgânica, assim reduzindo a CTC do solo, que são fatores que promovem uma maior adsorção, reduzindo a adsorção do sulfato de Zn, em relação ao fertilizante líquido que apresenta os nutrientes em solução, assim disponíveis para a adsorção.

Com relação ao LATm com cerrado nativo em chapadão a adsorção de Zn apresentou um comportamento linear, com a fonte quelatada com EDTA, apresentando menor adsorção

que a líquida (Figura 3). O teor de matéria orgânica no LATm com cerrado nativo em chapadão foi menor em relação ao LVtma com cerrado nativo (Figura 3 e 1).

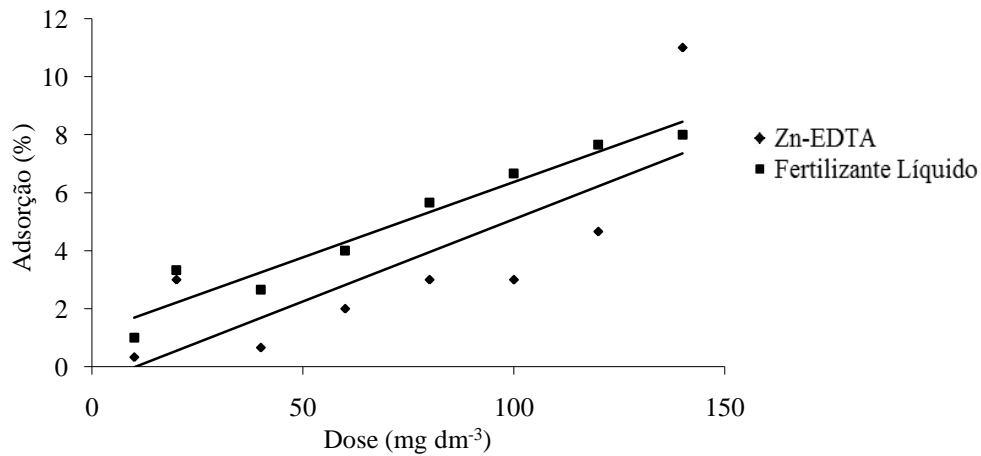


Figura 4. Curva de adsorção de Zn com fontes de quelatos de EDTA, líquida e sulfato em um Latossolo Amarelo de textura média (LATm – cerrado nativo em chapadão), Uberlândia, 2010.

O comportamento observado na figura 4 se justifica que, em função de menor presença de cargas para adsorção houve uma redução nesse processo, tanto para a fonte líquida quanto para a fonte quelatada (EDTA), o que determinou a redução da diferença entre as fontes.

Por isso que as fontes quelatadas geralmente têm sido mais eficientes (Lopes e Carvalho, 1988) em solos neutros e calcários, ou, ainda, em solos com alta capacidade de fixação de micronutrientes (Holden & Brown, 1965). Portanto, esse comportamento ocorreu em função da característica química do solo, que apresenta uma menor capacidade de adsorção dos nutrientes e não em função das fontes de fertilizantes.

Uma possível explicação seria o fato do manejo empregado no solo cultivado, influenciando diretamente na adsorção de micronutrientes no solo. Joris et al. (2012) em trabalho com aplicação de calagem superficial em área sob sistema de plantio direto a mais de 10 anos, observaram que o Zn foi adsorvido em maiores quantidades, onde o pH foi o atributo que mais influenciou adsorção do Zn.

Semelhante a Léles et al. (2010), observaram que adsorção de Cu e Zn foi maior com maiores doses de calcário no solo, em cultivo de mamoeiro, assim tornando menos disponível a planta, podendo a longo prazo acarretar em prejuízos devido ao aumento das doses e tornando este tóxico para a planta (Joris et al., 2012).

O comportamento observado pelo Cu e Zn-EDTA pode ser explicada conforme relata Lopes (1999) os quelatos são geralmente bastante solúveis, mas diferentemente dos sais simples, dissociam-se muito pouco em solução, isto é, o ligante tende a permanecer ligado ao metal permitindo que o micronutriente fique em solução.

Segundo Camargo (1991) esse processo é altamente complexo, resultado da heterogeneidade do solo e suas interações, sendo um fenômeno conhecido. Diante disso vários fatores influenciam a adsorção de micronutrientes nos solos de cerrado (Alleoni et al., 2005), pois as reações são influenciadas por características químicas (pH, CTC, matéria orgânica, cátions e ânions solúveis), mineralógicas (tipo e teor de argila, óxidos e hidróxidos de Al e Fe) e também pelo tipo de fertilizante empregado, interferindo na resposta desses solos a adubação (McBride, 1988; 1994).

Conclusões

O Cu e Zn apresentaram menor adsorção independente do tipo de solo com a fonte quelatada em relação as fontes líquida e sulfatada.

O sulfato de Cu resultou menor adsorção que o fertilizante líquido que demonstrou elevada adsorção nos Latossolos avaliados.

O Zn-EDTA obteve uma menor adsorção de Zn seguida da fonte sulfatada e líquida.

Referências

ABREU, C.A.; LOPES, A.S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p.645-736.

ALLEONI, L. R. F.; IGLESIAS, C. S. M.; MELLO S. C.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; LAVORENTI, N. A. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.27, n.4, p.729-737, 2005.

ALLEONI, L. R. F.; MELLO, J. W. V.; ROCHA, W. D. S. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo: aplicações**. Viçosa, MG: SBCS, 2009. v.2, cap.12, p.69-130.

ANDRADE, J. C. Conceitos básicos de químicas IN: **Química e mineralogia do solo**. Eds. MELO, V. de F.; ALLEONI, L. R. Viçosa, MG: SBCS, 2009.

BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após a aplicação de biossólido. I - Fracionamento. **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.543-555, 2004.

CAMARGO, O. A. Reações e interações de micronutrientes no solo. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da. (Ed.). **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: Potafós 1991, p.243-272.

CARVALHO, V. G. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Potencial de Fertilizantes e Corretivos no Aporte de Micronutrientes ao Solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.36, p.931-938, 2012.

COSTA, R. S. S. **Aplicação de quelatos de zinco em um solo deficiente cultivado com milho em casa de vegetação**. 2008. 44p. (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

ENSMINGER, L. E. Some factors affecting the absorption of sulfate by Alabama. **Soil Science Society American Proceeding**, v.18, p.259-264, 1954.

HAN, X.; LI, X.; UREN, N.; TANG, C. Zinc fractions and availability to soybeans in representative soils of Northeast China. **Journal of Soils and Sediments**, v. 11, p. 596-606, 2011.

HOLDEN, E. R.; BROWN, J. R. Influence of slowly soluble, and chelated zinc on zinc content and yield of alfafa. **J. Agric. Food Chem.**, v.13, p.180-184, 1965.

JORIS, H. A. W.; FONSECA, A. F. F.; ASAMI, V. Y.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P. R.; GARBUIO, F. J. Adsorção de metais pesados após calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.1, p.1-10, 2012.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants**. 3.ed. Boca raton, Press, 2001. 331p.

KOMAREK, M., CADKOVA, E., CHRASTNY, V., BORDAS, F., BOLLINGER, J. C. Contamination of vineyard soils with fungicides: a review of environmental and toxicological aspects. **Environ**, v.36, p.138-51, 2010.

LÉLES, É. P.; FERNANDES, D. M.; SILVA, J. I. C.; FUMES, L. A. A. Interação de doses de calcário e zinco nas características morfológicas e nos componentes de produção da mamoneira. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.32, n.3, p.501-509, 2010.

LINHARES, L. A.; FILHO, F. B. E.; BELLIS, V. M.; SANTOS, E. A.; IANHEZ, R. Utilização dos modelos de Langmuir e de Freundlich na adsorção de cobre e zinco em solos Brasileiros. **Acta Agronômica**, v.59, n.3, p.303-315, 2010.

LOPES, A. S, CARVALHO, J. G. Micronutrientes: Critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excesso. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO. SIMPÓSIO: ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 27, 1988, Londrina, 1988, **Anais**. Londrina: CNPSo/EMBRAPA, p 133-78.

LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica**. São Paulo: ANDA, 1999. 72 p. (Boletim Técnico, 8).

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic, 1995. 902p.

MATIAS, F. I.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P.; SILVA, A. A.; LANA, R. M. Q.; JUNIOR, P. A. C. Adsorção e disponibilidade de zinco decorrente da utilização de: quelatado com EDTA, fertilizante líquido e sulfato. In: SIMPOSIO MINEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 1, 2010, Viçosa. **Anais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 1-3.

MCBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York, Oxford University, 1994. 406p.

_____. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. **Advances in Soil Science**, Madison, v.10, p. 1-56, 1989.

MOLINA, M.; ABURTO, F.; CALDERÓN, R.; CAZANGA, M. & ESCUDEY, M. Trace element composition of selected fertilizers used in Chile: Phosphorus fertilizers as a source of long-term soil contamination. **Soil Sed. Contam.**, v.18, p.497-511, 2009.

MOREIRA, C. S. **Adsorção competitiva de cádmio, cobre, níquel e zinco em solos**. 2004. 108p. (Mestrado em Agronomia). Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, Piracicaba, 2004.

NAVA, I. A.; JUNIOR, A. C. G.; NACKE, H.; GUERINI, V. L.; SCHWANTE, D. Disponibilidade dos metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo no solo e tecido foliar da soja adubada com diferentes fontes de NPK+Zn. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.35, n.5, p. 884-892, 2011.

PEAK, D.; FORD, R.G.; SPARKS, D.L. An in Situ ATR-FTIR Investigation of Sulfate Bonding Mechanisms on Goethite. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.218, p.289–299, 1999.

SELIM, H. M. Modelling the transport and retention of inorganics in soils. **Adv. Agron.**, v. 47, p.331, 1992.

SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P.; JUNIOR, P. A. C.; SILVA, A. A.; LANA, R. M. Q. Eficiência de diferentes fontes de zinco na adsorção e disponibilidade em um latossolo vermelho. In: SIMPOSIO MINEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 1., 2010, Viçosa. **Anais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 1-3.

SOARES, M. R. **Coefficiente de distribuição (Kd) de metais pesados em solos do Estado de São Paulo**. 2004. 202p. (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba, 2004.

Recebido para publicação em: 22/10/2013

Aceito para publicação em: 23/03/2014