

Movimento de zinco em colunas de solo tratado com resíduo calcário oriundo de mineração

Regina de Carvalho Oliveira¹, Alexandre Romeiro de Araújo²; Ruy Carvalho³; Luiz Roberto Guimarães Guilherme⁴; Leônidas Paixão Passos⁵, João José Marques^{6*}

RESUMO

O movimento descendente de contaminantes pelo perfil dos solos agrícolas pode significar um problema de grande impacto ambiental para a sociedade. Em decorrência do crescente interesse pela utilização de resíduos urbanos contaminados com metais pesados na agricultura, este tema vem recebendo nos últimos anos maior atenção, principalmente no que se refere à mobilidade desses elementos. Assim, objetivou-se com este estudo, conduzido em casa de vegetação, avaliar a mobilidade de Zn em colunas de solo e verificar o efeito de extratos hidrossolúveis vegetais em sua movimentação. Extratos de braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) e milho (*Zea mays* L.) foram preparados e adicionados sobre colunas de PVC contendo um Latossolo Vermelho distroférico, típico muito argiloso, no qual previamente se havia aplicado resíduo calcário (RC) naturalmente rico em Zn. A irrigação foi feita durante sete dias, adicionando-se às colunas água destilada ou extrato vegetal. Os resultados mostraram não haver movimento de Zn. A adição de extratos vegetais não alterou significativamente essas respostas. Provavelmente, o RC estudado possui Zn em formas pouco disponíveis. Portanto, uma única aplicação desse calcário dificilmente acarretará problemas ambientais, sendo o risco de contaminação do lençol freático nulo ou muito pequeno.

Palavras-chave: Metais pesados, poluição, resíduos de mineração

ABSTRACT

Zinc movement through columns of soil amended with limestone mining residues

The vertical movement of contaminants through soils is a problem of great environmental impact on human society. The growing use of urban and industrial residues contaminated with heavy metals in agriculture has been drawing attention to this issue, particularly to the mobility of these elements. Therefore, the objective of this work was to analyze the movement of Zn in soil columns and to verify the effect of water-soluble plant extracts on such movement. The experiment was carried out in a greenhouse. Brachiaria grass (*Brachiaria decumbens* Stapf) and maize (*Zea mays* L.) extracts were prepared and poured in PVC columns containing a very clayey typical dystroferric Red Latosol (Rhodic Hapludox), previously amended with naturally Zn-rich limestone residue (LR). Irrigation was performed by adding distilled water or plant extracts into the columns for seven days. The results showed no movement of Zn in the studied period, since these metals remained in the soil. Plant extracts did not significantly modify the results. It is likely that the studied LR has low available Zn. Thus, a single application of LR will hardly lead to any environmental problems and the risk of groundwater contamination is very low.

Key words: Heavy metals, pollution, mining residues

Recebido para publicação em dezembro de 2007 e aprovado em julho de 2009

¹ Química, Doutora. Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, 37200-000 Lavras-MG, Brasil. rcoliveira@ufla.br

² Zootecnista, Doutor. Centro de Tecnologia Canavieira, Caixa Postal 162, 13400-970, Piracicaba, SP, Brasil. araraujo@ctc.com.br

³ Engenheiro Agrônomo, Doutor. Departamento de Química, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, 37200-000 Lavras-MG, Brasil. ruy@dqi.ufla.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Ph Doctor. Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, 37200-000 Lavras-MG, Brasil. guilherme@dsc.ufla.br

⁵ Engenheiro Agrônomo, Ph Doctor. EMBRAPA/CNGL, Rua Eugênio nascimento, 610, Dom Bosco, 36038-330, Juiz de Fora, MG, Brasil. lpassos@cngl.embrapa.br

⁶ Engenheiro Agrônomo, Ph Doctor. Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, 37200-000 Lavras-MG, Brasil. jmarques@ufla.br

* Autor para correspondência.

INTRODUÇÃO

A maioria dos metais pesados ocorre naturalmente no solo em formas não prontamente disponíveis para organismos vivos (Resende *et al.*, 1997). Entretanto, com a intensificação dos processos de produção agrícola e a utilização maciça de insumos industrializados, e, mais recentemente, com a utilização dos resíduos e subprodutos de processos industriais na agricultura, tem-se observado o enriquecimento desses metais nos solos (Lima, 2001).

Oliveira *et al.* (2008), por exemplo, estudaram métodos de tratamento de resíduos de couro, contendo cerca de 30 g kg⁻¹ de Cr, visando sua aplicação na agricultura. Os resultados indicaram ser esses resíduos excelente fonte de N para as culturas (cerca de 150 g kg⁻¹ de N) e sem efeito tóxico de Cr, o qual foi adequadamente removido pelo processo proposto pelos autores.

A poluição do solo por metais pesados está ligada a processos de acúmulo e transporte dessas espécies que dependem, em grande parte, das suas interações com a fase sólida do sistema. Esta interação, tanto com a fase inorgânica quanto com a orgânica do solo, é bastante complexa, envolvendo reações de adsorção e dessorção, precipitação e dissolução, complexação e oxirredução (Dowdy & Volk, 1983; Ellis *et al.*, 1983; McBride, 1989; Sposito, 1989; Alloway, 1990; Antoniadis *et al.*, 2007). Atributos do solo, como pH, matéria orgânica, óxidos de Fe, Al e Mn, conteúdo de argila e potencial redox são responsáveis pelo comportamento e pela disponibilidade de metais pesados no solo (Antoniadis *et al.*, 2007).

A concentração média de Zn em solos é da ordem de 50 mg kg⁻¹ (Heinrichs *et al.*, 1980; Ellis *et al.*, 1983; Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Em solos não contaminados por fontes antropogênicas, a concentração de Zn é largamente governada pelo teor na rocha de origem. Campos *et al.* (2003) mediram os teores de Zn em diversos latossolos brasileiros e obtiveram valores médios de 22 mg kg⁻¹, condizentes e ligeiramente inferiores aos valores médios mundiais. Para outros solos brasileiros, diversos autores também obtiveram resultados semelhantes (Curi & Franzmeier, 1987; Gomes *et al.*, 1997; Muggler, 1998; Marques *et al.*, 2004), embora haja nítida tendência para se encontrarem maiores valores em solos com altos teores de Fe.

Em função de sua configuração eletrônica, o Zn, quando comparado a outros elementos, como Pb e Cu, tende a se ligar aos colóides do solo de modo não-específico e a ser mais móvel (McBride, 1989). Antoniadis *et al.* (2007) atribuem a maior mobilidade de Zn à sua menor eletronegatividade (Zn = 1,6; Cd = 1,7; Pb e Cu = 1,8; e Cu = 1,9). Assim, o Zn é supostamente

mais disponível às plantas que a maioria dos outros metais pesados. Zinco, assim como a maioria dos metais pesados, ocorre no solo na forma catiônica e, por isso, sua adsorção aumenta com o aumento do pH (McBride, 1989). Com valores altos de pH (> 8,0), a disponibilidade desse elemento é tipicamente muito baixa, podendo haver até mesmo precipitação na forma de carbonatos e fosfatos (McBride, 1989).

Amaral Sobrinho *et al.* (1992) analisaram os teores de vários metais pesados em diversas amostras de corretivos digeridos com HClO₄ e HF, entre eles um resíduo calcário. Os teores de Cd, Pb e Zn foram os mais críticos do ponto de vista ambiental, atingindo valores bastante altos (52 mg kg⁻¹, 2.800 mg kg⁻¹ e 10.220 mg kg⁻¹, respectivamente).

Lima (2001), estudando a biodisponibilidade de Cd, Pb e Zn oriundos de resíduo calcário (RC) para o feijoeiro, observou que, apesar de estarem em quantidades elevadas, Cd e Zn não foram absorvidos pelas plantas em quantidades significativas. Embora em caráter preliminar, esses resultados levam à conclusão de que o RC é seguro em relação à absorção de Cd e Zn pelas plantas. Contudo, o autor não avaliou o potencial de lixiviação de metais pesados oriundos desse RC, o que é importante para uma avaliação integral do risco ambiental. O fato de o Zn não ter sido absorvido pelas plantas em quantidades significativas não significa necessariamente que ele esteja fortemente adsorvido ao solo nem que não possa ser lixiviado. Os mecanismos que governam esses fenômenos (absorção, adsorção e lixiviação) são distintos, complexos e atuam em escalas de tempo diferentes.

Oliveira *et al.* (2002) realizaram um estudo de campo para avaliar a movimentação de vários metais pesados oriundos de lixo urbano num latossolo. O teor de Zn no composto de lixo urbano incorporado (0 – 0,2 m) ao solo foi de cerca de 450 mg kg⁻¹. Dos metais estudados por esses autores (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn), Zn foi o mais móvel, aumentando o teor no solo até a profundidade de 0,6 m, num período relativamente curto de dois anos. Os autores concluíram que este metal, se aplicado ao solo, tem grande potencial para atingir as águas subterrâneas.

Os poucos dados disponíveis sobre metais pesados em resíduos calcários no Brasil (Amaral Sobrinho *et al.*, 1992; Lima, 2001) demonstram claramente o risco associado à presença de metais pesados. Todavia, a ausência de avaliações de mobilidade desses elementos impede observações conclusivas sobre esses riscos. Portanto, este estudo objetivou avaliar a mobilidade de Zn em fluxos de água e soluções de extratos vegetais em colunas de solo tratadas com resíduo calcário naturalmente rico em metais pesados, particularmente Zn.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido em casa de vegetação em colunas de PVC (0,05 × 0,3 m). O material do solo utilizado no experimento foi coletado do horizonte Bw (1,8 – 2,3 m) de um solo classificado, de acordo com EMBRAPA (2006), como Latossolo Vermelho distroférrico típico, muito argiloso, localizado em Minas Gerais. O solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de malha de 4 mm. Cada coluna foi cuidadosamente preenchida com cerca de 600 g desse solo. Em vez do horizonte superficial do solo, escolheu-se o horizonte subsuperficial, por apresentar baixo teor de matéria orgânica, isolando assim a possível interferência da matéria orgânica nativa do solo no efeito dos tratamentos. Isso foi importante para isolar o efeito dos extratos de milho e braquiária como percolantes, conforme o descrito adiante. Os resultados das análises de caracterização do solo, feitas de acordo com métodos-padrão da EMBRAPA (1997) encontram-se na Tabela 1.

Foi utilizado como corretivo de solo um RC, naturalmente rico em metais pesados, subproduto da mineração de Pb e Zn, comercializado em larga escala como calcário dolomítico para uso agrícola. Esse resíduo é proveniente do beneficiamento de dolomitos estromatolíticos da Formação Vazante, do Proterozóico médio, situados no Noroeste de Minas Gerais, os quais contêm veios de sulfetos de Pb e Zn.

Em virtude do RC não ser um corretivo agrícola convencional, procedeu-se também à sua análise com difração de raios X pelo método do pó. Foi utilizado um difratômetro dotado de goniômetro vertical e geometria $\theta/2$, com variação angular de 2–60°2 θ , radiação de CoK α , filtro de Fe e velocidade de exposição de 1°2 θ min⁻¹.

O poder de neutralização do RC foi determinado segundo método padrão para calcários agrícolas, por meio

de dissolução com HCl e titulação com NaOH (Brasil, 1988; Silva, 1999). Em razão da turbidez da amostra, foi utilizado um pHmetro para se determinar o ponto final da titulação, em vez de fenolftaleína. A totalidade do RC passou em peneira de malha de 0,3 mm, e o PRNT foi calculado em 90%. O RC apresentou teores de CaO e MgO de 273 e 176 mg kg⁻¹, respectivamente, e 47 g kg⁻¹ de resíduo insolúvel.

A dose de RC utilizada no experimento foi a necessária para corrigir toda a massa de solo na coluna, de acordo com o método da neutralização do Al e da elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis (CFSEMG, 1999), tanto no tratamento em que o RC foi incorporado em toda a massa do solo quanto naquele em que o calcário foi aplicado apenas superficialmente. A dose aplicada, 0,5 g por coluna de solo, foi equivalente a 1,7 t ha⁻¹.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos foram três extratos para percolação (milho, braquiária e água destilada) e três formas de aplicação do corretivo de solo: superficial, incorporada e sem aplicação, totalizando-se assim 27 colunas.

No tratamento em que o RC foi incorporado, sua aplicação foi feita três meses antes do início do experimento. Nos tratamentos em que o RC foi aplicado superficialmente, tal aplicação foi feita um dia antes do início do experimento, pois a reação do calcário aplicado à superfície é insignificante na ausência de água. O objetivo dos tratamentos aplicação superficial e aplicação incorporada foi verificar alguma eventual diferença em mobilidade para essas duas formas de aplicação, uma diluída em toda a massa do solo e outra concentrada na superfície.

A irrigação foi feita adicionando-se às colunas de solo, por gotejamento, 130–140 mL de água destilada ou extrato vegetal diariamente (Franchini *et al.*, 2001). Para se prepararem os extratos hidrossolúveis, amostras foliares de braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) e milho (*Zea mays* L.) foram coletadas em uma área de plantio comercial e secas em estufa a 65 °C, por 48 h. Após a secagem, essas foram moídas e armazenadas em sacos de papel. Para a extração dos compostos hidrossolúveis, foram transferidos 3,75 g do material vegetal para Erlenmeyer de 250 mL e adicionados 125 mL de água destilada. A mistura foi agitada durante 8 h, a 175 rpm, e depois filtrada, conforme Franchini *et al.* (2001). Os extratos vegetais foram adicionados para simular a ação dos primeiros produtos de decomposição de restos culturais sobre a mobilização de elementos químicos. Tal procedimento já foi utilizado por Franchini *et al.* (2001) para estudar a mobilidade de íons oriundos de calcário aplicado superficialmente, e este experimento emulou, tanto quanto possível, as condições experimentais de Franchini *et al.* (2001).

Tabela 1. Resultados da análise química do solo utilizado nos experimentos antes da aplicação dos tratamentos (média ± desvio padrão, n = 2)

Características	Valor
pH em água	5,2 ± 0,1
Ca ⁺² (cmol _c kg ⁻¹)	0,4 ± 0,0
Mg ⁺² (cmol _c kg ⁻¹)	0,15 ± 0,10
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,04 ± 0,01
Al ⁺³ (cmol _c kg ⁻¹)	0,1 ± 0,0
H + Al (cmol _c kg ⁻¹)	2,9 ± 0,4
P (mg kg ⁻¹)	0,5 ± 0,1
C orgânico (g kg ⁻¹)	0,6 ± 0,0
Soma de bases (cmol _c kg ⁻¹)	0,59
CTC efetiva (cmol _c kg ⁻¹)	0,69
CTC pH 7 (cmol _c kg ⁻¹)	3,49
Saturação por bases (%)	17
Saturação por Al (%)	14

Nos percolados, os quais eram coletados no dia seguinte à irrigação, foram analisadas as concentrações de Zn, o qual foi analisado por espectrometria de absorção atômica de chama ar-acetileno. O experimento teve duração de sete dias e, ao se encerrar, os tubos de percolação foram desmontados e seccionados nas camadas 0 – 0,05; 0,05 – 0,1; 0,1 – 0,2; e 0,2 – 0,3 m.

Para extração de Zn do solo e do RC, foi utilizado o método USEPA 3051, em que se utilizou 0,5 g de solo ou resíduo passado em peneira de 0,15 mm. As amostras foram digeridas em forno de microondas durante 10 minutos, com HNO₃ concentrado. Após esse procedimento, os extratos foram filtrados e posteriormente analisados por espectrometria de absorção atômica (USEPA, 1998). Esse método, que extrai a quantidade máxima potencialmente biodisponível de um dado metal (Link *et al.*, 1998), é um método semitotal, pois nem toda a massa do solo é digerida.

Os teores de Zn também foram extraídos do solo por soluções DTPA e Mehlich-1 com relação solo:solução 1:2,0 e 1:2,5, respectivamente (EMBRAPA, 1997; Silva, 1999). A determinação de Zn no sobrenadante foi feita por espectrometria de absorção atômica.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância em esquema de parcelas subdivididas, considerando-se as formas de aplicação nas parcelas e as camadas em faixa nas subparcelas. Para comparação das médias, utilizou-se o teste de Tukey, desdobrando-se as interações significativas a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Zinco no resíduo calcário

A análise de difração de raios X indicou que o mineral predominante no RC é a dolomita [CaMg(CO₃)₂], o que está coerente com sua classificação como calcário dolomítico. Pequenas quantidades de quartzo também estão presentes. Foi igualmente detectada a presença de sulfeto de Zn. Dois sulfetos de Zn, esfarelita e vurtzita, ocorrem comumente na natureza e a sua distinção por difração de raios X é difícil, pois eles têm seus reflexos bastante próximos. O RC contém provavelmente esfarelita (ZnS), pois esse é o sulfeto de Zn mais comum. Com base no resultado da análise química do RC, estima-se que a quantidade de esfarelita no RC esteja ao redor de 10 g kg⁻¹. Essa quantidade pequena normalmente não seria detectada pelo difratômetro de raios X. Porém, a esfarelita é um mineral que exhibe picos anormalmente intensos aos raios X.

O RC apresentou teores muito elevados de Zn extraídos pelo método USEPA 3051 (3.953 ± 117 mg kg⁻¹). A máxima concentração “típica” para calcários nos EUA é de 450 mg kg⁻¹ (Battelle, 1999). Apesar disso, nota-se

que o teor de Zn no RC diminuiu, devido a alterações nos processos de beneficiamento dos minérios, desde o trabalho de Amaral Sobrinho *et al.* (1992) com o mesmo material, já que os teores encontrados no presente trabalho foram muito inferiores aos observados por aqueles autores (10.220 mg kg⁻¹). Quando se comparam os teores encontrados neste estudo com os verificados por Lima (2001) para o mesmo RC, observa-se que os valores de Zn no RC estão muito próximos (3.953 ± 117 mg kg⁻¹ versus 3.885 mg kg⁻¹), apesar da diferença de métodos utilizados (USEPA 3051 versus água régia).

Zinco nos lixiviados

Os teores de Zn nos lixiviados estiveram, em todos os tratamentos, sempre abaixo do limite qualitativo de detecção do método analítico (0,2 mg kg⁻¹). Esses resultados concordam com as de Anjos & Mattiazzo (2000) e Oliveira *et al.* (2002) sobre lixiviação de metais pesados em solos tratados com biossólidos e composto de lixo, respectivamente.

Teores de zinco no solo extraídos por Mehlich-1 e DTPA

Os extratores Mehlich-1 e DTPA foram utilizados neste estudo como indicadores de fitodisponibilidade. Zinco foi extraído em quantidade detectável por ambos os métodos, mas mesmo assim os seus teores no solo estiveram sempre abaixo de 10 mg kg⁻¹. Teores dessa magnitude são considerados não-tóxicos e podem, inclusive, ser benéficos às plantas. Pode-se observar na Tabela 2 que os teores de Zn, de maneira geral, tenderam a concentrar-se na camada de contato entre o RC e o solo, principalmente quando o RC era aplicado apenas superficialmente.

Os extratos hidrossolúveis, simulando os primeiros produtos da decomposição de restos culturais, mostraram pouco ou nenhum efeito no aumento da mobilidade de metais. Provavelmente, a pequena mobilidade observada está relacionada a três fatores: (i) elevação do pH do solo para valores > 6; (ii) grande presença de óxidos de Fe e Al (234 g kg⁻¹ de Fe₂O₃ e 299 g kg⁻¹ de Al₂O₃), extraídos pelo ataque sulfúrico (Marques *et al.*, 2002); e (iii) possibilidade de rápida degradação desses compostos orgânicos no solo.

Esses resultados contrastam fortemente com os encontrados por Oliveira *et al.* (2002). Tais autores, no entanto, atribuem a grande movimentação de Zn observada em seu trabalho à acidez do solo estudado (pH < 5,0), que não foi significativamente alterada pela adição de composto de lixo contendo Zn. Essa situação difere substancialmente da deste trabalho, em que se observou significativa alteração no pH do solo (de < 5,5 para > 6,0), pois o metal pesado encontrava-se numa matriz carbonática. Assim, ao se avaliar o potencial de contaminação de um dado metal pesado,

Tabela 2. Teores de Zn recuperados em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico, típico pelos extratores DTPA, USEPA 3051 e Mehlich-1, após calagem com resíduo corretivo aplicado incorporado ao solo e na sua superfície

Prof. (m)	Incorporado			Superficial			Sem calagem		
	¹ BR	Milho	² SE	¹ BR	Milho	² SE	¹ BR	Milho	² SE
DTPA									
	mg kg ⁻¹								
0,00–0,05	3,4Aa	1,8Ba	0,4Ca	5,7Aa	3,4Ba	2,8Ca	3,0Aa	1,5Ba	0,3Ca
0,05–0,10	0,5Ab	0,5Ab	0,3Aa	<0,2Ab	0,3Ab	<0,2Ab	0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Aa
0,10–0,20	0,4Ab	0,4Ab	0,3Aa	<0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Ab	0,2Aa
0,20–0,30	0,3Ab	0,3Ab	0,3Aa	<0,2Ab	<0,2Ab	0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Aa
USEPA 3051									
	mg kg ⁻¹								
0,00–0,05	21Ba	37Aa	12Ba	32Aa	33Aa	26Aa	14Aa	13Aa	12Aa
0,05–0,10	16Aa	17Ab	13Aa	12Ab	10Ab	10Ab	10Aa	10Aa	11Aa
0,10–0,20	13Aa	20Ab	13Aa	11Ab	11Ab	11Ab	10Aa	12Aa	10Aa
0,20–0,30	13Aa	36Aa	12Ba	11Ab	10Ab	11Ab	11Aa	12Aa	11Aa
Mehlich-1									
	mg kg ⁻¹								
0,00–0,05	6,0Aa	4,0Ba	2,0Ca	11,3Aa	7,7Ba	7,3Ba	5,3Aa	3,3Ba	1,0Ca
0,05–0,10	1,0Ab	1,0Ab	1,0Aa	0,3Ab	0,3Ab	<0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Ab	0,3Aa
0,10–0,20	0,7Ab	1,0Ab	1,3Aa	<0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Aa
0,20–0,30	0,7Ab	1,0Ab	1,0Aa	<0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Ab	<0,2Aa

¹ BR – Extrato de Braquiária, ² SE – Sem extrato.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

torna-se essencial levar em consideração a matriz (lodo de esgoto, composto de lixo, resíduo siderúrgico, resíduo calcário etc.) em que ele se encontra.

Os teores de Zn extraídos por DTPA foram menores que os extraídos por Mehlich-1 (Tabela 2), confirmando o alto poder de extração do Mehlich-1 em relação ao DTPA, particularmente num resíduo alcalino em que um extrator ácido, como o Mehlich-1, terá seu efeito maximizado (Silva *et al.*, 2006). Estes resultados sugerem que o extrator Mehlich-1 extrai os metais associados às formas de maior solubilidade, trocáveis mais carbonatos, e uma pequena parte dos metais ligados à matéria orgânica e aos óxidos de Fe. Por outro lado, o extrator DTPA, um complexante, extrai os metais adsorvidos ao solo principalmente por forças eletrostáticas (Silva *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2007). Resultados semelhantes foram observados em estudos de campo tanto por Ribeiro Filho *et al.* (1999) em área com rejeitos de indústria de processamento de zinco quanto por Silva *et al.* (2006) em latossolo adubado com lodo de esgoto.

Teores de zinco extraídos do solo pelo método USEPA 3051

Os teores de Zn extraídos pelo método USEPA 3051 mostraram pequeno incremento na camada de solo onde o RC foi aplicado (Tabela 2). O teor natural de Zn extraído pelo método USEPA 3051 foi cerca de 11 mg kg⁻¹ (Tabela 2).

Com a incorporação do RC, o teor de Zn aumentou para próximo de 13 mg kg⁻¹. A quantidade de Zn adicionado pelo RC foi de 2 mg por coluna (cada coluna tinha aproximadamente 0,6 kg de solo). Logo, aproximadamente 50% do Zn potencialmente biodisponível existente no RC deixou de sê-lo após ter sido incorporado ao solo, sem aplicação de extratos hidrossolúveis.

Quando se calcula o conteúdo de Zn potencialmente biodisponível nas colunas em que foram aplicados RC e extratos hidrossolúveis, obtêm-se valores muito superiores ao que se encontraria simplesmente somando o adicionado via RC e o via extratos. Possivelmente, com a reação do extrato hidrossolúvel no solo e no contato com o RC há liberação de compostos que podem quelatar o Zn. O efeito diferenciado dos extratos vegetais de milho e braquiária pode ser atribuído à possível composição química distinta de cada um desses extratos.

CONCLUSÕES

Apesar do alto teor de Zn no RC, esse metal acha-se em formas de baixa solubilidade. Não foi observada movimentação significativa de Zn em nenhuma das colunas de 0,3 m utilizadas neste estudo. Nem mesmo a irrigação com grandes quantidades de extratos vegetais hidrossolúveis foi capaz de mobilizar apreciavelmente o zinco.

REFERÊNCIAS

- Alloway BJ (1990) Heavy metals in soils. New York, John Wiley. 339p.
- Amaral Sobrinho NMB, Costa LM, Oliveira C & Velloso ACX (1992) Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 16:271–276.
- Anjos ARM & Mattiazzi ME (2000) Lixiviação de íons inorgânicos em solos repetidamente tratados com bio-sólido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:927–938.
- Antoniadis V, Mckinley JD & Zuhairi YW (2007) Single-element and competitive mobility measured with column infiltration and batch tests. *Journal of Environmental Quality*, 36:53–60.
- Battelle - Battelle Memorial Institute (1999) Background report on fertilizer use, contaminants and regulations. Washington, USEPA. 131p. (EPA 747-R-98-003)
- Brasil. Ministério da Agricultura. Laboratório Nacional de Referência Vegetal (1988) Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes. Brasília, LANARV. 104p.
- Campos ML, Pierangeli MAP, Guilherme LRG, Marques JJ & Curi N (2003) Baseline concentration of heavy metals in Brazilian Latosols. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 34:547–557.
- CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999) Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa, CFSEMG. 359p.
- Curi N & Franzmeier DP (1987) Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. *Soil Science Society American Journal*, 51:153–158.
- Dowdy RH & Volk UV (1983) Movement of heavy metals in soils. In: Nelson DW, Elrick DE & Tangi KK eds. *Chemical mobility and reactivity in soil systems*. Madison, Soil Science Society of America. p.229–240. (SSSA Special Publication, 11).
- Ellis BG, Knezek BD & Jacobs LW (1983) The movement of micronutrients in soils. In: Nelson DW, Elrick DE & Tangi KK (eds). *Chemical mobility and reactivity in soil systems*. Madison, Soil Science Society of America. p.109–122. (SSSA Special Publication, 11).
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997) Manual de métodos de análise de solo. 2 ed., Rio de Janeiro, Embrapa. 212p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed., Rio de Janeiro, Embrapa. 306p.
- Franchini JC, Meda AR, Cassiolato ME, Myazawa M & Pavan MA (2001) Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. *Scientia Agricola*, 58:357–360.
- Gomes PC, Fontes MPF, Costa LM & Mendonça ES (1997) Extração fracionada de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:543–551.
- Heinrichs H, Dobrick BS & Wedepohl KH (1980) Terrestrial geochemistry of Cd, Bi, Tl, Pb, Zn, and Rb. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44:1519–1532.
- Kabata-Pendias A & PENDIAS H (2001) Trace elements in soils and plants. 3 ed., Boca Raton, CRC Press. 331p.
- Lima GJEO (2001) Biodisponibilidade de cádmio, zinco e chumbo presentes em calcário comercial para o feijoeiro cultivado em três solos do Noroeste de Minas Gerais. Tese de Mestrado. Lavras, Universidade Federal de Lavras. 148p.
- Link DD, Water PJ & Kingston HM (1998) Development and validation of the new EPA microwave assisted leach method 3051A. *Environmental Science & Technology*, 32:3628–3632.
- Marques JJGSM, Curi N & Schulze DG (2002) Trace elements in Cerrado soils. *Tópicos em Ciência do Solo*, 2:103–142.
- Marques JJ, Schulze DG, Curi N & Mertzman AS (2004) Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. *Geoderma*, 121:31–43.
- Mcbride MB (1989) Reactions controlling heavy metal solubility in soils. *Advances in Soil Science*, 10:1–56.
- Muggler CC (1988) Polygenetic Oxisols on Tertiary surfaces. Ph D Thesis. Wageningen, Wageningen Agricultural University. 186 p.
- Oliveira DQL, Carvalho KTG, Bastos ARR, Oliveira LCA, Marques JJGSM & Nascimento RSMP (2008) Utilização de resíduos da indústria de couro como fonte nitrogenada para o capim-elefante. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:417–424.
- Oliveira FC, Mattiazzi ME, Marciano CR & Abreu Jr, CH (2002) Movimentação de metais pesados em Latossolo adubado com composto de lixo urbano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:1787–1793.
- Resende M, Curi N, Resende SB & Côrrea GF (1997) Pedologia: base para distinção de ambientes. 2. ed. Viçosa, NEPUT. 367p.
- Ribeiro Filho MR, Curi N, Siqueira JO & Motta PEF (1999) Metais pesados em solos de área de rejeitos de indústria de processamento de zinco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23:453–464.
- Silva CA, Rangel OJ, Dynia JF, Bettiol W & Manzatto CV (2006) Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em Latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:353–364.
- Silva FC (1999) Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, EMBRAPA. 370p.
- Silva VL, Carvalho R, Freitas MP, Tormenta CF & Melo WC (2007) Structural determination of Zn and Cd-DTPA complexes: MS, infrared, ¹³C NMR and theoretical investigation. *Spectrochimica Acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy*. 68:1197–1200.
- Sposito G (1989) The surface chemistry of soils. New York, Oxford University Press. 234p.
- United States Environmental Protection Agency – USEPA (1998) Method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. In: SW-846: Test methods for evaluation solid waste, physical and chemical methods; Office of Solid Waste. Washington, DC, U.S. Environmental Protection Agency, p.1–20.