

# Fitodisponibilidade de metais em milho (*Zea mays*) cultivado com aplicação de biossólido

## Phytoavailability of metals in maize (*Zea mays*) grown with sewage sludge application

Affonso C. Gonçalves Junior<sup>1\*</sup>, Herbert Nacke<sup>2</sup>, Daniel Schwantes<sup>3</sup>, Gustavo F. Coelho<sup>4</sup>, Ricardo F. Braga de Sousa<sup>5</sup> e Adir Airton Parizotto<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, Rua Pernambuco, 1777 - Caixa Postal: 91, 85960-000 Marechal Cândido Rondon - PR, Brasil. E-mail: affonso133@hotmail.com, author for correspondence

<sup>2</sup> Colegiado de Agronomia, Centro Universitário Dinâmica das Cataratas, Campus de Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, Rua Castelo Branco, 349, CEP: 85852-010. E-mail: herbertnacke@hotmail.com

<sup>3</sup> Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Paraná, Brasil, Av. da União, 500, CEP: 85902-532. E-mail: daniel.schwantes@pucpr.br

<sup>4</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, Rua Pernambuco, 1777 - Caixa Postal: 91, 85960-000 Marechal Cândido Rondon - PR, Brasil. E-mail: gf.coelho@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, Rua Pernambuco, 1777 - Caixa Postal: 91, 85960-000 Marechal Cândido Rondon - PR, Brasil. E-mail: r\_felipe\_b@hotmail.com

<sup>6</sup> Instituto Ambiental do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil, Rua Guaíra, 3132, CEP: 85903-220. E-mail: parizotto@iap.pr.gov.br

Recebido/Received: 2014.01.29

Aceite/Accepted: 2014.09.14

### RESUMO

A reciclagem e utilização de lodo de esgoto na agricultura é uma prática cada vez mais difundida no Brasil, entretanto, são necessários estudos relacionados com a possível contaminação ambiental por metais pesados devido ao uso deste material. Desta forma, o objetivo deste trabalho consistiu em avaliar a fitodisponibilidade de metais pesados na cultura do milho cultivada com diferentes doses de biossólido, incrementadas ou não com fertilizante mineral N:P2O5:K2O. O ensaio foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial 5x2, com quatro repetições. Aos 45 dias após a emergência de plantas o ensaio foi finalizado e as plantas coletadas para avaliação dos teores dos metais pesados Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb e Cr. Os resultados demonstraram apenas os teores de Zn aumentaram gradativamente com o incremento das doses de biossólido, sendo que a utilização do biossólido junto com o fertilizante mineral não proporcionou médias diferentes em relação ao biossólido isoladamente. Observou-se ainda que não ocorreram teores fitotóxicos dos metais pesados avaliados nas plantas de milho. Conclui-se pelos dados experimentais que uma única aplicação de biossólido não é suficiente para proporcionar translocação de metais tóxicos, entretanto evidencia-se a necessidade maiores estudos com relação a aplicações sucessivas deste material.

**Palavras-chave:** disponibilidade, fitotoxicidade, lodo de esgoto.

### ABSTRACT

The recycling and use of sewage sludge in agriculture is an increasingly widespread practice in Brazil, however, studies related with the possible contamination with heavy metals due to the use of this material are needed. Thus, the objective of this work was to evaluate the phytoavailability of heavy metals in corn grown under different sewage sludge doses, incremented or not with mineral fertilizer N: P2O5: K2O. The experiment was conducted in a randomized design, with a 5x2 factorial scheme, with four replications. At 45 days after plant emergence the experiment was terminated and the plants collected to evaluate the levels of heavy metals Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb and Cr. The results showed that only Zn levels increased gradually with increasing of sewage sludge doses, and the use of biosolids along with chemical fertilizer did not provide different means in relation to sewage sludge alone. We also observed that there were no phytotoxic levels of heavy metals assessed in maize. It was concluded with this experiment that a single biosolids application was not sufficient to provide environmental contamination, but highlights the need for further studies with respect to successive applications of this material.

**Keywords:** availability, phytotoxicity, sewage sludge

## Introdução

Pesquisas no Brasil têm incentivado a reciclagem do lodo de esgoto estabilizado como bio-sólido para utilização na agricultura como uma técnica alternativa e/ou complementar a adubação mineral convencional (Lemainski e Silva, 2006<sup>a</sup>; Lemainski e Silva 2006<sup>b</sup>; Silva *et al.*, 2010). Existem indícios que os bio-sólidos melhoram a qualidade dos solos, devido aos elevados teores em matéria orgânica e nutrientes (Costa *et al.*, 2009<sup>a</sup>; Barros *et al.*, 2011).

Segundo Boeira e Maximiliano (2009), embora seja importante efetuar a reciclagem de resíduos antrópicos, ainda existe uma carência de informações consistentes que garantam a utilização segura de bio-sólido na agricultura. Um dos efeitos negativos da aplicação destes materiais é a incorporação de metais tóxicos, que podem causar impactos ambientais negativos, como a contaminação do solo, plantas, águas superficiais e subterrâneas (Costa *et al.*, 2009<sup>b</sup>; Vitali *et al.*, 2008), onde além de não apresentarem quaisquer benefícios ao organismo humano, a presença destes nos solos constituem um grave problema ambiental devido a sua persistência e elevado poder de toxicidade (Silva *et al.*, 2007; Bertoli *et al.*, 2011).

De acordo com Duffus (2002), para a definição do termo metal pesado ou elementos traços, deve-se levar em consideração características químicas importantes, como densidade, massa atômica, número atômico, propriedades químicas, bem como definições que levam em consideração a toxicidade destes. Estes elementos ocorrem naturalmente nos solos e alguns, como o cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e cobalto (Co) desempenham importante papel na nutrição de plantas e animais, enquanto outros, como o cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), arsênio (As) e mercúrio (Hg) ocasionam efeitos prejudiciais sobre vários componentes da biosfera (Alloway, 1995; Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

As primeiras normas regulamentadoras do uso de bio-sólido na agricultura no Brasil seguem critérios de países de clima temperado, que possuem diversas pesquisas relacionadas à interação deste material com o solo e plantas, e o monitorização contínua após a sua aplicação (Marques *et al.*, 2007; Bastos *et al.*, 2013). Com o crescente aumento dessa prática, o Ministério do Meio Ambiente por meio do Conselho do Meio Ambiente (CONAMA), elaborou a resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006, que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências (Brasil, 2006). Todavia, os resultados

não podem ser extrapolados para todos os tipos de bio-sólidos ou para todas as culturas cultivadas em climas tropicais, uma vez que as condições dos materiais e ambientais são diferentes, principalmente com relação às características físico-químicas dos lodos utilizados, necessidades das culturas e às propriedades específicas dos solos (Marques *et al.*, 2007).

Muitos trabalhos têm verificado a fitodisponibilidade de metais tóxicos (Cd, Pb e Cr) em diversas culturas pela aplicação de fertilizantes, como Nava *et al.* (2011) e Gonçalves Jr. *et al.* (2011) na cultura da soja, Zenatti *et al.* (2012) na cultura da Tifton 85, Gonçalves Jr. *et al.* (2012) e Nacke *et al.* (2013) na cultura do milho e Gonçalves Jr. *et al.* (2013a) e Gonçalves Jr. *et al.* (2013b) na cultura do hissopo.

Nestes pressupostos, o objetivo deste trabalho consistiu em determinar a fitodisponibilidade dos metais Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb e Cr em plantas de milho cultivadas com diferentes doses de bio-sólido proveniente de uma estação de tratamento de esgoto, visando o uso sustentável deste material na agricultura.

## Material e Métodos

### Caracterização do ensaio

O ensaio foi implantado em ambiente protegido da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, no município de Marechal Cândido Rondon – PR, em vasos com capacidade de 5,0 L cada, utilizando amostras de solo classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (LVd) (Embrapa, 2006).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 5x2, sendo os tratamentos constituídos por cinco doses de bio-sólido (0; 10,0; 20,0; 40,0 e 60,0 Mg ha<sup>-1</sup>) e duas formas de fertilização (com e sem N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O), com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. As doses foram determinadas a partir de valores crescentes da dose de bio-sólido considerada adequada (10 Mg ha<sup>-1</sup>), segundo a Resolução N° 375 de 29 de agosto de 2006 do CONAMA (Brasil, 2006).

### Caracterização do solo

O solo utilizado no ensaio foi colhido na camada arável (0 a 20 cm de profundidade), sendo posteriormente seco ao ar e peneirado a uma granulometria de 4 mm.

Para caracterização do solo (Quadro 1) foi efetuada a secagem do mesmo em estufa de circulação forçada de ar a 45°C, sendo posteriormente realizada a análise química de rotina e micronutrientes (Pavan *et al.*, 1992). Para determinação dos metais tóxicos Cd, Pb e

Cr realizou-se digestão nitroperclórica (AOAC, 2012) seguida de técnicas de espectrometria de absorção atômica, modalidade chama (EAA/chama) (Welz e Sperling, 1999). A análise granulométrica foi realizada segundo o método da pipeta (Embrapa, 2006), sendo que os valores de argila, silte e areia foram 321,67; 77,12 e 601,21 g kg<sup>-1</sup> respectivamente.

### Caracterização do biossólido

O biossólido utilizado no ensaio foi colhido numa Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), localizada no município de Foz de Iguaçu-PR, obtido pelo processo de digestão anaeróbica de lodo ativado em um reator anaeróbico de leito fluidificado (RALF) e posteriormente tratado com calcário.

Para determinação das concentrações dos metais Cu, Mn, Zn, Fe, Cd, Pb e Cr foi realizada digestão

nitroperclórica (AOAC, 2012), seguida de técnicas de EAA/chama, utilizando calibração com padrões certificados para todos os metais (Welz e Sperling, 1999). Os resultados são apresentados na Quadro 2.

### Condução do ensaio

De acordo com os resultados da análise química do solo (Quadro 1) constatou-se a necessidade de correção da acidez, desta forma foi realizada a calagem com aplicação de 1,09 Mg ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (Coelho, 2006). Em seguida foi realizada a fertilização das doses de biossólido em seus respectivos tratamentos e na qual o solo foi incubado pelo período de 30 dias (Simonete *et al.*, 2003), sendo utilizado o volume de 4,0 dm<sup>3</sup> de solo em cada vaso.

Após o período de incubação do solo foi realizada a fertilização com N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O, na proporção 8-20-20, segundo recomendação proposta por Coelho (2006),

**Quadro 1** – Análise química do Latossolo Vermelho distroférrico (LVd) utilizado no estudo.

pH*	MO g dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al	V	Al <sup>3+</sup>
			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				-----%-----	
5,12	14,58	54,85	0,50	1,86	0,99	0,06	45,28	1,92
	Cu	Mn	Zn	Fe	Cd	Pb	Cr	
	-----mg dm <sup>-3</sup> -----							
	2,17	47,00	3,40	21,17	<0,005	32,00	6,67	

\*pH em CaCl<sub>2</sub>, V – Saturação de bases, MO – Matéria orgânica. LQ (limites de quantificação): P = 0,01; K = 0,01; Ca = 0,005; Mg = 0,005; Cu = 0,005; Fe = 0,01; Mn = 0,01; Zn = 0,005; Cd = 0,005; Pb = 0,01; Cr = 0,01 mg dm<sup>3</sup>.

**Quadro 2** – Concentração dos metais pesados no biossólido utilizado no experimento

Cu	Mn	Zn	Fe	Cd	Pb	Cr
-----mg dm <sup>-3</sup> -----						
210,00	114,67	314,67	34883,33	5,00	121,67	38,33

LQ (limites de quantificação): Cu = 0,005; Fe = 0,01; Mn = 0,01; Zn = 0,005; Cd = 0,005; Pb = 0,01; Cr = 0,01 mg dm<sup>3</sup>.

e em seguida implantada a cultura do milho. Para tanto, foram semeadas cinco sementes por vaso e três dias após a germinação plena foi realizado o desbaste, mantendo-se duas plantas por vaso.

Durante todo o ensaio manteve-se, no solo, umidade correspondente a 70% da capacidade máxima de retenção de água (Van Raij *et al.*, 1997).

Aos 30 dias após a emergência das plantas (DAE), realizou-se uma fertilização de cobertura para fornecimento de N em todos os tratamentos, desta forma, foram aplicados 120 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de sulfato de amônio [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] (Coelho, 2006).

O ensaio foi conduzido até 45 DAE, e ao final deste período as plantas foram cortadas rentes ao solo para as análises da parte aérea. No laboratório as plantas foram lavadas primeiramente com água de torneira e detergente, e posteriormente com água destilada e deionizada, após a lavagem o material vegetal foi desidratado e triturado para posterior análise química.

As concentrações dos metais Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb e Cr nos tecidos da parte aérea foi determinada por meio de digestão nitroperclórica (AOAC, 2012), seguida de técnicas EAA/chama utilizando calibração com padrões certificados para todos os metais (Welz e Sperling, 1999).

### Análise estatística dos dados

Todos os dados obtidos experimentalmente foram submetidos à análise de variância (ANAVA), as variáveis cujos resultados revelaram significância a 5% de probabilidade de erro, tiveram as médias comparadas pelo teste de Tukey, considerando que as doses de biossólido neste trabalho não são ortogonais, ou seja, representam um fator quantitativo não equidistante, logo o ajuste de equações de regressão não descreveria o comportamento da aplicação de biossólido de modo apropriado. Utilizou-se como auxílio o programa estatístico SISVAR 5.0 (Ferreira, 2003).

### Resultados e Discussão

Os altos teores de micronutrientes presentes no Latossolo Vermelho eutrófico (LVE) apresentados no Quadro 1 podem ser explicados pelo material de origem basáltica deste solo, sendo as rochas máficas o seu principal material de origem. Solos originados de rochas máficas, segundo Biondi *et al.* (2011) possuem altas concentrações de Fe, Mn, Zn, Cu.

O Quadro 3 apresenta a análise de variância para as concentrações dos metais estudado. Foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as doses de biossólido para os metais Zn, Fe, Mn e Pb (Quadro 3) no tecido foliar de milho, o que demonstra que a aplicação de doses de biofertilizante influenciou na disponibilidade de nutrientes para a cultura. Cabe ainda salientar que também foi encontrada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as doses de  $N:P_2O_5:K_2O$  e os teores foliares de Zn, demonstrando que as doses de adubação mineral aplicadas foram suficientes para ocorrência de diferenças estatísticas nos teores de Zn foliares.

Ainda de acordo com o Quadro 3, não foi encontrada diferença significativa para a interação entre biofertilizante e adubação mineral ( $N:P_2O_5:K_2O$ ). Para os tratamentos que receberam ou não fertilização mineral ( $N:P_2O_5:K_2O$ ) houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) apenas para os teores foliares de Zn. Ao passo que para a interação entre doses e fertilização não foram encontradas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) para as médias das concentrações de nenhum elemento no tecido foliar das plantas de milho.

**Quadro 3** – Análise de variância para os teores de Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb e Cr no tecido vegetal do milho

Fonte de Variação	G.L.	Quadrados Médios					
		Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cr
Dose	4	0,04 <sup>NS</sup>	74,50**	13487,35**	410,90*	2,78*	0,21 <sup>NS</sup>
NPK	1	0,16 <sup>NS</sup>	115,60**	12644,04 <sup>NS</sup>	72,90 <sup>NS</sup>	0,36 <sup>NS</sup>	0,21 <sup>NS</sup>
Dose x NPK	4	0,30 <sup>NS</sup>	4,97 <sup>NS</sup>	8371,05 <sup>NS</sup>	159,15 <sup>NS</sup>	0,12 <sup>NS</sup>	0,21 <sup>NS</sup>
Resíduo	60	0,20	8,61	3512,03	118,68	0,62	0,07
C. V. (%)	---	27,23	17,27	23,50	23,48	55,13	24,68

\* - significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F (Fisher). NS - não significativo pelo teste de F (Fisher).

\*\* - significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F (Fisher).

Resultados semelhantes foram observados por Rangel *et al.* (2006), Luchese *et al.* (2008) e Nogueira *et al.* (2008) que verificaram um aumento dos teores de Zn nas folhas de milho em função da aplicação de biossólido. Este fato pode estar relacionado com os altos teores de Zn encontrados no biossólido, sugerindo que essa fração de Zn contido no biossólido torna-se disponível para a planta de milho, ou seja, conforme aumentam as doses ocorre também um aumento no teor disponível no solo possibilitando a absorção pela planta (Nogueira *et al.*, 2008). Ou ainda pelo fato de que o Zn possui alto coeficiente de transferência, proporcionando uma alta disponibilização deste para as plantas (Lasat, 2000).

Com relação aos teores foliares de Zn em função da fertilização, observa-se que a adubação mineral proporcionou menores teores deste elemento nas plantas em relação à ausência da adubação mineral (15,30 mg kg<sup>-1</sup> com  $N:P_2O_5:K_2O$  contra 18,70 mg kg<sup>-1</sup> sem  $N:P_2O_5:K_2O$ ). Este comportamento pode estar associado à inibição competitiva existente entre os elementos P e Zn, onde o primeiro interfere negativamente no segundo (Carneiro *et al.*, 2008), demonstrando, neste trabalho, que a suplementação mineral de P prejudicou o acúmulo de Zn pelas plantas de milho.

Entretanto de acordo com Rangel *et al.* (2006) o uso contínuo do biossólido poderia contaminar o solo e

as plantas com teores fitotóxicos de Zn, já que o teor deste nutriente está relacionado com o aumento das doses do resíduo.

Não foram detectados teores de Cd no tecido vegetal das plantas de milho, entretanto, isto não significa que não existem teores deste metal nas plantas, podendo o Cd estar em concentrações abaixo do limite de quantificação (LQ = 0,005) do método utilizado (EAA/Chama).

O fato da não detecção de Cd, segundo Shtangeeva *et al.* (2011) pode ser considerado normal, já que as raízes podem absorver este elemento porém, é pouco translocado para a parte aérea das plantas, por ser um processo não específico e ocorrendo de forma controlada e restrita. Esta dinâmica, geralmente, ocorre em solos com baixas concentrações de metais pesados, dado que em solos com altas concentrações as plantas podem acumular elementos tóxicos em seus órgãos.

Vale ressaltar também que neste ensaio somente foi realizada uma fertilização, porém aplicações sucessivas de biossólido podem ocasionar uma acumulação de Cd no solo. De acordo com Freitas *et al.* (2009) a acumulação e metais tóxicos em solos é considerada de grande preocupação para diversos órgãos ambientais e investigadores, por conduzir não apenas à diminuição da produtividade das culturas em decorrência de seus efeitos fitotóxicos mas também a efei-

tos deletérios à saúde humana e animal.

Segundo Gonçalves Jr. *et al.* (2012) a necessidade de estudos relacionados com aplicações sucessivas de biossólido torna-se importante, uma vez que esta prática pode resultar em incremento dos teores de metais pesados no solo e, conseqüente, entrada destes elementos na cadeia alimentar, ocasionando contaminação a animais, humanos e do meio ambiente

Para o elemento Cu, a semelhança estatística entre as médias de todos os tratamentos pode ser explicada pelo fato de que ocorre a formação de complexos altamente estáveis entre este elemento e a matéria orgânica do solo (MOS). Fenômeno favorecido pelo aumento da matéria orgânica do solo causado pela adição de biossólido, proporcionando assim, uma baixa disponibilização e conseqüente absorção deste metal pela planta (Silva e Vitti, 2008).

Não obstante, resultados de pesquisas demonstram que o Cu apresenta baixo coeficiente de transferência solo/planta, tornando-se menos disponível que outros elementos (Lasat, 2000), esta baixa disponibilidade também ocorre para o metal Cr, o que explicaria a não ocorrência de médias diferentes entre os tratamentos, aliado ainda a baixa concentração deste metal encontrada na análise química do biossólido (Quadro 2).

As médias encontradas para as concentrações de Zn, Fe, Mn e Pb no tecido foliar das plantas de milho em

**Quadro 4 – Valores médios dos teores de Zn, Fe, Mn e Pb no tecido vegetal das plantas de milho em função das doses de biossólido utilizadas no experimento.**

Metais	Doses em Mg ha <sup>-1</sup>				
	0	10	20	40	60
	mg kg <sup>-1</sup>				
Zn	13,25 c	17,94 b	16,69 b	19,50 ab	21,62 a
Fe	183,50 a	102,50 b	132,06 ab	114,25 b	137,31 ab
Mn	54,25 a	42,31 b	44,50 b	45,38 ab	44,12 b
Pb	2,49 a	1,17 b	1,13 b	1,15 b	1,23 b

Para cada elemento, na linha, médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

função das diferentes doses de biossólido utilizadas podem ser visualizadas no Quadro 4.

No Quadro 4 observa-se pouca diferença entre os teores foliares médios de Fe e Mn, que pode ter sido ocasionada pela calagem realizada no solo antes do cultivo das plantas, que provoca elevação do pH do solo e estabilização dos metais por meio de ligações químicas, ocasionando desta forma diminuição na disponibilidade desses elementos para as plantas (Alvarez *et al.*, 2008).

De acordo com Fernandes *et al.* (2006), no caso Fe, este fato também pode estar relacionado com a rápida conversão do Fe solúvel do biossólido em compostos insolúveis oxidados e não disponíveis a planta, o que justifica o alto teor deste elemento no biossólido (Quadro 2) de 34.883 mg kg<sup>-1</sup>, e os teores Fe em níveis adequados encontrados a cultura do milho neste estudo (Quadro 4).

Resultados semelhantes foram encontrados por Pigozzo *et al.* (2002) em plantas de milho submetidas

a aplicação de lodo de esgoto, sendo que na referida pesquisa esperava-se que as plantas de milho apresentassem teores fitotóxicos devido ao elevado teor de Fe no biossólido o que não foi observado.

Para as médias dos teores de Pb observa-se que a dose sem a aplicação de biossólido (dose 0,0) proporcionou o maior acúmulo deste metal pelas plantas, fato que novamente pode ser explicado pela complexação e estabilização deste junto a matéria orgânica do solo favorecida pela aplicação do biossólido.

De acordo com a USEPA (1992) na presença de agentes complexantes e/ou cátions competidores pelos sítios ativos, o Pb pode apresentar uma diminuição de sua adsorção nos colóides do solo, podendo apresentar alta afinidade com ligantes orgânicos, ocasionando a formação de complexos que aumentam a mobilidade do Pb no perfil do solo sendo desta maneira percolado ou lixiviado.

De acordo com Shtangeeva *et al.* (2011) o Pb acumula-se na endoderme, atuando como barreira parcial nas paredes da célula das raízes, formando em certas condições precipitados amorfos, como fosfato de chumbo, no caso do milho. Alguns metais, como o Pb, concentram-se nas raízes, não sendo transportados para a parte aérea, por exemplo plantas como a soja e o milho, excluem esses elementos dos grãos.

Em estudo realizado por Gonçalves Jr. *et al.* (2012) constatou-se que o biossólido quando utilizado na cultura do milho sem suplementação com fertilizantes minerais resultava em menor número de folhas, altura de plantas e menor massa seca da planta.

Mesmo considerando que não ocorreram concentrações em níveis tóxicos para as plantas dos metais pesados avaliados no material vegetal deste ensaio, não se deve inferir que o biossólido é um material inócuo do ponto de vista ambiental, e sim reforçar a necessidade da continuidade de pesquisas de longa duração, avaliando-se os efeitos de aplicações sucessivas deste material nos cultivos agrícolas, uma vez que os resultados obtidos neste trabalho foram provenientes de apenas uma aplicação. Ressalta-se ainda que as concentrações de contaminantes nos biossólidos variam muito de acordo com a origem de sua matéria prima, sendo necessário a monitorização e as devidas análises nestes materiais antes de sua recomendação e uso.

Embora o Brasil possua uma Resolução que permita a utilização de biossólidos na agricultura (Pavan *et al.*, 1992), deve-se destacar que infelizmente na busca de um destino final de resíduos domésticos e industriais podem ocorrer equívocos, resultando

na liberação de valores e teores de metais tóxicos disponíveis nos lodos de esgoto na agricultura sem a existência de dados que demonstrem a segurança ambiental desta prática.

## Conclusões

O uso de biossólido proporcionou aumento da concentração dos teores de Cu e Zn no tecido foliar do milho.

A aplicação de biossólido não proporcionou o acúmulo, em nível tóxico para as plantas de milho, dos metais pesados Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb e Cr.

## Referências bibliográficas

- Alloway, B.J. (1995) – *Heavy metals in soils*. 2a ed. New York: Blackie Academic & Professional, 368 p.
- Alvarez, V.F.C.; Boaretto, A.E.; Abreu Junior, C.H.; Muraoka, T.; Trevizam, A.R. e Fernandes, H.M.G. (2008) - Alteraciones químicas y fitodisponibilidad de níquel en suelo tratado con lodo albañal. *Química Nova*, vol. 31, p.990-997.
- AOAC, Association Of Official Analytical Chemists. (2012) - *Official methods of analysis*. 18ª ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC.
- Barros, I.T.; Andreoli, C.V.; Souza Junior, I.G. e Costa, A.C.S. (2011) – Avaliação agrônômica de biossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 15, n. 6, p. 630-638.
- Bastos, R.K.X.; Bevilacqua, P.D. e Mara, D.D. (2013) – Análise crítico-comparativa das regulamentações brasileira, estadunidense e britânica de qualidade microbiológica de biossólidos para uso agrícola. *Revista DAE*, vol.191, p.10-20.
- Bertoli, A.C.; Carvalho, R.; Cannata, M.G.; Bastos, A.R.R. e Augusto, A.S. (2011) - Toxidez do chumbo no teor e translocação de nutrientes em tomateiro. *Biotemas*, vol. 24, n. 4, p. 7-15.
- Biondi, C.M.; Araújo, C.W.; Nascimento, W.A.; Neta, A.C.F. e Ribeiro, M.R. (2011) – Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, n. 3, p. 1057-1066.
- Boeira, R.C. e Maximiliano, V.C.B. (2009) – Mineralização de compostos nitrogenados de lodos de esgoto na quinta aplicação em Latossolo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, vol. 33, n. 3, p. 711-722.

- Brasil (2006) - Resolução Nº 375 de 29 de agosto de 2006, Conselho Nacional do Meio Ambiente Conama, Brasília.
- Carneiro, L.F.; Furtini Neto, A.E.; Resende, A.V.; Curi, N.; Santos, J.Z.L. e Lago, F.J. (2008) – Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 32, n. 4, p. 1133-1141.
- Coelho, A.M. (2006) – *Nutrição e adubação do milho*. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo. 10 p.
- Costa, E.R.O.; Rizzi, N.E.; Silva, H.D.; Maeda, S. e Lavaroni, O.J. (2009a) – Alterações químicas do solo após aplicação de biossólidos de estação de tratamento de efluentes de fábrica de papel reciclado. *Floresta*, vol. 39, n. 1, p. 1-10.
- Costa, F.X.; Lima, V.L.A.; Beltrão, N.E.M.; Azevedo, S.A.A.L. e Alva, L.D.M. (2009b) – Efeitos residuais da aplicação de biossólidos e da irrigação com água residuária no crescimento do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 13, n. 6, p. 687-693.
- Duffus, J.H. (2002) - “Heavy metals” – a meaningless term? *Pure and Applied Chemistry* (IUPAC Technical Report), vol. 74, n. 5, p. 793-807.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) - *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ª ed., Rio de Janeiro, 306 p.
- Fernandes, F.C.S.; Libardi, P.L. e Carvalho, L.A. (2006) – Internal drainage and nitrate leaching in a corn-black oat-corn succession with two split nitrogen applications. *Scientia Agrícola*, vol. 63, n. 5, p. 483- 492.
- Ferreira, D.F. *SISVAR: Sistemas de análises estatísticas*, UFLA, Lavras, 2003.
- Freitas, E.V.S., Nascimento, C.W.A., Biondi, C.M., Silva, J.P.S., Souza, A.P. (2009) - Dessorção e lixiviação de chumbo em espodosolo tratado com agentes quelantes. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, vol. 33, n. 3, p. 517-525.
- Gonçalves Jr., A.C.; Nacke, H.; Schwantes, D.; Nava, I. e Strey, L. (2011) – Phytoavailability of toxic heavy metals and productivity in wheat cultivated under residual effect of fertilization in soybean culture. *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 220, n. 1-4, p. 205-211.
- Gonçalves Jr., A.C.; Schwantes, D.; Coelho, G.F.; Nacke, H.; Strey, L. e Montovani, P.B. (2012) - Efeito da aplicação de biossólido na disponibilidade de nutrientes e metais pesados no milho. *Revista de Estudos Ambientais*, vol. 14, n. 3; p. 77-87.
- Gonçalves Jr., A.C.; Nacke, H. ; Coelho, G.F. ; Schwantes, D.; Carvalho, E.A. e Moraes, A.J. (2013a) – Teores de nutrientes e metais em *Hysopus officinalis* cultivado em solo argiloso com fertilização orgânica e mineral. *Científica (Jaboticabal. Online)*, vol. 41, n. 2; p. 251-261.
- Gonçalves Jr., A.C.; Carvalho, E.A.; Coelho, G.F.; Schwantes, D.; Nacke, H. e Moraes, A.J. (2013b) – Disponibilidade de nutrientes e elementos potencialmente tóxicos para as plantas de hisopo em solo arenoso sob adubação mineral e orgânica. *Scientia Agraria Paranaensis*, vol. 12, n. 2; p. 105-114.
- Kabata-Pendias, A. e Pendias, H. (2001) *Trace elements in soils*. 3 ed. Boca Raton, London, New York, CRC Press, 413 p.
- Lasat, M.M. (2000) – Phytoextraction of Metals from Contaminated Soil: A Review of Plant/Soil/Metal Interaction and Assessment of Pertinent Agronomic Issues. *Journal of Hazardous Substance Research*, vol. 2, n. 5, p. 1-25.
- Lemainski, J e Silva, J.E. (2006a) - Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, vol. 30, p. 741-750.
- Lemainski, J. e Silva, J.E. (2006b) - Avaliação agrônômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 41, n. 10, p. 1477-1484.
- Luchese, A.V.; Costa, A.C.S. e Souza Júnior, I.G. (2008) – Lixiviação de íons após a aplicação de resíduos orgânicos de uma indústria farmacêutica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.12, p.189-199.
- Marques, M.O.; Nogueira, T.A.R.; Fonseca, I.M. e Marques, T.A. (2007) - Teores de Cr, Ni, Pb e Zn em Argissolo Vermelho tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Biologia e Ciências da Terra*, vol. 7, n. 1, p. 133-143.
- Nacke, H.; Gonçalves Jr., A.C.; Schwantes, D.; Nava, I.; Strey, L. e Coelho, G.F. (2013) - Availability of heavy metals (Cd, Pb and Cr) in agriculture from commercial fertilizers. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 64, n. 4; p. 537-544.
- Nava, I.; Gonçalves Jr., A.C.; Nacke, H.; Guerini, V.L. e Schwantes, D. (2011) - Availability of cadmium, lead and chromium toxic heavy metals in soil and soybean leaf tissue fertilized with different sources of NPK+Zn. *Ciência e Agrotecnologia* (UFLA), vol. 35, n. 5, p. 884-892.
- Nogueira, T.A.R.; Oliveira, L.R.; Melo, W.J.; Fonseca, I.M.; Melo, G.M.P.; Melo, V.P. e Marques, M.O. (2008) - Cádmiio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em Latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. *Re-*

- vista Brasileira de Ciência de Solo*, vol. 32, n. 5, p. 2195-2207.
- Pavan, M.A.; Bloch, M.F.M.; Zempulski, H.C.; Miyazawa, M. e Zocoler, D.C. (1992) - *Manual de análise química do solo e controle de qualidade*. Instituto Agrônomo do Paraná IAPAR, 40 p.
- Pigozzo, A.T., Gobbi, M.A. e Jordão, V.R. (2002) - Avaliação dos resíduos de rerrefino de óleo e de biossólido como fonte de micronutrientes no Latossolo Vermelho escuro. *Acta Scientiarum*, vol. 24, n. 6, p. 1603-1608.
- Rangel, O. J. P.; Silva, C. A.; Bettiol, W. e Dynia. J.F (2006) - Efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 30, n. 3, p. 583- 594.
- Shtangeeva, I.; Steinnes, E. e Lierhagen S. (2011) - Macronutrients and trace elements in rye and wheat: Similarities and differences in uptake and relationships between elements. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 70, n. 2, p. 259-265.
- Silva, M.L.S. e Vitti, G.C. (2008) - Fracionamento de metais pesados em solo contaminado antes e após cultivo de arroz. *Química Nova*, vol. 31, n. 6, p. 1385-1391.
- Silva, M.L.S.; Vitti, G.C. e Trevizam, A.R. (2007) - Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 42, n. 4, p. 527-535.
- Silva, P.R.D.; Landgraf, M.D.; Zozolotto, T.C. e Rezende, M.O.O (2010) – Estudo preliminar do vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico e solo. *Eclética Química*, vol. 35, p. 61-67.
- Simonete, M.A.; Kiehl, J.C.; Andrade, C.A. e Teixeira, C.F.A. (2003) - Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 38, p.1187-1195.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. *Ground water issue*. EPA/S40/R-92/077. U.S. Gov't Printing Office, Washington, D.C. 1992. 25p.
- Van Raij, B.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. e Furlani, A.M.C. (1997) - *Recomendações de Adubação e Calagem Para o Estado de São Paulo*. 2ª ed., Instituto Agrônomo, Fundação IAC, Campinas, 285 p.
- Vitali, L.; Laranjeira, M.C.M.; Favere, V.T. e Gonçalves, N.S. (2008) – Microencapsulação do agente quelante sulfoxina em microesferas de quitosana preparadas por spray drying como novo adsorvente para íons metálicos. *Química Nova*, vol.31, n.6, p. 1400-1404.
- Welz, B. e Sperling, M. (1999) - *Atomic Absorption Spectrometry*. 2ª ed. Weinheim: Wiley-VCH, 941p.
- Zenatti, R.; Gonçalves Jr., A.C.; Nacke, H. e Ramires, I. (2012) - Produtividade e fitodisponibilidade de nutrientes na Tifton 85 (*Cynodon dactylon*) fertilizada com dejetos provenientes da suinocultura. *Scientia Agraria*, vol. 13, p. 26-34.