



Distribuição de cádmio em plantas de milho cultivadas com lodo de esgoto em experimento de longa duração ⁽¹⁾.

Iolanda Maria Soares Reis⁽²⁾; Suelen Cristina Nunes Alves⁽³⁾; Wanderley José de Melo⁽⁴⁾; Gabriel Maurício Peruca de Melo⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho extraído da Tese de Doutorado da primeira autora;

⁽²⁾ Professora Adjunta; Instituto de Biodiversidade e Florestas, Universidade Federal do Oeste do Pará; Santarém, Pará; E-mail: iolanda.reis@ufopa.edu.br; ⁽³⁾ Pós graduanda em Agronomia (Ciências do Solo); Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista – FCAV/UNESP; ⁽⁴⁾ Professor Titular; Departamento de Tecnologia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista – FCAV/UNESP; ⁽⁵⁾ Professor; Universidade Camilo Castelo Branco.

RESUMO: O uso de lodo de esgoto como fertilizante agrícola é bastante promissor, mas fatores como metais pesados e patógeno podem restringir o reaproveitamento deste resíduo. O objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição de Cádmio (Cd) em folhas, planta inteira (exceto raiz) e grãos de milho cultivado em Latossolo tratado com lodo de esgoto por quinze anos consecutivos. O experimento foi instalado em condições de campo, em blocos ao acaso, em Latossolo Vermelho eutroférico submetido aos tratamentos T1=0, T2=5, T3=10 e T4=20 Mg ha⁻¹ por ano de lodo de esgoto (base seca) em cinco blocos. Foram coletadas amostras de folha diagnose, planta inteira (exceto raiz) e grãos de milho. Foram avaliadas a produtividade do milho, e a distribuição do Cd. As doses de lodo de esgoto complementado com potássio foi tão eficiente quanto a adubação mineral. O Cd nas plantas não foram incrementados com o uso consecutivo de lodo de esgoto por quinze anos, e o teor pseudototal deste metal nos grãos de milho encontram-se na faixa aceitável pela ANVISA, para consumo humano.

Termos de indexação: Bioacumulação, produtividade, carbono orgânico.

INTRODUÇÃO

O uso de fertilizantes minerais nas atividades agrícolas no Brasil é bastante expressivo, pois trata-se de um país com predominância em solos altamente intemperizados e parte de seus nutrientes foram lixiviados.

A cultura do milho é relativamente exigente de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio (Raij et al., 1996), que torna a produção desta cultura mais onerosa. Contudo, alternativas como o uso agrícola de lodo de esgoto, como fonte de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica, vem se mostrando bastante promissor (Melo et al., 2004; Merlini et al., 2010; Nogueira et al., 2010). Além de reaproveitar este material rico em nutrientes, o uso do lodo de esgoto para fins agrícola é uma

destinação bastante viável a este resíduo, deixando de ser um problema e tornando-se uma solução aos agricultores.

Embora possíveis benefícios com o uso de lodo de esgoto na agricultura, alguns entraves ainda são pertinentes, principalmente o que tange a patógenos e a metais pesados presente neste resíduo, os quais podem ser absorvidos pelas plantas podendo atingir a cadeia trófica, causando sérios danos à saúde humana, ou lixiviar ao lençol freático prejudicando o ambiente (Lee et al., 2006).

Embora seja comum a ocorrência de metais em lodo de esgoto de origem de grandes centros urbanos, é importante investigar o comportamento no solo e na planta deste metal pesado, pois a concentração destes elementos podem não oferecer risco ao ambiente e aos seres vivos de maneira geral. Alguns estudos apontam que culturas agrícolas como cana-de-açúcar, milho e girassol não são extratores significantes de alguns metais pesados (Revoredo & Melo, 2006; Nogueira et al., 2008; Merlini et al., 2010).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição pseudototal de Cd em folhas, planta inteira (exceto raiz) e grãos de milho cultivado em Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por quinze anos consecutivos, além de avaliar a produtividade das plantas de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento teve início do ano agrícola 1997/98, conduzido por quinze anos, em Latossolo Vermelho eutroférico, na Fazenda Experimental da Universidade Estadual Paulista (UNESP), em Jaboticabal, São Paulo, coordenadas geográficas 21° 15' 22" S e 48° 15' 18" W e altitude 618 m.

No primeiro ano, os tratamentos foram: T1 = 0 (controle, sem lodo de esgoto e sem fertilização mineral); T2 = 2,5; T3 = 5,0; e T4 = 10,0 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto em base seca. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro tratamentos, doses de lodo, e cinco blocos.



No segundo ano, as parcelas controle receberam adubação mineral de acordo com a análise química do solo e as recomendações para a cultura do milho, prescritas em Raij et al. (1996). A partir do quarto ano, a dose de 2,5 foi alterada para 20 Mg ha⁻¹, em 15 anos, acumulou-se nos tratamentos 1, 2, 3 e 4, doses de 0, 75, 150 e 247,5 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto em base seca, respectivamente.

Na área experimental, foram conduzidas as culturas de milho (*Zea mays*), girassol (*Helianthus annuus*) e crotalária (*Crotalaria juncea*).

No ano agrícola 2011/2012, ano de instalação do 15º ano agrícola do experimento, procedeu-se primeiramente coleta de amostras de solo na camada superficial de 0,0-0,20 m, em todos os tratamentos, para análises químicas de fertilidade, as quais foram feitas de acordo com métodos descritos por Raij et al. (2001) (Tabela 1). Em seguida, foi realizada no tratamento 1 (controle), adubação de acordo com recomendações para produção de 80 kg ha⁻¹, descritas em Raij et al. (1996) para cultura do milho, espécie vegetal cultivada no 15º ano do experimento.

O lodo de esgoto utilizado no 15º ano foi obtido na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), localizada no Município de Monte Alto, São Paulo, o qual apresentou concentração pseudototal, conforme método EPA 3050 B (USEPA, 1996), de 5,60 mg kg⁻¹ de Cd. Estas concentrações estão dentro do limite permitido para o uso agrícola de lodo de esgoto, conforme a resolução nº 375 do CONAMA (2006). O resíduo foi aplicado a lanço e incorporado por meio de gradagem superficial.

Após a aplicação do lodo, as parcelas foram sulcadas em espaçamento de 90 cm, e procedeu-se a fertilização mineral com sulfato de amônio e cloreto de potássio. As parcelas que receberam as doses de 5, 10 e 20 Mg ha⁻¹ de lodo, foram adubadas apenas como cloreto de potássio.

O milho (BT híbrido Impacto Víptera) foi semeado após a fertilização mineral e após desbaste, mantiveram-se 5–7 plantas por metro.

A amostragem foliar foi feita aos 60 dias após a emergência das plantas (DAE), conforme Malavolta et al. (1997).

A amostragem de plantas foi feita aos 90 DAE, coletando em duas linhas centrais seis plantas ao acaso por parcela.

A colheita do milho foi realizada manualmente aos 125 DAE. Para o cálculo da produção de grãos foram colhidas as espigas das plantas nas duas linhas centrais de cada parcela, considerando-se 8

m/linha (descartando 1 m de linha em cada extremidade), e a umidade dos grãos foi ajustada para 13%.

As concentrações pseudototal de Cd nas amostras de folha, planta inteira e grãos de milho, foram de acordo com EPA 3050B (USEPA, 1996) e sua determinação feita por espectrofotometria de absorção atômica, modo chama ar acetileno.

Os resultados foram submetidos à análise estatística de variância e a média dos tratamentos foi comparada pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. O software estatístico utilizado para estas análises foi o Assistat 7.7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade das plantas de milho não apresentaram diferença em relação a adubação mineral e adubação com lodo de esgoto complementado com potássio **figura 1**, variando de (9,04-10,21 Mg ha⁻¹) ficando acima da média nacional referente ao ano de 2012 (CONAB, 2014).

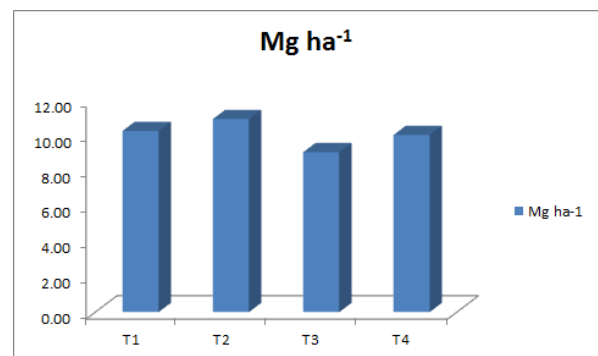


Figura 1. Produtividade do milho triturado, não apresentou diferença pelo teste Tukey (P= 0,05).

A equivalência da eficiência da adubação com lodo de esgoto em detrimento da adubação mineral pode ser atribuído as características intrínsecas do lodo de esgoto, como a elevação do teor de matéria orgânica do solo e disponibilidade de nitrogênio, possibilitando melhorias no condicionamento do solo e as necessidades nutricionais da cultura do milho.

Não houve efeito das doses de lodo de esgoto na produtividade de milho. Em anos anteriores na mesma área, a produtividade de milho foi semelhante nos tratamentos com lodo de esgoto assim como com adubação mineral (Nogueira et al., 2010). Em área diferente, mas em condições experimentais parecidas, Macedo (2009) trabalhou o experimento com lodo de esgoto e plantas de milho, este também evidenciou produtividade máxima acima da média nacional, atribuindo a excelente



produtividade do milho a adição do lodo de esgoto.

Merlino et al. (2010) usando lodo de esgoto para comparar com adubação mineral em experimento de longa duração, observou a produção de milho superior, quando adubados com lodo de esgoto.

Em relação a concentração de Cd, em folha de plantas de milho, não apresentaram diferenças entre as médias dos tratamentos **tabela 2**.

A concentração de Cd variou de 0,11 a 0,13 mg kg⁻¹ demonstrando que a concentração deste metal na folha foi baixa. O Cd é um elemento considerado de alta mobilidade em plantas, o que evidencia que a concentração de Cd disponível no solo não foi suficiente para ser absorvido pelas plantas de milho para serem evidenciado em folhas. Confirmando resultados obtidos por Trannin et al. (2005) e Merlino et al. (2010) os quais não observaram incrementos de Cd em folhas de milho.

A concentração de Cd em planta inteira não tiveram diferença entre a média dos tratamentos, com variação de (0,03-0,04 mg kg⁻¹), sendo considerada baixo. Corroborando com resultados encontrados por Merlino et al. (2010), embora os autores ter utilizado parte aérea e raiz da planta, diferindo das condições das amostras estudadas.

O Cd é um elemento químico que não apresenta os critérios de essencialidade as plantas e em concentrações elevadas pode tornar-se fitotóxico. Cunha et al. (2008) apontaram níveis críticos de Cd no solo variando de 8,7 a 13,1 mg kg⁻¹, os quais apresentaram sintomas de toxidez as plantas.

Camilotti et al. (2007), ao avaliarem o comportamento de Cd, Cr e Ni, no sistema-solo-planta, não constaram potencial de contaminação na cultura de cana-de-açúcar.

Em grãos de milho, as concentrações de Cd variou de (0,01-0,03 mg kg⁻¹), não apresentando diferença entre as médias dos tratamentos, estes valores encontram-se dentro dos valores preditos pela Agência de Vigilância Sanitária, como aceitáveis para comercialização, consumo humano entre outros (ANVISA, 1965). Estes resultados confirmam resultados obtidos por Anjos & Matiazzo (2000) e Merlino et al. (2010). Podendo também a biomassa vegetal ser usado em silagem e na produção de feno (Nogueira et al., 2010).

A concentração de Cd nas partes das plantas de milho distribuiu-se em folha >diagnose>planta inteira>grão de milho. Resultados semelhantes foram apresentados por Wang et al. (1997) que ao aplicar 60 Mg ha⁻¹, observaram que maiores concentrações de Ni foi pronunciado em folhas e colmos de que em grãos de milho.

CONCLUSÕES

O uso de lodo de esgoto, complementado com potássio na adubação de plantas de milho foi tão eficiente quanto a adubação mineral.

As concentrações de Cd em folhas, planta inteira e grãos de milho foram consideradas baixas, e estas concentrações não foram influenciadas por doses de lodo de esgoto utilizadas neste experimento.

REFERÊNCIAS

ANJOS, A.R.M. & MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com bio-sólido. *Scientia Agricola*, v.57, p.769-776, 2000.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Decreto no 55.871, de 26 de março de 1965. <anvisa.gov.br/legis/decretos> Acesso em 20 jan. 2014.

CAMILOTTI, F.; MARQUES, M.O.; ANDRIOLI, I.; SILVA, A.R.; TASSO JUNIOR, L.C.; NOBILE, F.O. Acúmulo de metais pesados em cana-de-açúcar mediante a aplicação de lodo de esgoto e vinhaça. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.284-293, 2007.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Safrá de grãos 2012). <conab.gov.br/safra2012> Acesso em 20 jan. 2014.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). 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. *Diário Oficial da União, Brasília*, 30 de agosto de 2006. (Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006).

CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; PIMENTEL, R. M.; ACCIOLY, A. M. A.; SILVA, A. J. Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.32, p.1319-1328, 2008.

LEE, C. S., LI, X., SHI, W. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics. *Sci. Total Environ.*, 356(1-3): 45-61, 2006.

MACEDO, F.G. Propriedades químicas de um Latossolo tratado com lodo de esgoto e efeitos na cultura do milho. 2009. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MELO, V.P.; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M.; CENTURION, J.F. & MELO, W.J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:67-72, 2004.

MERLINO, L. C. S.; MELO, W. J.; MACEDO, F. G. ; GUEDES, A. C. T. P. ; RIBEIRO, M. H.; Melo, V. P.; Melo, G. M. P. Bário, cádmio, cromo e chumbo em plantas de milho e em Latossolo após onze aplicações anuais de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.2031-2039, 2010.

NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, L. R.; MELO, W. J.; FONSECA, I. M.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; MARQUES, M. O. Cádmio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em Latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2.195-2.207, 2008.

NOGUEIRA, T. A. R.; MELO, W. J.; NOGUEIRA, T. A. R.; FONSECA, I. M.; MARQUES, M. O.; HE, ZL. Barium uptake by maize plants as affected by sewage sludge in a long-term field study. *Journal of Hazardous Materials*, v.181, p.1148-1157, 2010.

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. (Ed.) Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAIJ, VAN B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1996 (Boletim Técnico, 100).

REVOREDO, M.D. & MELO, W.J. Disponibilidade de níquel em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com sorgo. *Bragantia*, v.65, p.679-685, 2006.

SILVA, I. R.; SÁ MENDONÇA, E. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.et al. (Eds) *Fertilidade do Solo*. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v 1, 2007. 1017p.

TRANNIN, I.C.B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Avaliação agrônômica de um biossólido industrial para a cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.261-269, 2005.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. METHOD 3050B- 1996. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Disponível em: Acessado em 30 jan. 2012.

<<http://www.epa.gov/storet/archive/modern/doc/FieldLabAnltPrdAndEqpDetail.pdf>>.

WANG, P.; QU, E.; LI, Z.; SHUMAN, L.M. Fractions in availability of nickel in loessial soil amended with sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.26, p. 795-801, 1997.

Tabela 1. Caracterização química do solo tratado com lodo de esgoto, antes da 15ª aplicação de lodo de esgoto.

| Tratamento | P resina mg dm ⁻³ | MO g dm ⁻³ | pH | CaCl ₂ | | | | SB | CTC | V |
|------------|---------------------------------|--------------------------|-----|-------------------|------------------|------------------|------|------|------|----|
| | | | | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | H+Al | | | |
| T1 | 100 | 26 | 5,4 | 4 | 40 | 17 | 34 | 61,0 | 95 | 64 |
| T2 | 34 | 22 | 5,1 | 2,6 | 23 | 15 | 38 | 40,6 | 78,6 | 52 |
| T3 | 86 | 26 | 5,2 | 3,1 | 28 | 16 | 38 | 47,1 | 85,1 | 55 |
| T4 | 88 | 26 | 4,7 | 2,3 | 21 | 13 | 52 | 36,3 | 88,3 | 41 |

T1=0, T2=5, T3=10 e T4=20 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto em base seca.

Tabela 2. Teores pseudototais de cádmio em folha diagnose, parte aérea e grãos de milho.

| Doses de lodo de esgoto | Folha diagnose | Planta Inteira | Grãos de milho |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Cádmio (Cd) mgkg ⁻¹ | | | |
| T1 = 0 Mg ha ⁻¹ | 0,11 a | 0,04 a | 0,01 b |
| T2 = 5 Mg ha ⁻¹ | 0,12 a | 0,03 a | 0,01 b |
| T3 = 10 Mg ha ⁻¹ | 0,13 a | 0,03 a | 0,02 ab |
| T4 = 20 Mg ha ⁻¹ | 0,13 a | 0,04 a | 0,03 a |
| CV% | 7,18 | 40,31 | 18,16 |

CV = coeficiente de variação