



ARTIGO ORIGINAL

Jana Daisy Honorato Borgo¹
Volnei Pauletti^{1*}
Antonio Carlos Vargas Motta¹
Nerilde Favaretto¹
Gabriel Barth²
Daniel Ramos Pontoni¹

¹Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor de Ciências Agrárias, Rua dos Funcionários, 1540, Juvevê, 80035-050, Curitiba, PR, Brasil

²Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, Setor de Solos e Nutrição de Plantas, PR 151, km 288, CP 1003, 84165-700, Castro, PR, Brasil

Autor Correspondente:

*E-mail: vpauletti@ufpr.br

PALAVRAS-CHAVE

Elementos-traço
Metais pesados
Biomassa aérea
Esterco
Clima subtropical

KEYWORDS

Trace Elements
Heavy metal
Maize biomass
Animal waste
Subtropical climate

Micronutrientes no solo e no milho em plantio direto com aplicações de dejetos líquidos de bovinos

Micronutrients in soil and corn under no-tillage with applications of dairy liquid manure

RESUMO: O uso de dejetos líquidos de bovinos (DLB) como fonte de nutrientes nas propriedades agrícolas é uma prática comum. São necessários estudos a fim de avaliar o efeito do DLB na disponibilidade dos micronutrientes, considerando-se que aplicações excessivas podem provocar o acúmulo de Cu e Zn na camada superficial do solo. O objetivo deste estudo foi determinar por quanto tempo é possível aplicar DLB na área agrícola considerando-se as restrições de adição de micronutrientes ao solo, impostas pelas legislações vigentes, além de avaliar a influência do DLB nos teores de micronutrientes no solo e em plantas de milho sob sistema de plantio direto. O estudo foi desenvolvido no Município de Ponta Grossa, no Estado do Paraná, em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura francoargiloarenosa sob plantio direto havia mais de 13 anos. O DLB foi aplicado durante sete safras consecutivas, ou 3,5 anos, nas doses 0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, sendo metade na cultura de verão e metade na cultura de inverno. Na sétima safra, o milho foi avaliado e, após a colheita, avaliaram-se os atributos químicos do solo até 100 cm de profundidade. Observou-se que a aplicação de DLB aumentou os teores de Cu, Zn e Mn somente na camada de 0-10 cm do solo. O aumento nos teores de micronutrientes no solo não proporcionou aumento dos teores e do conteúdo destes nutrientes nas plantas de milho. Considerando-se as legislações vigentes, é possível a aplicação de DLB por mais 17 anos nas condições do estudo, limitação imposta principalmente pelos níveis de Zn no dejetos.

ABSTRACT: Dairy liquid manure (DLM) application to agricultural systems is a regular practice. However, more field studies are required in order to better prescribe recommendations of micronutrients with DLM applications, since Cu and Zn accumulation might occur in topsoil. In this study, we aimed to determine the amount of DLM that can be applied considering the restrictions to adding micronutrients to the soil imposed by the current legislation, as well as the effect of DLM application as a fertilizer on soil nutrient contents under no-tillage system. This field study was carried out in a sandy clay loam Oxisol in a Brazilian subtropical region, which had been cultivated under no-tillage for more than 13 years. DLM was applied for seven consecutive harvest seasons (i.e. 3.5 years) at 0 (control); 60; 120 and 180 m³ ha⁻¹ year⁻¹, split into two applications per year (summer and winter). After the seventh harvest, maize yield and nutrient contents were evaluated, as well as soil chemical attributes up to 100 cm soil depth. The DLM applications affected Cu, Zn and Mn levels only at the 0-10 cm soil layer. The increased macronutrients in the soil did not affect maize nutrient contents. Considering the current environmental legislation, it is possible to apply DLM for another 17 years under the conditions of this study; a limitation that is imposed mainly by the Zn levels found in this manure.

Recebido: 21/09/2012

Aceito: 15/03/2013

1 Introdução

O modelo de criação de gado leiteiro na Região Sul do Brasil se destaca pelos sistemas confinado e semiconfinado. Este sistema de criação de gado gera acúmulo de dejetos líquidos de bovinos leiteiros (DLB) nas propriedades agrícolas. A região dos Campos Gerais do Estado do Paraná, subtropical brasileiro, apresenta a terceira maior bacia de produção de leite do Brasil (MEZZADRI, 2012), o que representa importante fonte concentrada de DLB. Dessa forma, faz-se necessária uma correta disposição final deste material ao solo.

A aplicação de DLB em áreas agrícolas se constitui em importante alternativa, na medida em que proporciona adição ao solo de macro e micronutrientes, e matéria orgânica, além dos seus efeitos secundários, como melhoria da infiltração de água e da estruturação e porosidade do solo. Desta forma, proporciona maior desenvolvimento radicular, absorção de nutrientes e aumento do rendimento das culturas e, redução do potencial de poluição das águas por escoamento superficial (HERENCIA; GARCIA-GALAVIS; MAQUEDA, 2011).

Contudo, mudanças na acidez ou mesmo na elevação da matéria orgânica do solo (MOS) pela adição de esterco podem aumentar a adsorção de alguns elementos adicionados e diminuir a disponibilidade de micronutrientes catiônicos, como Zn e Cu (BERENQUER et al., 2008).

A presença de micronutrientes, como Cu e Zn, no DLB é devida à sua adição frequente na dieta dos bovinos como suplementação para melhorias no crescimento e na reprodução (LI et al., 2005). Os animais assimilam aproximadamente 90% do ingerido, excretando o excedente pelas fezes e urina, podendo ser esta uma das principais formas da entrada de metais pesados nos solos agrícolas (NICHOLSON et al., 2003).

O excedente presente no DLB exerce influência sobre as propriedades químicas do solo. Tais efeitos apresentam variações em função das características químicas do esterco aplicado (PARK et al., 2011), bem como da dose de DLB aplicada ao solo, do tempo de uso, das próprias características químicas do solo (DORDAS et al., 2008) e dos diferentes sistemas de manejo do solo (GIROTTO et al., 2010). Por outro lado, o comportamento dos metais no solo pode ser influenciado pela matéria orgânica, pelos tipos de argilominerais e pelas condições químicas da solução do solo (BERENQUER et al., 2008; GIROTTO et al., 2010).

Em função dos riscos de acúmulo de metais no solo, que o tornam impróprio para a produção de alimentos para o consumo humano, existem diversos parâmetros preconizados por legislações. O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2006) fixa as quantidades totais permitidas para a aplicação de Cu (137 kg ha⁻¹) e Zn (445 kg ha⁻¹), provenientes de resíduos de dejetos de animais.

As hipóteses são de que excessivas aplicações de adubos e dejetos animais contribuem para o acúmulo de micronutrientes na camada superficial do solo, principalmente quando a exportação pelas colheitas for inferior à quantidade aplicada, o que representa risco de contaminação ambiental ao longo dos anos de aplicação de DLB.

Se este saldo positivo ocorrer no sistema plantio direto (SPD), há aumento do risco de contaminação, pois neste sistema há baixo grau de mobilização do solo e concentração

superficial acentuada de nutrientes, principalmente para os de menor mobilidade, como Cu e Zn (BERTOL et al., 2010). Esta concentração superficial aumenta os riscos de contaminação dos cursos d'água, caso ocorram perdas de solo e água por escoamento superficial. Acúmulo de Cu e Zn no solo e na água representa riscos à saúde animal e humana (NICHOLSON et al., 2003).

Este trabalho teve por objetivo verificar as variações dos teores disponíveis de micronutrientes em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura francoargiloarenosa e nas plantas de milho em sistema de plantio direto, em clima subtropical, no sul do Brasil, após três anos e meio de uso de DLB. Também foi determinado por quanto tempo é possível aplicar DLB na área agrícola considerando-se as restrições de adição de micronutrientes impostas pelas legislações vigentes.

2 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em experimento instalado em setembro de 2005, no Município de Ponta Grossa, Estado do Paraná, Brasil (25° 13' S e 50° 01' W, 890 m de altitude), sobre Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA-FABC, 2001), textura francoargiloarenosa (228 g kg⁻¹ de argila e 700 g kg⁻¹ de areia), com 13% de declividade.

O clima local é subtropical, classificado como "Cfb", de acordo com a classificação de Köppen. A média mensal de temperatura e precipitação pluviométrica durante o desenvolvimento do milho na safra de 2008/09 variou entre 15 e 22 °C, e 210 e 35 mm, respectivamente (FABC, 2010) (Figura 1).

Antes do início do experimento (2006), as características químicas do solo, na camada de 0-10 cm superficiais, foram: pH CaCl₂ = 5,2; C = 16,3 g dm⁻³; Mg = 0,87 cmol_c dm⁻³, e Ca = 4,1 cmol_c dm⁻³, sendo estes valores considerados médios. Por outro lado, os valores de K = 0,21 cmol_c dm⁻³, P = 23,3 mg dm⁻³ e NO₃⁻ = 19,1 mg kg⁻¹ são considerados altos, conforme SBCS-CQFS (2004), avaliados conforme metodologia de Martins e Reissmann (2007).

Após a aplicação durante 3,5 anos de DLB, os teores de MOS e o pH do solo aumentaram somente na camada de 0-10 cm (Tabela 1), conforme resultados obtidos por Borgo (2011).

A área de instalação do experimento estava sendo manejada havia mais de 13 anos no SPD. Durante a condução do experimento, a partir de 2005, foi adotada a seguinte rotação

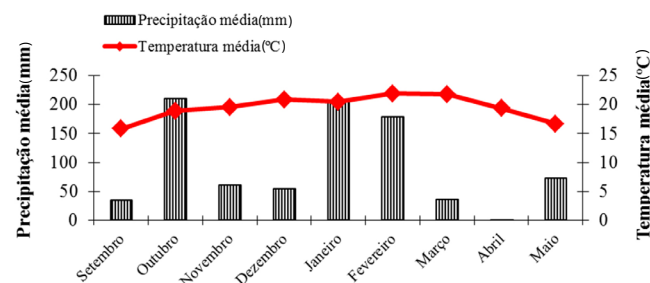


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal, durante o cultivo do milho semeado em 17/09/2008 e colhido em 26/03/2009, em Ponta Grossa-PR.

de culturas: milho/aveia preta/soja/trigo/soja/aveia preta/milho, sendo o milho (*Zea mays* L.) e a soja (*Glycine max* L.) culturas de verão, e a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e o trigo (*Triticum aestivum* L.), culturas de inverno. O sistema de cultivo foi o SPD, com revolvimento do solo somente na linha de semeadura (5 a 8 cm).

Os tratamentos foram constituídos por quatro doses de DLB (0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) e dispostos no delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, cada parcela medindo 29,75 m². A dose anual de DLB foi parcelada em duas aplicações, sendo metade após a emergência da espécie de inverno e metade após a emergência da espécie de verão. O DLB foi tratado em bioesterqueira aeróbica proveniente de gado em sistema de semiconfinamento de propriedade próxima ao experimento e foi aplicado superficialmente, sem incorporação.

Os nutrientes no DLB (Tabela 2) foram determinados por digestão via úmida de acordo com o método proposto por Martins e Reissmann (2007).

Por meio do conteúdo de nutrientes (Tabela 3) e da quantidade de DLB aplicada, calculou-se a quantidade total aplicada (QTA) de micronutrientes durante a condução do experimento, em função da expressão: $QTA (kg ha^{-1}) = (Média da quantidade de nutriente aplicada por m^3 \times Número de safras \times Dose de DLB aplicada por safra)$. A quantidade anual aplicada (QAA) de micronutrientes foi determinada utilizando-se a equação: $QAA (kg ha^{-1}) = (Média da quantidade de nutriente aplicada por m^3 \times Dose de DLB aplicada por ano)$. Em função de não ter sido realizada análise de micronutrientes no DLB aplicado nas safras 2005/06 (verão), 2006 (inverno) e 2006/07 (verão), foi utilizada, para estes cultivos, para fins de cálculo de QTA e QAA, a média das análises do DLB aplicado de 2007 a 2009.

A avaliação da produção de biomassa e da extração de micronutrientes foi realizada no milho semeado na safra de verão de 2008. Utilizou-se o milho híbrido simples P30R50, semeado com espaçamento entre plantas de 0,65 m. A adubação mineral foi igual em todos os tratamentos, sendo aplicados 300 kg ha⁻¹ da fórmula 12-32-00 + 1% de Zn na semeadura e uma aplicação em cobertura a lanço de 150 kg ha⁻¹ de KCl, aos dois dias após a emergência (DAE) do milho. Outras duas adubações foram realizadas aos 15 e 36 DAE,

totalizando 300 kg ha⁻¹ de ureia. Portanto, o total de N, P₂O₅, K₂O e Zn aplicado no milho na forma mineral foi de 171, 96, 90 e 3 kg ha⁻¹, respectivamente. A adubação foi realizada para atender à produtividade esperada para milho, conforme SBCS-CQFS (2004). A aplicação do DLB foi aos quatro DAE em superfície, sem incorporação e entre as linhas do milho.

Na maturação fisiológica do milho, aos 185 DAE, foram coletadas três plantas por parcela, para determinação da produtividade de biomassa seca sem grãos (biomassa aérea) e análise de nutrientes. As plantas foram cortadas logo acima do primeiro nó visível a partir da superfície do solo. Para a seleção das três plantas, foram coletadas e pesadas dez plantas secas por parcela (cinco plantas sequências em duas linhas), e escolhidas as três com o peso próximo à média obtida com a pesagem das dez plantas, conforme metodologia descrita por Pauletti et al. (1998).

A produtividade de biomassa aérea (Tabela 2) foi obtida pela multiplicação do peso seco da biomassa aérea menos o peso seco de grãos das três plantas colhidas inteiras. Posteriormente, a produtividade de biomassa seca recebeu transformação para hectare, considerando a população final de plantas, que foi, em média, de 75.716 plantas.

A quantidade de nutrientes acumulada na biomassa aérea foi obtida pela multiplicação da concentração do nutriente encontrada na biomassa aérea do milho (g kg⁻¹) pela quantidade desta biomassa produzida (kg ha⁻¹).

Para determinação dos teores de Fe, Cu, Zn e Mn, a biomassa aérea do milho foi moída em moinho tipo wiley, em malha de 1,0 mm (20 mesh); em seguida, após pesagem de 1,0 g, foi feita a digestão via seca, com incineração em mufla a 500 °C por três horas, adicionando-se, posteriormente, três gotas de HCl 3 mol L⁻¹ e novamente a incineração em mufla a 500 °C por três horas. Para a solubilização, foram utilizados 10 mL de HCl 3 mol L⁻¹. Os micronutrientes foram determinados por absorção atômica (MARTINS; REISSMANN, 2007).

Após a colheita do milho, foram coletadas amostras de solo em seis profundidades: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. As amostragens foram efetuadas nas entrelinhas do milho. Para compor as amostras, foram coletadas 15 subamostras na área útil da parcela, utilizando-se o trado calador até a profundidade de 40 cm, e cinco subamostras com trado holandês de 40 a 100 cm de profundidade.

Os microelementos Cu, Zn, Fe e Mn foram extraídos com Mehlich 1, conforme Pavan et al. (1992). Os extratos foram filtrados imediatamente, conforme adaptação de Embrapa (2011), e determinados por espectrometria de absorção atômica.

Tabela 1. Teor de matéria orgânica (MOS), pH CaCl₂ na camada de 0-10 cm do solo e produtividade de biomassa aérea (sem grãos) de milho após 3,5 anos de aplicação de dejetos líquidos bovinos (DLB) em um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob plantio direto (Adaptado de Borgo (2011)).

DLB m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹	MOS %	pH CaCl ₂	Biomassa aérea kg ha ⁻¹
0	1,71	5,1	9970
60	2,09	5,4	13239
120	2,13	5,6	9949
180	2,61	5,9	10004
Regressão ¹	L*	L**	ns

¹Linear, ns, *, **, não significativo e significativo a 5 e 1%, respectivamente.

Tabela 2. Teor de matéria seca (MS), Cu, Mn, Fe e Zn do dejetos líquidos bovinos (DLB), aplicado no experimento nas safras 2007 a 2008/09, em Latossolo Vermelho-Amarelo, sob plantio direto.

Safrá	MS	Cu	Zn	Mn	Fe
	%	mg kg ⁻¹ de MS			%
Inverno 2007	11,02	129	215	185	0,15
Verão 2007/2008	7,20	284	285	242	0,62
Inverno 2008	10,82	396	2400	221	0,14
Verão 2008/2009	9,73	237	6900	200	0,50

Após verificação da homogeneidade dos dados pelo teste de Bartlett, realizaram-se a análise de variância e a análise de regressão. Para tanto, utilizou-se o programa ASSISTAT Versão 7.5 beta.

3 Resultados e Discussão

A QTA de Cu e Zn pelo uso de DLB (Tabela 3) encontra-se de acordo com os valores preconizados pela resolução 375 do CONAMA (2006), na qual o valor máximo de QTA para Zn é de 445 kg ha⁻¹ e, para Cu, é de 137 kg ha⁻¹. Considerando-se estes limites para o Zn e a QAA usual de DLB em torno de 60 m³ ha⁻¹, seria possível a aplicação de DLB por um período de mais 17 anos. Se considerado o limite para o Cu, seria possível aplicar DLB por 50 anos. Contudo, a variação do conteúdo de microelementos de cada DLB aplicado pode alterar esta previsão.

A quantidade aplicada de Cu na maior dose de DLB utilizada no experimento corresponde a apenas 16 e 3% dos valores estabelecidos pela CEC (1986) e USEPA (1993), respectivamente, cujas quantidades máximas anuais aplicadas (QAA) não devem exceder em 12 e 75 kg para Cu ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (Tabela 4). Para Zn, observa-se que, ao se

aplicar a dose máxima de DLB (180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), a quantidade aplicada representou 73% dos valores do limite imposto pela CEC (1986) (30 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e 18% do estabelecido pela USEPA (1993) (140 kg ha⁻¹ ano⁻¹) (Tabela 4).

Em solos com pH 8,3, foi estimada a aplicação por 250 anos pela CEC (1986), com a aplicação de 51 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos líquidos de suínos (BERENGUER et al., 2008). Entretanto, a definição dos limites da QTA não deve levar em conta somente as características químicas do estercor (PARK et al., 2011) e a dose aplicada, pois também se devem considerar a exportação de nutrientes pela colheita, o tempo de uso e as características químicas do solo, tais como: teor de matéria orgânica e qualidade de argilominerais, além das condições químicas da solução do solo (BERENGUER et al., 2008). Esses fatores podem afetar a disponibilidade destes nutrientes para as plantas e seu potencial de contaminação das águas.

A quantidade de Zn no DLB é maior do que a quantidade de Cu (Tabela 4), situação também encontrada em dejetos líquidos de suínos (BERENGUER et al., 2008, MATTIAS et al., 2010; GIROTTO et al., 2010). Exceto para o trabalho de Seidel, Costa e Lana (2009), que encontraram maiores quantidades de Cu

Tabela 3. Teor de matéria seca (MS) e quantidade aplicada de Cu, Mn, Fe e Zn por metro cúbico de dejetos líquidos de bovinos, em Latossolo Vermelho-Amarelo, sob plantio direto.

Safrá	Espécíe cultivada	MS ² %	Quantidade aplicada			
			Cu	Zn	Mn	Fe
			kg m ⁻³			
Verão 2005/2006 ¹	Soja	— ³	0,025	0,244	0,020	0,312
Inverno 2006 ¹	Aveia Preta	—	0,025	0,244	0,020	0,312
Verão 2006/2007 ¹	Milho	—	0,025	0,244	0,020	0,312
Inverno 2007	Trigo	11,02	0,014	0,024	0,020	0,165
Verão 2007/2008	Soja	7,2	0,020	0,020	0,017	0,446
Inverno 2008	Aveia Preta	10,82	0,043	0,260	0,024	0,151
Verão 2008/2009	Milho	9,73	0,023	0,671	0,019	0,487

¹Média dos valores aplicados do inverno de 2007 ao verão 2008/09; ²MS = matéria seca; ³ — não determinada.

Tabela 4. Quantidades anuais e totais aplicadas e permitidas pela USEPA (1993), CEC (1986) e CONAMA (2006).

Micro ⁴	DLB ¹ (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)			Micro	DLB (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)		
	60	120	180		60	120	180
QAA ²				QTA ³			
kg ha ⁻¹				kg ha ⁻¹			
Cu	0,8	1,5	2,3	Cu	2,6	5,8	7,9
Zn	7,3	14,6	21,9	Zn	25,6	51,2	76,8
Mn	0,6	1,2	1,8	Mn	0,6	1,2	1,8
Fe	9,4	18,7	28,1	Fe	32,8	65,6	98,4
Micro	QAA			Micro	QTA		
	USEPA ⁵	CEC ⁶			USEPA	CEC	CONAMA ⁷
kg ha ⁻¹				kg ha ⁻¹			
Cu	75	12		Cu	1500	120	137
Zn	140	30		Zn	2800	300	445

¹DLB: Doses de dejetos líquidos de bovinos em m³ ha⁻¹ ano⁻¹; ²QAA: Quantidade anual aplicada; ³QTA: Quantidade total aplicada;

⁴MICRO: Microelemento; ⁵USEPA (1993); ⁶CEC (1986); ⁷CONAMA (2006).

do que de Zn em dejetos de suínos. Portanto, a aplicação de dejetos animais em áreas agrícolas normalmente será limitada pelo teor de Zn no dejetos.

Com a aplicação de DLB, houve aumento dos teores de Cu, Zn e Mn disponíveis somente na camada superficial de 0-10 cm do solo e ausência de alteração do teor disponível de Fe (Figura 2). O incremento dos teores disponíveis dos micronutrientes avaliados é expressivo, uma vez que os teores no solo, mesmo sem a aplicação de DLB, são médios para Cu e altos para Zn, Mn e Fe (Figura 2), segundo os limites apresentados pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS-CQFS, 2004). Não eram esperados altos teores iniciais dos microelementos, pois o solo é derivado de arenito. Desta forma, os teores de micronutrientes se devem à contribuição do sistema de cultivo e da adubação adotada no SPD antes do início da aplicação de DLB (Tabela 1). No entanto, a intensidade do

efeito do DLB sobre os teores de micronutrientes no solo pode variar, entre outros fatores, em função da alimentação animal e do tratamento das esterqueiras, que afetam a composição do dejetos (PARK et al., 2011).

O expressivo aumento dos teores disponíveis de Cu e Zn ocorreu mesmo com o aumento do pH na camada superficial do solo de 0-10 cm (Tabela 1). Esse acréscimo de pH, em geral, provoca decréscimo na disponibilidade destes micronutrientes. Além disso, o Cu apresenta elevada força de adsorção com a MOS (BERENGUER et al., 2008) em razão da sua alta reatividade com os grupos funcionais da MOS (GIROTTO et al., 2010), o que pode diminuir sua disponibilidade para as plantas. Fatores, como a presença destes metais no DLB, o aumento da MOS (Tabela 1), a baixa mobilidade destes elementos no solo (BERTOL et al., 2010) e a ausência de revolvimento do solo em SPD, contribuíram para este aumento na camada superficial. Portanto, as perdas

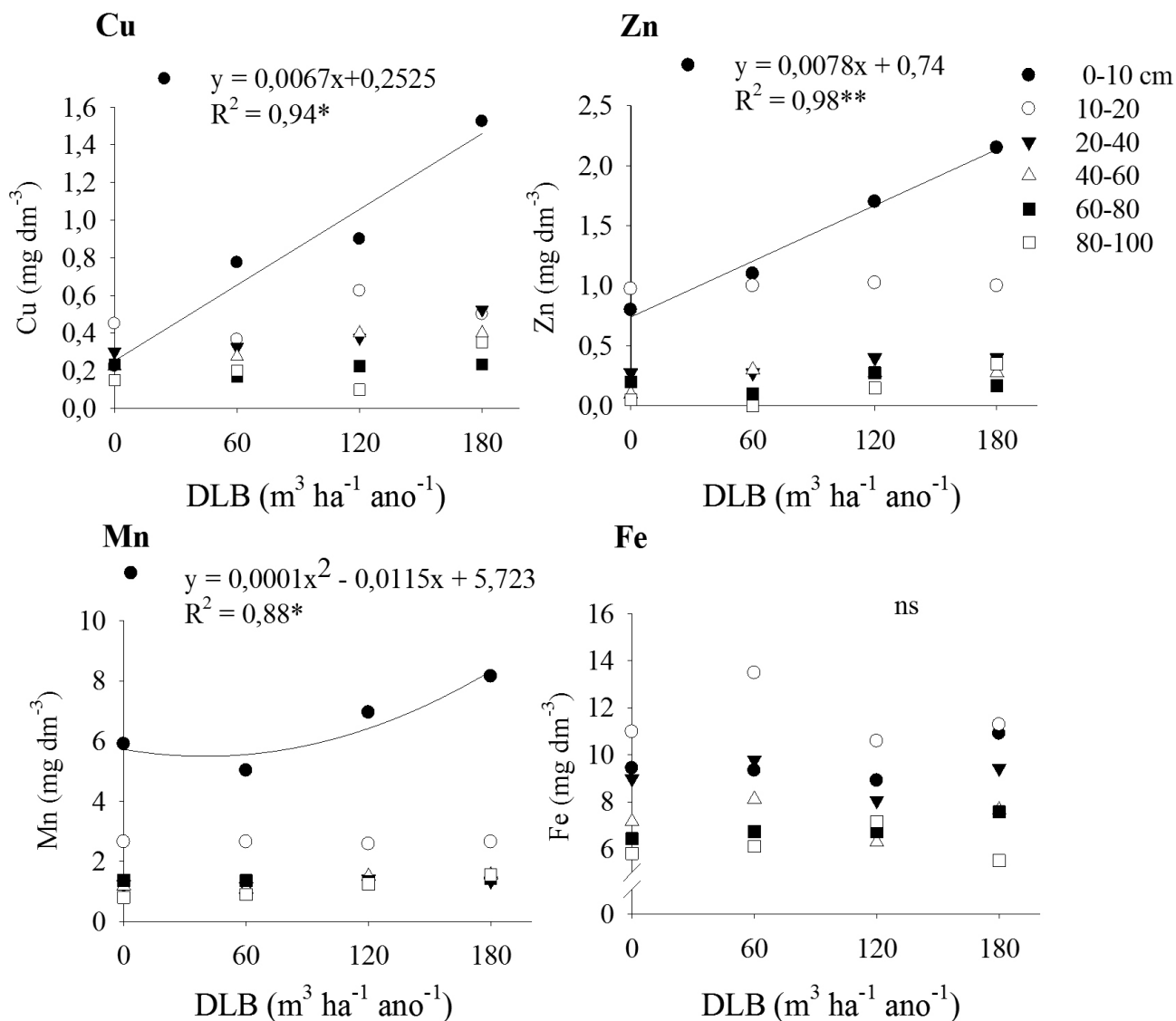


Figura 2. Teores de Cu, Zn, Mn e Fe disponíveis em diferentes profundidades do solo, em função da adição de diferentes doses de dejetos líquidos de bovinos (DLB) em Latossolo Vermelho-Amarelo, sob sistema plantio direto.

destes nutrientes de áreas agrícolas sob SPD estão sujeitas principalmente às perdas por escoamento superficial.

Os aumentos nos teores de Mn, Cu e Zn estão relacionados às sucessivas aplicações de DLB durante os três anos e meio de desenvolvimento do experimento antes da amostragem do solo, além da aplicação do Zn na forma mineral, usual no cultivo do milho. Este resultado também sugere que a quantidade adicionada supera a extração pela colheita e a adsorção destes nutrientes pelos colóides do solo.

Apesar do aumento do teor disponível de Mn, Cu e Zn no solo (Figura 2), proporcionado pela aplicação de DLB, o mesmo não foi observado nos teores de micronutrientes da biomassa aérea do milho (Tabela 5), como também não proporcionou aumento na produtividade de biomassa aérea (Tabela 1). Resultado semelhante foi observado para Zn e Cu na parte aérea de milho e soja por Ferreira et al. (2003), trabalhando com altas concentrações desses micronutrientes do lodo de curtume e resíduo carbonífero, e por Berenguer et al. (2008), na biomassa de milho, com aplicação de dejetos líquidos de suínos.

A ausência de efeito da aplicação de DLB no teor de Cu, Mn, Fe e Zn na biomassa residual das plantas de milho, mesmo com o aumento do seu teor no solo, pode ter sido devida ao menor transporte destes para a parte aérea, em oposição à absorção (MARTINS et al., 2003). Embora não tenha sido avaliada, um dos mecanismos de tolerância das plantas ao excesso de metais no solo é a capacidade das raízes de impedir o transporte para a parte aérea, conforme observado por Seidel, Costa e Lana (2009) ao estudarem Cu em milho. Isso pode ocorrer como resultado da imobilização do excedente na parede celular, de exclusão ou restrição da absorção, da compartimentalização no vacúolo e da formação de quelatos na interface parede celular-membrana e de fitoquelatinas, que quelatam metais pesados nas células, evitando danos intracelulares (MARSCHNER, 1995).

Os teores de Cu na biomassa residual do milho (Tabela 5) estão abaixo dos observados por Seidel, Costa e Lana (2009), que são de 5 e de 13,8 mg kg⁻¹ para os valores mínimo e máximo encontrados, respectivamente. Porém, esses teores mostram-se semelhantes aos encontrados por Berenguer et al. (2008), de 1,5 e 1,8 mg kg⁻¹ para mínimo e máximo (na dose 51 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos líquidos de suínos) observados, respectivamente. Esses autores não encontraram efeito da aplicação de dejetos nos teores de Cu e Zn na biomassa residual.

Os teores de Zn na biomassa residual estão abaixo de 16 mg kg⁻¹ encontrados por Berenguer et al. (2008) em experimento conduzido com dejetos líquidos de suínos, e por Ferreira et al. (2003), com o uso de resíduo carbonífero no solo. A insuficiência de precipitação pluviométrica e a má distribuição de chuvas no mês de dezembro (Figura 1), quando ocorreu o florescimento da cultura, época de maior absorção de nutrientes pelo milho, podem ter contribuído para estes baixos teores na planta.

A ordem observada do conteúdo dos micronutrientes na biomassa residual do milho é Fe>Mn>Zn>Cu (Tabela 5). Na medida em que o objetivo do cultivo de milho foi a produção de grãos, a quantidade de nutrientes acumulada na biomassa residual é devolvida ao sistema na forma de ciclagem. Contudo, a pequena quantidade de micronutrientes acumulada na biomassa residual do milho (Tabela 5), comparada com

Tabela 5. Teor e conteúdo de Cu, Mn, Fe e Zn na biomassa aérea (sem grãos), no milho cultivado no ano agrícola 2009/2010, em função da adição de diferentes doses de dejetos líquidos de bovino (DLB) em Latossolo Vermelho-Amarelo, sob plantio direto.

DLB ¹	Cu	Mn	Fe	Zn
m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹	Teor (mg kg ⁻¹)			
0	1,68	18,1	49,56	4,84
60	3,23	19,05	36,47	5,21
120	2,44	17,85	52,74	3,93
180	2,70	17,61	49,37	5,15
Regressão	ns ²	ns	ns	ns
Média ³	2,51	18,15	47,04	4,78
m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹	Conteúdo (kg ha ⁻¹)			
0	0,02	0,18	0,49	0,05
60	0,04	0,25	0,48	0,07
120	0,02	0,18	0,52	0,04
180	0,03	0,18	0,49	0,05
Regressão	ns	ns	ns	ns
Média	0,03	0,2	0,5	0,05

¹DLB: Dejetos líquidos de bovinos leiteiros; ²ns: Não significativo; ³Média: Média dos teores de micronutrientes na biomassa aérea do milho das 16 parcelas (4 doses de DLB × 4 repetições).

a grande quantidade aplicada com o DLB (Tabela 1), está relacionada à baixa absorção destes nutrientes. Segundo Berenguer et al. (2008), apenas 6% do Cu e 9 a 16% do Zn aplicados com o dejetos de suíno foram absorvidos pelo milho; portanto, a quase totalidade do Cu e a maior proporção do Zn aplicados através dos dejetos permanecem no solo após as colheitas. Segundo esses autores, maior absorção de Zn está condicionada às melhores condições pluviométricas e maiores produtividades; conseqüentemente, há diminuição da quantidade de metais disponíveis no solo em função da maior absorção pelas plantas.

4 Conclusões

Após três anos e meio consecutivos de aplicação de DLB em área sob plantio direto, a disponibilidade de Cu, Zn e Mn aumentou apenas nos primeiros 10 cm do solo, porém não proporcionou o mesmo efeito na biomassa aérea do milho.

Considerando-se as legislações vigentes e a ausência de aplicação de fontes minerais de micronutrientes, é possível a aplicação de DLB por mais 17 anos, nas condições do estudo. Esta limitação ocorre principalmente pelos níveis de Zn no dejetos.

Referências

BERENGUER, P.; CELA, S.; SANTIVERI, F.; BOIXADERA, J.; LLOVERAS, J. Copper and zinc soil accumulation and plant concentration in irrigated maize fertilized with liquid swine manure. *Agronomy Journal*, v. 101 p. 1056-1051, 2008. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2007.0321>

- BERTOL, O. J.; FEY, E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, J.; RIZZI, N. E. Mobilidade de P, Cu e Zn em colunas de solo sob sistema de semeadura direta submetido às adubações mineral e orgânica. *Revista Brasileira de ciência do solo*, v. 34 p. 1841-1850, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000600008>
- BORGO, J. D. H. *Aplicações sucessivas de dejetos líquidos de bovinos leiteiros em solos sob plantio direto*: Fertilidade do solo, produtividade e absorção de nutrientes em milho. 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES – CEC. Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 concerning the Protection of the Environment, and, in Particular the Soil, when Sewage Sludge is Used in Agriculture. *Official Journal Europe communities*, Brussels, Belgium, n° 181 p. 6-18, 1986.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n° 375, de 29 de agosto de 2006. 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. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 30 ago. 2006. Seção 1, n. 167. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>. Acesso em: 11 est. 2012.
- DORDAS, C. A.; LITHOURGIDIS, A. S.; MATSI, T.; BARBAYIANNIS, N. Application of liquid manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 80 p. 283-296, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-007-9143-1>
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solos*. 2. ed. revisada, 2011. p. 230.
- EMBRAPA-FUNDAÇÃO ABC - FABC. *Mapa do levantamento semi-detalhado de solos*: Município de Castro. Castro: Fundação ABC, 2001.
- FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 755-763, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000400020>
- FUNDAÇÃO ABC - FABC. *Dados de precipitação pluviométrica diária*. Castro: Fundação ABC, 2010.
- GIROTTTO, E.; CERETTA, C. A.; GUSTAVO BRUNETTO, G.; SANTOS, D. R.; SILVA, L. S.; LOURENZI, C. R.; FELIPE LORENSINI, F.; VIEIRA, R. C. B.; SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34 p. 955-965, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300037>
- HERENCIA, J. F.; GARCIA-GALAVIS, P. A.; MAQUEDA, C. Long term effect of organic and mineral fertilization on soil physical properties under greenhouse and outdoor management practices. *Pedosphere*, v. 21 p. 443-453, 2011. [http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60146-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60146-X)
- LI, Y.; MCCRORY, D. F.; POWELL, J. M.; SAAM, H.; JOACKSON-SMITH, D. A survey of selected heavy metal concentrations in Wisconsin dairy feeds. *Journal Dairy Science*, v. 88 p. 2911-2922, 2005. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72972-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72972-6)
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A.; CATARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Zn e Mn pelo milho em solo adubado, com lodo de esgoto com e sem calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27 p. 563-574, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000300018>
- MARTINS, A. P.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químicos – analíticos. *Scientia Agraria*, v. 8 p. 1-17, 2007.
- MATTIAS, J. L.; CERETTA, C. A.; NESI, C. N.; GIROTTTO, E.; TRENTIN, E. E.; LOURENZI, C. R.; RENAN, C. B. V. Copper, zinc and manganese in soils of two watersheds in Santa Catarina with intensive use of pig slurry. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34 p. 1445-1454, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400040>
- MEZZADRI, F. P. *Análise da conjuntura agropecuária*. Secretaria da agricultura e do abastecimento, Departamento de Economia Rural, 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/leite_2012.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2012.
- NICHOLSON, F. A.; SMITH, S. R.; ALLOWAY, B. J.; CARLTON-SMITH, C.; CHAMBERS, B. J. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *The science of the total environment*, v. 311 p. 205-219, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00139-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00139-6)
- PARK, J. H.; LAMBA, D.; PANEERSELVAMA, P.; CHOPPALAA, G.; BOLANA, N.; CHUNG, J. W. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal (loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, v. 185, p. 49-574, 2011. PMID:20974519. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.082>
- PAULETTI, V.; SCOPEL, A.; BORTOLOZZO, A. R.; OLIVEIRA, S. O.; SANCHEZ, M. P. Avaliação de três métodos de estimativa de matéria seca de milho (*Zea mays*, L.). *Scientia Agraria*, v. 17 p. 63-67, 1998.
- PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. *Manual de análise química de solo e controle de qualidade*. Londrina: IAPAR, 1992. 40 p. (Circular, n. 76).
- SEIDEL, E. P.; COSTA, A. C. S.; LANA, M. C. Fitodisponibilidade de cobre e produção de matéria seca por plantas de milho em resposta à aplicação de dejetos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33 p. 1871-1878, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600036>
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - SBCS. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – CQFS. 2004. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 10. ed. Porto Alegre: CQFS, 2004. 400 p.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. *40 CFR - Standards for the use and disposal of sewage sludge*. Washington: USEPA, 1993. Federal Register, 58, 32. Part 503. p. 9387-9415.