

Formas de cobre e zinco em um solo com aplicação de dejetos de suínos durante oito anos⁽¹⁾

Bruno Salvador de Oliveira⁽²⁾; Rafael da Rosa Couto⁽³⁾; Tadeu Tiecher⁽⁴⁾; Carlos Alberto Ceretta⁽⁵⁾; Jucinei José Comin⁽⁶⁾; Gustavo Brunetto⁽⁷⁾

⁽¹⁾Estudo financiado com recursos parciais do projeto “Tecnologias Sociais para a Gestão da Água (TSGA)”, da Fundação de Amparo a Pesquisa do estado de Santa Catarina (FAPESC) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

⁽²⁾Mestrando do programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Florianópolis, SC; E-mail: brunosalvador@agronomo.eng.br; ⁽³⁾Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina; ⁽⁴⁾Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo; Universidade Federal de Santa Maria; ⁽⁵⁾Professor Associado do Departamento de Solos; UFSM; ⁽⁶⁾Professor Associado do Departamento de Engenharia Rural; Universidade Federal de Santa Catarina; ⁽⁷⁾Professor Adjunto 2 do departamento de Solos e do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria.

RESUMO: As aplicações sucessivas de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos podem provocar o acúmulo de frações de cobre (Cu) e zinco (Zn) no perfil do solo. O trabalho objetivou avaliar as formas de Cu e Zn em um solo Argissolo Vermelho Amarelo submetido durante oito anos a aplicações de dejetos de suínos. O experimento foi realizado em Braço do Norte (SC). Os tratamentos foram: adubação com dejetos líquidos de suínos equivalente à recomendação de $N\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ para a cultura do milho e da aveia (DL90) e ao dobro da dose (DL180); adubação com cama sobreposta de suínos equivalente à recomendação de $N\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ para a cultura do milho e da aveia (CS90) e ao dobro da dose (CS180) e testemunha, sem aplicação. Em março de 2010, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-10 e 10-15 cm. O solo foi seco, moído e submetido ao fracionamento químico de Cu e Zn. A aplicação de dejetos suínos, principalmente na forma de cama sobreposta, proporcionou aumentos das frações de Cu e Zn nas camadas mais superficiais do solo (0-10 cm). O Cu no solo é acumulado especialmente na fração orgânica e o Zn preferencialmente na fração ligada aos argilominerais.

Termos de indexação: Elementos-traço; adubação orgânica; fracionamento químico de Cu e Zn.

INTRODUÇÃO

Os dejetos de suínos são aplicados no solo como fonte de nutrientes para culturas anuais, inclusive aquelas cultivadas em sistema plantio direto (SPD). A quantidade aplicada deve ser estabelecida pela sua percentagem de matéria seca, concentração de nutrientes e pelo índice de eficiência, que é relativo à quantidade total dos nutrientes contidos nos dejetos que podem ser transformados da forma orgânica para a mineral, após sua aplicação no solo

(CQFS-RS/SC, 2004). No entanto, em função do grande volume de dejetos produzidos e das pequenas áreas agricultáveis normalmente disponíveis nas propriedades suinícolas, aplicações sucessivas de dejetos, na forma líquida ou sólida, como a cama sobreposta, são realizadas na mesma área de cultivo (Ceretta et al., 2010). Como consequência, ao longo dos anos, se espera incremento dos teores de nutrientes, como os de P e K nas camadas superficiais do solo, assim como de elementos-traço, entre eles e especialmente, o cobre (Cu) e o zinco (Zn) (Mattias et al., 2010).

O aumento do teor de Cu e do Zn no solo, por causa de aplicações frequentes de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos, pode interferir na distribuição das suas frações no solo. Normalmente, a adsorção do Cu e do Zn no solo ocorre primeiramente nos sítios de ligação mais ávidos e, em seguida, os elementos-traço remanescentes são redistribuídos em frações onde são retidos com menor energia e, conseqüentemente, de maior disponibilidade e mobilidade. Assim, as aplicações frequentes de dejetos podem aumentar a quantidade de frações solúveis e trocáveis de Cu e Zn no solo, potencializando a toxidez para as plantas (Guilherme et al., 2005), assim como a transferência pela solução escoada na superfície do solo e percolada no perfil, potencializando a contaminação de águas (Ceretta et al., 2010, Guardini et al., 2012). O trabalho objetivou avaliar as formas de Cu e Zn em um solo Argissolo Vermelho submetido durante oito anos à aplicação de dejetos de suínos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em uma propriedade suinícola no município de Braço do Norte (SC) (Latitude: -28.2835, Longitude: -49.1586; 28° 17' 1" Sul, 49° 9' 31" Oeste, altitude de 300 m). O solo foi

um Argissolo Vermelho Amarelo e antes da instalação do experimento, na camada de 0-10 cm, apresentava os seguintes atributos: argila 330 g kg⁻¹, matéria orgânica 33 g kg⁻¹, pH em água 5,1, Índice SMP 5,5; P disponível 19 mg dm⁻³ e K trocável 130 mg dm⁻³ (ambos extraídos por Mehlich 1); Al trocável 0,8 cmol_c kg⁻¹, Ca trocável 3,0 cmol_c kg⁻¹ e Mg trocável 0,8 cmol_c kg⁻¹ (ambos extraídos por KCl 1 mol L⁻¹). Em dezembro de 2002 a vegetação de campo natural foi dessecada e em janeiro de 2003, na cultura do milho foram implantados os seguintes tratamentos: testemunha sem adubação; adubação com dejetos líquidos de suínos equivalente a recomendação de N ha⁻¹ ano⁻¹ para a cultura do milho e da aveia (DL90) e ao dobro da dose (DL180); adubação com cama sobreposta de suínos equivalente a recomendação de N ha⁻¹ ano⁻¹ para a cultura do milho e da aveia (CS90) e ao dobro da dose (CS180). Ao longo da condução do experimento foi sempre cultivada a sucessão milho no verão e aveia preta no inverno. O delineamento experimental usado foi o de blocos ao acaso com três repetições. Cada parcela possuía 4,5 m de largura e 6 m de comprimento, totalizando 27 m². Em março de 2010, uma trincheira de 40x40x40 cm foi aberta no centro de cada unidade experimental e amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-15; 15-20 e 20-30 cm. Após, o solo foi seco, moído em gral de pedra ágata e submetido ao fracionamento químico de Cu e Zn (Tessier et al., 1979).

Os resultados foram submetidos a análise de variância, sendo utilizado o modelo, $Y_{ijk} = \mu + B_i + W_j + \text{erro}(i,j) + D_k + \text{errob}(i,k) + W.Djk = \text{erroc}(i,j,k)$, onde μ = média geral; B = tratamentos aplicados (i = 1,2,3,4,5); D = profundidade (j = 1,2,3,4) e erro = erro experimental. Quando significativo os dados foram comparados pelo teste de Scott-Knott (P < 0,05%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de Cu na fração solúvel no tratamento testemunha foram iguais em todas as camadas de solo, o que já era esperado, uma vez que o solo não recebeu a aplicação de dejetos líquidos de suínos ou cama sobreposta de suínos ao longo da condução do experimento (Tabela 1). Porém, no solo do tratamento DL90 os teores de Cu na fração solúvel aumentaram até a profundidade de 10 cm e nos tratamentos DL180, CS90 e CS180 os teores aumentaram até a profundidade de 5 cm. Os maiores teores da fração de Cu trocável, no tratamento DL90 foram observados apenas na camada superficial do solo (0-2,5 cm). Mas, no solo

do tratamento DL180 os teores de Cu na fração trocável aumentaram até a profundidade de 10 cm (Tabela 1). Já no solo do tratamento CS90 e CS180 os maiores teores de Cu na fração trocável foram verificados até a profundidade de 5 cm. Os teores de Cu na fração ligada aos argilominerais e a matéria orgânica foram iguais entre as camadas avaliadas no tratamento controle (Tabela 1). Na fração de Cu ligada aos argilominerais e a matéria orgânica, os maiores teores do elemento no solo do tratamento DL180, CS90 e CS180 foram observados na camada mais superficial (0-2,5 cm). Porém, na fração de Cu ligada a matéria orgânica no solo do tratamento DL90, os maiores teores foram verificados até a profundidade de 5 cm (Tabela 1). O CS180 foi o tratamento que apresentou os maiores teores de frações de Cu (solúvel, trocável, mineral, MO e residual) em todas as camadas avaliadas.

Os teores de Zn na fração solúvel e trocável no solo do tratamento testemunha e DL90 foram iguais em todas as camadas avaliadas (Tabela 1). Porém, no solo do tratamento DL180 e CS90, os maiores teores de Zn na fração solúvel e trocável foram observados na camada de 0-2,5 cm. Já no solo do tratamento CS180, os maiores teores de Zn na fração solúvel foram observados até a profundidade de 5 cm, mas na fração trocável até 2,5 cm. No entanto, especialmente nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, os maiores teores de Zn na fração solúvel foram observados no solo do tratamento CS180 (Tabela 1). Já nas camadas de 0-2,5 e 10-15 cm, os maiores teores de Zn na fração solúvel foram verificados no solo do tratamento DL180, CS90 e CS180. Convém ressaltar que na camada de 2,5-5,0 e 5-10 cm os maiores teores de Zn solúvel foram encontrados no solo do tratamento CS180. Na fração trocável, os maiores teores de Zn, na camada até 10 cm foram encontrados no solo do tratamento CS90 e CS180.

Os maiores teores de Zn ligado à fração dos argilominerais e a matéria orgânica no solo dos tratamentos DL90, DL180, CS90 e CS180 foram observados na camada mais superficial do solo (0-2,5 cm) (Tabela 1). Já os maiores teores de Zn na fração ligada aos argilominerais, em todas as camadas, foi verificado no solo do tratamento CS180. Os teores de Zn na fração residual foram iguais em todas as camadas do solo dos tratamentos DL90, DL180 e testemunha (Tabela 1). Porém, no solo do tratamento CS90 os maiores teores de Zn na fração residual foram observados na camada de 0-2,5 cm e no solo do tratamento CS180, os maiores teores foram verificados até a profundidade de 5 cm. Os maiores teores de Zn na



fração residual, nas camadas de 0-2,5; 2,5-5,0 e 10-15 cm foram observados no solo dos tratamentos CS90 e CS180, mas no solo dos tratamentos DL90 e DL180, os teores de Zn na fração residual foram iguais ao solo da testemunha. Por outro lado, os maiores teores de Zn na fração total foram observados até a camada de 5 cm no solo do tratamento DL90 e até 2,5 cm do solo dos tratamentos DL180, CS90 e CS180 (Tabela 1).

A aplicação de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos na superfície do solo ao longo do período de 2003 até 2010 aumentaram os teores de Cu, mas especialmente de Zn, na fração solúvel, mas em maior quantidade na fração trocável, de forma um pouco mais destacada nas camadas mais superficiais do solo, como 0-2,5 e 2,5-5 cm (Tabela 1). No entanto, os maiores teores foram observados no solo que recebeu a aplicação ao longo dos anos de cama sobreposta de suínos, especialmente no solo do tratamento CS180 (Tabela 1). Com a decomposição mais facilitada dos dejetos líquidos de suínos e um pouco mais lenta da cama sobreposta de suínos, os nutrientes contidos neles, entre os quais, o Cu e o Zn, tendem a ser liberados para ao solo, incrementando a fração dos elementos-traço na fração trocável, que está em rápido equilíbrio com a fração do elemento na solução (Sposito, 1989). Mas, o incremento das frações dos elementos no solo é proporcional a quantidade aplicada via dejetos (Giroto et al., 2010), o que pode ser uma das explicações para a maior quantidade de Cu e Zn na solução e na fração trocável no solo do tratamento CS180. Convém relatar que o Cu e o Zn em solução movem-se em função e na direção do fluxo de água. Estes elementos ao serem, por exemplo, transportados até a superfície das raízes das plantas podem então ser absorvidos. Assim, caso sejam consideradas adequadas às concentrações dos elementos-traço na solução, estes poderão suprir a demanda das plantas, mas se as concentrações forem elevadas ou mesmo crescentes ao longo do tempo, o que, por exemplo, pode acontecer, não só, mas especialmente, no solo do tratamento CS180 se forem continuadas as aplicações da cama sobreposta, podem potencializar a toxidez dos elementos-traço, às plantas, mas também aos microrganismos.

CONCLUSÕES

A aplicação de dejetos suínos, principalmente na forma de cama sobreposta, proporcionam aumento das frações de Cu e Zn, principalmente nas camadas mais superficiais do solo. O Cu no solo é

acumulado especialmente na fração orgânica e o Zn preferencialmente na fração ligada aos argilominerais.

AGRADECIMENTOS

Ao projeto Tecnologia Sociais para a Gestão da Água – TSGA, PETROBRÁS Ambiental.

REFERÊNCIAS

- CERETTA, C.A.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C.R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R.C.B. & BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. *Agric. Ecosyst. Environ.* 139: 689-699, 2010.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS-RS/SC Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10^o.ed. Porto Alegre. 2004. 400 p.
- GIROTTO, E.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; SANTOS, D. R.; SILVA, L. S.; LOURENZI, C. R.; LORENSINI, F.; RENAN VIEIRA, C. B. & SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. *R. Bras. Ci. Solo*, 34: 955-965, 2010.
- GUARDINI, R ; COMIN, J. J. ; RHEINHEIMER, D S ; GATIBONI, L C ; TIECHER, TALES ; SCHMITT D E ; BENDER, M. A. ; FILHO P B ; OLIVEIRA, P. A. V. ; BRUNETTO, G. Phosphorus accumulation and pollution potential in a Hapludult fertilized with pig manure. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 1333-1342, 2012.
- GUILHERME, L. R. G. et al. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: *Tópicos em Ciência do Solo*. v. 4, p. 345-382, 2005.
- MATTIAS, J. L. et al. 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. 445-454, 2010.
- SPOSITO, G. *The Chemistry of Soils*. New York, Oxford University Press, 1989. 268 p.
- TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C.; BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, v.51, p.844-851, 1979.

Tabela 1. Frações de cobre (Cu) e zinco (Zn) em solo submetido a aplicações de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos.

Tratamentos	Camada (cm)							
	0-2,5	2,5-5,0	5-10	10-15	0-2,5	2,5-5,0	5-10	10-15
	-----Cu-Solúvel (mg kg ⁻¹)-----				-----Zn-Solúvel (mg kg ⁻¹)-----			
Testemunha	0,10 Ad ⁽¹⁾	0,11 Ad	0,10 Ad	0,13 Ac	0,10 Ab ⁽¹⁾	0,09 Ac	0,11 Ac	0,19 Aa
DL90	0,16 Ad	0,17 Ad	0,13 Ad	0,07 Bd	0,13 Ab	0,12 Ac	0,11 Ac	0,09 Ab
DL180	0,53 Ac	0,41 Ac	0,29 Bc	0,18 Cc	0,41 Aa	0,34 Bb	0,30 Cb	0,23 Da
CS90	0,70 Ab	0,64 Ab	0,48 Bb	0,36 Cb	0,44 Aa	0,34 Bb	0,23 Cb	0,23 Ca
CS180	1,32 Aa	1,66 Aa	0,92 Ba	0,66 Ca	0,41 Aa	0,48 Aa	0,36 Ba	0,22 Ca
	-----Cu-Trocável (mg kg ⁻¹)-----				-----Zn-Trocável (mg kg ⁻¹)-----			
Testemunha	0,14 Be	0,23 Ad	0,28 Ac	0,28 Ab	1,80 Ad	1,54 Ad	1,50 Ad	1,16 Ad
DL90	0,68 Ab	0,40 Bc	0,25 Cc	0,11 Dc	5,33 Ac	3,01 Bc	1,90 Cc	0,87 Dc
DL180	0,39 Ad	0,25 Ad	0,44 Ab	0,10 Cc	20,03 Ab	13,64 Bb	8,24 Cb	4,93 Db
CS90	0,57 Ac	0,52 Ab	0,33 Bc	0,14 Cc	23,66 Aa	18,34 Ba	12,82 Ca	4,42 Db
CS180	0,92 Aa	1,06 Aa	0,69 Ba	0,37 Ca	17,95 Aa	15,88 Ba	10,88 Ca	6,05 Da
	-----Cu-Mineral (mg kg ⁻¹)-----				-----Zn-Mineral (mg kg ⁻¹)-----			
Testemunha	1,37 Ae	1,26 Ae	1,15 Ae	1,15 Ad	14,86 Ae	13,27 Ae	9,22 Bd	5,47 Bc
DL90	4,35 Ad	3,44 Ad	2,32 Bd	1,19 Cd	36,36 Ad	20,81 Bd	11,07 Cd	4,91 Dc
DL180	11,90 Ac	7,84 Bc	5,06 Cc	2,86 Dc	54,04 Ac	29,13 Bc	17,98 Cc	8,68 Dc
CS90	17,83 Ab	16,29 Bb	11,72 Cb	4,84 Db	160,06 Ab	84,61 Bb	48,62 Cb	13,25 Db
CS180	40,24 Aa	37,98 Ba	23,53 Ca	12,72 Da	270,24 Aa	204,72 Ba	81,91 Ca	32,34 Da
	-----Cu-MO (mg kg ⁻¹)-----				-----Zn-MO (mg kg ⁻¹)-----			
Testemunha	2,74 Ae	2,58 Ae	2,34 Ad	1,30 Ac	0,88 Ad	0,78 Ac	0,54 Ac	0,12 Bb
DL90	9,64 Ad	4,42 Bd	1,81 Cd	1,00 Cc	1,85 Ac	1,15 Bc	0,39 Cc	0,06 Cb
DL180	17,58 Ac	9,80 Bc	4,52 Cc	2,50 Dc	1,90 Ac	1,27 Bc	0,73 Cc	0,49 Ca
CS90	36,67 Ab	22,86 Bb	12,46 Cb	3,51 Db	5,86 Ab	3,05 Bb	1,74 Cb	0,63 Da
CS180	79,94 Aa	62,13 Ba	22,68 Ca	8,82 Da	14,45 Aa	9,99 Ba	2,43 Ca	0,85 Da
	-----Cu-Residual (mg kg ⁻¹)-----				-----Zn-Residual (mg kg ⁻¹)-----			
Testemunha	5,99 Be	7,58 Ae	7,58 Ad	5,65 Bc	24,99 Ab	28,21 Ab	30,24 Aa	27,00 Ab
DL90	11,24 Ad	8,49 Bd	7,11 Cd	4,91 Dc	29,90 Ab	26,27 Ab	31,25 Aa	28,41 Ab
DL180	14,38 Ac	12,90 Ac	9,94 Bc	6,98 Cc	31,64 Ab	28,26 Ab	29,61 Aa	23,23 Ab
CS90	37,28 Ab	28,30 Bb	20,78 Cb	11,85 Db	47,47 Aa	33,31 Ba	35,97 Ba	35,02 Ba
CS180	65,85 Aa	54,24 Ba	25,10 Ca	14,42 Da	48,03 Aa	43,15 Aa	30,18 Ba	38,76 Aa
	-----Cu-Soma das frações (mg kg ⁻¹)-----				-----Zn-Soma das frações (mg kg ⁻¹)-----			
Testemunha	10,34 Ae	11,77 Ae	11,45 Ad	8,51 Ad	42,63 Ae	43,90 Ad	41,61 Ad	33,94 Ac
DL90	26,08 Ad	16,91 Bd	11,62 Cd	7,28 Dd	73,58 Ad	51,36 Bd	44,73 Bd	34,34 Cc
DL180	44,79 Ac	31,19 Bc	20,25 Cc	12,61 Dc	108,05 Ac	72,65 Bc	56,86 Cc	37,56 Dc
CS90	93,05 Ab	68,61 Bb	45,77 Cb	20,70 Db	237,48 Ab	139,66 Bb	99,39 Cb	53,56 Db
CS180	188,28 Aa	157,08 Ba	72,92 Ca	37,00 Da	351,08 Aa	274,22 Ba	125,76 Ca	78,22 Da
	-----Cu-Total (mg kg ⁻¹)-----				-----Zn-Total (mg kg ⁻¹)-----			
Testemunha	8,40 Ae	8,95 Ae	8,40 Ad	8,40 Ad	43,31 Ae	34,77 Ad	35,67 Ac	35,40 Aa
DL90	26,81 Ad	19,82 Bd	12,30 Cd	6,99 Dd	70,86 Ad	55,67 Ac	41,29 Bc	31,53 Ba
DL180	45,49 Ac	31,36 Bc	22,31 Cc	13,91 Dc	106,86 Ac	64,64 Bc	53,38 Bc	39,15 Ca
CS90	83,53 Ab	56,90 Bb	41,30 Cb	19,86 Db	214,95 Ab	124,54 Bb	92,19 Cb	45,68 Da
CS180	185,15 Aa	157,91 Ba	69,68 Ca	36,18 Da	378,02 Aa	291,87 Ba	120,26 Ca	54,86 Da

DL90 = dejetos líquidos de suínos com aplicação da dose recomendada; DL180 = dejetos líquidos de suínos com o dobro da dose recomendada; CS90 = cama sobreposta de suínos com aplicação da dose recomendada; CS180 = cama sobreposta de suínos com o dobro da dose recomendada. ⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha (camada) e minúscula na coluna (fonte) não são significativamente diferentes (Scott-Knott test, p<0.05).