

Dejeto suíno e extrato pirolenhoso – influência na retenção/lixiviação de metais no solo¹

Thaís Schmitz²

Olyr Celestino Kreutz³

Liane Bianchin⁴

Edna Sayuri Suyenaga⁵

Angela Beatrice Dewes Moura⁶

Resumo

Os dejetos líquidos de suínos (DLS) e o extrato pirolenhoso (EP) geralmente são utilizados como fertilizantes em áreas agrícolas. Quando dispostos na natureza de forma inadequada, eles podem causar impactos ambientais negativos, tanto para o solo, quanto para os lençóis freáticos. Este estudo propõe pesquisar o efeito da incorporação do extrato pirolenhoso no solo, juntamente com DLS, na mobilidade dos metais Cu e Zn e contaminantes tipicamente presentes nos DLS. Os experimentos foram conduzidos em colunas de solo com adição de EP e DLS, em concentrações determinadas, para verificar a lixiviação dos metais. As colunas foram submetidas a regas regulares. Os percolados foram analisados por espectrometria de absorção atômica para a quantificação dos metais estudados. Os resultados mostraram o perfil de lixiviação de Cu e Zn. Pode-se verificar que a combinação da adição do DLS e do EP ao solo diminui a lixiviação dos metais analisados.

Palavras-chave: Extrato pirolenhoso. Dejetos líquidos de suínos. Metais.

Abstract

The swine liquid waste (SLW) and pyroligneous acid (PA) are generally used as fertilizers in agricultural areas. When improperly arranged in nature, they can cause negative environmental impacts, both in soil and groundwater. This study aims to find the effect of the incorporation of the pyroligneous acid in soil, along with SLW, in the mobility of Cu and Zn and contaminants typically present in SLW. The experiments were conducted in soil columns with the SLW and PA addition, in certain concentrations, to verify the leaching of metals. The columns were regularly watered. The percolated liquids were analyzed by atomic absorption spectrometry for the quantification of the studied metals. The results showed the leaching profile of Cu and Zn. It can be seen that the combination of the SLW and PA addition to the soil reduces the leaching of the analyzed metals.

Keywords: Pyroligneous acid. Swine liquid waste. Metals.

1 Pesquisa realizada com o apoio da Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: thaisschmitz@hotmail.com.

2 Graduada em Engenharia Química pela Universidade Feevale.

3 Doutor em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil. Professor da Universidade Feevale. E-mail: ockreutz@feevale.br

4 Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. Professora da Universidade Feevale. E-mail: lianebianchin@feevale.br

5 Doutora em Ciências Farmacêuticas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre. Professora da Universidade Feevale. E-mail: suyenaga@feevale.br

6 Doutora em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre. Professora da Universidade Feevale, Novo Hamburgo. E-mail: angelab@feevale.br

1 Introdução

A crescente preocupação com os riscos ambientais de contaminação do solo e águas, devido ao uso de fertilizantes sintéticos, como também o custo desses produtos, vem reforçando a utilização de resíduos orgânicos, como os dejetos líquidos de suínos (DLS) e o ácido pirolenhoso, na agricultura para a adubação do solo. O uso desses resíduos para aumentar a fertilidade do solo vem sendo feito há muitos anos, demandando por pesquisas que avaliem a viabilidade técnica e econômica dessa alternativa (PEREIRA *et al.*, 2013; TOGORO; SILVA; CAZETTA, 2014).

Diferente dos fertilizantes minerais, os DLS possuem composição química variável, influenciada por diversos fatores da criação dos suínos e assim podem estar em condições desproporcionais em relação à exigência nutricional das culturas. O cobre e o zinco são os micronutrientes em maior concentração nos DLS, pois são utilizados na suplementação mineral das rações e na formulação de antibióticos, em doses excessivas, para garantir a sua absorção e assim são eliminados em grande parte nas fezes dos suínos, o que pode levar ao acúmulo desses nutrientes no ambiente (SANTOS, 2014; BARILLI, 2005).

Levando em conta que o licor pirolenhoso é bastante ácido, em razão da predominância do ácido acético em sua composição (BATISTA, 2013), é possível que ele possa influenciar as propriedades químicas do solo, afetando a adsorção e o deslocamento dos nutrientes do seu perfil (TOGORO, 2012). Assim a disposição conjunta dos dois resíduos no solo pode promover o deslocamento do Cu e Zn, adicionados via DLS.

Como em condições reais de campo, a pesquisa é muito difícil, devido a uma série de variáveis ambientais, as colunas de solo, em condições controladas, mostram-se uma boa alternativa para estudos de lixiviação de substâncias (QAFOKU; SUMNER; RADCLIFFEET, 2000; SHACKELFORD, 1995; TOGORO; SILVA; CAZETTA, 2014).

Através deste estudo, propõe-se pesquisar o efeito da incorporação do extrato pirolenhoso, e do extrato pirolenhoso com DLS no solo, na mobilidade dos metais Cu e Zn e contaminantes tipicamente presentes nos dejetos oriundos da suinocultura. Além disso, foram determinados os teores de matéria orgânica no solo nos experimentos com adição de DLS, com o intuito de determinar a influência do EP neste parâmetro.

2 Materiais e métodos

Os experimentos foram realizados em duplicata, conduzidos em colunas de PVC (policloreto de polivinila) com dimensões de 5 cm de diâmetro e 40 cm de altura, tendo em sua base uma tampa contendo uma abertura na qual foi adaptada uma mangueira de silicone que permitia a condução do lixiviado para um recipiente coletor. A figura 1 apresenta o fluxograma dos experimentos realizados.

O solo escolhido para os experimentos foi um solo característico da região do Vale do Sinos. O ácido pirolenhoso foi obtido pela condensação dos vapores durante a produção de carvão vegetal a partir de madeira de acácia negra (*Acácia mearnsii* De Wild), e o dejetos líquido de suíno utilizado para a realização dos testes foi coletado no município de Santa Maria do Herval, RS.

Antes de ser utilizado, o solo foi seco ao ar, destorroado e tamisado em peneira de malha de 2 mm. Em cada coluna foram dispostos 500 g de solo previamente fortificado pela adição de 100 mg.kg⁻¹ de Zn e de Cu na forma de sulfato. Foram realizados dois diferentes experimentos, em duplicata. O primeiro experimento foi feito com a aplicação de extrato pirolenhoso no solo das colunas e o segundo experimento, com a adição de extrato pirolenhoso diluído em DLS.

2.1 Extrato pirolenhoso aplicado no solo (experimento 1)

Em cada coluna previamente preparada com 500 g de solo, foi adicionada uma carga de

extrato pirolenhoso, diluído em água, nas concentrações de 0% (testemunha), 5%, 25%, 50% e 80% (v/v), com volume total de 400 mL. O experimento foi realizado em duplicata para cada concentração. As colunas foram submetidas a

regas regulares, a cada sete dias, durante quatro semanas, com 200 mL de água, para simular a chuva ou irrigação e promover o deslocamento no perfil da coluna, permitindo recolher o lixiviado para as análises.

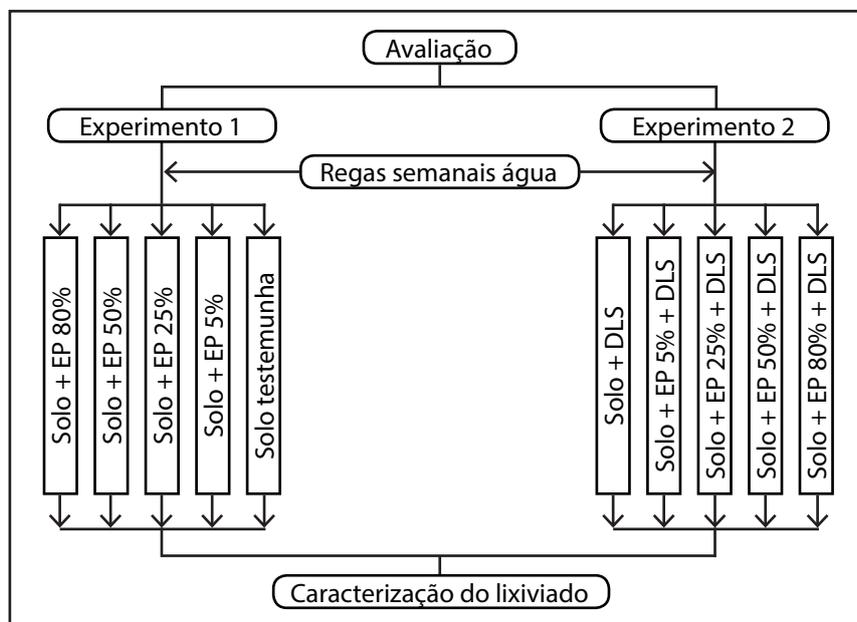


Figura 1 - Fluxograma dos experimentos realizados.

Fonte: Os autores (2016).

2.2 Extrato pirolenhoso e DLS aplicados no solo (experimento 2)

Em cada coluna previamente preparada com 500 g de solo, foi adicionada uma carga de extrato pirolenhoso nas concentrações de: 0%, 5%, 25%, 50% e 80% (v/v), diluído em 20% v/v de DLS e o restante de água, com volume total de 400 mL. O experimento foi realizado em duplicata para cada concentração. As colunas foram submetidas a regas regulares, a cada sete dias, durante três semanas, recolhendo-se semanalmente os lixiviados para as análises.

2.3 Caracterizações do solo e dos lixiviados

A caracterização química do solo utilizado seguiu a metodologia apresentada por Tedesco *et al.* (1995) sendo que as determinações de cálcio, magnésio, cobre e zinco foram feitas em um espectrofotômetro de absorção atômica (Varian/Spectra AA110), as determinações de sódio e

potássio em um fotômetro de chama (Digimed/DM-62). O fracionamento físico seguiu metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997) e teor de matéria orgânica foi determinado em um analisador de carbono (Analytik Jena/Multi N/C 3100).

Os volumes de água percolados de todas as colunas foram coletados e analisados por espectrometria de absorção atômica em chama para a quantificação dos metais em estudo e por potenciometria (potenciômetro Marconi/PA200) para determinação do pH. O solo testemunha e os solos de todas as colunas ao final do experimento 2, foram analisados em três diferentes camadas de profundidade (0-12 cm, 12-24 cm e 24-36 cm), para obtenção dos teores de matéria orgânica, através de um analisador de carbono.

Os contaminantes tipicamente presentes nos DLS são coliformes. Através do método do

substrato cromogênico, foi realizada a determinação dos coliformes totais e termotolerantes do primeiro percolado das colunas testemunhas (0% EP), com concentração de 0% do extrato pirolenhoso. Após as semanas de regas e coletas, realizou-se uma última rega para a análise dos coliformes totais e termotolerantes dos percolados de todas as colunas.

3 Resultados e discussão

3.1 Caracterização dos materiais

O extrato pirolenhoso utilizado para a realização dos testes apresentou pH de 2,85 e o dejetto líquido de suíno apresentou pH de 7,52. Na tabela 1, é mostrada a caracterização do solo utilizado nos experimentos.

Tabela 1 - Caracterização do solo antes da instalação do experimento

Parâmetro	Resultado	Unidade
pH	5,99	-
Sódio	36,5	mg.dm ⁻³
Potássio	94,0	mg.dm ⁻³
Cálcio	11,09	cmol _c .dm ⁻³
Magnésio	2,00	cmol _c .dm ⁻³
Cobre Total	13,05	mg.kg ⁻¹
Zinco Total	34,44	mg.kg ⁻¹
Argila	564,20	g.kg ⁻¹
Silte	350,50	g.kg ⁻¹
Areia	85,30	g.kg ⁻¹
Matéria Orgânica	3,30	%

Fonte: Os autores (2016).

De acordo com a caracterização do solo e conforme classificação de Caputo (1988), o solo utilizado nas colunas foi classificado como argiloso.

3.2 pH

As figuras 2 e 3 apresentam as médias dos valores de pH dos lixiviados das colunas para o experimento 1 e para o experimento 2. Pode-se observar que houve um decréscimo linear, conforme o aumento da concentração de extrato pirolenhoso, em ambos os experimentos. Esta redução era esperada, uma vez que o extrato pirolenhoso contém alta concentração de ácido (SOUZA; RÉ-POPPII; RAPOSO JR., 2012). Também foi verificado um aumento do pH dos lixiviados no decorrer das semanas, decorrente da diminuição da concentração do pirolenhoso no solo conforme este era lixiviado durante as regas.

O pH dos lixiviados dos dois experimentos apresenta um crescimento a partir da primeira até a última rega. Os menores aumentos foram verificados para as colunas nas quais a concentração do EP foi maior. Este comportamento era esperado em função do pH do EP ser baixo. Na comparação entre os dois experimentos a adição de DLS provocou um maior aumento do pH. Atribui-se este comportamento ao valor elevado do pH do DLS. Verificou-se que, no experimento 2 (figura 3), em que foi utilizado extrato pirolenhoso diluído em DLS, o pH dos lixiviados apresentou valores maiores quando comparado ao experimento 1 (figura 2), em que foi adicionado somente o extrato pirolenhoso. Este fato pode ser atribuído ao elevado valor do pH do dejetto suíno aplicado ao solo (7,52), aumentando assim o valor do pH dos lixiviados.

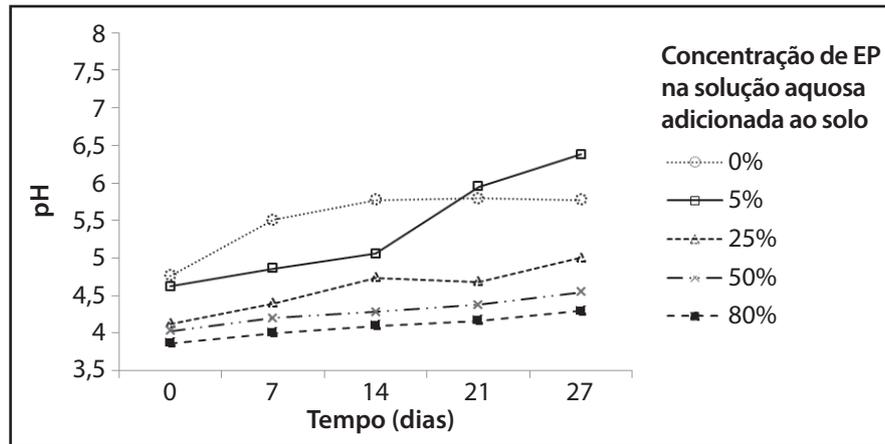


Figura 2 - Evolução temporal do pH do lixiviado em colunas de solo no experimento 1 com adição de EP em diferentes diluições
Fonte: Os autores (2016).

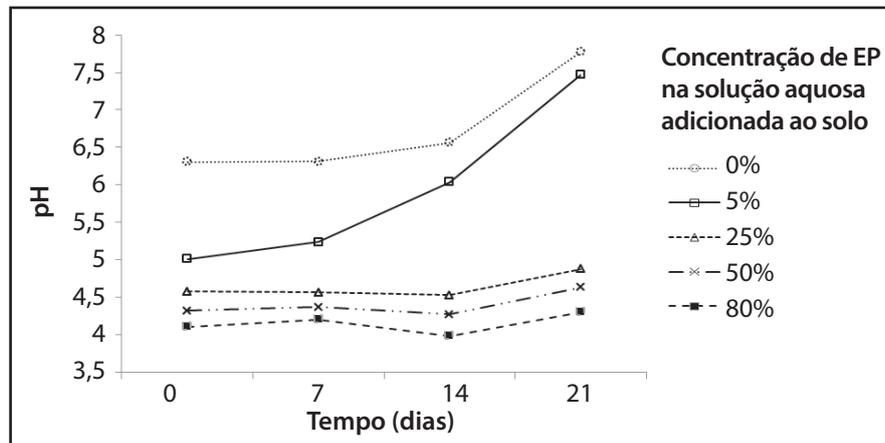


Figura 3 - Evolução temporal do pH do lixiviado em colunas de solo no experimento 2 com adição de soluções de EP em diferentes diluições e DLS a 20% (v/v)
Fonte: Os autores (2016).

3.3 Teores de cobre e zinco no extrato lixiviado

As figuras 4 e 5 mostram as médias das concentrações de Cu e Zn nos lixiviados coletados no decorrer das regas realizadas semanalmente, para os experimentos 1 e 2, respectivamente.

Pode-se observar na figura 5, que, para o experimento 2, na rega realizada 7 dias após a rega inicial, o lixiviado da coluna com 80% de EP apresentou os maiores valores de concentração de cobre e zinco, 8,493 mg.L⁻¹ e 5,453 mg.L⁻¹, respectivamente. No experimento 1, esse maior valor de concentração de cobre e zinco no lixiviado também aconteceu na segunda rega

realizada para a coluna com 80% de EP, porém, os valores de cobre e zinco nos lixiviados foram maiores, 42,712 mg.L⁻¹ e 75,971 mg.L⁻¹, conforme mostra a figura 4.

Assim, pode-se verificar que as concentrações dos metais cobre e zinco nos lixiviados do experimento realizado com a adição do extrato pirolenhoso diluído em dejeto suíno foram menores quando comparadas aos valores de lixiviação obtidos pela adição direta do extrato pirolenhoso no solo. Pode-se verificar, nas condições do experimento, que a combinação da adição do DLS e do extrato pirolenhoso ao solo diminui a lixiviação dos metais analisados.

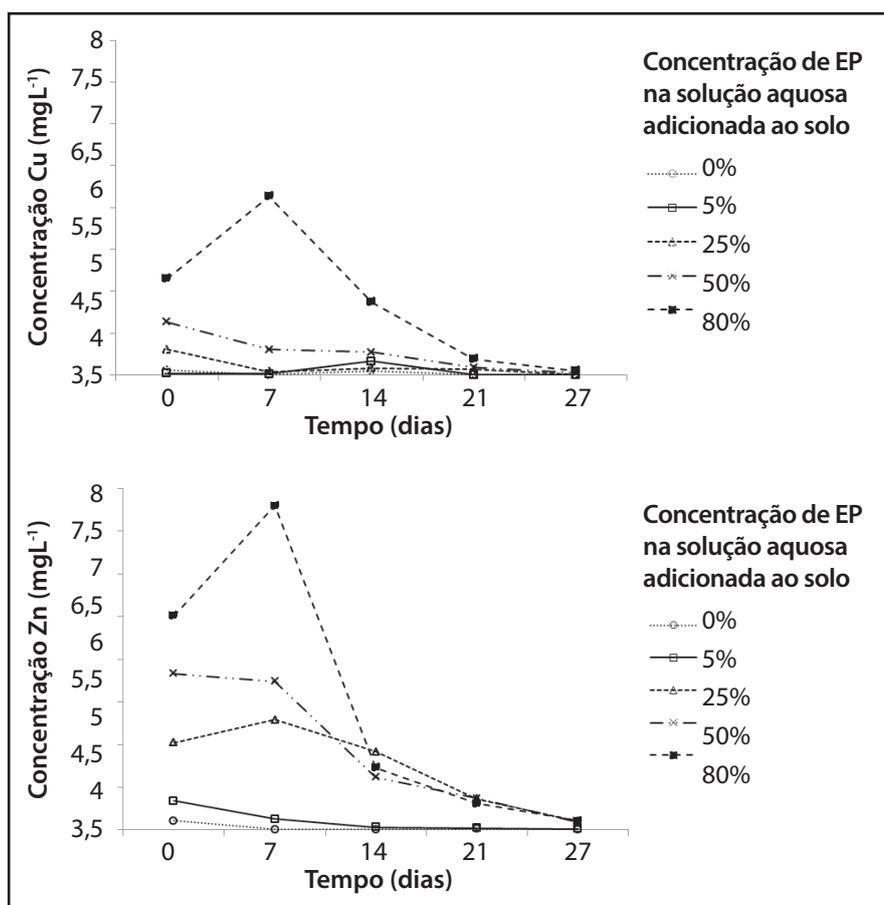


Figura 4 - Evolução temporal das concentrações de cobre e zinco do lixiviado das colunas de solo para o experimento 1 em função das diferentes concentrações de EP adicionado. Fonte: Os autores (2016).

Estes resultados podem ser atribuídos às condições em que os metais se encontravam no solo, sendo que o pH é um dos fatores que tem mais influência na solubilidade dos metais. A solubilidade de Cd, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn diminui através do aumento do pH (BERTON, 2000). Grande parte dos metais torna-se menos solúvel quando estes são submetidos a ambientes alcalinos, devido à formação de precipitados na forma de carbonatos e hidróxidos metálicos (LINDSAY, 1979; VITORINO; SILVA; LANA, 2012). Desse modo, a solubilidade dos metais Cu e Zn nas condições dos experimentos comportou-se de forma a concordar com as afirmações, com concentrações diminuindo consideravelmente no experimento 2, em que o pH do lixiviado era maior, quando comparadas com o experimento 1. Os valores de pH de cada coluna

tiveram o mesmo comportamento, diminuindo conforme o aumento da concentração do extrato pirolenhoso, dessa forma aumentando a lixiviação dos metais estudados. Com exceção para as colunas de concentração de 5% de EP, nas quais o conteúdo orgânico adicionado via extrato pirolenhoso pode ter promovido a quelação dos metais retardando sua lixiviação. Nas colunas com maiores concentrações de EP, a diminuição do pH do meio pode ter sido fator dominante para uma maior lixiviação dos metais e assim se sobrepondo a capacidade de quelação pela matéria orgânica. Este efeito já foi observado por Matos (1995).

Foi observado que, no experimento com aplicação somente de extrato pirolenhoso ao solo, houve uma maior lixiviação de Zn quando comparado ao Cu. Já no experimento com

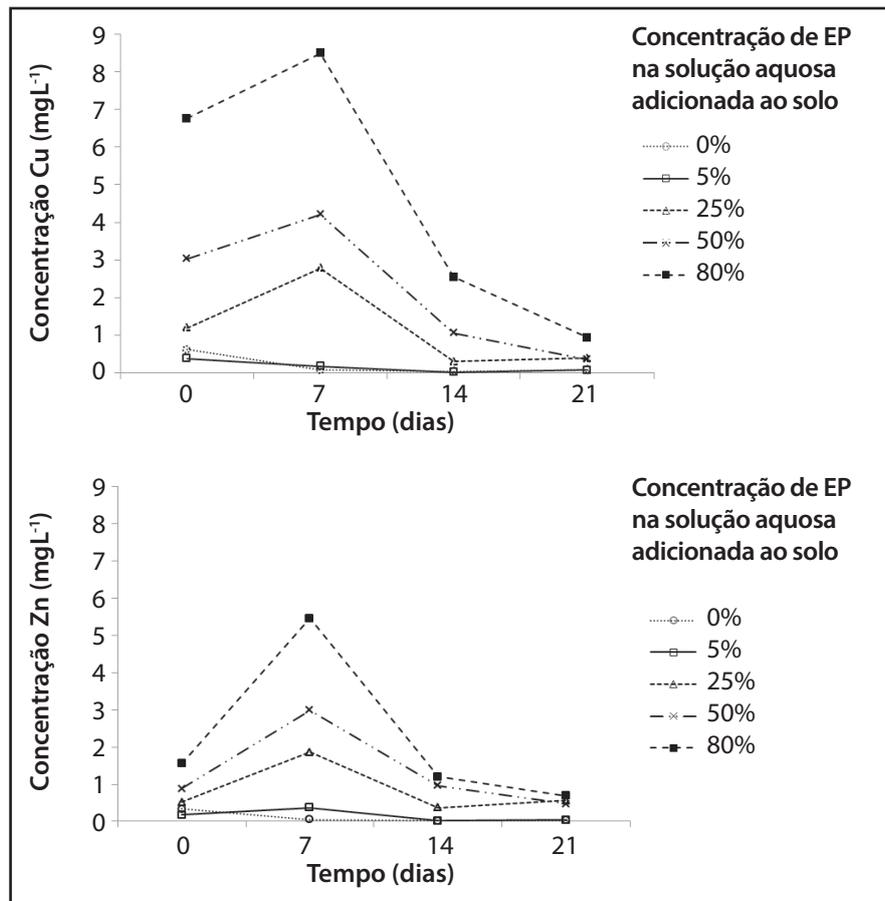


Figura 5 - Evolução temporal das concentrações de cobre e zinco do lixiviado das colunas de solo para o experimento 2 em função das diferentes concentrações de EP adicionado. Fonte: Os autores (2016).

aplicação de licor pirolenhoso diluído em DLS obteve-se uma maior lixiviação do Cu em relação ao Zn.

Welch e Lund (1989) observaram nos ensaios em colunas de solo com aplicação de lodo de esgoto, que a lixiviação do zinco foi maior em função do aumento da acidez do meio. De acordo com Oliveira e Mattiazzo (2001), quando em presença de elevados teores de matéria orgânica ou em ambientes com pouca ou nenhuma acidez, a presença do zinco em solução e de outras formas facilmente lixiviáveis é altamente reduzida. Nessas condições, o metal pode precipitar-se junto aos óxidos de ferro e de magnésio, como também gerar complexos pouco solúveis com a matéria orgânica ou reter-se através de processos de adsorção específica (SMANHOTTO *et al.*, 2010).

3.4 Coliformes totais e termotolerantes

Nos dois experimentos, verificou-se a ausência de coliformes termotolerantes e a presença de coliformes totais no lixiviado da primeira rega das colunas testemunhas (0% EP). Ao final dos experimentos realizou-se uma nova análise de coliformes para o lixiviado final e verificou-se ausência de coliformes totais e termotolerantes para todas as colunas onde houve adição de extrato pirolenhoso ou extrato pirolenhoso diluído em dejeto suíno, e somente detectou-se a presença no lixiviado das colunas testemunhas em que não houve adição de extrato pirolenhoso e somente a adição de dejeto líquido de suínos. Desse modo, pode-se verificar a influência do extrato pirolenhoso na inibição dos coliformes totais.

3.5 Matéria orgânica do solo ao final do experimento 2

A tabela 2 apresenta as médias dos resultados de matéria orgânica do solo obtidos após o experimento 2, em três diferentes camadas de profundidade do solo nas colunas.

Através dos resultados comparativos de matéria orgânica do solo ao final do experimento com extrato pirolenhoso e DLS, a partir

da análise de variância com teste F (5%), verificou-se que a concentração de matéria orgânica nas diferentes colunas e em todas as camadas de solo permaneceu semelhante e assim não foi alterada pela adição do extrato pirolenhoso e do DLS, nas condições do experimento. A matéria orgânica do solo também não teve mudança significativa no trabalho de Torogo, Silva e Cazetta (2014), com aplicação de extrato pirolenhoso no solo.

Tabela 2 - Valores médios de matéria orgânica no solo ao final do experimento com extrato pirolenhoso e DLS (2)

	Profundidade (.10 ² m)	Concentração de pirolenhoso (%)				
		0	5	25	50	80
Matéria Orgânica (%)	0-12	2,89	2,90	3,06	3,26	3,31
	12-24	2,90	2,91	2,99	2,98	3,28
	24-36	2,90	2,88	2,88	2,95	3,11

Fonte: Os autores (2016).

Segundo Torogo, Silva e Cazetta (2014), a maior parte da matéria orgânica acrescida por meio do extrato pirolenhoso é absorvida pelo solo. Possivelmente, a matéria orgânica que foi lixiviada teve sua compensação pela adição ao solo através do extrato pirolenhoso, o que pode ajudar a explicar por que a concentração da matéria orgânica no solo permaneceu inalterada.

Considerando que o solo utilizado nos experimentos possuía um teor de matéria orgânica de 3,30%, e o solo ao final do experimento apresentou teores de matéria orgânica que variaram de 2,89 à 3,28%, pode-se verificar que a adição de DLS, nas condições do experimento, não promoveu o aumento do teor de matéria orgânica do solo.

Nos estudos de Dal Bosco (2007) e Assmann *et al.* (2006), que estudaram a aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) no solo, da mesma forma não foram observados aumentos dos teores de matéria orgânica com as aplicações. Bertol (2005) também aplicou DLS no solo e não obteve incrementos de matéria orgânica por conta dos tratamentos realizados no solo

(60 m³.ha⁻¹ de DLS). O autor citou o trabalho de Scherer *et al.* (1984 *apud* BERTOL, 2005), que obtiveram o mesmo comportamento, atribuindo o fato às baixas porcentagens de matéria seca do dejetos suíno, influenciando pouco o teor de carbono no solo, haja vista que grande parte é perdido na forma de dióxido de carbono (CO₂).

Scherer, Nesi e Massotti (2010), comparando os teores de matéria orgânica de três classes de solos (Latosolo, Cambissolo e Neossolo), sob mata nativa e uso agrícola com aplicação de dejetos de suínos, por 15 ou mais anos, também não verificaram diferenças no teor de matéria orgânica em nenhum dos solos e camadas amostradas. Esse fato foi atribuído pelos autores em razão dos baixos conteúdos de matéria seca e de carbono orgânico contidos nos dejetos líquidos de suínos. Segundo SMANHOTTO *et al.* (2010) os compostos orgânicos contidos nos dejetos líquidos de suínos são mineralizados facilmente, oxidando em alguns dias ou semanas, o que é facilitado pela maior atividade microbiana advinda do esterco utilizado.

4 Considerações finais

Em relação ao comportamento de pH dos lixiviados para os dois experimentos, observou-se que este parâmetro apresentou valores maiores, no experimento em que foi utilizado EP diluído em DLS, quando comparado ao experimento em que foi adicionado somente o EP. Este fato pode ser atribuído ao elevado valor do pH do dejetto suíno aplicado ao solo.

Os resultados de lixiviação de cobre e zinco obtidos para os dois experimentos mostram que o ácido pirolenhoso induz o movimento descendente dos nutrientes Cu e Zn através do solo. Desse modo, a aplicação de altas concentrações de EP e posterior irrigação ou chuvas constantes podem acarretar perda de nutrientes do solo para camadas mais profundas e até águas subterrâneas.

No entanto, verificou-se que, com a utilização do licor pirolenhoso diluído em dejetto líquido de suínos, além de inibir os coliformes totais, também levou à uma expressiva diminuição da lixiviação dos metais em estudo, quando comparada à verificada na adição de EP apenas diluído em água.

As análises de matéria orgânica do solo ao final do experimento indicam que o licor pirolenhoso diluído em dejetto líquido de suínos não interfere na concentração de matéria orgânica do solo.

Assim neste estudo verificou-se que a incorporação do extrato pirolenhoso, e do extrato pirolenhoso com DLS no solo, tem efeito na mobilidade dos metais Cu e Zn.

Referências

ASSMANN, A. P. *et al.* Efeito de doses crescentes de esterco líquido de suínos na intensidade de antracnose e produtividade de soja. **Synergismus Scientifica UTFPR**, v. 1, n. 1-4, p. 1-778, 2006.

BARILLI, J. **Atributos de um Latossolo Vermelho sob aplicação de resíduos de suínos**. 2005. 77 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade

Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2005.

BATISTA, C. P. **Obtenção do ácido pirolenhoso proveniente da combustão da madeira de eucalipto, sua aplicação como bioestimulante e influência no solo de cultivo do feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*)**. 2013. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Tecnologia Pentágono, Santo André, 2013.

BERTOL, O. B. **Contaminação da água de escoamento superficial e da água percolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta**. 2005. 209 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BERTON, R. S. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, A. C. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 259-268.

CAPUTO, R. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988. 244 p.

DAL BOSCO, T. C. **Poluição difusa decorrente da aplicação de água residuária da suinocultura em solo cultivado com soja sob condições de chuva simulada**. 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Curso de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley & Sons, 1979. 449 p.

MATOS, A. T. **Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa**. 1995. 183 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.

- Mobilidade de metais pesados em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Ciência Agrícola**, v. 58, n. 4, p. 807-812, out./dez. 2001.
- PEREIRA, D. C. *et al.* Adubação orgânica e algumas aplicações agrícolas. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 3, n. 2, p. 159-174, 2013.
- QAFOKU, N. P.; SUMNER, M. E.; RADCLIFFEET, D. E. Anion transport in columns of variable charge sub soils: nitrate and chloride. **Journal Environmental Quality**, v. 29, n. 2, p. 484-493, 2000.
- SANTOS, R. C. **Cobre, zinco, manganês e sódio em rações, dejetos líquidos de suínos e solos de áreas de uso agrícola**. 2014. 146 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1375-1383, 2010.
- SHACKELFORD, C. D. Cumulative mass approach for column testing. **Journal of Geotechnical Engineering**, v. 121, n. 10, p. 696-703, 1995.
- SMANHOTTO, A. *et al.* Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residuária de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 2, p. 346-357, mar./abr. 2010.
- SOUZA, J. B. G.; RÉ-POPPIL, N.; RAPOSO JR., J. L. Characterization of Pyroligneous Acid used in Agriculture by Gas Chromatography-Mass Spectrometry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, n. 4, p. 610-617, 2012.
- TEDESCO, M. J. *et al.* **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).
- TOGORO, A. H. **Uso do extrato pirolenhoso: efeito no solo e nas plantas de tomate**. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, São Paulo, 2012.
- TOGORO, A. H.; SILVA, J. A. S.; CAZETTA, J. O. Alterações químicas em um latossolo tratado com extrato pirolenhoso. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 113-121, mar./abr. 2014.
- VITORINO, L. B.; SILVA, A. A.; LANA, R. M. Q. Influência da adubação com dejetos orgânicos e adubo mineral sobre o teor de metais pesados no solo e na cana de açúcar. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 72-82, mar. 2012. Supplement 1.
- WELCH, J. E.; LUND, L. J. Zinc movement in sewage-sludgetreated soil as influenced by soil properties, irrigation water quality, and soil moisture level. **W**, v. 147, p. 208- 214, 1989.