

# Poder poluente de águas residuárias de suinocultura após utilização de um tratamento integrado

## Polluent power of pig breeding residual water after utilization of the integrated treatment

Ludmilla Santana SOARES E BARROS<sup>1</sup>;

Luiz Augusto do AMARAL<sup>1</sup>;  
Jorge de LUCAS JÚNIOR<sup>2</sup>

1- Departamento Medicina Veterinária Preventiva e Reprodução Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Jaboticabal - SP

2- Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Jaboticabal - SP

### Resumo

Em experimento de campo, avaliou-se o potencial de impacto ambiental de águas residuárias de suinocultura, acondicionadas em um tanque de estocagem, com distintos tempos de retenção hidráulica e aplicadas, posteriormente, em lisímetros preenchidos com solos arenosos, argilosos e de texturas médias. Para tal, foram determinados os valores de pH nos solos e as quantificações das concentrações de zinco e cobre na água residuária “in natura” e, após os quatro tempos de retenção hidráulica do tanque de estocagem, nos percolados dos lisímetros e nos solos. Os resultados mostram que a estocagem não foi eficiente na redução, aos níveis exigidos pela legislação, das concentrações de zinco e cobre nos efluentes do tanque de estocagem. A aplicação no solo gerou reduções eficientes nas concentrações de zinco e cobre. Por fim, enfocando a contribuição fertilizante destas águas residuárias, o solo argiloso foi o mais beneficiado com este sistema integrado de tratamento, contribuindo para a redução das concentrações de zinco e cobre para valores abaixo dos permitidos pelas legislações, o que protegeria o lençol freático da contaminação por esses dois metais pesados.

### Palavras-chave:

Metais pesados.  
Percolados.  
Lisímetros.  
Suinocultura.  
Água.

Correspondência para:  
LUDMILLA SANTANA SOARES E BARROS  
Departamento Medicina Veterinária Preventiva e Reprodução Animal  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias  
Universidade Estadual Paulista  
Campus de Jaboticabal  
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, km 5  
14884-900 - Jaboticabal - SP  
ldy@asbyte.com.br

Recebido para publicação: 21/05/2003  
Aprovado para publicação: 19/02/2004

### Introdução

Na década de 70 o sistema de integração agricultura - suinocultura estava em crescimento, contribuindo para o desenvolvimento sócio - econômico rural. Porém, apesar de contribuir fortemente para o desenvolvimento da nação, hoje a legislação ambiental vigente considera a suinocultura intensiva uma fonte de produção altamente poluidora.

Em nosso país, o sistema de armazenamento dos resíduos de suinocultura em tanques para posterior aplicação no solo é o método de tratamento mais comum. Um tanque de estocagem

permite uma maior flexibilidade de manuseio<sup>1</sup>, com um tempo mínimo de retenção hidráulica de 120 dias.<sup>2</sup>

Um dos principais problemas induzidos pela aplicação do estrume de suínos no solo é a presença de micronutrientes com características de metais pesados. O zinco e o cobre, quando adicionados à alimentação dos suínos com o objetivo de prevenir doenças e melhorar a digestão, são eliminados pelas fezes e, se colocados no solo, são absorvidos em pequenas quantidades pelas plantas enquanto quantidades significativas podem ficar retidas no solo.<sup>3</sup>

Nos processos de infiltração e

percolação, tais elementos são retidos pela maioria dos solos, principalmente quando ricos em matéria orgânica e com  $\text{pH} > 7$ . Quando o  $\text{pH}$  é muito reduzido, o solo não tem capacidade de retê-los e, por lixiviação, esses acabam sendo encaminhados aos corpos d'água.<sup>4</sup> Em adição, a eficiência na retenção dos metais pesados é resultado da capacidade de adsorção da camada orgânica na superfície do solo.<sup>5</sup>

Por serem essenciais à fisiologia humana, a Portaria nº 1.469 29/12/2000 do Ministério da Saúde<sup>6</sup> determinou os valores máximos permitidos de zinco e cobre para a potabilidade da água, de  $5,0 \text{ mgL}^{-1}$  e  $2 \text{ mgL}^{-1}$ , respectivamente, porém concentrações um pouco acima do considerado inócuo provocam hemoglobinúria e degenerações hepáticas e celulares.<sup>7</sup>

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho foi analisar o potencial de poluição de um sistema integrado de tratamento de águas residuárias de suinocultura, acondicionadas em um tanque de estocagem, com distintos tempos de retenção hidráulica e aplicadas em lisímetros com solos arenosos (Argissolo Vermelho - Amarelo Distrófico A Moderado Textura Arenosa/Média - PVAd), argilosos (Latosolo Vermelho Distroférrico A Moderado Textura Argilosa - LVd) e de texturas médias (Latosolo Vermelho Distrófico A Moderado Textura Argilosa - LVd), utilizando, para tal, a determinação dos valores de  $\text{pH}$  nos solos e as quantificações das concentrações de zinco e cobre na água residuária "in natura" e após os quatro tempos de retenção hidráulica do tanque de estocagem, nos percolados dos lisímetros e nos solos.

## **Materiais e Métodos**

### **Sistema integrado de tratamento de águas residuárias**

O sistema integrado foi constituído por uma caixa de estocagem e por vinte e

quatro lisímetros instalados em área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, da Universidade Estadual Paulista – FCAV/UNESP.

Cada lisímetro foi caracterizado por possuir 1 m de altura, 30 cm de diâmetro e três anéis dispostos e fixos em seu interior, conforme descrições metodológicas de Corwin e LeMert<sup>8</sup> e Corwin.<sup>9</sup> A proposta da utilização destes anéis teve como objetivo promover um redirecionamento do fluxo de água na sua passagem pela coluna de solo, reduzindo assim o fluxo preferencial nas paredes dos lisímetros.

O solo do tipo arenoso foi coletado nas proximidades do município de Monte Alto/SP, o do tipo argiloso nas dependências do Campus da FCAV/UNESP e o solo de textura média na área do Aeroporto Municipal de Jaboticabal /SP.

Para a coleta, delimitou-se um quadrado imaginário, dividido em quatro partes, sendo a retirada efetuada a partir das quatro divisões e até 30 cm de profundidade. Após a homogeneização do solo coletado, foi realizado o transporte para a área do experimento.

Durante a parte experimental foram efetuadas cinco incorporações de resíduos nos solos situados no interior dos lisímetros. Havia, no total, dois conjuntos de lisímetros, com 12 em cada, sendo que cada lisímetro, antes de ser preenchido pelo solo, recebia uma camada de cascalho (2 cm), seguida por duas camadas de areia grossa (6 cm) e por fim uma camada de areia fina (2 cm).

Para a primeira incorporação, foi utilizado o primeiro conjunto, sendo seis lisímetros destinados à simulação pluviométrica e seis à estiagem. Em cada situação climática, eram preenchidos dois lisímetros com os solos arenosos, dois com os solos argilosos e dois com os solos de texturas médias.

Para a segunda incorporação, o segundo conjunto foi preenchido com os três tipos de solos, de maneira semelhante à

efetuada com o primeiro conjunto. Para a terceira incorporação, foi utilizado o conjunto da primeira incorporação, uma vez que já haviam transcorridos os trinta dias de simulação pluviométrica e a coleta dos solos.

Continuando nesta linha de raciocínio, para a quarta incorporação foi utilizado o segundo conjunto e para a quinta incorporação o primeiro conjunto.

Após o preenchimento dos lisímetros e antes dos processos de incorporação das águas residuárias “in natura” e sob os quatro tempos de retenção hidráulica, amostras dos três tipos de solo foram enviadas ao Departamento de Solos e Adubos da FCAV/UNESP para análise de macronutrientes e micronutrientes, conforme metodologia descrita por Rajj e Zullo<sup>10</sup> e Rajj et al.<sup>11</sup>

#### **Tanque de estocagem**

Os cálculos, para o abastecimento da carga poluidora no tanque de estocagem, tiveram como parâmetro um sistema de criação completa com 44 matrizes, caracterizado pela produção de dejetos líquidos com um teor de sólidos totais (ST) de 2%.<sup>12</sup> O substrato com estas características foi preparado conforme expressões citadas em American Public Health Association<sup>13</sup> e em Lucas Jr.<sup>14</sup>

Após 0, 30, 60, 90 e 120 dias de retenção hidráulica do resíduo líquido, procedeu-se à incorporação deste nos solos existentes nos lisímetros.

Tendo como base o teor de nitrogênio existente nas águas residuárias, a dose de nitrogênio indicada para culturas forrageiras ( $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e a área da superfície de solo do lisímetro ( $0,068 \text{ m}^2$ ), a incorporação foi realizada, seguida da simulação pluviométrica.

#### **Simulação pluviométrica**

Para a simulação pluviométrica foi realizado um levantamento, na região de Jaboticabal - SP, dos meses críticos de chuva e de estiagem, dos três últimos anos, obtendo-

se, como resultado, o mês de janeiro e agosto de 1999, com 415,9 mm e 0 mm, respectivamente.

Sendo assim, a partir dos dados diários da precipitação mensal do citado período foi calculado o Dt (tempo específico de duração diária da precipitação) e o DP (quantidade, em mm, da precipitação).

Vale ressaltar que os dados meteorológicos utilizados neste trabalho foram extraídos de um conjunto de dados pertencentes ao acervo da área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP. As observações feitas na Estação Agrometeorológica do Campus de Jaboticabal são cotadas e digitadas em formato padronizado. Após a verificação da consistência dos dados, é efetuado o controle de qualidade e obtidas as médias diárias, mensais e anuais, as quais ficam a disposição dos usuários.

#### **Colheita das amostras**

Durante a simulação pluviométrica, os percolados dos lisímetros foram coletados em frascos cor âmbar para então serem analisados quanto às suas características químicas.

Com a finalização da simulação pluviométrica, cuja duração foi de um mês, e da percolação, as amostras dos solos foram coletadas nos lisímetros submetidos aos períodos de chuva e de estiagem, em quatro profundidades: 0-5 cm, 5-30 cm, 30-60 cm e 60-90 cm e secas a 40° C durante 48 horas, estando assim preparadas para a avaliação de suas características químicas.

#### **Análises laboratoriais**

O pH das amostras sólidas foi determinado potenciométricamente.

A determinação das concentrações de zinco e cobre, nas amostras líquidas, foi efetuada a partir de um extrato obtido pelo processo de digestão, com o auxílio de um Digestor Dijesdahl.<sup>15</sup> A seguir as

concentrações foram determinadas e lidas em um espectrofotômetro de absorção atômica GBC 932 AA, modalidade chama.

Nas amostras sólidas as determinações de zinco e cobre foram realizadas conforme metodologia descrita por Rajj et al.<sup>21</sup>.

## Resultados e Discussão

### Concentrações de zinco e cobre nos efluentes do tanque de estocagem

As concentrações de cobre (Figura 1), quando comparadas com as de zinco, foram maiores nas águas residuárias “in natura” (T0) e sob os quatro tempos de retenção hidráulica (TRH) (Figura 1). As maiores concentrações de cobre foram detectadas nas águas residuárias com sessenta dias de TRH (T60), alcançando valores de 30,2 mgL<sup>-1</sup>, e as menores nas águas residuárias com noventa dias de TRH (T90), com valores de 17,85 mgL<sup>-1</sup>.

Nas concentrações de zinco (Figura 1) foi observado uma similaridade nas águas residuárias “in natura” e sob os quatro tempos de TRH, com os maiores valores (11,2 mgL<sup>-1</sup>) nos resíduos com sessenta dias de TRH (T60) e os menores (7,83 mgL<sup>-1</sup>) nos resíduos com noventa dias de TRH (T90).

Os níveis de zinco e cobre encontrados neste estudo, corroboram com os de Nicholson et al.<sup>16</sup> Para estes, as concentrações destes elementos são dependentes da idade dos animais, das quantidades adicionadas em suas dietas e da eficiência da conversão alimentar.

Enfatiza-se que as concentrações de zinco e cobre nas águas residuárias do tanque de estocagem não atingiram os limites máximos permitidos para a irrigação de culturas de hortaliças, segundo Conselho Nacional do Meio Ambiente<sup>17</sup>, sendo estes padrões estabelecidos em 0,18 mgL<sup>-1</sup> e 0,02 mgL<sup>-1</sup>, respectivamente.

### Concentrações médias de zinco e cobre nos

### percolados dos três tipos de solos

De forma geral, as maiores concentrações de zinco e cobre (Figuras 2 e 3) foram observadas nos percolados dos solos de texturas médias, e as menores nos dos solos argilosos. Oscilações com o tempo de retenção hidráulica foram verificadas nas concentrações de zinco e cobre para os percolados dos solos (Figuras 2 e 3).

Nos três tipos de percolados as maiores concentrações de zinco foram observadas após a incorporação das águas residuárias com sessenta dias de TRH (T60) e as de cobre após as incorporações das águas residuárias com trinta dias de TRH (T30) (Figuras 2 e 3).

As maiores concentrações de zinco e cobre (Figuras 2 e 3), nos percolados dos solos de texturas médias, provavelmente estão relacionadas com baixos valores de pH dos citados solos (Tabelas 2 e 3), que propiciaram condições desfavoráveis à retenção de metais pesados, pois este processo é eficiente em solos com pH acima de 7,0<sup>4</sup>, como os solos argilosos deste trabalho.

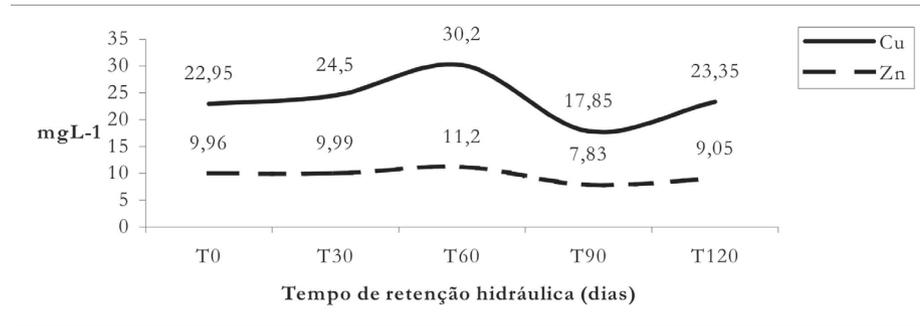
Comparando-se as concentrações destes metais pesados, nos percolados dos três tipos de solo (Figuras 2 e 3), com as existentes nas águas residuárias de retenção hidráulica do tanque de estocagem (Figura 1), verificaram-se grandes reduções nos seus valores absolutos. Logo, nos percolados oriundos dos três tipos de solos, as concentrações alcançaram os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano, preconizados pelo Ministério da Saúde.<sup>6</sup>

### pH nos três tipos de solos após as incorporações

Analisando as tabelas 2 e 3 é possível observar, nas duas situações climáticas, que os solos argilosos apresentaram os maiores valores de pH, seguidos dos solos arenosos e de texturas médias.

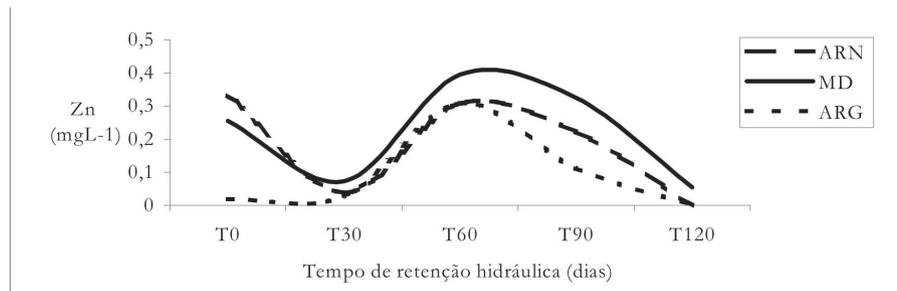
A característica física e a presença dos diferentes sais nos solos conferem aos mesmos os valores do pH e em solos normais

Lucimilla Santana Soares e Barros



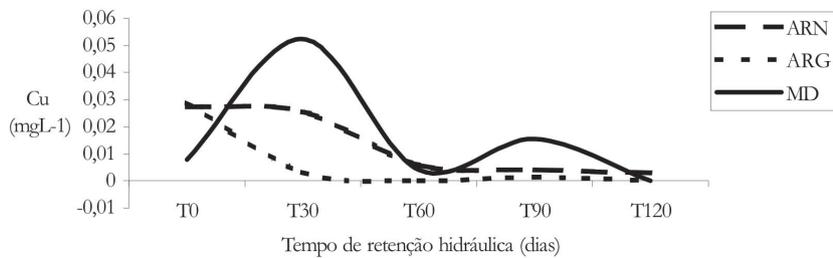
**Figura 1**

Concentrações de zinco (Zn) e cobre (Cu) na água residuária “in natura” (T0) e após a estocagem por trinta (T30), sessenta (T60), noventa (T90) e cento e vinte dias (T120) de retenção hidráulica



**Figura 2**

Concentrações médias de zinco (Zn) nos percolados provenientes dos lisímetros, preenchidos com solos arenosos (ARN), argilosos (ARG) e de texturas médias (MD), após a incorporação da água residuária “in natura” (T0) e da água residuária com trinta (T30), sessenta (T60), noventa (T90) e cento e vinte (T120) dias de retenção hidráulica



**Figura 3**

Concentrações médias de cobre (Cu) nos percolados provenientes dos lisímetros, preenchidos com solos arenosos (ARN), argilosos (ARG) e de texturas médias (MD), após a incorporação da água residuária “in natura” (T0) e da água residuária com trinta (T30), sessenta (T60), noventa (T90) e cento e vinte (T120) dias de retenção hidráulica

estão entre 4,0 e 7,0<sup>18</sup>, valores estes encontrados nos solos sem a incorporação das águas residuárias de suinocultura (Tabela 1).

A incorporação da matéria orgânica no solo favorece a formação de húmus, cuja

**Tabela 1**

Valores físico-químicos dos três tipos de solos, no momento prévio ao preenchimento dos lisímetros, destinados à incorporação do efluente do tanque de estocagem aos zero (T0), trinta (T30), sessenta (T60), noventa (T90) e cento e vinte (T120) dias de retenção hidráulica. Jaboticabal, 2003

	1 (T0)	2 (T0)	3 (T0)	1 (T30)	2 (T30)	3 (T30)	1 (T60)	2 (T60)	3 (T60)	1 (T90)	2 (T90)	3 (T90)	1 (T120)	2 (T120)	3 (T120)
pH em CaCl <sub>2</sub>	4,3	5,8	5,2	4,6	6,0	6,5	4,5	6,2	6,4	4,5	6,0	6,4	4,7	6,2	6,7
CTC(mmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup> )	35,6	55,6	64,7	42,3	82,2	140,1	43,2	79,2	133,9	35,1	78,7	195,6	33,6	79,5	91,4
Zn(mgdm <sup>-3</sup> )	0,1	0,3	1,0	0,1	0,3	1,0	0,1	0,3	1,1	0,2	0,3	1,2	0,3	0,2	0,6
Cu (mgdm <sup>-3</sup> )	0,2	0,3	2,6	1,8	1,8	1,7	0,2	0,2	1,2	0,2	0,2	1,5	0,1	0,2	1,4

1 = solo de textura média (MD)      2 = solo arenoso (ARN)      3 = solo argiloso (ARG)

**Tabela 2**

Valores de texturas médias de pH nos solos arenosos (ARN), argilosos (ARG) e de texturas médias (MD), na época das chuvas, em quatro profundidades (P), mensuradas em cm, e após a incorporação da água residuária "in natura" (T0) e com trinta (T30), sessenta (T60), noventa (T90) e cento e vinte (T120) dias de retenção hidráulica. Jaboticabal, 2003

SOLOS	P (cm)	T0	T30	T60	T90	T120
		pH	pH	pH	pH	pH
ARN	0-5	5,8	6,3	6,7	6,3	6,3
ARN	5-30	5,9	6,1	6,6	6,2	6,3
ARN	30-60	6	6,4	6,8	6,4	6,4
ARN	60-90	6	6,4	6,7	6,3	6,4
ARG	0-5	5,6	7,2	7,5	7,3	7,1
ARG	5-30	5,4	7,2	7,5	7,3	7,1
ARG	30-60	5,5	7,2	7,5	7,3	7,2
ARG	60-90	5,5	7,2	7,5	7,2	7,2
MD	0-5	5,2	4,8	4,7	4,7	4,6
MD	5-30	4,4	4,7	4,7	4,6	4,6
MD	30-60	4,5	4,6	4,6	4,6	4,6
MD	60-90	4,4	4,6	4,6	4,6	4,6

**Tabela 3**

Valores de texturas médias de pH nos solos arenosos (ARN), argilosos (ARG) e de texturas médias (MD), na época da estiagem, em quatro profundidades (P), mensuradas em cm, e após a incorporação da água residuária "in natura" (T0) e com trinta (T30), sessenta (T60), noventa (T90) e cento e vinte (T120) dias de retenção hidráulica. Jaboticabal, 2003

SOLOS	P (cm)	T0	T30	T60	T90	T120
		pH	pH	pH	pH	pH
ARN	0-5	6,2	6,5	6,5	6,2	6,2
ARN	5-30	5,8	6,2	6,2	6,0	6,0
ARN	30-60	5,9	6,3	6,4	6,3	6,1
ARN	60-90	5,8	6,2	6,3	6,1	6,1
ARG	0-5	5,9	7,3	7,3	7,3	7,1
ARG	5-30	5,6	7,2	7,3	7,2	7,0
ARG	30-60	5,6	7,3	7,2	7,4	7,2
ARG	60-90	5,5	7,2	7,2	7,2	7,1
MD	0-5	5,8	4,9	5,0	5,0	4,7
MD	5-30	4,6	4,7	4,7	4,6	4,6
MD	30-60	4,6	4,6	4,7	4,6	4,6
MD	60-90	4,5	4,7	4,7	4,6	4,7

elevada CTC confere ao solo uma alta capacidade de tamponamento (resistência à alteração de pH).<sup>19</sup> Esta capacidade de tamponamento talvez justifique a pouca variação nos valores de pH dos solos (Tabelas 2 e 3) submetidos às incorporações das águas residuárias, quando comparados com os

valores de pH (Tabela 1) nos solos sem a matéria orgânica incorporada.

**Concentrações médias de zinco e cobre nos três tipos de solos após as incorporações**

A afirmação transcrita por Nucci et

**Tabela 4**

Concentrações médias de Zinco (Zn) e de Cobre (Cu), expressas em mg.dm<sup>-3</sup>, nos solos arenosos (ARN), argilosos (ARG) e de texturas médias (MD), na época das chuvas, em quatro profundidades (P), mensuradas em cm, e após a incorporação da água residuária "in natura" (T0) e com trinta (T30), sessenta (T60), noventa (T90) e cento e vinte (T120) dias de retenção hidráulica. Jaboticabal, 2003

SOLOS	P (cm)	Zn T0	Cu T0	Zn T30	Cu T30	Zn T60	Cu T60	Zn T90	Cu T90	Zn T120	Cu T120
ARN	0-5	3,6	3	0,9	0,8	0,4	0,5	0,9	1,5	0,6	1,0
ARN	5-30	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5
ARN	30-60	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,2	0,4
ARN	60-90	0,5	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,3	0,5
ARG	0-5	2,7	2,3	1,3	2,4	0,7	1,3	1,3	2,8	1,2	2,3
ARG	5-30	1,2	1,2	1	2,2	0,6	1,3	0,9	2,2	0,9	1,9
ARG	30-60	1	1,1	0,9	1,9	0,6	1,3	0,9	2,2	0,8	1,8
ARG	60-90	1,1	1,2	0,9	2	0,6	1,4	0,9	2,2	0,8	1,7
MD	0-5	0,8	0,5	0,2	0,4	0,1	0,2	0,3	0,7	0,1	0,4
MD	5-30	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3
MD	30-60	0,1	0,1	0,1	0,3	0	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2
MD	60-90	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1 <sup>a</sup>	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3

**Tabela 5**

Valores das concentrações médias de Zinco (Zn) e de Cobre (Cu), expressas em mg.dm<sup>-3</sup>, nos solos arenosos (ARN), argilosos (ARG) e de texturas médias (MD), na época da estiagem, em quatro profundidades (P), mensuradas em cm, e após a incorporação da água residuária "in natura" (T0) e com trinta (T30), sessenta (T60), noventa (T90) e cento e vinte (T120) dias de retenção hidráulica. Jaboticabal, 2003

SOLOS	P (cm)	Zn T0	Cu T0	Zn T30	Cu T30	Zn T60	Cu T60	Zn T90	Cu T90	Zn T120	Cu T120
ARN	0-5	0,8	0,6	1,2	1,6	0,4	0,6	0,8	1,2	0,8	1,3
ARN	5-30	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,5
ARN	30-60	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,5
ARN	60-90	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,5
ARG	0-5	2	2	2,1	2,3	0,9	1,9	1,5	3,0	1,6	3,6
ARG	5-30	1,1	1,2	1,0	1,1	0,6	1,1	0,9	1,9	1,1	2,7
ARG	30-60	1	1,1	0,9	1,1	0,7	1,4	1,0	2,0	1,3	3,3
ARG	60-90	1,1	1,3	1,0	1,1	0,7	1,3	1,0	2,1	1,2	3,1
MD	0-5	1,4	1,2	0,4	0,5	0,3	0,5	0,9	1,2	0,4	0,8
MD	5-30	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3
MD	30-60	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3
MD	60-90	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3 <sup>a</sup>

al.<sup>4</sup>, em relação à eficiência de remoção dos metais pesados pela maioria dos solos, principalmente quando ricos em matéria orgânica e com pH acima de 7,0, pôde ser verificada sobretudo nos solos argilosos, os quais foram os detentores dos maiores

valores de zinco, cobre (Tabelas 4 e 5) e pH (Tabelas 2 e 3).

Em concordância com as concentrações de zinco e cobre encontradas neste estudo, Campos et al.<sup>5</sup> relataram, após aplicações de águas residuárias em solos

argilosos, concentrações finais de zinco e cobre nos valores de 0,339 e 0,120 mgL<sup>-1</sup>, respectivamente.

As concentrações mínimas de Zn e Cu, encontradas nos solos arenosos e de texturas médias (Tabelas 4 e 5), após as incorporações das águas residuárias e principalmente a partir da segunda camada (5-30 cm), podem estar relacionadas com os valores de pH abaixo de 7,0 (Tabelas 2 e 3) pois é sabido que em solos ácidos a lixiviação dos metais para o subsolo é presente.<sup>5</sup>

O maior acúmulo de zinco e cobre perto do ponto de aplicação, sobretudo nos solos argilosos (Tabelas 4 e 5), pode ser explicado pelas verificações de Campos et al.<sup>5</sup> Estes pesquisadores relatam que a remoção dos metais pesados é o resultado da capacidade de adsorção da camada orgânica na superfície do solo, direcionando o maior acúmulo perto do ponto de aplicação. Em consonância, o cobre, em conjunto com a matéria orgânica no esterco, pode não reagir<sup>20</sup>, ou ainda, contribuir para a formação de fortes complexos com os componentes orgânicos nos solos, mormente as substâncias húmicas.<sup>21</sup>

As maiores concentrações de Zn, entre 0 e 5 cm, e as menores, nas camadas mais profundas (Tabelas 4 e 5), também foram notificadas em experimentos conduzidos por Del Casthilo et al.<sup>22</sup> Estes pesquisadores concluíram que parte do Zn foi absorvido na forma de óxidos, principalmente hidróxidos de ferro e manganês, sendo então liberados nas camadas mais profundas, onde estes óxidos apresentam oportunidades de serem reduzidos.

Depreende-se que a integração do pré-tratamento do resíduo no tanque de estocagem, com a disposição em solos, é uma forma de tratamento de dejetos viável e eficiente, auxiliando a prática do

desenvolvimento sustentável. Todavia, as pesquisas científicas devem ser realizadas no sentido de se encontrar outros promotores de crescimento, em substituição ao Zn e Cu, pois a suinocultura é uma importante fonte desses metais pesados para o ambiente e a fase de pré-tratamento das águas residuárias deste sistema integrado não foi capaz de reduzir as concentrações a níveis satisfatórios à saúde pública e ao ambiente. Em adição, estudos devem ser realizados, conforme a condição geológica de cada região, a fim de se obter efluentes finais não contaminantes e não prejudiciais à saúde humana e animal.

## Conclusões

1. O pré-tratamento, no tanque de estocagem, não foi eficiente na redução de zinco e cobre, tornando estas águas impróprias à irrigação de culturas.

2. Os percolados dos solos de texturas médias, por apresentarem as maiores concentrações de zinco e cobre, denotaram maior potencialidade de poluição do lençol freático. O inverso foi observado para os percolados dos solos argilosos.

3. Os elevados decréscimos nas concentrações de zinco e cobre foram observadas nos solos argilosos, quando comparados com os solos arenosos e de texturas médias.

4. Os solos argilosos apresentaram maior eficiência no tratamento integrado, diminuindo o potencial poluente das águas residuárias de suinocultura aos mananciais.

## Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo financiamento do projeto que deu origem a este trabalho.

## Abstract

In a field trial it was evaluated the potential of environmental impact of pig breeding residuary waters, placed in storage tanks, with distinct time of hydraulic retention and applied, subsequently,

### Key-words:

Heavy metals.  
Percolates.  
Lysimeters.  
Pig breeding.  
Water.

in lysimeters fulfilled with sandy, clayish, and medium soils. To do so, concentrations of zinc and copper in residual waters and after storage for four times of hydraulic retention were established, in the lysimeters percolate and in four levels of depth in the soils, and pH determinations in the soils. Storage was not effective in reduction, to the levels required by legislation, of zinc and copper concentrations in tank and storage effluents. Application in the soil caused efficient decreases in zinc and copper concentrations. At last, focusing the fertilizer contribution of those residuary waters, the clayish soil was the most improved with that integrated system of treatment, helping the reduction of zinc and copper concentrations to values below the ones permitted by legislation, what would protect the ground water from contamination by these two heavy metals.

## Referências

- LOHER, R. C. Alternatives for the treatment and disposal of animal wastes. **Journal Water Pollution Control Federation**, v. 43, n. 4, p. 668-678, 1971.
- MIRANDA, C. R. **Suinocultura sustentável: a suinocultura no oeste catarinense e o desenvolvimento sustentável**. Concórdia: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Cnpa, 1999. 4 f. (Circular técnica).
- PERDOMO, C. C.; LIMA, G. J. M. M. Considerações sobre a questão dos dejetos e o meio ambiente. In: SOBESTIANSKY, J.; WENTZ, I.; SILVEIRA, P. R. S.; SESTI, L. A. C. **Suinocultura Intensiva: Produção, manejo e saúde do rebanho**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - SPI; 1998. p. 221-235.
- NUCCI, N. L. R.; ARAÚJO, J. L. B.; COSTA E SILVA, R. J. **Tratamento de esgotos municipais por disposição no solo e sua aplicabilidade no estado de São Paulo**. São Paulo: Fundação Prefeito Faria Lima – Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Municipal, 1978. 70 p.
- CAMPOS, J. R. et al. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1999. 464 p.
- BRASIL. Leis e Decretos. Portaria no 1.469 de 29 de dezembro de 2000. **Norma de qualidade da água para consumo humano**. 2001. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/1469\\_00.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/1469_00.htm)>. Acesso em: 19 jul. 2001.
- HERKOVITS, J.; HELGUERO, L. A. Copper toxicity and copper - zinc interactions in amphibian embryos. **The Science of the Total Environment**, v. 221, p. 1-10, 1998.
- CORWIN, D. L.; LEMERT, R. D. Construction and evaluation of an inexpensive weighing lysimeter for studying contaminant transport. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 15, p. 107-123, 1994.
- CORWIN, D. L. Evaluation of a simple lysimeter-desing modification to minimize sidewall flow. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 42, p. 35-49, 2000.
- RAIJ, B. van; ZULLO, M. A. T. **Métodos de análise do solo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1977. 16 p. (IAC. Circular, 63).
- RAIJ, B. Van. et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 170 p.
- ARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. **Manejo de dejetos de suínos**. Concórdia: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária–Cnpa e Emater-RS, 1998. 41 p. (Circular técnica, v. 7, n. 11).
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 17. ed. Washington, 1992. 1219 p.
- LUCAS JR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**, 1994. 137 f. (Tese de Livre-Docência). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.
- HACH COMPANY. DR/2000. Spectrophotometer Handbook, Loveland, 1991. 561 p.
- NICHOLSON, F. A. et al. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. **Bioresource Technology**, v. 70, p. 23-31, 1999.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. **Padrões de qualidade para os parâmetros monitorados na rede de monitoramento, segundo Resolução Conama 20/86**. 1986. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/qualidadederios/anexo2>>. Acesso em: 19 jul. 2001.
- FEITOSA, B. et al. Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo. In: CAMPOS, J. R.; AISSE, M. M.; CHERNICHARO, C. A. L.; van HAANDEL, A.; MONTEGGIA, L. O.; MELO, H. N. S.; CORAUCCI FILHO, B.; KATO, M. T. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1999. p. 321-356.
- BASTOS, R. K. X. **Utilização agrícola de esgotos sanitários**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1999. 84 p.
- PAYNE, G. G. et al. Availability and forms of copper

- in three soils following eight annual applications of copper-enriched swine manure. **Journal of Environmental Quality**, v. 17, p. 740-746, 1988.
21. HESTERBERG, D.; BRIL, J.; DEL CASTILHO, P. Thermodynamic modeling of zinc, cadmium, and copper solubilities in a manured, acidic loamy-sand topsoil. **Journal of Environmental Quality**, v. 22, p. 681-688, 1993.
22. DEL CASTILHO, P. et al. Dissolved organic matter, cadmium, copper and zinc in pig slurry – and soil solution – size exclusion chromatography fractions. **International Journal of Analytical Chemistry**, v. 50, p. 91-107, 1993.