

ESTUDO DA ASSOCIAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA E ADUBAÇÃO MINERAL NA CULTURA DO MILHO E NO SOLO

Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n4p744-755/2015>

MARITANE PRIOR¹, SILVIO C. SAMPAIO², LÚCIA H. P. NÓBREGA³,
JONATHAN DIETER⁴, MÔNICA S. S. DE M. COSTA⁵

RESUMO: O uso de água residuária em solo agrícola pode-se caracterizar como uma fonte alternativa de adubação, além de melhorar as condições edáficas do solo devido à matéria orgânica adicionada. Neste contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos na cultura do milho e em Latossolo Vermelho distroférrico típico, devido à aplicação de água residuária de suinocultura associada com adubação química. No experimento, utilizou-se de cinco doses de ARS (0; 112,5; 225; 337,5 e 450 m³ ha⁻¹) durante o ciclo do milho, combinadas com duas adubações químicas (50 e 75% da dose recomendada), para compor os respectivos tratamentos, com três repetições. Os parâmetros da cultura do milho avaliados foram: produtividade (PROD), altura de plantas (AP), teor de macronutrientes (N, P, K e Mg) e de micronutrientes (Fe, Zn, Cu e B). Os parâmetros de solo avaliados foram: conteúdo de matéria orgânica (MO), soma e saturação por bases (SB e V), pH e teores disponíveis de N, P, K, Cu, Zn, Fe e Mn. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que: na cultura do milho, a aplicação de água residuária da suinocultura é fator predominante no aumento da produtividade e na nutrição mineral em K, Mg, Fe, Cu e B, e insuficiente para N e P; no solo, de modo geral, a água residuária da suinocultura propiciou aumentos positivos nos parâmetros de P, Zn, Cu, pH e SB, negativos nos teores de K e Fe, e nenhum efeito nos parâmetros N, V, MO e Mn; os parâmetros P, Cu e Zn aumentaram significativamente os teores no solo ao longo do experimento, indicando a importância do fator tempo nesse tipo de estudo.

PALAVRAS-CHAVE: reúso de água; resíduo animal, valorização agrônômica.

ESTUDY OF ASSOCIATION BETWEEN SWINE WASTEWATER AND CHEMICAL FERTILIZER IN CORN AND SOIL

ABSTRACT: The use of wastewater in agricultural soil can be characterized as an alternative source of fertilizer, and improve soil conditions due to soil organic matter added. In this context, this study aimed to evaluate the effects on corn and in a Hapludox soil due to application of swine wastewater associated with chemical fertilizers. In the experiment, it was used five doses of swine wastewater (0, 112.5, 225, 337.5 and 450 m³ ha⁻¹) during the corn cycle, combined with two chemical fertilizer (50 and 75% of the recommended dose) to compose their treatments with three replicates. The parameters of maize crop were: productivity, plant height, macro nutrients (N, P, K and Mg) and micronutrients (Fe, Zn, Cu and B). The soil parameters were: organic matter, pH, N, P, K, sum of bases, base saturation, Cu, Zn, Fe and Mn. From the results it was concluded that: the culture of corn, the application of swine wastewater is the predominant factor in increasing productivity and mineral nutrition in K, Mg, Fe, Cu and B and insufficient for N and P; in the soil, generally, swine wastewater has positive increases in parameters of P, Zn, Cu, SB and pH, negative levels of K and Fe and no effect on the parameters N, V, MO and Mn; the time factor is extremely important in this type of study, for the parameters P, Cu and Zn that significantly increased their levels in the soil.

KEYWORDS: water reuse; animal waste, agronomic value.

¹ Eng^a Agrícola, Profa. Adjunto, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste, Cascavel – PR, Fone: (45) 3220-3134, maritane.prior@unioeste.br

² Eng^o Agrícola, Prof. Adjunto, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste, Cascavel – PR, silvio.sampaio@unioeste.br

³ Eng^a Agrônoma, Profa. Associada, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste, Cascavel – PR, lucia.nobrega@unioeste.br

⁴ Eng^o Agrícola, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia e Exatas, UFPR/Setor Palotina, Palotina - PR, Jdieter@ufpr.br

⁵ Eng^a Agrícola, Profa. Adjunto, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste, Cascavel – PR, monicasarollisilva@gmail.com

Recebido pelo Conselho Editorial em: 15-10-2010

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 21-2-2015

INTRODUÇÃO

A produção de milho no Sul do Brasil tem-se caracterizado pela divisão da produção em duas épocas de semeadura. As semeaduras de verão, ou primeira safra, realizadas na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre fins de agosto até os meses de outubro e novembro. A produtividade média de milho no País é de 3.853 kg ha⁻¹, sendo o Estado do Paraná responsável por 24 % da produção (BELING 2007). Especificamente para o milho, visando à produtividade de 3,65 t ha⁻¹, a cultura extrai 77 kg ha⁻¹ de N, 9 kg ha⁻¹ de P, 83 kg ha⁻¹ de K, 10 kg ha⁻¹ de Ca e Mg.

A obtenção de altas produtividades é indispensável para tornar essa cultura economicamente viável, sendo a disponibilidade hídrica e a adubação fatores essenciais para o seu máximo desenvolvimento. Técnica de valorização agrônômica e ambiental, e conseqüentemente econômica, que associe tais fatores é a fertirrigação, prática que visa ao aproveitamento agrícola de águas residuárias geradas na criação de animais e em agroindústrias. Assim, quando cuidadosamente planejado, o uso agrícola dessas águas residuárias pode concorrer, não apenas com a eliminação de um passivo ambiental, mas também com seu aproveitamento como fonte nutricional para culturas agrícolas (DOBLINSKI et al., 2010; SAMPAIO et al., 2010a; SAMPAIO et al., 2010b; CAOVIILLA et al., 2010; PELISSARI et al., 2009; ANAMI et al., 2008; DAL BOSCO et al., 2008; ANAMI et al., 2007; SAMPAIO et al., 2007; FRIGO et al., 2006; CAOVIILLA et al., 2005; SUSZEK et al., 2005).

A água residuária da suinocultura apresenta nutrientes em quantidades suficientes para uso na fertirrigação de culturas agrícolas. Aproximadamente 67% do nitrogênio, 33% do fósforo e 100 % do potássio encontram-se na forma mineral, prontamente assimilável por essas culturas (GOMES FILHO et al., 2001). Os nutrientes, que não se encontram na forma mineral, serão disponibilizados com a decomposição da matéria orgânica ao longo do tempo (SMANHOTTO et al., 2010). Esta matéria orgânica eleva a capacidade de troca catiônica e melhora a estruturação do solo, com o aumento de sua porosidade, o que proporciona aumento da taxa de infiltração e do armazenamento de água no solo. Além disso, promove também a diminuição dos riscos de encrostamento superficial e de alteração no pH do solo (BAUMGARNTER et al., 2007).

Entretanto, torna-se importante ressaltar que a água residuária da suinocultura possui, simultaneamente, vários minerais que se encontram em proporções desequilibradas em relação à capacidade de absorção das plantas e do solo, diferentemente dos fertilizantes químicos que são formulados especificamente para cada tipo de cultura e de solo. Em razão disso, o uso prolongado, e/ou excessivo, poderá resultar em desequilíbrios químicos, físicos e biológicos do solo, os quais irão afetar diretamente a exploração agrícola na região.

Desse modo, este trabalho objetivou avaliar os efeitos causados na cultura do milho e na fertilidade do solo, decorrentes da aplicação de água residuária de suinocultura associada a diferentes doses de adubação química.

MATERIAL E MÉTODOS

Na análise química inicial do solo (Tabela 1), observou-se heterogeneidade na fertilidade do solo, dividindo-se a área em três blocos. No bloco três, verificou-se baixa e média fertilidade de P e K, respectivamente, as quais foram corrigidas com a aplicação de adubação mineral (5-20-20) na dose de 600 kg ha⁻¹. A heterogeneidade da fertilidade observada entre blocos, provavelmente, foi devida a uma pequena regularização da superfície do solo para evitar acúmulos de água em pontos específicos nas parcelas experimentais. A baixa saturação de bases (V%) também foi observada (Tabela 1), sendo corrigida com calagem nas proporções de 0,534 t ha⁻¹ no bloco um, 3,345 t ha⁻¹ no bloco dois e 3,40 t ha⁻¹ no bloco três.

TABELA 1. Características químicas dos solos das parcelas antes da aplicação dos tratamentos.
Chemical characteristics of soils of plots before application of treatments.

Blocos	pH	MO	P	H+AL	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S
B1	6,40	16	4	2,74	0,20	5,06	3,56	8,82	11,56	76,30	8,82
B2	5,10	15	4	4,61	0,18	3,0	1,59	4,77	9,38	50,85	4,77
B3	4,90	11	1	4,28	0,06	2,16	1,27	3,49	7,77	44,92	3,49
Média	5,47	14,00	3,00	3,88	0,15	3,41	2,14	5,69	9,57	57,36	5,69
		B		Cu		Fe		Mn		Zn	
B1		0,17		9,23		66,24		56,67		1,18	
B2		0,07		8,76		64,43		35,80		0,85	
B3		0,09		7,86		76,93		25,30		0,43	
Média		0,11		8,62		69,20		39,26		0,82	

Unidades: H+AL,K, Ca, Mg, SB, CTC em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; V em %; MO, P, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn em mg dm^{-3}

Segundo FANCELLI e DOURADO NETTO (2000), são necessários 80 kg ha^{-1} de N para o desenvolvimento da cultura do milho, sendo 30 kg ha^{-1} de N na semeadura e 50 kg ha^{-1} de N na cobertura. A adubação química (AD) seguiu recomendação do autor para definir as doses de adubação de semeadura utilizadas nos tratamentos: portanto, 50 % (15 kg ha^{-1}) e 75% ($22,5 \text{ kg ha}^{-1}$) (Tabela 3). Entretanto, condições edáficas e tipo de agricultura intensiva na região do experimento permitem doses maiores de cobertura que induzem uma boa ciclagem de nutrientes da ARS, sendo $124,96$; $249,93$; $372,11$ e $499,85 \text{ kg ha}^{-1}$ de N (Tabela 3).

TABELA 2. Características físicas, químicas e biológicas da água residuária da suinocultura.
Physical, chemical and biological characteristics of swine wastewater.

Parâmetro	Resultado
pH	7,70
Condutividade	$6.770 \mu\text{S cm}^{-1}$
DBO	2.406 mg L^{-1}
DQO	3.048 mg L^{-1}
N amoniacal	1.073 mg L^{-1}
Nitrato	35 mg L^{-1}
Nitrito	$2,78 \text{ mg L}^{-1}$
NTK	1.745 mg L^{-1}
Fósforo total	171 mg L^{-1}
Potássio	150 mg L^{-1}
Magnésio	$7,50 \text{ mg L}^{-1}$
Cálcio	$34,50 \text{ mg L}^{-1}$
Sódio	93 mg L^{-1}
Cobre	$0,06 \text{ mg L}^{-1}$
Zinco	$0,38 \text{ mg L}^{-1}$
Sólidos totais	$5,95 \text{ mg L}^{-1}$
Sólidos totais fixos	$3,10 \text{ mg L}^{-1}$
Sólidos dissolvidos fixos	$1,78 \text{ mg L}^{-1}$
Sólidos dissolvidos voláteis	$2,34 \text{ mg L}^{-1}$
Turbidez	940 NTU

TABELA 3. Tratamentos e respectivas doses de aplicação de nutrientes. **Treatment and their nutrient application rates.**

T	Dose de nutrientes via AD (kg ha ⁻¹)			Dose de nutrientes via ARS (kg ha ⁻¹)								ARS (m ³ ha ⁻¹)
	N	P	K	N*	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	
T1	15	60	90	85	19,23	16,87	3,88	0,84	10,46	0,007	0,042	112,50
T2	22,5	30	45	77,5	19,23	16,87	3,88	0,84	10,46	0,007	0,042	112,50
T3	15	60	90	185	38,47	33,75	7,76	1,68	20,92	0,013	0,085	225,00
T4	22,5	30	45	177,5	38,47	33,75	7,76	1,68	20,92	0,013	0,085	225,00
T5	15	60	90	285	57,71	50,62	11,64	2,53	31,38	0,020	0,13	335,00
T6	22,5	30	45	277,5	57,71	50,62	11,64	2,53	31,38	0,020	0,13	335,00
T7	15	60	90	385	76,95	67,50	15,52	3,37	41,85	0,027	0,17	450,00
T8	22,5	30	45	377,5	76,95	67,50	15,52	3,37	41,85	0,027	0,17	450,00

T: tratamentos. AD: adubação química. ARS: água residuária da suinocultura; *O cálculo da dose de N aplicado via ARS foi baseado na quantidade de N disponível (nitrato+nitrato+amônia) de 1.110 mg L⁻¹.

O experimento foi realizado em ambiente protegido, visando a simular o regime hídrico da região com intensidade de precipitação efetivada com 75% de probabilidade (LONGO et al., 2006). Utilizou-se do sistema de irrigação por gotejamento com fita gotejadora, da marca Amanco Aqua-Traxx, com espaçamento entre emissores de 10 cm, vazão do emissor de 1,02 L h⁻¹ e pressão de serviço de 5 mca.

Utilizou-se do híbrido de milho CD 705, recomendado para a região, de ciclo precoce, com densidade de 45.000 plantas ha⁻¹. A semeadura foi realizada manualmente em Latossolo Vermelho distroférrico típico (EMBRAPA, 2006), com duas sementes por cova e desbaste realizado cinco dias após a semeadura.

Os parâmetros da cultura do milho avaliados foram: produtividade (PROD) e altura de plantas (AP), avaliados ao final do ciclo da cultura; teor de macronutrientes (nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg)), e micronutrientes (ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B)), avaliados uma única vez, via análises foliares. O delineamento experimental foi em esquema fatorial (dois fatores) e parcela subdividida, sendo os blocos as parcelas principais, com três repetições. Os fatores que constituíram os tratamentos foram cinco doses de ARS (0; 112,5; 225; 337,5 e 450 m³ ha⁻¹ durante o ciclo do milho) e dois níveis de AD (50 e 75% da dose de adubação nitrogenada recomendada).

Os parâmetros de fertilidade do solo determinados foram: N, P, K, pH, teor de matéria orgânica (MO), soma de bases trocáveis (SB), saturação por bases (V), teores disponíveis de Cu, Zn, Fe e manganês (Mn) extraídos com Mehlich, sendo avaliados em cinco períodos de coleta ao longo do ciclo da cultura (0; 40; 70; 95 e 200 dias após a semeadura (DAS)). Assim, o delineamento experimental adotado foi o em esquema fatorial (três fatores) e parcelas subdivididas, sendo os blocos as parcelas principais, e os períodos de coletas das amostras, as subparcelas, com três repetições. Os três fatores considerados foram a ARS, AD e DAS.

Os protocolos laboratoriais para as análises foliares, solo e água seguiram recomendações de MALAVOLTA (1997), RAIJ et al. (2001) e APHA (1998).

Após o teste de normalidade e respectivas transformações necessárias, realizaram-se análises de variância, desdobramentos, quando existiram interações significativas, e teste de comparação de médias, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizaram-se testes F para avaliar os efeitos dos fatores que compuseram os tratamentos (ARS e AD), sobre os índices agrônômicos (PROD e AP) (Tabela 4) e análise foliar de macronutrientes (N, P, K e Mg) (Tabela 4) e micronutrientes (Fe, Zn, Cu e B) (Tabela 5), ao final do período de cultivo do milho.

Observa-se, nas Tabelas 4 e 5, que apenas o fator ARS isolado propiciou diferenças significativas nos parâmetros PROD, N, K, Fe, Cu e B. Nesses parâmetros, a influência do fator foi

positiva com o aumento da dose de ARS, como indicado na Tabela 6. Apenas para AP e os níveis de P e Zn nas folhas não se verificaram efeitos devido aos fatores AD e ARS.

TABELA 4. Análise de variância para os índices agrônômicos (PROD e AP) e análise foliar de macronutrientes (N, P, K e Mg) na cultura do milho, sob adubação mineral e aplicação de água residuária de suinocultura. **Analysis of variance for agronomic indices (PROD and AP) and leaf analysis of macronutrients (N, P, K and Mg) in maize, under mineral fertilization and application of swine wastewater.**

Causas de variação	GL	F					
		PROD (t ha ⁻¹)	AP (cm)	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
Bloco	2	<u>0,049</u> *	4,22 ^{ns}	1,03 ^{ns}	1,0 ^{ns}	1,57 ^{ns}	0,48 ^{ns}
ARS	4	<u>0,327</u> *	0,03 ^{ns}	<u>19,87</u> *	2,15 ^{ns}	<u>7,75</u> *	1,31 ^{ns}
Erro I	8						
AD	1	1,41 ^{ns}	0,046 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,16 ^{ns}	0,44 ^{ns}
ARS*AD	4	0,41 ^{ns}	0,353 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,08 ^{ns}	2,39 ^{ns}	1,55 ^{ns}
Erro II	10						
Total	29						
CV I (%)	-	53,83	28,77	10,54	17,22	6,05	17,68
CV II (%)	-	52,80	26,37	14,58	20,96	6,51	13,93

CV: coeficiente de variação; ns: não significativo a 5 % de probabilidade; *: significativo a 5 % de probabilidade.

TABELA 5. Análise de variância para análise foliar de micronutrientes (Fe; Zn; Cu e B) na cultura do milho, sob adubação mineral e aplicação de água residuária de suinocultura. **Analysis of variance for leaf analysis of micronutrients (Fe, Zn, Cu and B) in maize, under mineral fertilization and application of swine wastewater.**

Causas de variação	GL	F			
		Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)
Bloco	2	6,79 ^{ns}	0,003 ^{ns}	1,27 ^{ns}	3,48
ARS	4	<u>4,74</u> *	3,18 ^{ns}	<u>19,59</u> *	<u>6,01</u> *
Erro I	8				
AD	1	0,89 ^{ns}	1,67 ^{ns}	4,14 ^{ns}	0,005 ^{ns}
ARS*AD	4	0,76 ^{ns}	2,15 ^{ns}	3,58 ^{ns}	1,33 ^{ns}
Erro II	10				
Total	29				
CV I (%)	-	20,58	22,78	25,81	6,75
CV II (%)	-	29,74	14,38	19,81	12,08

CV: coeficiente de variação; ns: não significativo a 5 % de probabilidade; *: significativo a 5 % de probabilidade.

Observa-se, na Tabela 6, a maior produtividade para maior lâmina de aplicação de ARS, mesmo sendo o primeiro ciclo de uso da ARS. O aumento relativo à testemunha foi de 23 %. Quanto aos nutrientes presentes nas folhas das plantas de milho, verificou-se, segundo critérios de MALAVOLTA (1997), que o N (13,00 a 22,66 g kg⁻¹) ficou abaixo do limite considerado adequado (27,5 - 32,5 g kg⁻¹). Os nutrientes K, Mg, Fe, Cu e B apresentaram níveis adequados.

TABELA 6. Testes de médias para os índices agrônômicos (PROD e AP) e análise foliar de macronutrientes (N e K) e micronutrientes (Fe; Cu e B) na cultura do milho, para o fator ARS. **Average tests for agronomic indices (PROD and AP) and leaf analysis of macronutrients (N and K) and micronutrients (Fe, Cu and B) in maize, for ARS factor.**

Parâmetro	ARS (m ³ ha ⁻¹)				
	0	112,5	225,0	337,5	450,0
PROD (t ha ⁻¹)	1,342b	0,925c	1,339b	1,460b	1,644ab
N (g kg ⁻¹)	13,00b	14,33b	16,33b	20,83a	22,66a
K (g kg ⁻¹)	21,66a	18,66b	20,16ab	21,16ab	22,33a
Fe (mg kg ⁻¹)	195,16b	304,33a	237,66ab	311,00a	267,83ab
Cu (mg kg ⁻¹)	9,66a	10,00a	6,83b	8,33ab	9,50a
B (mg kg ⁻¹)	19,66b	23,66a	21,83ab	21,66ab	22,66a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Os testes F realizados para verificar a influência dos fatores (ARS, AD e DAS) sobre os parâmetros de fertilidade e de micronutrientes no solo encontram-se nas Tabelas 7 e 8. Os testes indicaram que a interação ARS*DAS foi significativa para os parâmetros P, K, Zn, Cu e Fe (Tabela 9), sendo a interação AD*DAS significativa apenas para o P (Tabela 10). Os fatores isolados que indicaram diferenças significativas foram ARS e DAS para os parâmetros pH e SB (Tabela 11) e MO, pH, SB e V (Tabela 12), respectivamente.

De modo geral, observa-se que o fator ARS propiciou aumentos positivos nos teores de P, Zn, Cu, pH e SB e negativos nos teores de K e Fe (Tabelas 9 e 11). Esse fator não produziu efeitos significativos em N, V, MO e Mn. O fator AD produziu pequeno efeito apenas para o P na interação AD*DAS. O fator DAS indica que, ao longo do ciclo da cultura, os parâmetros de fertilidade P, K, Cu, Zn e Fe (Tabelas 9 e 10); MO, pH, SB e V (Tabela 12) aumentaram significativamente seus níveis no solo.

Percebe-se que os nutrientes do solo P, K, Cu, Zn e Fe (Tabelas 9 e 10) aumentaram seus níveis até aos 90 DAS, reduzindo posteriormente. Tal fato pode ser devido à maior necessidade nutricional da cultura no período de floração e enchimento dos grãos. Exceção dessa regra é o N, que é absorvido praticamente em todo o período de desenvolvimento da planta. Esse elemento químico também possui um grau de complexidade de determinação em solos, em função de sua intensa dinâmica e transformação em formas secundárias, conforme observado por SAMPAIO et al. (2010a). Para os parâmetros de fertilidade MO, pH, SB e V (Tabela 12), o aumento foi sempre positivo, indicando que os efeitos de ARS podem ser positivos e acumulativos ao longo do tempo (SARAIVA et al., 2007).

TABELA 7. Análise de variância para os parâmetros de fertilidade do solo (N, P, K, pH, MO, SB e V) durante o ciclo da cultura do milho, sob adubação mineral e aplicação de água residuária de suinocultura. **Analysis of variance for soil fertility parameters (N, P, K, pH, MO, SB and V) during the maize cycle, under mineral fertilization and application of swine wastewater.**

Causas de variação	GL	F						
		N mg dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	pH	MO gdm ⁻³	SB cmol _c dm ⁻³	V (%)
Bloco	2	0,12 ^{ns}	3,91 ^{ns}	5,67 ^{ns}	<u>9,29*</u>	1,32 ^{ns}	4,49 ^{ns}	2,13 ^{ns}
ARS	4	0,35 ^{ns}	1,91 ^{ns}	32,77 ^{ns}	<u>8,32*</u>	0,34 ^{ns}	<u>10,36*</u>	4,34 ^{ns}
Erro I	8							
AD	1	3,17 ^{ns}	3,04 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,32 ^{ns}	2,14 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,15 ^{ns}
ARS*AD	4	0,48 ^{ns}	1,75 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,03 ^{ns}
Erro II	10							
DAS	4	0,84 ^{ns}	<u>16,02*</u>	<u>44,56*</u>	<u>11,80*</u>	<u>10,21*</u>	<u>22,97*</u>	<u>10,85*</u>
ARS*DAS	16	0,21 ^{ns}	<u>2,68*</u>	<u>3,72*</u>	0,94 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1,58 ^{ns}	1,36 ^{ns}
AD*DAS	4	0,95 ^{ns}	<u>3,68*</u>	2,31 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,59 ^{ns}	0,99 ^{ns}
ARS*AD*DAS	16	0,56 ^{ns}	1,54 ^{ns}	1,47 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,92 ^{ns}
Bloco*DAS	8	0,24 ^{ns}	1,66 ^{ns}	1,58 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,43 ^{ns}	3,54 ^{ns}	<u>2,34*</u>
Erro III	72							
Total	149							
CV I (%)		11,69	47,92	12,46	7,16	27,95	14,26	13,54
CV II (%)		11,85	36,97	17,41	13,67	24,58	07,88	24,73
CV III (%)		16,65	27,07	16,20	5,70	13,77	14,14	10,39

CV: coeficiente de variação; ns: não significativo a 5 % de probabilidade; *: significativo a 5 % de probabilidade.

TABELA 8. Análise de variância para os teores de micronutrientes no solo (Cu, Zn, Fe e Mn) durante o ciclo da cultura do milho, sob adubação mineral e aplicação de água residuária de suinocultura. **Analysis of variance for the micronutrient content in the soil (Cu, Zn, Fe and Mn) during the maize cycle, under mineral fertilization and application of swine wastewater.**

Causas de variação	GL	F			
		Cu (mg dm ⁻³)	Zn (mg dm ⁻³)	Fe (mg dm ⁻³)	Mn (mg dm ⁻³)
Bloco	2	1,72 ^{ns}	4,74 ^{ns}	0,29 ^{ns}	3,06 ^{ns}
ARS	4	0,049 ^{ns}	2,27 ^{ns}	1,94 ^{ns}	1,68 ^{ns}
Erro I	8				
AD	1	1,93 ^{ns}	<u>8,42*</u>	0,86 ^{ns}	3,87 ^{ns}
ARS*AD	4	0,37 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Erro II	10				
DAS	4	<u>31,94*</u>	<u>40,98*</u>	<u>50,53*</u>	0,09 ^{ns}
ARS*DAS	16	<u>2,79*</u>	<u>4,07*</u>	<u>5,31*</u>	1,58 ^{ns}
AD*DAS	4	0,14 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,11 ^{ns}
ARS*AD*DAS	16	0,66 ^{ns}	0,58 ^{ns}	2,02 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Bloco*DAS	8	<u>3,65*</u>	<u>9,01*</u>	2,08 ^{ns}	0,96 ^{ns}
Erro III	72				
Total	149				
CV I (%)		37,15	36,34	11,13	21,83
CV II (%)		38,66	28,13	10,33	19,84
CV III (%)		18,47	27,27	10,90	14,50

CV: coeficiente de variação; ns: não significativo a 5 % de probabilidade; *: significativo a 5 % de probabilidade.

TABELA 9. Testes de médias para os parâmetros de fertilidade (P e K) e teor disponível de micronutrientes (Zn, Cu e Fe) no solo, na interação ARS*DAS. **Average tests for fertility parameters (P and K) and content available micronutrients (Zn, Cu and Fe) in the soil, in the interaction ARS*DAS.**

ARS (m ³ ha ⁻¹)	DAS					Médias
	0	40	70	95	200	
P (mg dm ⁻³)						
0	14,62aAB	14,66aA	14,79aA	14,06aC	14,26aB	14,47
112,5	13,40bB	13,89bA	13,93bA	21,98aB	14,38bB	15,51
225	16,85bA	16,27bA	17,03bA	26,24aAB	22,64aA	19,80
337,5	11,22bB	13,99bA	17,43abA	24,63aAB	17,05abAB	16,86
450	13,57bAB	15,83bA	19,22bA	29,70aA	16,73bAB	18,95
Médias	13,93	14,93	16,48	23,32	17,01	
K (mg dm ⁻³)						
0	2,93aA	3,85aA	4,06aA	3,81aAB	3,38aAB	3,60
112,5	0,99bB	1,39abB	1,96abB	2,39aB	2,19aB	1,78
225	1,22cB	2,33bcB	2,27abB	3,47aB	2,42abAB	2,34
337,5	0,85cB	1,76bcB	2,09bB	3,97aAB	3,68 aA	2,47
450	0,74cB	1,64cB	3,08aB	5,06aA	3,54abA	2,81
Médias	1,34	2,19	2,69	3,74	3,04	
Zn (mg dm ⁻³)						
0	0,16aA	0,00aA	0,00aA	-	-	0,05
112,5	0,23aB	0,00bB	0,00bB	-	-	0,08
225	0,50aB	0,00bA	0,00bA	-	-	0,17
337,5	0,33aA	0,00bB	0,33aA	-	-	0,22
450	0,33aA	0,16bB	0,33aA	-	-	0,27
Médias	0,31	0,032	0,13	-	-	
Cu (mg dm ⁻³)						
0	2,59bA	4,09aA	4,89aA	-	-	3,85
112,5	3,94aA	4,10aA	4,02aA	-	-	4,02
225	3,96aA	4,98aA	5,19aA	-	-	4,71
337,5	4,35aA	5,12aA	5,23aA	-	-	4,9
450	3,80aA	5,21aA	5,05aA	-	-	4,68
Médias	3,73	5,31	5,31	-	-	
Fe (mg dm ⁻³)						
0	6,34bB	21,11aA	16,63aA	-	-	14,69
112,5	9,41bA	15,42abB	12,19aAB	-	-	12,34
225	9,48bA	16,48aAB	11,65bB	-	-	12,54
337,5	10,62aA	13,16aB	11,90aAB	-	-	11,89
450	9,51bA	14,27aB	11,15abB	-	-	11,64
Médias	9,07	16,09	12,70	-	-	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

TABELA 10. Testes de médias para fósforo (P) no solo, para a interação AD*DAS. **Average tests for phosphorus (P) in the soil, for AD*DAS interaction.**

AD (%)	DAS					Médias
	0	40	70	95	200	
Fósforo (mg dm ⁻³)						
50	11,39bB	14,93abA	17,50abA	22,17aA	15,46abA	16,29
75	13,87bA	14,93bA	15,46bA	24,47aA	18,57bA	17,46
Médias	12,63	14,93	16,48	23,32	17,01	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

TABELA 11. Testes de médias dos parâmetros de fertilidade (pH e SB) do solo, para o fator ARS. **Average tests for fertility parameters (pH and SB) from the ground, to the ARS factor.**

Parâmetro	ARS (m ³ ha ⁻¹)				
	0	112,5	225,0	337,5	450,0
pH	5,96b	6,30ab	6,29ab	6,30ab	6,42a
SB (cmol _c dm ⁻³)	10,29b	12,55a	10,71b	10,64b	11,34ab

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

TABELA 12. Testes de médias dos parâmetros de fertilidade (MO, pH, SB e V) do solo, para o fator DAS. **Average tests for fertility parameters (MO, pH, SB and V) from the ground, to the DAS factor.**

Parâmetro	DAS				
	0	40	70	95	200
MO (g dm ⁻³)	20,56c	21,90bc	24,10ab	25,16a	23,93ab
pH	5,92b	6,47a	6,40a	6,36a	6,44a
SB (cmol _c dm ⁻³)	9,08b	10,94b	11,50b	11,21b	12,92a
V (%)	70,13b	80,72a	80,28a	79,95a	82,62a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Observa-se correlação positiva entre as doses de ARS com os níveis de P no solo, pois antes da semeadura os índices foram considerados baixos e passaram para a categoria média em todos os tratamentos com ARS, ao final do ciclo (STEFANUTTI et al., 1995). BERWANGER et al. (2008) também observaram aumento nos níveis de fósforo no solo, em função do aumento de aplicação de doses de ARS. Os autores, que utilizaram lâminas de 480 e 960 m³ ha⁻¹, verificaram que a maior lâmina de ARS, durante quatro anos de aplicação, supriu as necessidades da cultura do milho. DURIGON et al. (2002) relataram que a quantidade de P absorvida em pastagem é muito pequena em relação à aplicada pela ARS, sendo apenas de 8 %. Desse modo, a concentração de P no solo com tempo de aplicação deve aumentar consideravelmente, o que foi observado por STEFANUTTI et al. (1995), que encontraram, no primeiro ano de experimentação, usando ARS em solos agrícolas, aumento na quantidade de P disponível na camada de 0-10 cm de 242 % e 580 % com aplicação de 20 e 40 m³ ha⁻¹, respectivamente, sendo classificados como altos (P >24 mg dm⁻³; CQFS-RS/SC, 1995).

Analisando o aumento provocado pela ARS, considerando a testemunha, este foi suficiente para passar os teores considerados baixos para fertilidade de solo, para as faixas de alto e muito alto, segundo COELHO (2006).

Verifica-se, na Tabela 9, que os valores de Cu e Zn apresentaram variação ao longo do período. O Zn apresentou valores baixos no solo, sendo nulo em determinados momentos. Observam-se diferenças em função da dose de ARS aplicada, obtendo-se maiores concentrações de Zn no solo para a maior dosagem de ARS. Aos 40 DAS, observam-se as menores concentrações no solo, possivelmente em função de o Zn ser absorvido pelas culturas no início de seu desenvolvimento. Apesar dos altos teores de Zn na ARS aplicada, este elemento apresenta maior potencial de lixiviação (LUCAS et al., 2013), absorção pelo milho (LAVADO et al., 2001) e de ligação à fase mineral do solo (GIROTTO et al., 2010). Desta forma, podem-se explicar os baixos níveis de Zn na solução do solo.

O Cu permanece na matriz do solo devido às suas interações com as argilas e com a matéria orgânica. Considerando a MO (Tabela 12) e teores de argila do solo usado (60% de argila; 19% de silte e 21% de areia), é possível notar que os valores encontrados podem ser classificados como altos, segundo RAIJ et al. (2001). Os resultados encontrados diferem daqueles observados por SMANHOTTO et al. (2010), que utilizaram as mesmas condições experimentais, alterando apenas a cultura de milho para soja.

Apesar de todos os valores de Cu observados no experimento estarem acima do recomendado, percebe-se claramente que, após o tratamento com ARS, houve diminuição deste elemento de 8,62

para 5,31 mg L⁻¹ (Tabela 9). O Cu liga-se à matriz do solo nas frações mineral e orgânica e, portanto, a adição de ARS pode induzir menor disponibilidade do elemento nos primeiros anos de aplicação, conforme observado por LUCAS et al. (2013).

O Fe e o Cu, quando comparados aos outros elementos, apresentaram os maiores teores no solo, ao final do experimento. Do ponto de vista agrônomo, os valores encontrados ainda são baixos. Entretanto, do ponto de vista ambiental, os efeitos causados por elementos metálicos com capacidade de acumulação devem ser investigados no longo prazo.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, nas condições experimentais, e considerando que foi o primeiro ano de implantação da área agrícola experimental em que se aplicaram doses de água residuária da suinocultura associadas à adubação química, é possível concluir que:

- na cultura do milho, a aplicação de água residuária de suinocultura é fator predominante no aumento da produtividade e na nutrição mineral em K, Mg, Fe, Cu e B, e insuficiente para N e P.
- no solo, de modo geral, a água residuária de suinocultura propiciou aumentos positivos nos parâmetros de P, Zn, Cu, pH e SB, negativos nos teores de K e Fe, e nenhum efeito nos parâmetros N, V, MO e Mn.
- os parâmetros P, Cu e Zn aumentaram significativamente os teores no solo ao longo do experimento, indicando a importância do fator tempo nesse tipo de estudo.

REFERÊNCIAS

- ANAMI, M. H.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M.; FRIGO, E. P. Lixiviação de nitrato e fosfato proveniente de água residuária da suinocultura tratada em sistema de lagoas. **Irriga**, Botucatu, v.12, n.2, p.192-201. 2007.
- ANAMI, M. H.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M.; DAMASCENO, S.; QUEIROZ, M. M. F. Deslocamento miscível de nitrato e fosfato proveniente de água residuária da suinocultura em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.1, p.75-80, 2008.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and waste water**. 20th ed. Washington: American Public Health Association, 1998.
- BAUMGARNTER, D.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, T. R.; VILAS BOAS, M. A. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.152-163. 2007.
- BELING, R. R. **Anuário brasileiro do milho**. Santa Cruz do sul: Gazeta Santa Cruz, 2007. 136 p.
- BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; RHEINHEIMER, D. S. Alterações do fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2525-2532, 2008.
- CAOVILLA, F. A.; SAMPAIO, S. C. ; SMANHOTTO, A.; NOBREGA, L. H. P. ; QUEIROZ, M. M. F. DE ; GOMES, B. M.. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 692-697, 2010.
- CAOVILLA, F.A.; SAMPAIO, S.C.; PEREIRA, J.O.; VILAS BOAS, M.A.; GOMES, B.M.; FIGUEIREDO, A.C. Lixiviação de nutrientes proveniente de águas residuárias em colunas de solo cultivado com soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, (Suplemento), p. 283-287, 2005.

COELHO, A. M. **Interpretação de resultados de análise de solos**. 2. ed., Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 32p.

CQFS-RS/SC - COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. 244p.

DAL BOSCO, T. C. ; SAMPAIO, S. C. ; OPAZO, M. A. U. ; GOMES, S. D. ; NÓBREGA, L. H. P. Aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja: cobre e zinco no material escoado e no solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, p. 699-709, 2008.

DOBLINSKI, A.F; SAMPAIO, S.C.; DA SILVA, V.R.; NÓBREGA, L.H.P.N; GOMES, S.D.; DAL BOSCO, T.C. Nonpoint source pollution by swine farming wastewater in bean crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.1, p.87-93. 2010.

DURIGON, R.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; BARCELLOS, L.A.R. ; PAVINATO, P.S. Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 983-992, 2002.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed., Brasília, DF, 2006. 306 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FRIGO, E. P.; SAMPAIO, S. C.; FREITAS, P. S. L.; QUEIROZ, M. M. F.; NÓBREGA, L. H. P.; MALLMANN, L. S. Desempenho do sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária da suinocultura. **Irriga**, Botucatu, v.11, n.3, p.305-318. 2006.

GIOTTO E, CERETTA CA, BRUNETTO G, SANTOS DR, SILVA LS, LOURENZI CR, LORENSINI F, VIEIRA RCB, SHUMATZ R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 34, n.3, p.955-965. 2010.

GOMES FILHO, R. R.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D. MARTINEZ, H E.P. Remoção de carga orgânica e produtividade da aveia forrageira em cultivo hidropônico com águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p. 131-134. 2001.

LAVADO RS.; PORCELLI C.A.; ALVAREZ R. Nutrient and heavy metal concentration and distribution in maize, soybean and wheat as affected by different tillage systems in the Argentine Pampas. **Soil & Tillage Research**, New York, v. 62 n.1-2, p.55-60. 2001.

LONGO, A. J.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M. Equação de chuvas intensas e precipitação provável para o município de Cascavel PR. **Varia Scientia**, Cascavel, v.6, n.12, p.16-30, 2006.

LUCAS S.D.M.; SAMPAIO, S. C.; OPAZO, M. A. U.; GOMES S D.; KESSLER N.; PRADO, N. V. Long-term behavior of Cu and Zn in soil and leachate of an intensive no-tillage system under swine wastewater and mineral fertilization. **African Journal of Agricultural Research**, Nairóbi, v. 8, p. 639-647, 2013.

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa e Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

PELISSARI, R. A. Z. ; SAMPAIO, S. C. ; GOMES, S. D. ; CREPALLI, M. DA S. Lodo têxtil e água residuária da suinocultura na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* (W, Hill exMaiden). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n.2, p. 288-300, 2009.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

SAMPAIO, S. C.; SILVESTRO, M. G ; FRIGO, E. P. ; BORGES, C. M . Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias. **Revista Irriga**, Botucatu, v.12, n.4, p.557-562. 2007.

SAMPAIO, S.S.; FIORI, M.G.S.; OPAZO, M.A.U.; NÓBREGA, L.H.P. Comportamento das formas de nitrogênio em solo cultivado com milho irrigado com água residuária da suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.138-149, 2010a.

SAMPAIO, S. C. ; CAOVILO, F. A. ; OPAZO, M. A. U. ; NÓBREGA, L. H. P. ; SUSZEK, M.; SMANHOTTO, A.. Lixiviação de íons em colunas de solo deformado e indeformado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, p. 150-159, 2010b.

SARAIVA, F. Z.; SAMPAIO, S. C. ; SILVESTRO, M. G ; QUEIROZ, M. M. F. de; NÓBREGA, L. H. P.; GOMES, B. M. Uso de manipueira no desenvolvimento vegetativo do milho em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 30-36, 2007.

SMANHOTTO, A.; SOUSA, A. DE P ; SAMPAIO, S. C ; NÓBREGA, L. H. P ; PRIOR, M.; SAMPAIO, S. C. Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, p. 347-357, 2010.

STEFANUTTI, R.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Recuperação do fósforo residual do solo, derivado de um termofosfato magnésiano com diferentes granulometrias e do superfosfato simples granulado. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.2, n.52, p.233-238. 1995.

SUSZEK, M.; SAMPAIO, S. C.; SANTOS, R. F.; NUNES, O. L. G. S.; DAMASCENO, S.; MALLMANN, L. S. Uso de água residuária da suinocultura na bioestabilização de resíduos verdes urbanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.176-180. 2005.