

Impacto da fertirrigação com água residuária da suinocultura em um latossolo vermelho-amarelo

Impact of fertirrigation with swine wastewater in an oxisol

Marisa Senra Condé*
Onofre Barroca de Almeida Neto**
Bruno Grossi Costa Homem*
Igor Machado Ferreira*
Mateus Diniz Silva*

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de Água Residuária de Suínos (ARS) sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. O experimento foi realizado em condições de campo, com os seguintes tratamentos: T1 = 0; T2 = 50; T3 = 100; T4 = 150 m³.ha. ano⁻¹ de ARS. A ARS promoveu aumento da acidez do solo na camada de 20-40 cm, e diminuição da quantidade de fósforo adsorvido à argila em ambas as camadas, 0-20 e 20-40 cm. A porcentagem de argila dispersa em água aumentou na camada de 20-40 cm, indicando que a aplicação permanente da ARS pode propiciar riscos de redução da permeabilidade do solo.

The objective of this study was to evaluate the effect of swine wastewater (SW) on the chemical and physical properties of a dystrophic Oxisol. The experiment was conducted under field conditions, and treatments: T1 = 0; T2 = 50; T3 = 100; T4 = 150 m³.ha.year⁻¹ of SW. The SW promoted increased acidity of the soil layer of 20-40 cm, and decrease of the amount of phosphorus adsorbed to clay in both layers, 0-20 and 20-40 cm. The percentage of clay dispersed in water increased in the 20-40 cm layer, indicating that the permanent application of SW can provide risk reduction of permeability.

Palavras-chave: Camadas do solo. Efluente. Macronutrientes.

Keywords: Soil layers. Wastewater. Macronutrients.

Introdução

Ultimamente, a suinocultura moderna vem se destacando de forma negativa pelo descaso com as questões relacionadas ao meio ambiente. Isso por se tratar de uma atividade, potencialmente, poluidora, pois utiliza muita água no seu processo produtivo, principalmente, no consumo animal, e também, na higienização dos ambientes (SERAFIM; GUIMARÃES FILHO, 2012). Fato que tem levado ao desenvolvimento de pesquisas sobre águas superficiais e subterrâneas em áreas de intensa produção suinícola, não apenas no Brasil, mas em todo o mundo (SMITH et al., 2007).

Decorrente de vários fatores, como a falta de formação de pessoal e de orientação técnica aos produtores, juntamente com a ineficiência na fiscalização governamental, existe uma contaminação maior ao meio ambiente, ocasionada em maior escala em águas e lençóis freáticos, causada por organismos enteropatogênicos. Além desta

* Estudante do curso de Bacharel em Zootecnia do IF Sudeste MG, Campus Rio Pomba - MG - Brasil

** Doutor, professor Adjunto do Departamento de Agricultura e Ambiente do IF Sudeste MG, Campus Rio Pomba - MG - Brasil

contaminação, podem causar alterações no solo quando aplicadas indiscriminadamente, poluição do ar causada pelos gases: CO₂, CH₄ e cheiro desagradável de H₂S (SERAFIM; GUIMARÃES FILHO, 2012).

A disposição final de águas residuárias de suínos no solo vem sendo considerada prática de manejo com vistas à proteção ambiental. O solo apresenta grande capacidade de decompor ou inativar materiais potencialmente prejudiciais ao ambiente, por meio de reações químicas e da multiplicidade de processos microbiológicos. Os íons e compostos podem ser inativados por reações de adsorção, complexação e precipitação; já os microrganismos presentes no solo podem decompor os mais diversos materiais orgânicos, desdobrando-os em compostos menos tóxicos ou atóxicos (COSTA et al., 2004).

Geralmente, a prática mais adotada pela suinocultura brasileira para minimizar os problemas ambientais é de armazenar os efluentes em lagoas ou tanques e posteriormente aplicá-los em pastagens ou lavouras como fertilizante do solo. Porém, em muitos casos, os produtores aplicam esses efluentes sem critérios agrônômicos, muitas vezes, excedendo a recomendação dos órgãos ambientais fiscalizadores, prejudicando, assim, a absorção e reciclagem de nutrientes no solo (VIVAN et al., 2010).

As principais alterações descritas para os solos fertirrigados com águas residuárias se resumem aos efeitos sobre o carbono e nitrogênio totais, atividade microbiana e N-mineral, cálcio e magnésio trocáveis, salinidade, sodicidade e dispersão de argilas (FONSECA et al., 2007). Em resumo, a disposição de águas residuárias no sistema solo-planta, quando feita sem critérios agrônômicos e ambientais, pode causar problemas de contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas e toxicidade às plantas; por outro lado, se bem planejada esta aplicação pode trazer benefícios, tais como: fonte de nutrientes e água para as plantas, redução do uso de fertilizantes e de seu potencial poluidor (ERTHAL et al., 2010).

Estudos têm focado impactos no solo, com observações diversas pelos vários autores. Bosco et al. (2008), verificaram as alterações químicas de um Latossolo Roxo distroférrico na região oeste do Paraná, decorrentes da aplicação durante oito anos consecutivos, de ARS, a uma taxa de 99 m³.ha⁻¹ por ano. Os resultados mostraram que a aplicação de ARS aumentou a concentração de cálcio, magnésio e fósforo no solo, de 641,3 mg.L⁻¹ para 1242,5 mg.L⁻¹ na camada de 0-30 cm, enquanto a concentração de magnésio aumentou de 243,1 para 449,7 mg.L⁻¹. A concentração de fósforo, que antes da aplicação de ARS era de 33,7 mg.L⁻¹ na camada de 0-30 cm e 3,8 mg.L⁻¹ na camada de 30-60 cm, aumentou para 51,1 mg.L⁻¹ (0-30 cm) e 5,4 mg.L⁻¹ (30-60 cm) após a aplicação.

O conhecimento que possibilite a utilização das águas residuárias geradas nos processos produtivos em áreas agrícolas reduzindo o impacto ambiental e aumentando a produtividade, é de fundamental importância (CABRAL et al., 2011). Objetivou-se, neste trabalho, avaliar os efeitos de quatro taxas de aplicação de água residuária

de suinocultura sobre as características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo de baixa fertilidade, cultivado com gramíneas forrageiras.

Material e métodos

Essa pesquisa foi realizada no município de Silveirânia – MG, no período de dezembro de 2011 a maio de 2012, em uma área plana, ocupada com pastagem de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk estabelecida há três anos.

O município de Silveirânia localiza-se nas coordenadas geográficas de 21° 11' 23.92" de latitude (S) e 43° 57' 29.36" de longitude (O), com altitude média de 508 m. O regime climático é Cwa: clima tropical úmido com inverno seco e verão quente na classificação de Koppen; a precipitação média anual é de 1.644 mm e a temperatura média anual situa-se na faixa de 19° a 28°C, com umidade relativa do ar quase sempre elevada, revelando médias anuais de 80,1%.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas mediram 6 m² (3 × 2 m), distantes 1,5 m entre si, em cada bloco. A distribuição dos tratamentos nos respectivos blocos foi definida por sorteio, da seguinte forma: T1 - Testemunha (sem aplicação de ARS), T2 a T4 com aplicação de doses de ARS, sendo: T2 – 50 m³.ha.ano⁻¹, T3 - 100 m³.ha.ano⁻¹, T4 - 150 m³.ha.ano⁻¹. As lâminas foram definidas a partir da caracterização da ARS, levando em consideração o elemento K como limitante de acordo com Matos (2008).

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Em dezembro de 2011, delimitou-se a área experimental e realizaram-se amostragens de solo em duas profundidades, de 0-20 cm e de 20-40 cm, para caracterização física e química (Tabelas 1 e 2). As análises físicas compreenderam a determinação de textura (RUIZ, 2005), massa de partículas do solo (EMBRAPA, 1997) e Argila Dispersa em Água (DONAGEMMA, 2003). As análises químicas compreenderam a determinação de pH em água, cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺), acidez trocável (Al³⁺), acidez total (H⁺ + Al³⁺), teor de matéria orgânica e fósforo remanescente e disponível (EMBRAPA, 1997).

Os valores de Soma de Bases (S), Capacidade de Troca Catiônica (T), Saturação de Bases (V), Índice de Saturação de Sódio (ISNa) e Saturação por Alumínio (m) foram obtidos por meio de cálculos que envolveram os cátions trocáveis determinados (MATOS, 1995). As análises de solo foram realizadas no Laboratório de Solos, do IF Sudeste MG, Campus Rio Pomba.

Tabela 1 - Caracterização física do solo

Profundidade de 0-20 cm							
Solo	Fração				ADA ⁽¹⁾	Densidade de Partículas	Umidade Residual
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
LVA ⁽²⁾	dag.kg ⁻¹ (³)				%	g cm ⁻³	g
	9	63	11	17	7,2	1,0283	0,01605
Profundidade de 20-40 cm							
Solo	Fração				ADA ⁽¹⁾	Densidade de Partículas	Umidade Residual
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
LVA ⁽²⁾	dag.kg ⁻¹ (³)				%	g cm ⁻³	g
	8	49	13	30	3,7	1,0283	0,02035

¹Argila Dispersa em Água; ²Latossolo Vermelho-Amarelo; ³dag.kg⁻¹ = % (m/m)

Considerando os resultados das análises, verificou-se que não havia necessidade da realização de calagem, pelo fato da saturação de bases estarem num valor apropriado para essa planta forrageira.

A instalação do experimento ocorreu na primeira quinzena do mês de dezembro de 2011, após ser realizado o corte de uniformização da pastagem em todas as parcelas; no total, foram cinco ciclos de produção da forrageira *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, sendo que o volume de água residuária total de cada tratamento foi dividido igualmente entre os cinco ciclos. Dessa forma, foi aplicado a cada ciclo da forragem as doses 0, 10, 20 e 30 m³.ha⁻¹ da água residuária de suínos, totalizando as doses de 0, 50, 100 e 150 m³.ha.ano⁻¹. A aplicação foi feita a cada 28 dias (tempo médio necessário para o completo desenvolvimento dessa forrageira), após cada corte da forragem.

Tabela 2 - Caracterização química do solo

Profundidade de 0-20 cm							
pH _{m0}	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	¹ H+Al
H ₂ O	mg.dm ⁻³			cmolc.dm ⁻³			
5,75	4,8	24	0	1,90	1,60	0	2,3
² SB	³ (t)	⁴ (T)	⁵ V	⁶ m	⁷ ISNa	⁸ MO	⁹ P-rem
cmolc.dm ⁻³							
3,56	3,56	5,86	60,8	0	0	0,43	40,5
Profundidade de 20-40 cm							
pH _{m0}	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al
H ₂ O	mg.dm ⁻³			cmolc.dm ⁻³			
5,3	0,2	10	0	0,9	0,5	0,2	2,9
SB	(t)	(T)	V	m	ISNa	MO	P-rem
cmolc.dm ⁻³							
1,43	1,63	4,33	33	12,3	0	0,15	23,4

¹Acidez Potencial; ²Soma de Bases; ³Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; ⁴Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; ⁵Saturação de Bases; ⁶Saturação por alumínio; ⁷Índice de Saturação de Sódio; ⁸Matéria Orgânica; ⁹Fósforo Remanescente

A água residuária de suínos foi obtida de uma unidade de terminação de suínos em regime de confinamento total, do IF Sudeste MG, Campus Rio Pomba. A água residuária foi armazenada por 45 dias em galões com capacidade de 50 litros para devida fermentação. Antes de iniciar os trabalhos de campo (dezembro de 2011) e no meio do experimento de campo (março de 2012) foram coletadas amostras do efluente e levadas ao Laboratório de Agroindústria do IF Sudeste-MG, Campus Rio Pomba para se proceder às seguintes análises: pH, Nitrogênio Total, Dureza da Água, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Cálcio, Magnésio, Potássio, Sódio, Condutividade Elétrica (CE), Fósforo total, Sólidos nas Águas e Relação de Adsorção de Sódio (RAS). As análises se basearam em metodologias recomendadas pela APHA (1995) e os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição da água residuária de suíno

	pH	N-total	Dureza	Ca ²⁺	Mg ²⁺	DQO	CE	RAS	
Ciclo	H ₂ O mg.L ⁻¹					dS.m ⁻¹	mmolL ⁻¹	
I	5,75	868	308	65,24	9,86	14.350	6,53	5,13	
II	6,86	858	1.000	212	394,8	5.682	6,2	2,17	
	Na ⁺	K ⁺	P-total	¹ ST	² SF	³ SV	⁴ SST	⁵ SDT	⁶ SS
Ciclo mg.L ⁻¹								mL.L ⁻¹
I	156	373	152,45	5,91	2,5	3,41	0,486	5,424	44
II	158	370	117	4,54	0,752	3,788	1,343	3,197	1,3

¹Sólidos Totais; ²Sólidos Fixos; ³Sólidos Voláteis; ⁴Sólidos Suspensos Totais; ⁵Sólidos Dissolvidos Totais; ⁶Sólidos Sedimentáveis.

Dessa forma, os resultados da análise da água residuária de suínos do ciclo I são da primeira caracterização (dezembro de 2011) e os resultados do ciclo II são da segunda caracterização (março de 2012). Procedimento realizado, pelo fato que, com o passar do tempo, ocorrem mudanças no aporte de nutrientes da água residuária de suínos, devido à mineralização da matéria orgânica.

Com base nas concentrações de nutrientes presentes na ARS no início de cada ciclo e nos volumes aplicados por ciclo, estimou-se o aporte de nutrientes fornecidos pela água residuária (Tabela 4). Nessa estimativa, se consideraram apenas os teores totais de cada nutriente, não se levando em consideração a forma como os nutrientes se encontravam no efluente.

Tabela 4 - Aporte de nutrientes via água residuária de suinocultura (ARS) durante o experimento

Ciclo	Trat.	Vol. ARSm ³	N-Total	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
1	50	10	8,68	1,52	3,73	0,65	0,1	1,56
	100	20	17,36	3,05	7,46	1,3	0,2	3,12
	150	30	26,04	4,57	11,19	1,96	0,3	4,7
2	50	10	8,68	1,52	3,73	0,65	0,1	1,56
	100	20	17,36	3,05	7,46	1,3	0,2	3,12
	150	30	26,04	4,57	11,19	1,96	0,3	4,7
3	50	10	8,68	1,52	3,73	0,65	0,1	1,56
	100	20	17,36	3,05	7,46	1,3	0,2	3,12
	150	30	26,04	4,57	11,19	1,96	0,3	4,7
4	50	10	8,58	1,12	3,7	2,12	3,95	1,58
	100	20	17,16	2,24	7,4	4,24	7,89	3,16
	150	30	25,74	3,36	11,1	6,36	11,85	4,74
5	50	10	8,58	1,12	3,7	2,12	3,95	1,58
	100	20	17,16	2,24	7,4	4,24	7,89	3,16
	150	30	25,74	3,36	11,1	6,36	11,85	4,74
Total	50	50	43,2	6,8	18,59	6,19	8,2	7,84
	100	100	86,4	13,6	37,18	12,38	16,4	15,68
	150	150	129,6	20,4	55,77	18,57	24,6	23,52

Realizaram-se as determinações das propriedades químicas e físicas do solo com a aplicação do efluente em duas etapas, sendo uma no meio do experimento de campo (05/03/2012) e outra no final do experimento de campo (01/05/2012); as amostras de solo foram retiradas, em todas as parcelas, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm; com as amostras simples de cada parcela de um mesmo tratamento, obtiveram-se amostras compostas por tratamento e profundidade.

As amostras foram identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Solos do IF Sudeste-MG, Campus Rio Pomba, onde foram avaliadas as seguintes características: pH, CTC efetiva, saturação por bases, soma de bases, saturação por alumínio, teores de P, K, Ca, Mg e Na, Al, ISNa, MO de acordo com EMBRAPA (1997); além da ADA, Índice de dispersão (ID) e floculação (IF) de acordo com Ruiz (2005).

Os dados foram submetidos à análise da variância, com posterior análise de regressão. Para comparação das médias obtidas na coleta em diferentes profundidades, utilizou-se o teste F a 5% de significância, utilizando o programa R Development Core Team (FERREIRA, 2011).

Resultados e discussões

Apresentam-se, nas Tabelas 5 e 6, os parâmetros do solo avaliados, em função da taxa de aplicação da ARS para cada profundidade.

Tabela 5 - Teores médios dos parâmetros químicos e físicos avaliados do solo na profundidade de 0-20 cm.

Profundidade 20-40 cm									
Trat.	pH H ₂ O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SB	
								-----mg.dm ⁻³ -----	
0	5,78*	4,11	14,87	3,00	1,53	0,98	0,16*	2,62	
50	5,41*	1,67	17,87	2,62	1,43	1,11	0,34*	2,65	
100	5,51*	3,20	16,87	3,62	1,57	1,30	0,29*	2,81	
150	5,32*	1,68	21,62	3,37	1,47	0,75	0,68*	2,90	
Média	5,50	2,66	17,81	3,15	1,50	1,03	0,37	2,74	
CV (%)	5,17	11,62	45,66	21,85	23	49,37	29,44	24,32	

Trat.	T	MO	P-rem	V	m	ISNa	ADA	ID	IF
	cmolc.dm ⁻³	dag.kg ⁻¹	mg.L ⁻¹	-----%-----					
0	2,78	0,70	37,87*	46,57	7,11*	0,55	11,08*	36,95*	63,05*
50	3,01	0,59	33,45*	44,07	11,97*	0,41	10,36*	34,55*	65,45*
100	3,29	0,60	37,27*	45,71	9,56*	0,59	11,22*	37,42*	62,58*
150	2,98	0,34	31,95*	37,39	24,41*	0,55	13,89*	46,33*	53,67*
Média	3,01	0,56	35,13	43,43	13,26	0,52	11,64	38,81	61,19
CV (%)	21,37	40,76	8,12	43,82	31,36	32,53	15,83	15,83	10,04

Médias seguidas por (*) são significativas pelo teste F (p<0,05)

Tabela 6 - Teores médios dos parâmetros químicos e físicos avaliados do solo na profundidade de 20-40 cm

Profundidade 20-40 cm									
Trat.	pH H ₂ O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SB	
								-----mg.dm ⁻³ -----	
0	5,78*	4,11	14,87	3,00	1,53	0,98	0,16*	2,62	
50	5,41*	1,67	17,87	2,62	1,43	1,11	0,34*	2,65	
100	5,51*	3,20	16,87	3,62	1,57	1,30	0,29*	2,81	
150	5,32*	1,68	21,62	3,37	1,47	0,75	0,68*	2,90	
Média	5,50	2,66	17,81	3,15	1,50	1,03	0,37	2,74	
CV (%)	5,17	11,62	45,66	21,85	23	49,37	29,44	24,32	

Trat.	T	MO	P-rem	V	m	ISNa	ADA	ID	IF
	cmolc.dm ⁻³	dag.kg ⁻¹	mg.L ⁻¹	-----%-----					
0	2,78	0,70	37,87*	46,57	7,11*	0,55	11,08*	36,95*	63,05*
50	3,01	0,59	33,45*	44,07	11,97*	0,41	10,36*	34,55*	65,45*
100	3,29	0,60	37,27*	45,71	9,56*	0,59	11,22*	37,42*	62,58*
150	2,98	0,34	31,95*	37,39	24,41*	0,55	13,89*	46,33*	53,67*
Média	3,01	0,56	35,13	43,43	13,26	0,52	11,64	38,81	61,19
CV (%)	21,37	40,76	8,12	43,82	31,36	32,53	15,83	15,83	10,04

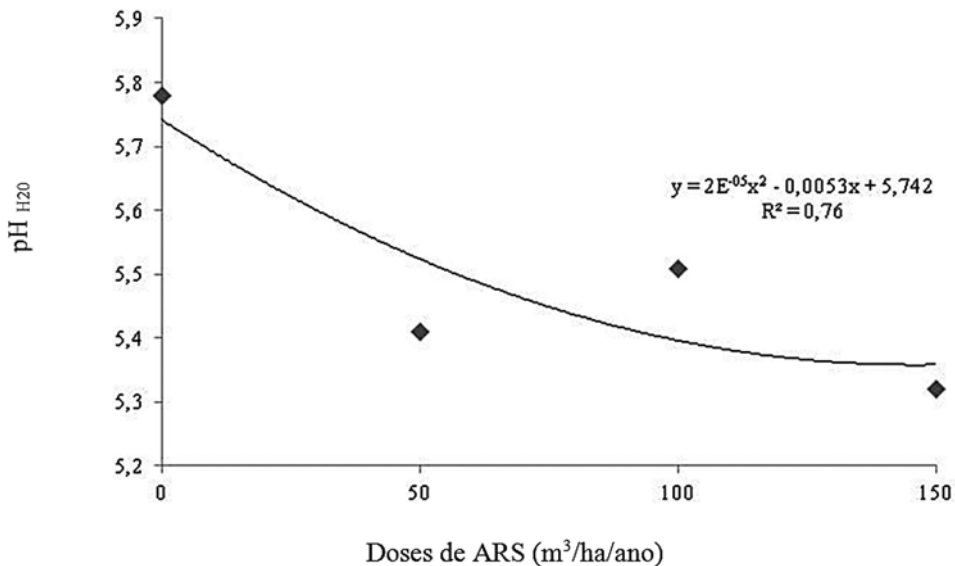
Médias seguidas por (*) são significativas pelo teste F (p<0,05)

Na camada de 0-20 cm, a inclusão de diferentes doses de ARS não afetou o pH do solo ($p > 0,05$), o que também foi observado em outros trabalhos com esse tipo de resíduo (SCHERER et al., 2007).

Já a redução do pH na profundidade de 20-40 cm (Figura 1), pode ser atribuída ($p < 0,05$) às condições naturais do Latossolo que, normalmente, apresentam valores mais ácidos na medida em que se penetra no perfil do solo. Por isso, além deste fenômeno, em solos que recebem águas residuárias podem haver diminuição no valor de pH em virtude da degradação dos resíduos que propicia a produção de CO_2 e ácidos orgânicos (BOUWER, 2000). Resultados semelhantes foram encontrados por Queiroz et al. (2004) que notaram redução do pH nas parcelas de solo que receberam água residuária de suinocultura.

As diferenças de efeito sobre o pH causado por resíduos animais aplicados no solo são atribuídas às variações na sua composição, especialmente, quanto aos teores de carbonato ou outros componentes de reação alcalina (WHALEN et al., 2000). Por outro lado, a magnitude do efeito de resíduos em componentes da acidez do solo, também, depende do poder tampão do solo tratado e da dose aplicada, sendo, geralmente, necessárias doses elevadas e repetidas para serem observadas mudanças significativas (CASSOL et al., 2011).

Figura 1 - Variação do pH do solo em relação aos diferentes tratamentos (Média da profundidade de 20-40 cm)



Os teores de P disponível aumentaram em todos os tratamentos nas diferentes profundidades em relação ao nível de P encontrado na caracterização do solo, porém, não havendo diferença significativa ($p < 0,05$).

Fonseca et al. (2007) afirmam que o aporte de P para o solo, em razão da aplicação via águas residuárias, é baixo; os incrementos de P disponível após a aplicação do efluente são observados nas camadas superficiais e subsuperficiais, mais pronunciadas em experimentos com mais de cinco anos de duração (QUEIROZ et al., 2004; MEDEIROS et al., 2005).

Com isso, segundo a CFSEMG (1999), os valores médios de P disponíveis encontrados em ambas as faixas de profundidades por serem considerados baixos, indica-se a utilização da ARS como fonte de P parcial, necessitando de complementação na forma mineral.

No tratamento com ausência de água residuária ocorreu um aumento significativo no teor de fósforo disponível em relação ao teor encontrado na caracterização do solo. Esse fato ocorreu devido a um aumento no pH do solo neste tratamento, isto porque, em geral, os solos contêm teores elevados de óxidos, e, normalmente, em condição de menor acidez, a superfície desses óxidos está carregada negativamente, atraindo cátions, e repelindo ânions como o fosfato. Em outras palavras, à medida que o pH do solo aumenta, os óxidos ficam com suas superfícies mais negativas, promovendo a repulsão do grupamento fosfato, aumentando a disponibilidade de fósforo para as plantas (NOVAIS et al., 2007).

Houve significativa ($p < 0,05$) redução no P aderido aos óxidos e hidróxidos em ambas as profundidades do solo (P-remanescente), como pode ser observado nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 - Variação do P- rem do solo em relação aos diferentes tratamentos (Média da profundidade de 0-20 cm)

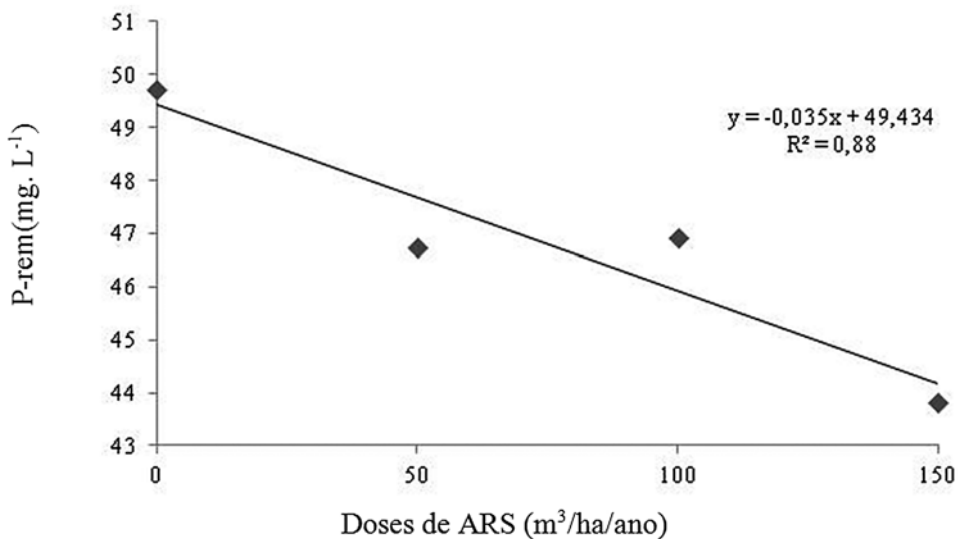
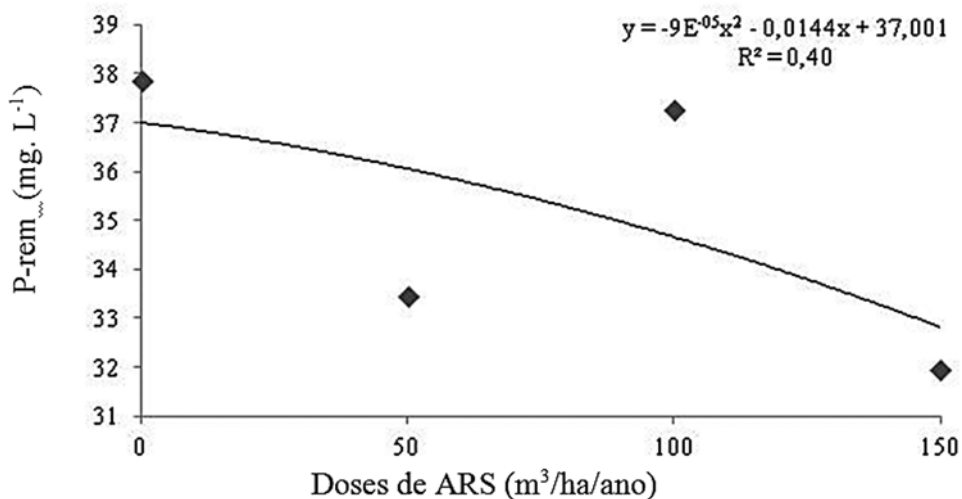


Figura 3 - Variação do P-rem do solo em relação aos diferentes tratamentos (Média da profundidade de 20-40 cm)



Essa redução na quantidade de P aderido aos óxidos e hidróxidos presentes no solo se deve ao fato de que o fósforo contido nas águas residuárias é lentamente disponibilizado com a degradação do material orgânico, tornando-se menos sujeito às reações de adsorção e fixação pelos óxidos de ferro e alumínio presentes no solo. Esse é um aspecto altamente positivo da aplicação de águas residuárias no solo, pois, na maioria das regiões de clima tropical, o fósforo aplicado na forma mineral solúvel pode ser fortemente fixado pelos referidos óxidos e hidróxidos presentes, não permanecendo disponível para as plantas (CONDÉ et al., 2012).

Para os teores de K⁺ trocável na camada superficial (0-20 cm), percebe-se que houve aumento nos tratamentos 50 e 150, demonstrando que a taxa de absorção de K⁺ pela planta nestes tratamentos estava em uma taxa menor que a reposição de K⁺ no solo via ARS. Já no tratamento 100, houve uma redução na sua concentração no solo, pois foi neste tratamento que a forrageira *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk teve sua maior produção (HOMEM et al., 2012b); proporcionando uma maior necessidade deste nutriente pela planta. Assim, o fornecimento de K⁺ ao solo via ARS neste tratamento não estava suprindo de forma suficiente à necessidade da planta.

Esse decréscimo pode ser considerado um indicativo da importância da sua exportação na matéria seca da pastagem, pois é nesta profundidade do solo que se concentra a maior massa de raízes (CERETTA et al., 2003). Na camada inferior, o aumento de K⁺ trocável foi considerável em todos os tratamentos, devido à alta mobilidade desse elemento no perfil do solo. Apesar desses aumentos, não houve diferença significativa entre os tratamentos de nenhuma das profundidades do solo ($p > 0,05$).

Os valores de Ca²⁺ não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$), porém observou-se

incrementos no seu teor advindo da aplicação da ARS, semelhante ao encontrado por Erthal et al. (2010) com utilização de Água Residuária de Bovinos em um Argissolo. Este aumento no teor de Ca^{2+} pode ser explicado pelo aumento do aporte deste nutriente, propiciado pela ARS a partir do quarto ciclo (Tabela 4), sendo superior à absorção promovida pelas forrageiras, em virtude da liberação desse cátion pela mineralização da matéria orgânica retida nestas profundidades. De acordo com a CFSEMG (1999), os valores encontrados são classificados como teores médios no solo.

Para os teores de Mg^{2+} , notou-se um aumento na camada de 20-40 cm, porém na camada de 0-20 cm houve uma redução do teor de Mg^{2+} do solo, ambos não sendo significativos. Desta forma, à absorção promovida pelas forrageiras foi superior ao aporte de Mg^{2+} fornecido ao solo via ARS, evidenciado na camada superficial, pois é o local onde se encontra a maior proporção de raízes das forrageiras. Já Erthal et al. (2010), obtiveram aumento no teor Mg^{2+} nas profundidades de 0-10 e 10-25 cm, com a aplicação de água residuária de bovinos em Argissolo; Cabral et al. (2011), também obtiveram aumento nos teores de Mg^{2+} no solo na camada de 0-20 cm, com a aplicação de ARS em um Latossolo Vermelho distrófico.

Os valores da CTC, SB e V em ambas as profundidades não diferiram estatisticamente ($p>0,05$). Porém, nos valores de CTC e SB encontrados em ambos os tratamentos com aplicação de ARS, ocorreu um aumento em relação aos teores obtidos na caracterização do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Queiroz et al., (2004), utilizando ARS, obtendo aumentos na CTC e SB do solo. Já na V, houve uma redução na camada superficial pela maior utilização desses nutrientes pela forrageira, onde se encontram a maior parte das raízes.

Os teores de Al^{3+} trocável e a Saturação por Alumínio (m), não tiveram diferença significativa na profundidade de 0-20 cm ($p>0,05$). Semelhante a esse resultado, Cassol et al. (2011), não observaram alterações nesses parâmetros nas camadas superficiais do solo com aplicação de diferentes doses de dejetos líquidos de suínos.

Porém, na camada de 20-40 cm houve diferença significativa tanto no Al^{3+} trocável quanto na Saturação por Alumínio, ambas tendendo ao aumento ($P<0,05$) como pode ser observado nas Figuras 4 e 5. A ocorrência de Al^{3+} trocável abaixo de 20 cm de profundidade reflete a acidez do solo existente na sua condição original (ERNANI, 2008). Além da ocorrência desse fenômeno, com a aplicação da ARS, a microbiota do solo promove a degradação dos resíduos, proporcionando a produção de ácidos orgânicos, ocorrendo o aumento no teor de Al^{3+} trocável nessa camada e a diminuição do pH (Figura 1), com aumento da Saturação por Alumínio (Figura 5).

Figura 4 - Variação do Al^{3+} trocável do solo em relação aos diferentes tratamentos (Média da profundidade de 20-40 cm)

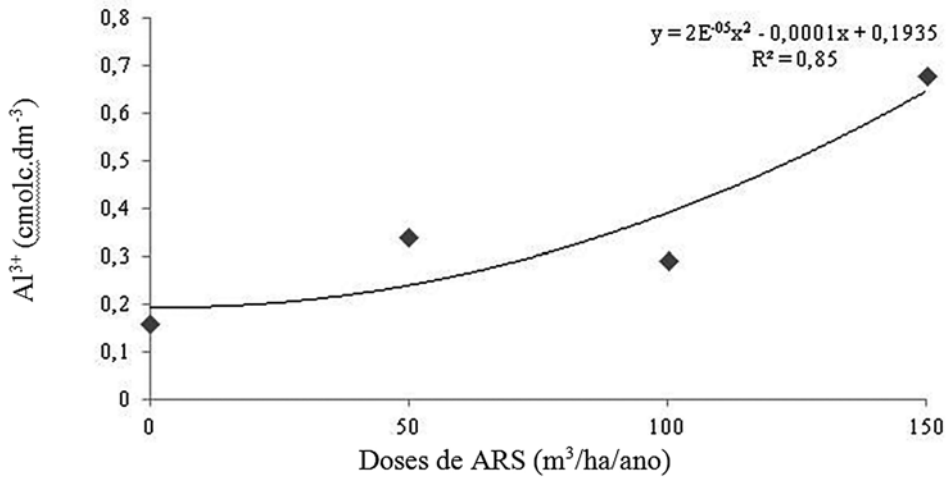
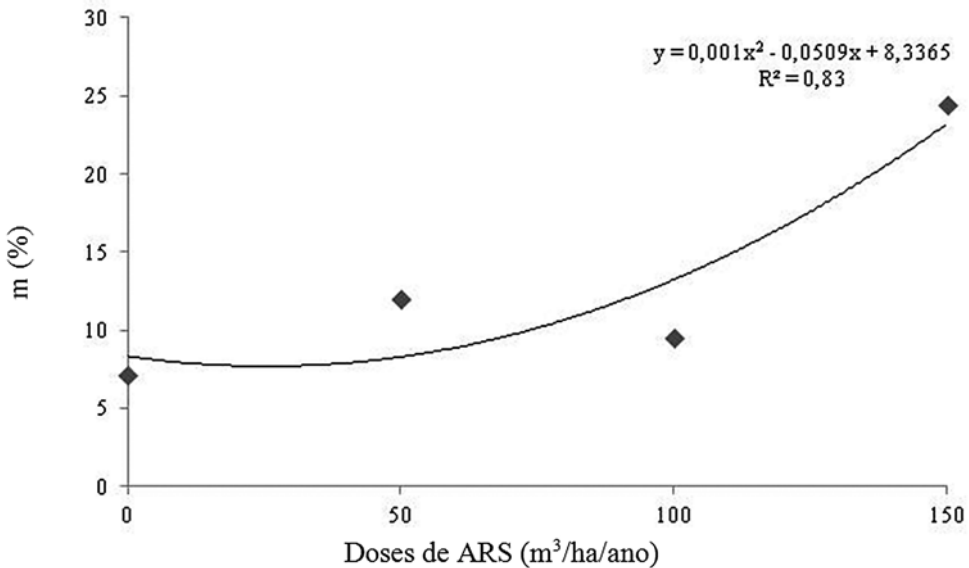


Figura 5 - Variação da m do solo em relação aos diferentes tratamentos (Média da profundidade de 20-40 cm)



Após o período de aplicação da ARS, ocorreu acúmulo de MOS nas duas profundidades, em relação à análise de caracterização do solo, porém sem diferença entre os tratamentos ($p > 0,05$). Aumentos nos teores de MOS devido à aplicação de águas residuárias têm sido observados, sobretudo em estudos de longa duração, como relatado por Ramirez-Fuentes et al. (2002). Porém, a aplicação de adubos orgânicos no solo promove a diminuição da MOS, por acometer o efeito “priming”. Esse efeito consiste em um estímulo,

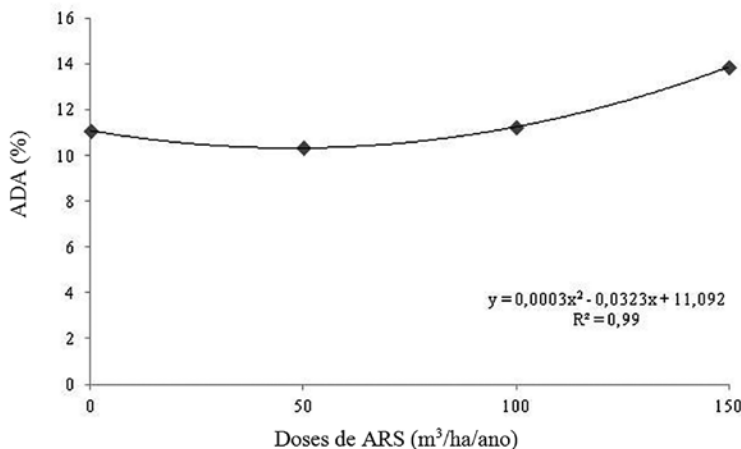
normalmente, positivo, que ocasiona incremento na taxa de decomposição da MOS devido ao crescimento extenso e vigoroso da população microbiana, quando material rico em energia é adicionado ao sistema e, subsequentemente, microrganismos produzem enzimas que atacam a MOS (ERTHAL et al., 2010). A magnitude de diminuição da concentração de MOS depende, principalmente, do tamanho e da atividade da microflora.

As características relacionadas à sodicidade avaliadas foram a concentração de Na^+ , índice de saturação por sódio (ISNa), argila dispersa em água (ADA), índice de dispersão (ID) e índice de floculação (IF).

Na avaliação conjunta do Na^+ e do ISNa, nota-se que a aplicação da ARS não causou influência nos valores dos mesmos ($p>0,05$), visto que o sódio adsorvido se encontra abaixo dos limites prejudiciais, semelhante ao encontrado por Erthal et al. (2010). Em geral, as concentrações de Na^+ e o índice de saturação por sódio (ISNa) são elevadas após a aplicação de águas residuárias, principalmente, nas camadas superficiais, com esses acréscimos em estudos de curta e longa duração (FONSECA et al., 2005).

Porém, mesmo a ARS não tendo proporcionado incrementos nos valores Na^+ e do ISNa, o solo na camada mais profunda teve um aumento significativo ($p<0,05$) da ADA (Figura 6). Dessa forma, como o solo se apresenta com maior textura arenosa na camada superficial e tendendo à argilosa na camada mais profunda, pode ter ocorrido a infiltração da ARS e acúmulo de Na^+ na solução do solo, causando o fenômeno de dispersão de argila. Altas concentrações de Na^+ na solução do solo em comparação com o Ca^{2+} e o Mg^{2+} podem causar deterioração da estrutura do solo pela dispersão dos colóides e, subsequente, entupimento dos macroporos, causando decréscimo na permeabilidade à água e aos gases. Assim, a magnitude dos impactos adversos do sódio sobre as propriedades do solo, é dependente das quantidades e frequências das precipitações ou aplicações, de forma a promover a lixiviação deste cátion (SPEIR et al., 1999).

Figura 6 - Variação da ADA do solo em relação aos diferentes tratamentos (Média da profundidade de 20-40 cm)



Observou-se, também, aumentos nos teores de ADA na camada de 0-20 cm, porém não sendo significativo ($p>0,05$). Erthal et al. (2010), trabalhando com aplicação de água residuária da bovinocultura em um Argissolo, verificaram que os valores de ADA na camada superficial (0 a 10 cm) são maiores e com tendência de aumento com o tempo, devido sobretudo ao efeito acumulativo de sódio e potássio nesta camada, favorecendo à dispersão, e também ao impacto das gotas de água sobre a superfície, causando desagregação das partículas do solo.

De acordo com Almeida Neto et al. (2009), na aplicação de águas residuárias, de diferentes fontes e características bem variadas, em solos agrícolas, têm sido estudados os efeitos sobre as propriedades físicas e químicas do solo. Há relatos que demonstram que as aplicações controladas dessas águas têm trazido benefícios ao solo, mas também há relatos de malefícios que foram causados, como a dispersão da argila do solo, indicando a importância da qualidade da água utilizada no controle da qualidade dos solos.

Para os parâmetros ID e IF, verificou-se aumento e redução, respectivamente ($p<0,05$), na camada de 20-40 cm do solo pelo aumento do teor de ADA nesta camada (Figura 7 e 8).

Figura 7 - Variação do ID do solo em relação aos diferentes tratamentos (Média da profundidade de 20-40 cm)

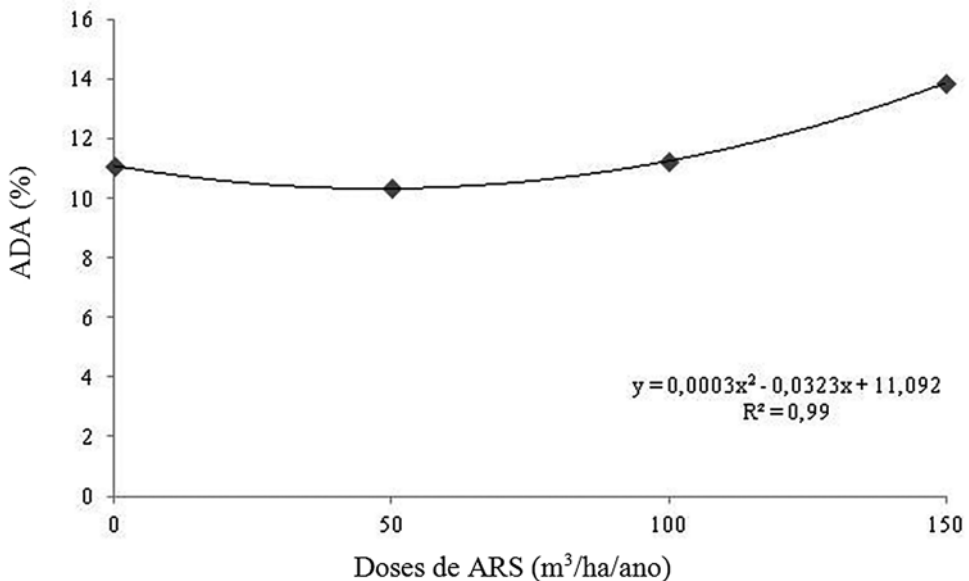
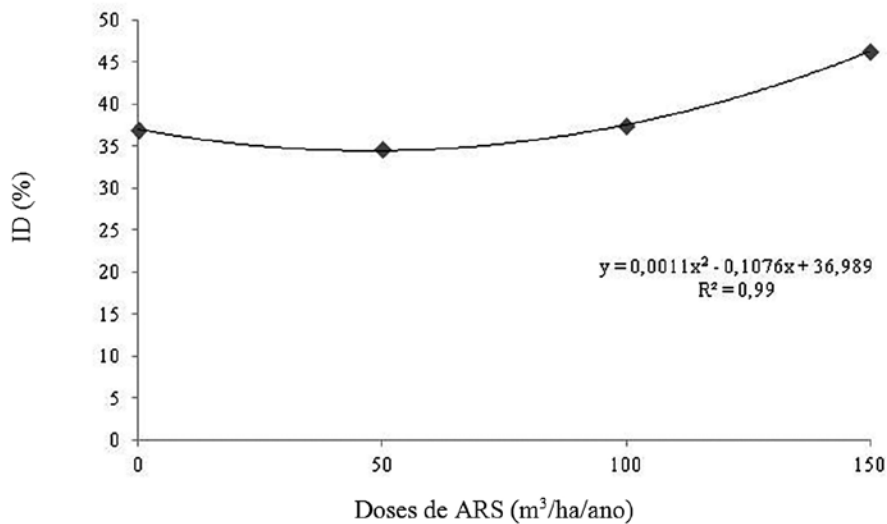


Figura 8 - Variação do IF do solo em relação aos diferentes tratamentos (Média da profundidade de 20-40 cm)



Com o aumento do ID e diminuição do IF, a consequência direta é a redução da infiltração. Com isso, a água de irrigação e da chuva não consegue atravessar a superfície dispersa em taxa suficiente para permitir a renovação da água consumida pelas culturas, originando um déficit hídrico que resultará em perda de produtividade da cultura (HOMEM, et al., 2012a).

Conclusões

- A ARS contribuiu para o aumento da acidez do solo na camada mais profunda;
- Apresentou tendência de aumentar o percentual de ADA na camada mais profunda, indicando que a aplicação de ARS neste solo não deve ser feita de forma permanente e sem acompanhamento técnico, a fim de prevenir riscos de redução da taxa de infiltração do solo.
- Proporcionam ligeiro aumento nos nutrientes do solo, porém não o suficiente para elevar a fertilidade no solo em níveis satisfatórios, para a *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk.
- Houve redução dos teores de fósforo remanescente, aumentando a disponibilidade deste nutriente para a planta.

Agradecimentos

Ao IF Sudeste MG, Campus Rio Pomba, pelo apoio financeiro à pesquisa.

Referências

- ALMEIDA NETO, O.B.; MATOS, A.T.; ABRAHÃO, W.A.P. et al. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1571-1581, 2009.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19.ed. Washington, D.C., 1995. 953p.
- BOSCO; T. C.; IOST; C.; SILVA; L. N. et al. Utilização de água residuária de suinocultura em propriedade agrícola - Estudo de caso. *Irriga*, v.13, p.139-144, 2008.
- BOUWER, H. Groundwater problems caused by irrigation with sewage effluent. *Journal of Environmental Health*, v.63, p.17-20. 2000.
- CABRAL, J.R.; FREITAS, P.S.L.; REZENDE, R. et al. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.15, n.8, p.823-831, 2011.
- CASSOL, P.C.; SILVA, D.C.P.; ERNANI, P.R. et al. Atributos químicos em Latossolo Vermelho fertilizado com dejetos suíno e adubo solúvel. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.10, n.2, p.103-112, 2011.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; VIEIRA, F.C.B.; et al. Dejetos líquidos de suínos: I – perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. *Ciência Rural*, v.35, n.6, p.1296-1304, 2005.
- CFSEMG. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. *Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5ª aproximação. Viçosa, 1999. 359p.
- CONDÉ, M.S.; HOMEM, B.G.C.; ALMEIDA NETO, O. B. et al. Influência da aplicação de águas residuárias de criatórios de animais no solo: atributos químicos e físicos. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v.2, n.1, p.99-106, jul., 2012.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A. et al. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um latossolo em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.1, p.281-284, jan./fev. 2004.
- DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H.A.; FONTES, M.P.F. et al. Dispersão de latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 27, p. 765-772, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.
- ERTHAL, V.J.T.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T. et al. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.5, p.467-477, 2010.
- ERNANI, P. R. *Química de solo e disponibilidade de nutrientes*. Lages: Ed. Autor, 2008. 230p.
- FERREIRA, E. B., CAVALCANTI, P. P., NOGUEIRA, D. A. Experimental Designs: um pacote R para análise de experimentos. *Revista da Estatística da UFOP*, v. 1, n. 1, p. 1-9. 2011.

FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. II. Soil acidity, exchangeable cations, and sulfur, boron and heavy metals availability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.36, p.1983-2003, 2005.

FONSECA, A. F. ; HERPIN, U; PAULA, A. M. et al. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agricola*, v. 64, n.2, p.194-209, 2007.

HOMEM, B.G.C.; ALMEIDA NETO, O.B.; SANTIAGO, A.M.F. et al. Dispersão da argila provocada pela fertirrigação com águas residuárias de criatórios de animais. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, v.2, n.1, p.89-98, jul., 2012a.

HOMEM, B.G.C.; ALMEIDA NETO, O.B.; CONDÉ, M.S. et al. Produção de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk fertirrigada com água residuária de suínos. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA, INOVAÇÃO & TECNOLOGIA – IF Sudeste MG - Campus Rio Pomba, 5., 2012, Rio Pomba. *Anais...* Rio Pomba: IF Sudeste MG, Campus Rio Pomba, 2012b. [CD-ROM]

MATOS, A. T. *Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa-MG*. 1995. 110 p. Tese (Doutorado) – UFV. 1995.

MATOS, A.T. Tratamento de resíduos na pós-colheita do café. In: BORÉM, Flávio Meira (Org.). *Pós-colheita do café*. 1 ed. Lavras-MG: Editora UFLA, 2008. p.159-201.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A. et al. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.603-612, 2005.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. et al. *Fertilidade do solo*. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. *Ciência Rural*, v.34, n.05, p.1487-1492, 2004.

RAMIREZ-FUENTES, E.; LUCHO-CONSTANTINO, C; ESCAMILLA-SILVA, E. et al. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. *Bioresource Technology*, v.85, p.179-187, 2002.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (Silte + Argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n.2, abr./maio 2005.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I.T.; NESI, C.N. et al. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p.123-131, 2007.

SERAFIM, G.B.; GUIMARÃES FILHO, L.P. Estudo sobre o reaproveitamento dos dejetos de suínos na bacia do Rio Sangão - Santa Catarina. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v.5, n. Edição Especial, p. 151-174, out. 2012.

SMITH, D.R.; OWENS, P.R.; LEYTEM, A.B. et al. Nutrient losses from manure and fertilizer applications as impacted by time to first runoff event. *Environmental Pollution*, v.147, p. 131-137, 2007.

SPEIR, T.W.; SCHAIK, A. P. VAN; KETTLES, H. A. et al. Soil and stream-water impacts of sewage effluent irrigation onto steeply sloping land. *Journal of Environmental Quality*, v.28, p.1105-1114, 1999.

VIVAN, M.; KUNZ, A.; STOLBERG, J. et al. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.*, v. 14, n. 3, p. 320-325, 2010.

WHALEN, J.K.; CHANG, C.; CLAYTON, G.W. et al. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.64, p 962-966, 2000.

Artigo recebido em: 31 mar. 2013

Aceito para publicação em: 14 jun. 2013