

Comissão 3.4 - Poluição, remediação do solo e recuperação de áreas degradadas

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO SOB ALGODOEIRO EM ÁREA QUE RECEBEU ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA⁽¹⁾

Salomão de Sousa Medeiros⁽²⁾, Hans Raj Gheyi⁽³⁾, Aldrin Martin Pérez-Marin⁽²⁾, Frederico Antonio Loureiro Soares⁽⁴⁾ & Pedro Dantas Fernandes⁽²⁾

RESUMO

A crescente geração de efluentes líquidos e o seu lançamento no meio ambiente tem-se constituído numa preocupação mundial devido aos impactos negativos gerados. O objetivo deste trabalho foi avaliar os possíveis impactos da aplicação do efluente proveniente da suinocultura, após seu tratamento, nos atributos químicos do solo, em área cultivada com algodão. O experimento foi realizado no Perímetro Irrigado Formoso, no município de Bom Jesus da Lapa, BA, em área experimental da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF. Foram testados cinco tratamentos: MC – manejo convencional = água de “boa qualidade” + adubação química; ET₁₀₀ = 100 % de efluente tratado; ET_{75:25} = 75 % de efluente tratado + 25 % de água boa; ET_{50:50} = 50 % de efluente tratado + 50 % de água boa; ET_{25:75} = 25 % de efluente tratado + 75 % de água boa. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os atributos químicos do solo avaliados foram: pH, condutividade elétrica, teores de N, P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Mn e Cu. Em geral, quanto aos atributos químicos do solo, a adoção do manejo com efluente tratado apresentou resultados semelhantes aos obtidos com o MC, favorecendo a melhoria da fertilidade do solo e constituindo-se em uma fonte alternativa de fertilização de baixo custo. O efluente tratado, independentemente do fator de diluição, também demonstrou ser uma fonte alternativa de água.

Termos de indexação: dinâmica de nutrientes, adubação, semiárido, sustentabilidade.

⁽¹⁾ Received for publication in March 2010 and approved in February 2011.

⁽²⁾ Pesquisador, Instituto Nacional do Semiárido – INSA. Av. Floriano Peixoto 715, Centro, CEP 58400-165 Campina Grande (PB). E-mails: salomao@insa.gov.br; aldrin@insa.gov.br; pdantas@insa.gov.br

⁽³⁾ Professor Visitante Nacional Senior (CAPES), Núcleo de Engenharia de Água e Solo – UFRB. CEP 44380 000 Cruz das Almas (BA). E-mail: hans@pq.cnpq.br

⁽⁴⁾ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. CEP 75906-560 Rio Verde (GO). E-mail: fredalsoares@hotmail.com

SUMMARY: CHEMICAL SOIL PROPERTIES UNDER COTTON USING SWINE WASTEWATER

The negative impacts of the increasing volume of wastewater and of its discharge into the environment have become a worldwide concern. This study assessed the potential impacts of using treated effluent from pig raising for cotton irrigation, to evaluate their effects on soil chemical properties, and compare the results with those under conventional management. The experiment was conducted in an experimental area of the Company for the Development of the San Francisco and Parnaíba valleys "Perímetro Irrigado Formoso", in Bom Jesus da Lapa, State of Bahia. Five treatments were analyzed: MC - conventional management = irrigation with good water quality + chemical fertilizers; ET₁₀₀ = irrigation with 100 % treated effluent; ET_{75:25} = 75 % treated effluent plus 25 % good-quality water; ET_{50:50} = 50 % treated effluent plus 50 % good-quality water; and ET_{25:75} = 25 % treated effluent plus 75 % good-quality water. The experiment was arranged in a randomized block design with four replications. The soil chemical properties studied were pH, electrical conductivity, and content of N, P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Mn, and Cu. In general, the effect of wastewater management on soil chemical properties was similar to MC, favoring the improvement of soil fertility, indicating swine wastewater as an alternative source of low-cost fertilizer. Treated effluent, regardless of the dilution factor, also proved to be an alternative water source.

Index terms: nutrient dynamics, fertilization, semi-arid, sustainability.

INTRODUÇÃO

O plantel suinícola brasileiro distribui-se em todas as regiões do País, encontrando-se na região Sul o maior plantel (43 %), seguida das regiões Nordeste (22 %), Sudeste (18 %), Centro-Oeste (10 %) e Norte (7 %) (Pereira, 2006). Trata-se de uma atividade predominante de pequenas propriedades rurais e importante do ponto de vista social, econômico e, especialmente, como instrumento de fixação do homem no campo.

Entre os resíduos gerados nessa atividade estão os dejetos suínos, constituídos de fezes, urina, água proveniente dos bebedouros e higienização, resíduos de ração, pelos e outros materiais decorrentes do manejo adotado (Konzen, 1983). Segundo Pereira (2006), os dejetos de suínos podem apresentar as seguintes características gerais: sólidos totais, 22,4 g L⁻¹; N total, 2,4 g L⁻¹; P total, 0,56 g L⁻¹; K total, 0,54 mg L⁻¹; e demanda química de oxigênio (DQO), 25,5 g L⁻¹. Por suas características, os dejetos vêm sendo utilizados como fonte de nutrientes via irrigação para culturas alimentares e agroindustriais, em razão das altas concentrações de nutrientes disponíveis, principalmente N, P e K (Sherer et al., 2010).

Os solos da região semiárida nordestina do Brasil são deficientes nesses nutrientes, sobretudo N e P (Tiessen et al., 1992; Menezes et al., 2000); por outro lado, o emprego de fertilizantes químicos é muito reduzido nessa região, devido ao elevado custo e ao risco proporcionado pela irregularidade das chuvas (Perez-Marin et al., 2006). Assim, o uso de esterco bovino tem-se tornado uma prática amplamente adotada para o suprimento de nutrientes, em especial N e P, em áreas de agricultura familiar (Silva et al., 2007). Contudo, essa fonte não é disponível em

quantidade suficiente nas propriedades rurais para suprir a demanda das culturas agrícolas (Garrido et al., 2008); assim, como alternativa, tem sido proposta nos últimos anos a prática da adubação via irrigação com água residuária de dejetos de suínos.

A capacidade poluente dos dejetos de suínos, em termos comparativos, é muito superior à de outras espécies, o que transforma sua utilização como fertilizante em fator de risco para a saúde humana e animal, em razão da falta de técnicas quanto a um manejo adequado. Utilizando-se o conceito de equivalente populacional, um suíno polui, em média, o equivalente a 3,5 pessoas (Diesel et al., 2002). Além disso, o lançamento de efluentes líquidos, tratados ou não, sobre o solo e nos corpos hídricos provoca alterações em suas características físicas, químicas e biológicas. Essas alterações poderão ser, ou não, comprometedoras, dependendo do uso que se fará dessa água e da qualidade e, ou, quantidade da carga poluente lançada.

Na região semiárida são praticamente inexistentes informações quanto aos potenciais impactos do uso de água residuária de dejetos de suínos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos sob manejo agrícola. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar os prováveis impactos da aplicação do efluente proveniente da suinocultura, após seu tratamento, nos atributos químicos do solo, em área cultivada com algodão.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Perímetro Irrigado Formoso, no município de Bom Jesus da Lapa, Bahia, em área experimental da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba –

CODEVASF (Projeto Amanhã), localizado nas coordenadas de 13°15' de latitude sul e 43°32' de longitude oeste e altitude média de 439 m. De acordo com Köppen, o clima da região é classificado como *BSh*, denominado semiárido seco e quente; a temperatura média anual é de 25 °C, sendo a média dos meses mais quentes de 27 °C e a dos meses mais frios de 22 °C; a precipitação pluvial média anual é de 800 mm, sendo novembro, dezembro e janeiro os meses mais chuvosos; a evapotranspiração potencial média da região é de aproximadamente 1.650 mm; e a vegetação dominante é do tipo caatinga hipoxerófila (Amaral et al., 2006). A evapotranspiração de referência e o volume precipitado foram mensurados durante o período da realização do experimento (Figura 1).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo – LVA (Quadro 1).

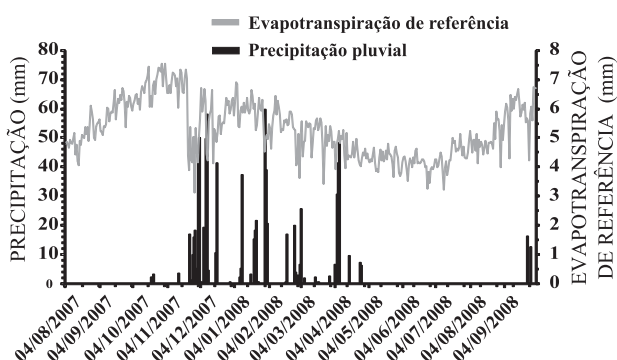


Figura 1. Evapotranspiração de referência e precipitação pluvial durante o período de realização do experimento.

Quadro 1. Atributos físico-hídricos do solo da área experimental

Profundidade	ADA	AG	AF	S	A	Cc	Pm
m	%	g kg ⁻¹			kg kg ⁻¹		
0,00–0,20	25,00	34	31	8	27	0,153	0,080
0,20–0,40	28,00	33	29	8	30	0,142	0,081
0,40–0,60	28,00	31	30	9	30	0,149	0,079
0,60–0,80	29,00	28	31	9	32	0,148	0,076
0,80–1,00	30,00	27	32	9	32	0,149	0,077

ADA: argila dispersa em água; AG: área grossa; AF: área fina; S: silte, A: argila; Cc: capacidade de campo (determinada a -10 kPa); Pm: ponto de murcha (determinado a -1.500 kPa).

Quadro 2. Composição química da água de “boa qualidade” utilizada no experimento

pH H ₂ O	CEa	P	K	N	Na	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	RAS
	dS m ⁻¹	mg L ⁻¹										(mmol L ⁻¹) ^{0,5}
6,77	0,08	0,78	2,73	2,8	1,84	14,4	1,92	0,01	0,01	0,07	0,12	6,77

CEa: condutividade elétrica da água; RAS: razão de adsorção de Na.

Implantou-se um experimento de campo no delineamento experimental em blocos ao acaso, com cinco tratamentos (MC – manejo convencional = água de “boa qualidade” + adubação química; ET₁₀₀ = 100 % de efluente tratado; ET_{75:25} = 75 % de efluente tratado + 25 % água boa; ET_{50:50} = 50 % de efluente tratado + 50 % de água boa; e ET_{25:75} = 25 % de efluente tratado + 75 % de água boa) e quatro repetições, cultivando-se o algodão. A fonte de água boa era proveniente do rio Corrente, afluente da margem esquerda do rio São Francisco (Quadro 2).

As diluições dos tratamentos foram realizadas a cada evento de irrigação, em tanques com capacidade de 1.000 L, e sua posterior aplicação foi via sistema de irrigação por gotejamento.

As parcelas experimentais tiveram dimensões de 5,0 x 3,0 m, e nelas foi semeado algodão, cultivar BRS Camaçari, no espaçamento de 1,00 m entre fileiras e 0,125 m entre plantas (correspondendo a 80.000 plantas ha⁻¹), com duas a três sementes por cova. Após a emergência das plântulas realizou-se o desbaste, mantendo-se uma planta por cova. O trabalho foi desenvolvido durante dois ciclos de cultivos consecutivos, sendo o primeiro ciclo de cultivo no período de 04/08/2007 a 25/12/2007 e o segundo de 19/04/2008 a 1º/10/2008. Durante o primeiro ciclo de cultivo foi aplicada uma lâmina média de irrigação diária de 10 mm em todos os tratamentos, enquanto no segundo ela foi reduzida para 5,55 mm dia⁻¹.

No tratamento com MC, a adubação química foi realizada com base na análise do solo, seguindo-se a recomendação da Comissão de Fertilidade de Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG (Pedroso Neto et al., 1999): na adubação de fundação foram aplicados, em ambos os ciclos de cultivo, 20 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O na linha de plantio e, na adubação de cobertura, 20 kg ha⁻¹ de N e 10 kg ha⁻¹ de K₂O, aos 30 e 60 dias após a emergência, aproximadamente a 0,05 m de distância da linha de plantio. As fontes de N, P e K utilizadas foram ureia, superfosfato simples e cloreto de K, respectivamente.

Para estimar os aportes de nutrientes às plantas via efluente, a cada evento de irrigação foi coletada uma alíquota de 50 mL no ponto de aplicação (gotejador), correspondente aos tratamentos ET₁₀₀, ET_{75:25}, ET_{50:50} e ET_{25:75}. As alíquotas eram armazenadas em freezer e, no final de cada mês, preparava-se uma amostra composta, determinando-se o pH; a condutividade elétrica do efluente (CEe) e

as concentrações de P, K, N, Na, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe e Mn, conforme método proposto pela APHA (1998). Calculando-se o produto da concentração de nutriente (Quadro 3) pela lâmina aplicada em cada período, foram obtidos os aportes de nutrientes para as parcelas experimentais (Quadro 4).

Para avaliar os potenciais impactos dos tratamentos sobre os atributos químicos do solo, foram coletadas amostras de solo antes do início do primeiro ciclo de cultivo e ao final do segundo. Considerando a área experimental homogênea na amostragem antes do primeiro ciclo, foram coletadas dez amostras

Quadro 3. Composição química do efluente tratado e as diversas proporções de diluições durante o primeiro e segundo ciclos de cultivo

Atributo	100 % do ET		75 % ET + 25 % AB		50 % ET + 50 % AB		25 % ET + 75 % AB	
	1º Ciclo	2º Ciclo	1º Ciclo	2º Ciclo	1º Ciclo	2º Ciclo	1º Ciclo	2º Ciclo
pH	6,70 ± 0,19	6,89 ± 0,25	6,29 ± 0,83	6,88 ± 0,25	6,20 ± 0,80	6,86 ± 0,09	6,40 ± 0,45	6,76 ± 0,40
CEa (dS m ⁻¹)	1,34 ± 1,44	1,01 ± 0,28	0,73 ± 0,54	0,61 ± 0,26	0,65 ± 0,52	0,67 ± 0,22	0,49 ± 0,54	0,32 ± 0,13
P tot (mg L ⁻¹)	13,59 ± 12,74	21,90 ± 15,73	13,31 ± 14,80	16,89 ± 7,22	9,15 ± 9,08	12,10 ± 2,98	7,75 ± 8,83	4,76 ± 2,37
K (mg L ⁻¹)	42,90 ± 31,18	86,78 ± 31,23	32,57 ± 29,72	52,24 ± 28,56	30,13 ± 30,39	46,87 ± 25,33	22,62 ± 30,19	17,55 ± 7,49
N tot (mg L ⁻¹)	82,88 ± 76,27	115,36 ± 46,68	30,66 ± 12,83	66,20 ± 29,86	28,00 ± 10,74	61,82 ± 29,39	26,74 ± 17,36	22,42 ± 11,13
Na (mg L ⁻¹)	205,33 ± 282,09	13,94 ± 3,40	66,53 ± 44,46	9,62 ± 3,11	57,73 ± 44,42	9,67 ± 2,02	36,74 ± 42,70	4,80 ± 1,67
Ca (mg L ⁻¹)	16,40 ± 6,11	14,55 ± 7,11	45,10 ± 59,68	9,95 ± 0,78	44,00 ± 56,31	8,35 ± 0,96	39,20 ± 47,90	10,05 ± 2,14
Mg (mg L ⁻¹)	25,77 ± 9,99	9,48 ± 1,81	28,38 ± 24,62	13,74 ± 2,75	25,20 ± 20,68	10,62 ± 2,26	25,08 ± 31,86	9,75 ± 1,71
Zn (mg L ⁻¹)	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,03 ± 0,02	0,02 ± 0,00	0,05 ± 0,05	0,02 ± 0,00	0,03 ± 0,02	0,01 ± 0,00
Cu (mg L ⁻¹)	0,01 ± 0,00	0,04 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,01 ± 0,01
Mn (mg L ⁻¹)	0,13 ± 0,03	0,10 ± 0,01	0,11 ± 0,03	0,09 ± 0,02	0,09 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,07 ± 0,04	0,07 ± 0,00
RAS (mmol L ⁻¹) ^{0,5}	6,39 ± 7,97	0,70 ± 0,16	2,04 ± 1,16	0,46 ± 0,14	1,72 ± 0,86	0,53 ± 0,13	1,02 ± 0,61	0,26 ± 0,10

O número de amostras compostas durante o primeiro e segundo ciclos de cultivo foram 4 e 5, respectivamente. Intervalo de confiança calculado com nível de confiança de 95% de probabilidade. ET: efluente tratado; AB: "água boa".

Quadro 4. Lâminas totais de irrigação e quantidades de nutrientes aplicados ao solo por meio do manejo convencional e efluentes tratados do resíduo suíno em suas diferentes proporções de diluição com água de boa qualidade

Tratamento	Lâmina	Quantidade de Nutriente								
		P	K	N	Na	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn
	mm	kg ha ⁻¹								
		1º ciclo de cultivo								
MC ⁽¹⁾	1.254	53	84	95	23	181	24	0,10	0,10	1,50
ET ₁₀₀	1.254	105	394	638	1.071	175	274	0,39	0,15	1,47
ET _{75:25}	1.254	89	256	341	642	248	225	0,39	0,17	1,42
ET _{50:50}	1.254	68	218	308	505	253	208	0,84	0,20	1,24
ET _{25:75}	1.254	50	114	224	216	223	133	0,46	0,18	1,03
		2º ciclo de cultivo								
MC ¹	910	51	75	85	17	131	17	0,09	0,09	1,09
ET ₁₀₀	910	221	844	1.116	134	157	81	0,25	0,29	0,87
ET _{75:25}	910	153	504	648	93	90	124	0,15	0,21	0,86
ET _{50:50}	910	108	445	580	91	78	88	0,13	0,19	0,88
ET _{25:75}	910	38	153	201	43	99	85	0,10	0,08	0,66
		Total								
MC ¹	2.164	104	159	181	40	312	42	0,22	0,22	2,60
ET ₁₀₀	2.164	326	1.239	1.755	1.205	331	355	0,64	0,44	2,34
ET _{75:25}	2.164	242	760	988	735	338	349	0,54	0,38	2,28
ET _{50:50}	2.164	176	663	888	596	331	295	0,97	0,39	2,12
ET _{25:75}	2.164	88	267	425	259	322	218	0,56	0,26	1,69

⁽¹⁾ Valores provenientes da contribuição da adubação química e da aplicação da água de irrigação. MC: manejo convencional = água de "boa qualidade" + adubação química; ET₁₀₀ = 100 % de efluente tratado; ET_{75:25} = 75 % de efluente tratado + 25 % de água boa; ET_{50:50} = 50 % de efluente tratado + 50 % de água boa; ET_{25:75} = 25 % de efluente tratado + 75 % de água boa.

simples em toda a área, para formar uma composta em cada faixa de profundidade (0–0,20; 0,20–0,40; 0,40–0,60; 0,60–0,80; e 0,80–1,00 m). As amostras foram analisadas no Laboratório de Análises de Fertilidade de Solo da Universidade Federal de Viçosa, onde se determinaram o pH em água (1:2,5); P e K (extração com Mehlich-1, dosagem de P por colorimetria e K por fotometria de chama); Ca e Mg trocáveis (extração com KCl a 1 mol L⁻¹ e dosagem por espectrofotometria de absorção atômica); Na (extração com KCl a 1 mol L⁻¹ e dosagem por fotometria de chama); carbono orgânico total – CO (determinado pelo método de Walkley-Black); N total (método Kjeldahl); Zn, Fe, Mn e Cu (extração com HCl a 0,1 mol L⁻¹ e dosagem por espectrofotometria de absorção atômica); e condutividade elétrica, determinada no extrato da pasta saturada do solo (CEs), conforme método proposto por Embrapa (1997).

No final do segundo ciclo de cultivo, as amostragens de solo foram feitas em cada parcela experimental, paralelamente à linha de plantio, nos dois lados, a uma distância de aproximadamente 0,10 m da fileira de plantas, totalizando quatro amostras simples, para formar uma composta por faixa de profundidade.

Nas análises estatísticas utilizou-se o software SISVAR (Ferreira, 2003), e a interpretação dos resultados deu-se por meio de análise de variância (teste F), em nível máximo de significância de 5 %, determinando-se a influência dos tratamentos nos atributos químico do solo em cada faixa de profundidade. Constatados efeitos significativos de tratamento, realizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação das médias.

RESSULTADOS E DISCUSSÃO

Composição química do efluente tratado

As concentrações dos elementos nos efluentes em cada tratamento foram bastante variáveis (Quadro 3), em especial as de Na, N, P e K. No tratamento sem diluição (ET₁₀₀) observaram-se diferenças nas concentrações dos elementos durante o primeiro ciclo de cultivo (Na > N > K > Mg > Ca > P > Mn > Zn > Cu) em relação ao segundo (N > K > P > Ca > Na > Mg > Mn > Cu > Zn).

Do ponto de vista da adequabilidade das águas para uso na irrigação, destaca-se que o efluente tratado sem diluição mostrou restrição de uso moderado quanto aos problemas relacionados à salinidade, por apresentar CEa > 0,7 dS m⁻¹.

No que se refere à toxicidade de íons específicos, caso do Na⁺, o efluente tratado sem diluição apresentou restrição de uso somente no primeiro ciclo de cultivo, em razão de apresentar concentrações maiores que 69 mg L⁻¹. Já quanto à influência do efluente tratado sem diluição em ocasionar problemas de infiltração no solo, constatou-se restrição de uso ligeira a

moderada no primeiro ciclo e nenhuma restrição de uso no segundo.

Aporte de nutrientes ao solo

No quadro 4 encontram-se as lâminas totais de irrigação aplicadas e os aportes de nutrientes ao solo, em função dos tratamentos durante o primeiro e segundo ciclos de cultivo. Os resultados demonstram que nos dois ciclos de cultivo a adoção do ET₁₀₀, ET_{75:25} e ET_{50:50}, aportou ao solo quantidades de N, P e K superiores às obtidas por meio do manejo convencional, com destaque para o N e o K. Quanto aos aportes de macronutrientes, as parcelas que receberam aplicação do efluente tratado na sua forma mais diluída (ET_{25:75}) só não suplantaram a quantidade de P, apresentando déficits de 6 e 25 % ao final do primeiro e segundo ciclos, respectivamente, quando comparados aos aportes realizados pelo manejo convencional.

No entanto, constatou-se que as quantidades de Na adicionadas ao solo (Quadro 2) por meio do efluente tratado variaram, no fim do primeiro ciclo de cultivo, de 216 (ET_{25:75}) a 1.071 kg ha⁻¹ (ET₁₀₀); contudo, durante o segundo ciclo houve redução significativa na quantidade de Na adicionada ao solo mesmo no ET₁₀₀. Os possíveis fatores que possibilitaram essa redução foram mudanças na dieta alimentar dos animais e alteração no processo de limpeza das baias, que se tornaram diárias; apesar disso, aplicações elevadas de Na, como as supracitadas, poderão constituir fator limitante para o uso da água residuária da suinocultura na agricultura, em razão de haver possibilidades de acúmulo desse elemento ao longo do tempo.

Ressalta-se, também, terem sido aplicadas quantidades expressivas de Mg e Ca no solo quando se utilizou o efluente tratado, independentemente das proporções de diluição.

Impacto nos atributos químicos do solo

Observa-se que, dos 13 atributos químicos monitorados no final do experimento, apenas quatro (CEs, K, Mg e Na) apresentaram efeitos significativos quanto aos tratamentos aplicados, seja em uma ou em mais faixas de profundidade (Quadro 5).

Carbono orgânico (CO) e Nitrogênio total (N)

Os teores de CO (Quadro 5) na profundidade de 0–0,20 m foram considerados médios e, nas demais profundidades, baixos (Alvarez V. et al., 1999). Em média, os teores de CO na primeira camada, devido às adoções dos ET₁₀₀ e MC, mostraram incrementos da ordem de 7 e 5 %, respectivamente, em relação aos seus valores iniciais; entretanto, os teores de CO apresentaram a seguinte ordem: ET_{75:50} > ET₁₀₀ > ET_{50:50} > MC > ET_{25:75}.

Os teores de N no solo apresentaram comportamento semelhante ao observado com o CO; contudo, os acréscimos em seus teores foram mais pronunciados

(Quadro 5), estreitando a relação C:N nas três primeiras faixas de profundidade analisadas, comparativamente à condição inicial. Galvão et al. (2008), avaliando a aplicação de esterco bovino em áreas do semiárido brasileiro, também observaram resultados semelhantes.

Quadro 5. Análise de variância e testes de média para os atributos químicos do solo após aplicação dos tratamentos (manejo convencional e aplicação do efluente do tratamento do resíduo suíno em suas diferentes proporções de diluição com água de “boa qualidade”)

FV	pH _{H₂O}	CEes	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	N	CO	Zn	Fe	Mn	Cu
		μS cm ⁻¹	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³			— dag kg ⁻¹ —		mg dm ⁻³				
Profundidade (0,0–0,20 m)													
Tratamento	ns	ns	ns	*	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	3,63	46,49	49,42	35,02	13,33	19,47	27,37	29,67	29,63	50,63	40,34	45,39	21,36
Condição inicial	6,23	190,00	12,60	0,63	8,11	1,18	0,00	0,06	1,25	2,30	4,10	35,30	0,24
MC	7,12	108,72	3,43	0,22 b	7,25	1,90 b	0,04 c	0,13	1,31	1,54	10,85	61,94	0,79
ET100	7,07	223,21	3,96	0,59 a	6,19	3,10 a	0,14 a	0,13	1,34	0,95	11,63	61,31	0,85
ET75:25	7,05	213,96	4,29	0,47 ab	7,06	1,98 b	0,10 ab	0,14	1,35	1,23	9,35	72,99	0,81
ET50:50	6,92	137,58	3,67	0,40 ab	7,22	1,58 b	0,09 bc	0,13	1,32	1,16	12,80	75,60	0,83
ET25:75	7,31	110,28	3,15	0,46 ab	6,62	2,19 ab	0,06 bc	0,13	1,27	1,06	8,95	51,09	0,86
Profundidade (0,20–0,40 m)													
Tratamento	ns	**	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
CV (%)	3,57	25,07	65,01	34,44	14,59	26,58	31,78	29,20	29,22	21,73	59,08	29,20	15,70
Condição inicial	6,53	100	2,20	0,27	7,29	0,56	0,00	0,03	0,39	0,71	3,20	17,30	0,45
MC	7,20	62,19 b	2,66	0,31	6,34	2,11	0,03 c	0,11	1,08	1,13	12,43	67,13	0,84
ET100	7,28	190,32 a	3,25	0,42	5,93	2,48	0,14 a	0,09	0,95	0,96	14,00	49,71	0,79
ET75:25	7,25	102,90 b	2,11	0,31	5,78	1,85	0,09 ab	0,08	0,81	0,73	21,95	41,46	0,91
ET50:50	7,16	74,24 b	1,46	0,30	5,75	2,02	0,09 ab	0,09	0,93	0,97	26,98	47,33	0,81
ET25:75	7,36	68,68 b	1,65	0,36	6,17	1,68	0,05 bc	0,08	0,81	0,96	10,45	46,29	0,84
Profundidade (0,40–0,60 m)													
Tratamento	ns	**	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	3,54	33,73	118,39	43,78	19,56	15,93	50,76	37,94	38,05	95,12	28,76	44,54	18,42
Condição inicial	6,83	68,00	1,10	0,15	7,44	0,42	0,01	0,02	0,23	0,60	4,60	20,80	0,55
MC	7,46	49,63 b	2,99	0,32	6,48	1,46	0,03 b	0,10	1,01	0,85	12,88	42,18	0,96
ET100	7,37	121,17 a	1,32	0,35	5,03	2,03	0,10 a	0,05	0,52	0,88	13,45	50,00	0,89
ET75:25	7,58	82,51 ab	0,57	0,27	5,95	1,77	0,06 ab	0,08	0,75	1,01	11,55	63,94	0,77
ET50:50	7,39	60,19	0,34	0,22	5,30	1,81	0,10 ab	0,07	0,71	0,92	13,60	54,90	1,04
ET25:75	7,55	80,41 ab	0,80	0,29	5,72	2,00	0,04 ab	0,08	0,83	2,08	11,50	47,75	0,85
Profundidade (0,60–0,80 m)													
Tratamento	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2,92	47,95	167,64	51,64	19,24	23,96	67,36	58,56	58,62	52,68	67,33	45,02	18,11
Condição inicial	6,95	45,00	0,70	0,02	7,56	0,43	0,00	0,03	0,08	0,44	4,30	11,80	0,57
MC	7,57	62,59	1,41	0,25	6,16	2,16	0,02 b	0,07	0,73	0,71	13,20	39,17	0,87
ET100	7,61	67,97	0,23	0,14	5,84	1,39	0,13 a	0,05	0,55	0,78	12,38	53,89	0,93
ET75:25	7,64	52,68	0,14	0,11	5,92	1,33	0,05 ab	0,05	0,45	1,25	11,25	56,12	0,84
ET50:50	7,67	43,83	0,14	0,13	5,37	1,77	0,10 ab	0,05	0,51	1,43	23,48	66,37	0,78
ET25:75	7,69	53,47	2,25	0,18	5,90	1,90	0,03 b	0,08	0,81	1,17	12,60	61,54	0,86
Profundidade (0,80–1,00 m)													
Tratamento	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	3,76	37,59	190,95	61,83	21,51	19,37	55,59	58,24	58,09	49,46	23,02	52,77	130,61
Condição inicial	6,88	74,00	0,70	0,02	7,55	0,36	0,00	0,02	0,08	0,44	2,90	9,40	0,56
MC	7,72	64,62	1,47	0,13	6,58	1,42 b	0,02 b	0,07	0,66	0,66	14,53	36,99	1,03
ET100	7,57	55,83	0,20	0,09	5,57	1,50 ab	0,12 a	0,03	0,32	1,12	12,63	68,87	0,82
ET75:25	7,76	45,61	0,13	0,05	5,63	1,55 ab	0,05 ab	0,06	0,57	0,82	14,73	45,03	0,93
ET50:50	7,61	68,47	0,11	0,09	5,53	1,53 ab	0,09 ab	0,06	0,56	1,37	12,25	76,29	2,64
ET25:75	7,60	42,63	0,81	0,11	5,48	2,13 a	0,02 b	0,06	0,58	1,19	9,58	56,40	0,85

(*) significativo a 5 % e (**) a 1 %; (ns) não significativo; médias seguidas de letras diferentes na vertical diferem entre si a 5 % pelo teste de Tukey. MC: manejo convencional = água de “boa qualidade” + adubação química; ET₁₀₀ = 100 % de efluente tratado; ET_{75:25} = 75 % de efluente tratado + 25 % de água boa; ET_{50:50} = 50 % de efluente tratado + 50 % de água boa; ET_{25:75} = 25 % de efluente tratado + 75 % de água boa; CEes: condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo; N–N total; CO: carbono orgânico.

Analisando o teor de N no perfil do solo nas áreas que receberam efluente tratado, notou-se que, apesar das grandes quantidades aportadas no fim do experimento (mínimo de 425 e máximo de 1.755 kg ha⁻¹ de N), em relação ao MC, não se identificaram indícios de lixiviação. As principais hipóteses para esse comportamento foram: o predomínio do N no efluente na forma amoniacal (NH₄⁺) e a forma de parcelamento, que foi diário, cujas taxas variaram de 1,38 a 5,70 kg ha⁻¹ dia, o que, provavelmente, ocasionou maior eficiência de uso por parte da cultura explorada (algodoeiro) e, conseqüentemente, redução das perdas por lixiviação.

Medeiros et al. (2005a), investigando as alterações químicas do solo em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica e contrastando os resultados com os obtidos no manejo convencional, também não verificaram diferença significativa no incremento do teor de N no solo, pressupondo que, se a aplicação do ET não incrementar o teor de N no solo, também não provocará sua redução em relação ao MC. Resultados semelhantes foram obtidos também por Yadav et al. (2002).

Bases trocáveis (K, Mg, Na e Ca)

A aplicação diária do efluente tratado sem diluição (ET₁₀₀) na camada superficial (0–0,20 m) resultou em teores de K significativamente superiores aos daqueles que receberam o MC; porém notou-se redução de 7 % em relação à condição inicial; ainda assim, seus teores foram consideradas altos (Alvarez V. et al., 1999). Observou-se, também, que a aplicação do ET_{75:25}, ET_{50:50} e ET_{25:75} não diferiu significativamente entre si, nem em relação ao ET₁₀₀ e ao MC. Nas demais profundidades, embora os teores de K não tenham atingido significâncias estatísticas, observou-se aumento em comparação com os valores iniciais.

De acordo com os teores de K no perfil do solo (Quadro 5), nas áreas que receberam aplicação de efluente tratado (ET₁₀₀, ET_{75:25}, ET_{50:50} e ET_{25:75}), apesar das grandes quantidades aportadas (variando de 267 a 1.239 kg ha⁻¹) quando comparadas às do MC (159 kg ha⁻¹), não se identificaram indícios de lixiviação, visto que seus teores decresceram com o aumento da profundidade.

Observou-se, de maneira geral, que os estoques de Mg no solo foram superiores aos detectados no início do experimento (Quadro 5), em resposta à adoção dos tratamentos, sendo esses teores classificados como altos (Alvarez V. et al., 1999). Comprovou-se, também, que a aplicação do ET₁₀₀ na profundidade de 0–0,20 m apresentou estoques de Mg significativamente superiores àqueles que receberam o MC, enquanto na camada de 0,80–1,00 m não se notaram diferenças significativas entre si.

Analisando o comportamento de Mg em profundidade nas parcelas experimentais, não se observaram indícios de lixiviação.

Os teores de Na aumentaram em todas as camadas monitoradas, em todos os tratamentos (Quadro 5), porém os maiores teores foram verificados nas áreas que receberam aplicação do efluente tratado, independentemente do fator de diluição. A aplicação do ET₁₀₀ apresentou, em todas as profundidades monitoradas, teores significativamente superiores às do MC. Vários autores (Medeiros et al., 2005a; Herpin et al., 2007; Leal et al., 2009) também constataram aumento nos teores de Na no solo quando utilizaram efluente tratado de origem doméstica; segundo esses autores, a causa do acúmulo se deve ao fato de o teor desse elemento no efluente ser elevado.

Apesar do incremento de Na no complexo sortivo do solo, em especial nas áreas que receberam aplicação do efluente tratado, em média, as porcentagens de Na trocável (PST) no perfil do solo oscilaram de 0,5 a 1,5 %, valores estes bem abaixo (PST < 7 %) para a ocorrência de problemas de sodificação no solo e da faixa de tolerância (2–10 %) para as culturas mais sensíveis (Ayers & Westcot, 1999).

Quanto aos teores de Ca no perfil do solo, observa-se redução em seus valores, em comparação com os detectados no início do experimento (Quadro 5), em face dos tratamentos adotados; mesmo assim, os teores de Ca foram classificados como altos (Alvarez V. et al., 1999), mas sem registro de diferenças significativas entre si. As reduções nos teores de Ca no perfil do solo foram mais pronunciadas nas áreas que receberam aplicação do efluente tratado (média de 22 %), independentemente do fator de diluição (ET₁₀₀, ET_{75:25}, ET_{50:50} e ET_{25:75}), possibilitando maior equilíbrio desse cátion no complexo sortivo do solo, tendo em vista que sua saturação média no perfil do solo decresceu de 91 % (condição inicial) para 73 % (no final do experimento).

De maneira geral, as áreas manejadas com o efluente tratado (ET₁₀₀, ET_{75:25}, ET_{50:50} e ET_{25:75}) propiciaram melhor equilíbrio entre as bases trocáveis em todo o perfil do solo, além de manter seus teores adequados para a exploração do algodoeiro.

Fósforo disponível

Notadamente, os teores de P disponível foram baixos (Alvarez V. et al., 1999) sob qualquer tipo de manejo adotado ao longo das cinco faixas de profundidade monitoradas (Quadro 5), apesar dos altos aportes conseguidos com aplicação do efluente tratado (326, 242, 176 e 88 kg ha⁻¹ para ET₁₀₀, ET_{75:25}, ET_{50:50} e ET_{25:75}, respectivamente).

Na camada de 0–0,20 m, a adoção do MC proporcionou redução de 73 % no teor de P, em relação ao detectado inicialmente, enquanto nas demais houve aumento. Já nas áreas sob influência de ET₁₀₀, ET_{75:25}, ET_{50:50} e ET_{25:75}, a redução de P na camada superficial atingiu 69, 66, 71 e 75 %, respectivamente. Observou-se também que, nas áreas que receberam aplicação do efluente tratado nas proporções de diluição

de $ET_{75:25}$ e $ET_{50:50}$, a redução do P disponível ocorreu em todo o perfil, alcançando valores médios de 56 e 68 %, respectivamente.

Com relação à movimentação de P no perfil do solo, não se detectou indício de lixiviação por efeito dos tratamentos adotados.

Condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes) e acidez (pH)

No tocante à CEes do solo, somente nas faixas de profundidades de 0,20–0,40 e 0,40–0,60 m houve influência significativa em razão dos tratamentos, e as parcelas submetidas à aplicação do efluente tratado sem diluição (ET_{100}) foram as que mostraram os maiores valores (190,32 e 121,17 $\mu\text{S cm}^{-1}$), ficando 90 e 78 % acima dos detectados inicialmente, respectivamente. Apesar desse aumento, não foram observados indícios de salinização na área experimental, por serem os valores inferiores a 2.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Confrontando os valores médios de CEes (132 $\mu\text{S cm}^{-1}$) com os valores médios da porcentagem de Na trocável (1,5 %) no perfil do solo, pode-se concluir que nas áreas que receberam o ET_{100} o solo continuou sendo classificado como normal.

Analisando o comportamento da CEes no perfil do solo, nota-se decréscimo com o aumento da profundidade, e esta, por sua vez, independeu do tipo de manejo adotado.

Semelhantemente ao que ocorreu com os teores de Mg e Na, a aplicação dos manejos convencional e com efluente tratado elevou os valores de pH, reduzindo a acidez do solo em todas as profundidades monitoradas, em comparação com os valores iniciais, embora não tenham sido verificadas diferenças significativas entre si (Quadro 5).

Quanto ao comportamento do pH no perfil do solo, nota-se redução da acidez com o aumento da profundidade, independentemente dos tratamentos adotados, indicando a baixa presença de teores de H^+ , o que deve ter proporcionado a elevação dos cátions básicos (Mg, K e Na) e a possível formação de compostos insolúveis entre P e Ca, restringindo sua disponibilidade no solo (Quadro 5). Medeiros et al. (2005a), avaliando variações do pH do solo quando foi aplicada água residuária de origem doméstica, constataram incremento significativo, em relação às áreas que receberam calagem e adubação química; todavia, esse comportamento no perfil do solo foi semelhante ao observado neste trabalho (Yadav et al., 2002; Medeiros et al., 2005b). Estudos desenvolvidos por Galvão et al. (2008) também identificaram que a acidez do solo reduziu significativamente devido à aplicação contínua de esterco, em relação às áreas não adubadas.

Micronutrientes (Zn, Fe, Mn e Cu)

Os teores de Zn, Fe, Mn e Cu não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos adotados; contudo, verificou-se incremento em seus

teores em todo o perfil avaliado, quando comparados com os valores iniciais (Quadro 5), exceto para os estoques de Zn, que na camada superficial (0–0,20 m) apresentaram decréscimo.

Avaliando a efetividade dos tratamentos no aumento médio dos estoques de Fe, Mn e Cu no perfil do solo, o $ET_{50:50}$ foi mais efetivo; para os estoques de Zn, foi o $ET_{25:75}$.

CONCLUSÕES

1. A utilização do efluente tratado (ET_{100} , $ET_{75:25}$, $ET_{50:50}$ e $ET_{25:75}$) apresentou resultados semelhantes aos obtidos com o manejo convencional, favorecendo a melhoria da fertilidade do solo e constituindo-se em uma fonte alternativa de fertilização de baixo custo.

2. Os aportes de N, P e K ao solo pela adoção do manejo com água residuária da suinocultura não ocasionaram migração vertical desses nutrientes, com remota possibilidade de contaminação das águas subterrâneas.

3. A aplicação do efluente tratado, independentemente do fator de diluição, também demonstrou efetividade no suprimento das necessidades hídricas do algodoeiro, apresentando-se como fonte alternativa de água não convencional para o setor agrícola.

4. A prática de irrigação com o uso do efluente obtido após o tratamento do dejetos de suíno pode permitir a destinação ambientalmente correta dos afluentes gerados pela atividade, reduzindo, assim, os impactos negativos no meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão do auxílio financeiro ao primeiro autor, com vistas à realização deste trabalho; à Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa; e à Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF, pela concessão da área experimental e pelo apoio logístico.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solo. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa, MG, CFSEMG, 1999. 25-32p.
- AMARAL, F.C.S.; SILVA, E.F. & MELO, A.S. Caracterização pedológica e estudos de infiltração da água no solo em perímetros irrigados no vale do Rio São Francisco. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 105p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 97)

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20.ed. New York, APHA, AWWA, WPCR, 1998. 1325p.
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. 2.ed. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1999. 153p.
- DIESEL, F.; MIRANDA, C.R. & PERDOMO, C.C. Coletânea de tecnologias sobre dejetos de suínos. Concórdia, Embrapa Suínos e Aves e Emater-RS, 2002. 31p.(Boletim Informativo de Pesquisa)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 247p.
- FERREIRA, D.F. Programa SISVAR – programa de análises estatísticas. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2003.
- GALVÃO, S.R.S.; SALCEDO, I.H. & OLIVEIRA, F.F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. Pesq. Agropec. Bras., 43:99-105, 2008.
- GARRIDO, M.S.; SAMPAIO, E.V.S.B. & MENEZES, R.S.C. Potencial de adubação orgânica com esterco no Nordeste do Brasil. In: MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B. & SALCEDO, I.H., eds. Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido. Recife, Universitária UFPE, 2008. p.123-140.
- HERPIN, U.; GLOAGUEN, T.V.; FONSECA, A.F.; MONTES, C.R.; MENDONÇA, F.C.; PIVELI, R.P.; BREULMANN, G.; FORTI, M.C. & MELFI, A.J. Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation - A pilot field study in Brazil. Agric. Water Manag., 89:105-115, 2007.
- KONZEN, E.A. Manejo e utilização de dejetos de suínos. Concórdia, Embrapa Suínos e Aves, 1983. 32p. (Circular Técnica, 6)
- LEAL, R.M.P.; HERPIN, U.; FONSECA, A.F.; FIRME, L.P.; MONTES, C.R. & MELFI, A.J. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. Agric. Water Manag., 96:307-316, 2009.
- MEDEIROS, S.S.; SOARES, A.A.; FERREIRA, P.A.; NEVES, J.C.L.; MATOS, A.T. & SOUZA, J.A.A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 9:603-612, 2005a.
- MEDEIROS, S.S.; SOARES, A.A.; FERREIRA, P.A.; SOUZA, J.A.A.; SOUZA, J.A. & MATOS, A.T. Comportamento dos atributos químicos do solo em resposta a aplicação de água residuária de origem doméstica. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 9:268-273, 2005b.
- MENEZES, R.S.C. & SAMPAIO, E.V.S.B. Agricultura sustentável no semi-árido nordestino. In: OLIVEIRA, T.S.; ROMERO, R.E.; ASSIS Jr., R.N. & SILVA, J.R.C.S. Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.20-46.
- PEDROSO NETO, J.C.; FALLIERI, J.; LANZA, M.; SILVA, N.M. & LACA, J.B. Algodão. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa, MG, CFSEMG, 1999. p.278-279.
- PEREIRA, E.R. Qualidade da água residuária em sistemas de produção e de tratamentos de efluentes de suínos e seu reuso no ambiente agrícola. Piracicaba, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006. 130p. (Tese de Doutorado)
- PEREZ-MARIN, A.M.; MENEZES, R.S.C. & DIAS, E.M. Efeito da *Gliricídia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano. R. Bras. Ci. Solo, 30:555-564, 2006.
- SCHERER, E.E.; NESI, C.N. & MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, 34:1375-1383, 2010.
- SILVA, T.O. & MENEZES, R.S.C. Adubação orgânica da Batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*. II- Disponibilidade de N, P e K no solo ao longo do ciclo de cultivo. R. Bras. Ci. Solo, 31:51-61, 2007.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid Northeastern Brazil. Agric. Ecosyst. Environ., 38:139-151, 1992.
- YADAV, R.K.; GOYAL, B.; SHARMA, R.K.; DUBEY, S.K. & MINHAS, P.S. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water - A case study. Environ. Intern., 28:481-486, 2002.