



Impacto do reúso de efluentes de esgoto no lixiviado de solos cultivados com milho

Izabelle P. Andrade¹; Abelardo A. de A. Montenegro²; José. A. A. da Silva³;
Maria B. G. dos S. Freire¹ & Thais E. M. dos Santos²

¹ DEPA/UFRPE. Av. D. M. de Medeiros, s/n, Recife, PE, CEP 52171-900, Fone: (81) 33206273. E-mail: ipabelle@ig.com.br; mbetaniafreire@uol.com.br

² DTR/UFRPE, CEP 52171-900. E-mail: monte@hotlink.com.br; thaisemanuelle@hotmail.com

³ DCFL/UFRPE, CEP 52171-900. E-mail: jaaleixo@uol.com.br

Protocolo 150

Resumo: O reúso de águas residuárias para irrigação, quando conduzido corretamente, pode poupar considerável volume de água de boa qualidade. Realizou-se experimento em casa de vegetação, considerando como tratamentos quatro tipos de água de irrigação (água de abastecimento, água com fertilizante, efluente de esgoto e efluente de esgoto modificado com KCl a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$), e dois solos (Gleissolo e Argissolo), cultivados com milho (*Zea mays*). A unidade experimental foi constituída de 32 colunas de PVC de 200 mm de diâmetro e 1,0 m de altura. O impacto do reúso sobre as características químicas do lixiviado, e o risco de contaminação do lençol freático foram avaliados. Foram constatados níveis de nitrato, condutividade elétrica (CE) e sódio no lixiviado oriundo do Argissolo significativamente superiores àqueles do Gleissolo, o que limita o potencial dos Argissolos para suporte à disposição controlada de efluentes domésticos, especialmente em regiões sujeitas a lençol freático raso.

Palavras-chave: água residuária, Gleissolo, Argissolo

Impact of reuse of effluent from sewage treatment on the leachate from soil cultivated with corn

Abstract: The reuse of wastewater for irrigation, when correctly managed, can save large amounts of good quality water. A greenhouse experiment was conducted, considering as treatments four types of irrigation water (domestic supply water, fertilized water, sewage effluent, and modified sewage effluent with KCl at 0.1 mol L^{-1}), and two soil types (Gleysol and Argisol), planted with corn (*Zea mays*). The experimental unit was composed of 32 PVC columns of 200 mm diameter and 1.0 m high. The reuse impact on the leachate chemical characteristics of leachate, and the risk of water table contamination were evaluated. It was verified that nitrate concentrations, electrical conductivity and sodium concentration were higher in Argisol columns than in Gleysol ones, restricting the Argisol potential for treated effluent applications from domestic waste, especially where water table was shallow.

Key words: residual water, Gleysoil, Argisoil

INTRODUÇÃO

O reúso de efluentes tratados é de grande potencial para a agricultura, principalmente em regiões áridas e semi-áridas do Nordeste brasileiro, onde há carência de água para irrigação, permitindo que a água de boa qualidade seja destinada a usos mais nobres. O polimento de efluentes no solo, também conhecido como “tratamento de efluentes de esgoto por disposição controlada no solo”, permite a disponibilização contínua de água e de nutrientes em áreas irrigadas, porém se

faz conveniente avaliar os processos físicos e químicos envolvidos, de modo a caracterizar possíveis modificações que ocorram no meio ambiente, em particular em áreas com lençol freático raso (Bettiol & Camargo, 2000).

A contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais em áreas com reúso de efluentes, está intimamente ligada às características do efluente, e às propriedades de retenção e transmissão de água e solutos do solo, que podem limitar a sua aplicação (Marciano et al., 2001).

De acordo com Taylor & Neal (1982), a principal preocupação

no tocante à saúde pública é com a oxidação de compostos amoniacais em nitrato. O nitrato tem sido o composto mais estudado (principalmente em solos arenosos), em razão da sua alta solubilidade em água e elevado risco de provocar problemas de saúde às populações. Nos solos arenosos, a percolação é rápida e pode atingir o lençol freático em quantidades superiores que em solos de características argilosas. A nitrificação de amônio (NH_4^+) para nitrato (NO_3^-) tem sido observada em áreas de reúso de efluentes de esgoto (Jnad et al., 2001), ocasionando modificações nas propriedades químicas do solo e, conseqüentemente, do seu lixiviado.

A aplicação excessiva de efluentes pode limitar a produtividade agrícola quando associada ao aumento da salinidade, em virtude do incremento da tensão osmótica. No caso excessivo de sódio no solo, este tende a provocar dispersão coloidal e conseqüente bloqueio dos poros do solo (Paganini, 1997).

O Argissolo constitui-se em solo de referência do Estado de Pernambuco, enquanto o Gleissolo vem sendo submetido a aplicações de efluentes de esgoto a nível de campo, em particular em áreas piloto de disposição controlada de esgotos na cidade do Recife, PE.

Em relação à escolha da cultura, plantas desenvolvidas rente ao solo estão sujeitas à contaminação por microorganismos presentes no efluente (Melloul et al., 2001). Considerando a alta exigência do milho a adubações e níveis de nitrogênio, e conseqüentemente seu elevado poder de absorção de nutrientes, como observado por Gloaguen et al. (2005), essa cultura tem sido utilizada com freqüência na disposição controlada de efluentes de esgoto.

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o potencial de contaminação de lixiviado oriundo de Argissolos e Gleissolos cultivados com milho, quando irrigado com efluentes de lagoa de polimento de esgotos domésticos, e identificar a dinâmica de íons, como nitrato e sódio.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de reúso foram conduzidos em dois solos, classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Gleissolo háplico e Argissolo Amarelo distrófico (EMBRAPA – CNPS, 1999). O Gleissolo foi coletado em área de uma unidade de reúso de esgoto doméstico em Recife, PE, sujeita a lençol freático raso, enquanto o Argissolo o foi na Zona da Mata, no Estado de Pernambuco, considerado solo característico da região (Ribeiro, 1999).

Após a coleta, as amostras de solo foram separadas por camada, secadas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 4 mm, para serem recompactadas a fim de atingirem a densidade global de campo.

O experimento foi constituído de 32 colunas de PVC rígido de 200 mm de diâmetro, com 1,00 m de altura, fechadas na extremidade inferior por uma base de PVC perfurado com cinco orifícios de 10 mm de diâmetro, para possibilitar drenagem uniforme do líquido percolado.

Montaram-se 16 colunas para o Gleissolo e 16 para o Argissolo; após a montagem, as colunas exibiram as seguintes características: 80,00 cm de solo, de forma fiel ao campo; 3,00

cm de granilite na parte inferior da coluna, para facilitar a drenagem; 17,00 cm na parte superior da coluna, para acomodar as lâminas de irrigação.

Posteriormente à montagem, as colunas foram umedecidas com água de abastecimento, de acordo com o volume de poros de cada solo: Gleissolo ($9113,66 \text{ cm}^3$) e Argissolo (10381 cm^3), os quais apresentaram condutividade hidráulica de $0,67 \text{ cm h}^{-1}$ e $1,94 \text{ cm h}^{-1}$, respectivamente, avaliada através da infiltração de uma lâmina especificada.

Após o umedecimento do Gleissolo e do Argissolo, realizou-se o plantio de cinco sementes de milho em cada coluna, desbastando-se três, restando apenas duas plantas por coluna.

O experimento foi conduzido durante 76 dias, teve início em 30/09/2001 e término em 16/12/2001, de acordo com o ciclo da cultura (IPA, 1985). A irrigação ocorreu com turno de rega de 2 dias, em que as diferentes lâminas foram aplicadas para obtenção de lixiviado. Inicialmente, as lâminas foram baixas ($1,31 \text{ mm dia}^{-1}$ para o Gleissolo e $1,64 \text{ mm dia}^{-1}$ para o Argissolo) de modo a prevenir lixiviações intensas no perfil considerando-se o reduzido desenvolvimento da cultura no período.

Simulou-se, no 30º dia de experimento, o impacto de uma aplicação elevada de irrigação ($13,12 \text{ mm dia}^{-1}$ para o Gleissolo e $16,40 \text{ mm dia}^{-1}$ para o Argissolo), para cada um dos tratamentos, com geração de lixiviado.

Do 32º até o 76º dia, aplicaram-se $6,56 \text{ mm dia}^{-1}$ para o Gleissolo e $8,20 \text{ mm dia}^{-1}$ para o Argissolo.

A água de abastecimento foi retirada do Campus Universitário da UFRPE. O fertilizante utilizado foi diluído na mesma água de abastecimento, na proporção 1:1000 (1,00 mL do produto para 1,00 L de água). O efluente proveio da lagoa de estabilização na Estação de Tratamento de Esgoto da Manguieira, Recife, PE. Para o efluente corrigido, foi empregado o ácido clorídrico a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, com a finalidade de corrigir o pH do efluente, de 8,0 para a faixa entre 6,0 e 7,0, indicado para a utilização agrícola.

A coleta do lixiviado aconteceu uma vez por semana, quando as amostras do lixiviado eram armazenadas em frascos estéreis e resfriadas a 4°C . O teor de nitrato foi determinado pelo método descrito por Golterman et al. (1978), utilizando cádmio amalgamado.

Em virtude de se utilizar diferentes profundidades para as camadas dos solos nas colunas e diferentes lâminas por tipo de solo, preferiu-se o delineamento de Classificação Hierárquica para a análise estatística dos dados, conhecido também por experimento ramificado, que se caracteriza por comparar fatores que variam dentro de outros (Silva & Silva, 1999). Para avaliação do experimento, utilizou-se o software SAS (SAS, 1999), comparando-se as médias do lixiviado entre os dois solos e as médias dos 4 tratamentos referentes às aplicações de água de irrigação. Utilizaram-se os cenários referentes ao 30º e ao 50º dias de coleta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As determinações físicas dos solos estão detalhadas na Tabela 1, enquanto a Tabela 2 exhibe os valores médios das características químicas da água de irrigação. Pode-se verificar o aumento nos teores de argila no Argissolo com a

Tabela 1. Atributos físicos dos solos utilizados nos experimentos em colunas

Horizonte	Profundidade (cm)	CG (g kg ⁻¹)			P ⁽⁷⁾
		Areia	Silte	Argila	
Gleissolo					
C I ⁽¹⁾	0-30	686,4	143,2	170,4	37
C II ⁽²⁾	30-60	715,6	121,8	162,6	36
A-E b g ⁽³⁾	60-80	724,8	153,5	121,7	40
Argissolo					
Ap ⁽⁴⁾	0-28	792,0	73,0	135,0	45
E ⁽⁵⁾	28-50	795,0	57,0	148,0	43
EB ⁽⁶⁾	50-80	688,0	40,0	272,0	40

⁽¹⁾ Camada I⁽²⁾ Camada II⁽³⁾ Horizonte Gleit enterrado modificado pelo uso contínuo do homem⁽⁴⁾ Horizonte Ap⁽⁵⁾ Horizonte E⁽⁶⁾ Horizonte EB⁽⁷⁾ Porosidade

Tabela 2. Atributos químicos da água de irrigação

Variável	Tratamentos					
	A ¹	F ²	E ³	EC ⁴	OMS	VN ⁵
NO ₃ ⁻ (µg L ⁻¹)	48,36	595,32	667,30	582,15	0 - 10000	0 - 10000
NH ₄ ⁺ (µg L ⁻¹)	0,66	288,43	290,47	277,18	0-5000	0 - 5000
Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	7,21	2,91	9,98	10,56	8,70	0 - 9,20
CE (dS m ⁻¹)	0,07	0,89	0,98	1,92	-	0 - 3

¹ Água de abastecimento² Fertilizante³ Efluente⁴ Efluente corrigido⁵ Valores Normais em água de irrigação

Fonte: Ayers & Westcot (1999)

profundidade, particularmente no horizonte EB, e progressiva diminuição da porosidade.

As características químicas das águas de irrigação são adequadas, exceto para os níveis de sódio no efluente corrigido, que superam os valores recomendados por Ayers & Westcot (1999). Pode-se observar elevados níveis de nitrato em relação a amônio, para todas as águas utilizadas.

Os atributos químicos do solo avaliados em laboratório estão presentes na Tabela 3, podendo-se notar maiores concentrações de sódio e condutividade elétrica para o Gleissolo, em relação ao Argissolo.

A Tabela 4 apresenta os níveis de nitrato, sódio e da condutividade elétrica obtidos no lixiviado das colunas, considerando os dois solos em estudo.

Os níveis de nitrato no lixiviado apresentam-se dentro do limite recomendado por Ayers & Westcot (1999). Predominaram valores mais elevados nas descargas no Argissolo que no Gleissolo, não tendo havido diferença significativa para os tratamentos com efluente, efluente corrigido e fertilizante, em ambos os solos, conforme apresentado na Tabela 4. Pode-se dizer, também, que, em média não ocorreu incremento estatisticamente relevante deste ânion entre o 30º e o 50º dia de

Tabela 3. Atributos químicos do solo

Hor.	pH ¹	Complexo Sortivo					CE ³	N _T ⁴
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	S ²		
		(cmol _c dm ⁻³)					(dS m ⁻¹) (g kg ⁻¹)	
Gleissolo								
C I	7,0	9,50	1,71	0,41	0,30	11,92	1,85	15,20
C II	6,9	7,00	1,21	0,19	0,34	8,74	1,24	10,00
A-E bg	6,8	4,20	0,69	0,10	0,26	5,25	1,76	8,40
Argissolo								
Ap	6,0	2,70	0,51	0,10	0,05	3,36	0,87	11,20
E	5,9	1,60	0,41	0,05	0,04	2,10	0,62	9,60
EB	5,7	0,90	0,27	0,04	0,03	1,24	0,51	8,10

¹ pH em água 1: 2,5² Soma de bases³ Condutividade elétrica⁴ Nitrogênio total

Hor. : Horizonte

experimento, embora as concentrações do lixiviado também tenham sido superiores àquelas da lâmina aplicada nos Argissolos, haja vista estes possuírem uma porosidade maior, permitindo uma lixiviação acelerada e aumentando o processo de nitrificação neste solo.

O maior volume de poros e uma condutividade hidráulica elevada observada nas colunas de Argissolo, contribuíram para a diferença observada entre as médias, concorrendo para o transporte acentuado por advecção naquele solo e, assim, maiores concentrações de nitrato no lixiviado.

Comparando-se os níveis de amônio e de nitrato da água de irrigação e do lixiviado, nota-se que o processo de nitrificação foi relevante, tendo sido incrementado no Argissolo, com concentrações no lixiviado cerca de seis vezes superior àquelas da lâmina aplicada. Tal amplificação não foi observada no Gleissolo.

Alguns autores, como Taylor & Neal (1982) ressaltam a importância da oxidação de compostos amoniacais em nitrato, principalmente em solos arenosos, onde a percolação é rápida; no entanto, Santos (1993) observou que a aplicação de nitrogênio interferiu significativamente na lixiviação de nitrato em um Latossolo (com percentagem média de areia de 23% e porosidade de 54%) e de amônio em um Podzol (com 95% de areia, e 22% de porosidade).

Deste modo, a porosidade do solo parece ser um parâmetro primordial na nitrificação, particularmente em condições não-saturadas. Salientam-se resultados apresentados por Domenico & Schwartz (1990), em que a relação nitrato-nitrogênio total foi amplificada por um fator 40 em um aquífero livre, a uma distância de 3 km a partir do ponto de disposição difusa de nitrogênio (aterro), tendo tal incremento sido justificado pelo forte grau de aeração das águas subterrâneas.

Mesmo elevados no lixiviado do Argissolo, os níveis de nitrato são aceitáveis, conforme as recomendações da literatura. A cultura do milho teve papel decisivo nesse resultado, considerando o seu alto potencial em absorver nitrogênio. Gloaguen et al. (2005) verificaram absorção radicular relevante de nitrato entre a primeira e a segunda fase fenológica do milho, irrigado com efluente de esgoto. Na Tabela 4 desse estudo,

Tabela 4. Níveis de Nitrato, sódio e condutividade elétrica no lixiviado das colunas irrigadas com 4 tipos de água

dia	NO ₃ ⁻ (µg L ⁻¹)		NH ₄ ⁺ (µg L ⁻¹)		Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)		CE (dS m ⁻¹)	
	30 ^o	50 ^o	30 ^o	50 ^o	30 ^o	50 ^o	30 ^o	50 ^o
Médias dos solos								
G*	569,65 b	505,79 b	3,86 b	3,44 b	6,09 a	3,07 a	3,45 a	1,50 a
A*	2981,56 a	3018,58 a	13,48 a	12,91 a	3,50 b	1,36 b	2,45 b	1,34 a
DMS	122,15	114,20	1,09	0,65	1,10	0,32	2,40	1,70
Médias dos Tratamentos								
G*								
GA	140,30 b	126,84 b	0,36 b	0,30 b	4,68 a	3,25 a	2,26 b	0,67 b
GF	748,70 a	757,81 a	5,74 a	4,62 b	5,04 a	2,23 a	3,86 a	1,77 a
GE	657,34 a	457,91a	3,41 a	3,49 a	7,45 a	3,35 a	3,66 a	1,42 a
GEC	732,23 a	680,58 a	5,92 a	5,37 a	7,18 a	3,46 a	4,03 a	1,52 a
A*								
AA	973,58 b	667,40 b	2,90 b	1,73 c	1,09 c	0,55 b	1,48 b	0,77 b
AF	3533,77 a	3666,58 a	18,06 a	17,65 a	1,90 b	0,64 b	2,79 a	1,97 a
AE	3682,62 a	3890,91 a	18,23 a	17,88 a	5,15 a	2,42 a	2,83 a	1,66 a
AEC	3736,27 a	3849,43 a	14,75 a	14,39 b	5,87 a	1,84 a	2,71 a	1,61 a
DMS	391,70	366,20	3,51	2,1	3,53	1,04	0,76	0,52
CV(%)	9,42	8,88	17,29	10,97	5,18	5,97	11,04	15,71

Médias seguidas de letras diferentes no sentido vertical indicam diferença significativa (Tukey a 5%),

G* - Gleissolo

A* - Argissolo

entretanto, não se nota diminuição na concentração de nitrato entre o 30^o e o 50^o dia, provavelmente devido ao elevado processo de nitrificação, em todos os tratamentos.

Em relação às concentrações médias do sódio no Argissolo, verifica-se a ocorrência de uma concentração maior em ambos os tempos, para o tratamento com efluente e efluente corrigido (Tabela 4), em virtude deste solo possuir maior porosidade.

Tais aumentos de sódio no lixiviado de colunas de solo, utilizando-se efluente de esgoto, também foram constatados por Araújo et al. (1999), podendo-se destacar a interferência na CTC.

Com relação à ocorrência de maiores condutividades elétricas nos tratamentos, observaram-se elevações nos tratamentos com: efluente, efluente corrigido e fertilizante, quando comparados com o tratamento com “água de abastecimento”. Quando as concentrações médias no lixiviado dos dois solos são comparadas, observam-se maiores valores para o Gleissolo.

CONCLUSÕES

1. O lixiviado do Argissolo apresentou elevados teores de nitrato, nos tratamentos com fertilizante, efluente e efluente corrigido.
2. O volume de poros, condutividade hidráulica e a porosidade no Argissolo facilitaram o transporte deste íon.
3. No Argissolo o lixiviado continha elevadas concentrações de sódio e altos valores de condutividade elétrica.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Mateus Rosas Ribeiro e Paulo Klinger Tuto Jacomine e ao Grupo Fortilit, pela doação dos tubos e conexões.

LITERATURA CITADA

- Araújo, A. L.; König, A. ; Milanêz, J. G. ; Ceballos, B. S. O. Reuso Indireto de Esgotos na Irrigação de Colunas Experimentais de Solo Cultivado com Alfaces (*Lactuca sativa*, L). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 1999, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. A qualidade da água na agricultura. 2.ed. João Pessoa: UFPB, 1999. 143p.
- Bettiol, W.; Camargo, O.A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. São Paulo: EMBRAPA, 2000. 311p.
- Domenico, P.A.; Schwartz W.S. Physical and chemical hydrogeology. New York: John Wiley & Sons, 1990. 824p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.
- Gloaguen, T.V.; Forti, M.C.; Lucas, Y.B.; Montes, C.R.; Gonçalves, R.A.; Melfi, A.J. Dinâmica do nitrogênio inorgânico em solo cultivado e irrigado com esgoto tratado. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30, 2005, Recife. Anais... Recife: SBCS, 2005. CD-ROM.
- Golterman, H.J.; Clymo, R.S.; Ohnstad, M.A.M. Methods for physical and chemical analysis of freshwaters. London: Blackwell Scientific Publications. 1978. 214p. IBP Handbook, 8
- IPA - Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. São José – BR 5026 – Cultivar de milho desenvolvida para Pernambuco selecionada contra ataques de lagartas do cartucho e da espiga. Recife: IPA; 1985. p.1-7. Comunicado técnico

- Jnad, I; Lesikar, B.J.; Kenimer, A.L.; Sabbagh, G.. Subsurface drip dispersal of residential effluent: I. soil chemical characteristics. Transactions of ASAE, St. Joseph, v.44, n.5, p.1149-1157, 2001.
- Marciano, C. R.; Moraes, S.O.; Oliveira, F.C.; Mattiazzo, M.E. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um Latossolo Amarelo saturado e não saturado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 25, n.1, p. 1-9, 2001.
- Melloul, A.A.; Hassani, L.; Rafouk, L. Salmonella contamination of vegetables irrigated with untreated wastewater. World Journal of Microbiology and Biotechnology, Oxford, v.17, n.2, p.207-209, 2001.
- Paganini, W. da S. Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície. 2.ed. São Paulo: AESABESP, 1997. 232p.
- Ribeiro, M. R. Caracterização e classificação dos solos de referência do Estado de Pernambuco. Recife: UFRPE, 1999. 150p. Relatório final de pesquisa do CNPq
- Santos, M.B.G. Influência da correção da acidez com calcário e gesso na movimentação de cátions e lixiviação de nitrogênio. Recife: UFRPE, 1993. 132p. Dissertação Mestrado
- SAS – Statistic analysis system. User's Guide version 6.4. ed., volume 1. Cary: SAS Institute Inc., 1990. 890p.
- Silva, I.P. da; Silva, J.A.A. da. Métodos estatísticos aplicados à pesquisa científica: Uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária. Recife: UFRPE, 1999. 305p.
- Taylor, G.L; Neal, L. A. Land treatment of water as industrial siting advantage. In: Industrial Water Conference, 37, 1982, West Lafayette. Proceedings... West Lafayette: Purdue University, 1982. p.233-238.