



SALINIDADE DE UM SOLO, IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA E ADUBADO COM BIOSSÓLIDO¹

MARIA BETANIA HERMENEGILDO DOS SANTOS², VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA³, ADRIANUS CORNELIUS VAN HAANDEL⁴,
NAPOLEÃO ESBERARD DE MACEDO BELTRÃO⁵, ADAILSON PEREIRA DE SOUZA⁶

¹ Parte da Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal da Campina Grande.

² Química Industrial, MS. em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB. *betaniahm@yahoo.com.br*

³ Prof^a. Dr^a. Dep. de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB. *antunes@deag.ufcg.edu.br*

⁴ Prof. PhD, Dep. de Engenharia Civil, UFCG, Campina Grande, PB. *prosab@uol.com.br*

⁵ Eng. Agr., D.Sc., Embrapa Algodão, Campina Grande, PB. *nbeltrao@cnpa.embrapa.br*

⁶ Prof. D.Sc. Dep. Solos e Eng. Rural, CCA/UFPB, Areia, PB. *adailson@cca.ufpb.br*

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o aumento da salinidade de um solo não salino cultivado com mamona, irrigado com águas residuárias e adubado com biossólido. O experimento constou de sete tratamentos, onde foram avaliados três níveis de biossólido (0, 75 e 150 kg ha⁻¹ de N), dois tipos de água (água de abastecimento e água residuária tratada) e uma testemunha com adubação química, em três repetições. Foram analisadas as seguintes características físico-químicas: condutividade elétrica, sódio, potássio, sulfato, cálcio, magnésio, bicarbonato, cloreto, razão de adsorção de sódio (RAS) e percentagem de sódio trocável (PST). A água residuária elevou a condutividade elétrica do solo em mais de 130% em relação à água de abastecimento, mas as doses de biossólidos não influenciaram as concentrações de cátions e ânions e outras variáveis analisadas. Os maiores valores para a razão de adsorção de sódio (RAS) e para a percentagem de sódio trocável (PST) no solo foram observados nos tratamentos com a água residuária e a dose de biossólido de 75 kg ha⁻¹ de N. Ao final do experimento a irrigação com água residuária contribuiu para tornar o solo de não salino para salino-sódico.

Palavras-chave: condutividade elétrica, irrigação, esgoto tratado

SALINITY OF A CASTOR BEAN-CULTIVATED SOIL IRRIGATED WITH WASTEWATER AND FERTILIZED WITH BIOSOLIDS

ABSTRACT

This research evaluated the salinity of a soil cultivated with castor bean that had been irrigated with wastewater and fertilized with biosolids. The experiment consisted of seven treatments that evaluated three levels of biosolids (0, 75 and 150 kg ha⁻¹ of N), two types of water (public water supply and treated wastewater), and a chemical control, with three replications. The following physical and chemical characteristics were analyzed: electrical conductivity, sodium, potassium, sulfate, calcium, magnesium, bicarbonate, chlorate, sodium adsorption ratio (SAR) and exchangeable sodium percentage (ESP). Wastewater treatment increased electrical conductivity more than 130% in relation to public water supply, but the doses of biosolids had no effect on the concentrations of cations and anions and other analyzed variables. The greater values of sodium adsorption ratio (SAR) and exchangeable sodium percentage (ESP) in the soil were observed in the treatments with wastewater and treated with biosolid at the dose of 75 kg ha⁻¹ of N. By the end of the experiment, the irrigation with wastewater contributed to turn the soil from non saline into saline-sodic.

Key-words: electrical conductivity, irrigation, wastewater

INTRODUÇÃO

A água é essencial para os seres vivos e fundamental para a produção de alimentos. A prática da irrigação, muitas vezes, é a única possibilidade de garantir a produção agrícola, especialmente em regiões tropicais de clima quente e seco, como é o do semi-árido do Nordeste brasileiro, onde a taxa de evapotranspiração excede a precipitação durante a maior parte do ano. Por isso torna-se necessário um manejo adequado da irrigação, para reduzir a elevada salinização do solo (Holanda e Amorim, 1997; Cavallini, 2002; Sousa e Leite, 2003).

O desequilíbrio entre oferta e demanda dos recursos hídricos e o crescimento acentuado da população nas grandes cidades indicam a priorização do uso das águas superficiais para o abastecimento público e geração de energia elétrica, determinando, em consequência, a necessidade do reuso de águas residuárias (Leon e Cavallini, 1999; Hespanhol, 2003; Brega Filho e Mancuso, 2003).

Para a agricultura, além do uso das águas de mananciais de superfície e subterrâneas, uma alternativa importante é o aproveitamento das águas de esgotos tanto para irrigação como para a nutrição, crescimento e produção das plantas. No entanto, esse uso deve ser condicionado ao tratamento dessas águas, ao tipo de cultivo, à escolha de métodos de aplicação e ao controle de riscos ao meio ambiente. A longo prazo o uso dessas águas deve ser planejado de modo a se controlar os efeitos da salinidade, sodicidade e presença de outros elementos ao solo e às culturas (Ayers e Westcot, 1999; Hespanhol, 2003). Os problemas no solo associados ao uso de águas residuárias estão relacionados à salinidade, sodicidade, ao excesso de nutrientes, aos bicarbonatos e a variação do pH. A presença de sais no solo reduz a disponibilidade de água para as plantas e pode tornar os solos inadequados ao cultivo (Ayers e Westcot, 1999).

Assim como a água residuária, o lodo de esgoto tratado ou biossólido tem grande interesse agrícola pelo seu elevado conteúdo em nutrientes minerais, principalmente nitrogênio, fósforo e micronutrientes, além da matéria orgânica, cujos efeitos no solo se fazem sentir a longo prazo, melhorando sua resistência à erosão e ativando a vida microbiológica do solo (COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ, 1997; Andreoli et al., 1997; Tsutiya, 2001).

Apesar da mamoneira não ser utilizada na alimentação humana possui elevada importância no setor industrial. Além disso, constitui-se também uma alternativa para cultivo usando esgoto tratado e biossólido. A mamona é conhecida desde a era colonial quando dela se extraía o óleo para lubrificar as engrenagens e os mancais de engenhos. Atualmente é considerada uma oleaginosa de alto valor industrial, uma vez que o óleo extraído de suas sementes é um dos de maior aplicabilidade industrial (Freire, 2001).

Diante da importância da mamona para o Brasil, particularmente à região Nordeste e da possibilidade de cultivo com águas residuárias o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a salinidade de um solo cultivado com mamona, irrigado com águas residuárias e adubado com biossólido.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no período de março de 2002 a novembro de 2002, em lisímetros de drenagem construídos em uma área coberta, pertencentes ao Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), conveniado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB.

Foram utilizados vinte e um lisímetros, constituídos de caixas de fibra de vidro com capacidade de 0,5 m³, com diâmetros de 1,1 m e 0,9 m, respectivamente, na face superior e inferior, com 0,7 m de altura, instalados em local coberto com plástico transparente para evitar a interferência das chuvas.

O sistema de drenagem de cada lisímetro foi constituído de: a) três tubos de PVC rígido com 20 mm de diâmetro, perfurados com orifícios de 5 mm de diâmetro e colocados no fundo da caixa; b) uma camada de 10 cm de espessura de brita zero; c) uma camada de areia lavada de igual espessura e d) uma tubulação interligando o sistema de drenagem à parte externa do lisímetro para coletas e medição do efluente.

O solo utilizado no experimento foi coletado em uma área experimental da Universidade Federal de Campina Grande, classificado como um Neossolo Regolítico (Embrapa, 1999). O material foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 4 mm. Em cada lisímetro foram acomodados 0,36 m³ de solo

através de saturação realizada de baixo para cima, ou seja, a partir do ponto de descarga. As características físico-hídricas e químicas do solo (Tabelas 1 e 2), foram realizadas empregando os métodos descritos pela Embrapa (1997).

Tabela 1. Características físico-hídricas do material de solo utilizado no experimento

Características Físico-hídricas	Valor
Classificação textural	Franco Arenoso
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,56
Densidade das partículas (kg dm ⁻³)	2,73
Porosidade (m ³ m ⁻³)	0,43
Água disponível (kg kg ⁻¹)	6,36

Análises realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), da Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande, PB – 2002.

Tabela 2. Alguns atributos químicos determinados no extrato de saturação do solo

Variável	Valor
pH	6,8
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,82
Sódio (mmol _c L ⁻¹)	3,58
Potássio (mmol _c L ⁻¹)	0,46
Cálcio (mmol _c L ⁻¹)	2,0
Magnésio (mmol _c L ⁻¹)	2,5
Sulfato (mmol _c L ⁻¹)	0,06
Carbonato (mmol _c L ⁻¹)	0
Bicarbonato (mmol _c L ⁻¹)	1,5
Cloreto (mmol _c L ⁻¹)	4,9
Relação de adsorção de sódio	2,39
Classificação em relação à salinidade	Normal

Análises realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II – Areia, PB – 2002.

Utilizaram-se dois tipos de fertilizantes: mineral e biofósforo. As fontes do adubo mineral foram: sulfato de amônio (20% N); cloreto de potássio (60% K₂O) e superfosfato triplo (45% P₂O₅). Foram realizadas uma adubação corretiva por ocasião do plantio com: 15 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 30 kg ha⁻¹ de K₂O e duas adubações de cobertura aos 60 e 84 dias após o plantio apenas com 20 kg ha⁻¹ de N cada.

O biofósforo utilizado foi aplicado apenas na fundação, obtido da digestão anaeróbica do esgoto doméstico em um reator anaeróbico de fluxo ascendente (UASB) desidratado ao solo, por um período de 60 dias, em leito de secagem constituído de tanque pro-

vido de sistema de drenagem composto por uma camada de brita de 10 cm, uma camada de areia de igual espessura e uma tela e na parte inferior drenos, por onde era percolado o excesso de umidade. As análises físicas e químicas no lodo seco (Tabela 3), foram obtidas em relação à porcentagem de matéria seca a 105°C. Estas análises foram realizadas segundo métodos propostos por Eaton et al. (1995).

Utilizaram-se dois tipos de água: de abastecimento (AA) e água residuária (AR). A água de abastecimento era proveniente da rede de abastecimento público de água da cidade de Campina Grande – PB. Esta água foi armazenada em uma caixa d'água de fibra de vidro com volume igual a 500 L. A caixa encontrava-se sobre uma plataforma de concreto, permitindo que a água fosse aduzida por gravidade. A caixa d'água permaneceu fechada durante todo o experimento, evitando, assim, a entrada de pequenos animais e insetos para o interior da mesma, preservando a qualidade da água.

A água residuária foi coletada de um reator anaeróbico de fluxo ascendente (UASB), o qual trata o esgoto bruto doméstico proveniente de bairros circunvizinhos à região do Catolé, na cidade de Campina Grande – PB.

O reator UASB foi confeccionado em uma caixa de fibra de vidro com capacidade para 5.000 L, vazão de 25 m³ dia⁻¹ e um tempo de detenção hidráulico de 5 horas. O efluente do reator passou para uma lagoa de decantação com as seguintes dimensões: 10 m de comprimento, 1 m de largura e 0,6 m de profundidade. A água residuária foi conduzida através de um sistema de irrigação por gotejamento pressurizado.

Na Tabela 4 encontram-se os resultados das análises físico-químicas das águas de abastecimento e residuária. A água de abastecimento apresentou condutividade elétrica de 590 μS cm⁻¹ e de acordo com Ayers e Westcot (1999) não apresenta restrição de uso, nem a curto ou a longo prazo, em relação à salinidade, podendo ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação, sem necessidade de práticas especiais de controle da salinidade. Segundo os mesmos autores, tanto o pH quanto os teores de Ca²⁺, HCO₃⁻, nitrogênio amoniacal, nitrato e ortofosfato

Tabela 3. Composição física e química do biofósforo digerido

Sólidos Totais	Umidade	pH	M.O	N	P	K	Ca	Mg
%		H ₂ O	g dm ⁻³		mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³	
34,5	65	6,6	524	364	589	156	3,4	0,9

Análises realizadas no Laboratório de Análises Químicas, Físicas e Microbiológicas do PROSAB – Campina Grande, PB – 2002.

Tabela 4. Composição físico-química das águas de abastecimento (AA) e residuária (AR) usadas no experimento

Tipo de água	pH	C.E. $\mu\text{S cm}^{-1}$	DQO*	Ca	Mg	HCO_3	Alcalinidade	Amônio*	Nítrito*	Nitrato*	Fósforo Total*	Ortofosfato*	Sólidos Suspensos Totais	Sólidos Totais
AA	7,89	590	30	113	76	66,92	80	0,88	0,00	0,18	0,09	0,05	5	454
AR	7,79	1360	197	135	134	282	350	45,00	0,02	0,47	5,51	4,79	36	877

* Determinado segundo metodologia de Eaton et al. (1995).

estão na faixa dos valores considerados adequados para águas usadas na irrigação.

A água residuária apresentou moderada restrição ao uso na agricultura, em relação à salinidade por ter condutividade elétrica de $1360 \mu\text{S cm}^{-1}$, exigindo cuidados na seleção das culturas e práticas especiais de manejo para se alcançar o potencial máximo de rendimento. As concentrações de Ca^{2+} e HCO_3^- foram de 135 mg L^{-1} e 282 mg L^{-1} , respectivamente e assim como na água de abastecimento, enquadraram-se na faixa considerada adequada para águas usadas na agricultura. O Mg^{2+} apresentou um teor de 134 mg L^{-1} acima do nível adequado segundo Ayers e Wescot (1999). O valor de pH de 7,79 é considerado adequado, evitando sérios problemas de nutrição e toxicidade para as plantas, bem como incrustações e corrosões nos sistemas de irrigação (Duarte, 2002).

Os elevados teores de fósforo, matéria orgânica, nitrogênio amoniacal na água residuária provêm do uso de sabões e detergentes sintéticos, restos de alimentos e outros tipos de matéria orgânica. Apesar dessas elevadas concentrações contribuírem para contaminar o meio ambiente, a utilização dessa água na agricultura promove o restabelecimento de nutrientes no solo, resultando numa reserva de fertilizantes, os quais possuem importância econômica na produção de culturas (Feigin et al., 1991).

A cultura explorada foi a mamona (*Ricinus communis* L.) cultivar BRS 149 (Nordestina).

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com os tratamentos dispostos em esquema fatorial $[(2 \times 3) + 1]$ com 3 repetições, sendo dois o fator tipo de água (de abastecimento e residuária tratada); e três o fator dose de biofertilizante (0; 75 e 150 kg ha^{-1} de N) com uma testemunha na qual se usou adubação química e irrigou-se com água de abastecimento.

Para controle de ervas daninhas procederam-se capinas manuais e foram aplicadas três pulverizações com Atropelos, princípio ativo Monocrotophos, na dosagem de 8 mL L^{-1} de água, para o combate do ácaro vermelho.

Ao final do experimento, amostras de solo foram coletadas em cada lisímetro, em seis lugares distintos, de modo a formar uma amostra composta. Utilizou-se um trado de 2,5 cm de diâmetro. O solo foi acondicionado em sacos plásticos devidamente identificados.

Foram avaliadas a salinidade do solo, usando como indicador a condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.es), os teores dos cátions sódio trocável, potássio, cálcio, magnésio, e dos ânions carbonato, bicarbonato, cloreto e sulfato. O indicador usado na determinação da sodicidade foi a percentagem de sódio trocável (PST) que teve como base a relação entre o sódio trocável (extraído do solo, Mehlich I (H_2SO_4 0,0125M + HCl 0,05M) e quantificado no extrato conforme o método de fotometria de chama) e a capacidade de troca de cátions

$$\left(\text{PST} = \frac{\text{Na}}{\text{CTC}} \times 100 \right)$$

Os valores da capacidade de troca de cátion (CTC) foram calculados mediante a soma dos teores de $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^+ + \text{K}^+ + (\text{H}^+ + \text{Al}^{+3})$.

Estas análises foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II – Areia – PB, de acordo com os métodos descritos pela EMBRAPA (1997). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A condutividade elétrica do extrato de saturação é utilizada como indicadora da salinidade do solo, uma vez que aumenta com a concentração de sais na solução (Richards, 1954; Lima, 1998). Pelas normas das análises de variância, os diferentes tipos de água, a interação fatorial x testemunha (controle) e os tratamentos, entre si, exerceram efeitos significativos sobre a salinidade e sodicidade do solo, expressos, respectivamente pela condutividade elé-

trica do extrato de saturação, relação de adsorção de sódio – RAS e percentagem de sódio trocável – PST. Por outro lado, a adição do bio sólido não interferiu estatisticamente sobre os riscos de salinidade e sodicidade do solo (Tabela 5). Possivelmente devido ao curto período de tempo de desenvolvimento do experimento, Marques (1997), em solo Latossolo Escuro textura média cultivado com cana-de-açúcar, encontrou aumento no teor de matéria orgânica com a dose de bio sólido 1 ano após a aplicação do resíduo. Marciano (1999), estudando os efeitos da incorporação de doses crescentes de bio sólido a um Latossolo Vermelho-Amarelo, detectou efeito mais expressivo apenas no segundo ano do experimento.

A irrigação do solo, independentemente do tipo de água, elevou o nível de salinização de 0,82 dS m⁻¹ (Tabela 2) para até 1,71 (AA) e 5,5 dS m⁻¹ (AR) (Tabela 6) referentes a água de abastecimento e residuária,

respectivamente com incrementos de 108 e 572%, comparativamente entre os valores 5,51 e 1,71 dS m⁻¹ verificando que a água residuária foi 222% superior a água de abastecimento em incrementar a salinidade do solo. Ao considerar que a mamoneira é moderadamente sensível, evidenciando que não tolera estresse salino no solo superior a 3 dS m⁻¹ sem perda do seu potencial produtivo o uso da água residuária, nos níveis adotados, pode comprometer o crescimento e a produção da cultura (Ayers e Westcot, 1999).

A utilização de água residuária na irrigação elevou a condutividade elétrica do solo de 0,82 dS m⁻¹, considerado como solo não salino, para 5,51 dS m⁻¹, ou seja, passando a moderadamente salino, quando comparado ($p < 0,05$) com o mesmo solo irrigado com água de abastecimento. Esta elevação da salinidade do solo pode estar associada ao aumento dos constituintes iônicos cálcio, magnésio, potássio, sódio, bicarbonato, cloreto e sulfato.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para condutividade elétrica, sódio, potássio, cálcio, magnésio, sulfato, bicarbonato, cloreto, relação de adsorção de sódio (RAS) e percentagem de sódio trocável (PST), sob diferentes doses de bio sólidos (0, 75 e 150 kg ha⁻¹ de N) e águas de abastecimento e residuária

FV	GL	C.E dS m ⁻¹	Quadrados Médios							RAS	PST
			Na ⁽¹⁾	K ⁽¹⁾	Ca ⁽¹⁾	Mg ⁽¹⁾	SO ₄	HCO ₃	Cl ⁽¹⁾		
Bio sólido	2	1,31 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}	80,04 ^{ns}	1,72 ^{ns}	1,05 ^{ns}	6,56 ^{ns}	0,00002 ^{ns}
Água	1	64,90 ^{**}	51,90 ^{**}	0,09 [*]	2,60 [*]	1,88 ^{**}	676,02 ^{ns}	7,35 [*]	51,34 ^{**}	426,03 ^{**}	30,83 ^{**}
Bio sólido x Água	2	1,85 ^{ns}	1,47 ^{ns}	0,0022 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,31 ^{ns}	256,15 ^{ns}	7,06 [*]	0,84 ^{ns}	10,13 [*]	5,10 [*]
Fatorial vs Testemunha	1	5,08 [*]	4,55 ^{**}	0,0054 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,68 ^{ns}	106,22 ^{ns}	14,33 ^{**}	3,61 ^{ns}	38,17 ^{**}	8,40 ^{**}
Tratamento	6	12,72 ^{**}	10,06 ^{**}	0,02 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,44 ^{ns}	242,44 ^{ns}	6,54 ^{**}	9,79 ^{**}	82,93 ^{**}	5,96 [*]
Resíduo	14	0,72	0,43	0,01	0,38	0,14	379,64	0,93	0,76	1,89	39,01
C.V.(%)		24,86	15,34	8,50	22,01	15,13	20,46	20,54	17,66	18,43	11,75

ns não significativos pelo teste F

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

⁽¹⁾ dados transformados em $y = (x + 1)^{1/2}$.

Tabela 6. Valores médios da condutividade elétrica (C.E.), sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloretos, no extrato de saturação, após a aplicação dos tratamentos

Fatores	C.E. dS m ⁻¹	Variáveis				Cl ⁽¹⁾
		Na ⁽¹⁾	K ⁽¹⁾	Ca ⁽¹⁾	Mg ⁽¹⁾	
Tipo de Água						
Abastecimento	1,71b	2,76b	1,32a	2,47a	2,21a	3,43b
Residuária	5,51a	6,16a	1,17a	3,23a	2,85a	6,81a
Bio sólido						
0	3,31	4,40	1,24	2,86	2,60	5,21
75	4,15	4,77	1,25	2,89	2,57	5,48
150	3,37	4,21	1,23	2,81	2,42	4,66
Fatorial vs Testemunha						
Médias do Fatorial	3,61A	4,46A	1,24A	2,85A	2,53A	5,12A
Médias da Testemunha	2,21B	3,13B	1,19A	2,49A	2,37A	3,93B

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey a nível de 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ dados transformados em $y = (x + 1)^{1/2}$.

Tabela 7. Valores médios do desdobramento da interação água x doses de biossólido para as variáveis: bicarbonato, relação de adsorção de sódio e percentagem de sódio trocável após o experimento

Dose de Biossólido kg ha ⁻¹ de N	HCO ₃ (mmol _c L ⁻¹)		Relação de Adsorção de Sódio		Percentagem de Sódio Trocável	
	Abastecimento	Residuária	Abastecimento	Residuária	Abastecimento	Residuária
0	4,83aA	6,00abA	2,50aB	12,83abA	38,56aB	41,49abA
75	3,50aB	7,00aA	3,19aB	15,16aA	43,79aB	66,73aA
150	4,83aA	4,00bA	3,72aB	10,61bA	48,27aB	65,36bA

Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Este incremento ocorreu, provavelmente, devido ao nível de salinidade mais elevado na água residuária (Tabela 4), além de uma maior quantidade de água utilizada para estes tratamentos, devido a uma maior evapotranspiração das plantas. Outro fato que pode ter levado a este aumento na condutividade elétrica do solo foi a necessidade de uma elevada lixiviação para obtenção do efluente, a ser analisado. Fonseca (2001), estudando a disponibilidade de nitrogênio e as alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado, detectou aumento na condutividade elétrica do solo pelo uso da água residuária.

Para as medidas de RAS, PST e HCO₃, o desdobramento da interação entre os tipos de água e doses de biossólidos (Tabela 7), permite afirmar que ocorreu no solo uma elevação dessas variáveis ao aplicar a dose de biossólido de 75 kg ha⁻¹ de N e irrigar com água residuária. Segundo Santos e Muraoka (1997), com o aumento da RAS, a contribuição via matéria orgânica é diminuída, devido à redução da população microbiana, a qual é responsável pela mineralização da matéria orgânica, que por sua vez libera os nutrientes para a solução do solo. Lima (1997) afirma que as plantas sensíveis à salinidade tendem, em geral, a excluir os sais na absorção da solução do solo, não sendo capazes de realizar o ajuste osmótico e com isto sofrem um decréscimo de turgor, levando as plantas ao estresse hídrico por osmose.

Para o solo irrigado com água residuária, a PST e a CEes excederam os valores de 15 e 4 dS m⁻¹, portanto verifica-se que a aplicação dos tratamentos provocaram um aumento na salinidade do solo, passando de normal para salino sódico.

CONCLUSÕES

1. A água residuária elevou a condutividade elétrica do solo em 222% a mais que a água de abastecimento;

2. As diferentes doses de biossólidos não influenciaram significativamente as concentrações de cátions e ânions;

3. O maior valor para a relação de adsorção de sódio (RAS) e para a percentagem de sódio trocável (PST) no solo foram observados com o uso da água residuária e a dose de biossólido de 75 kg ha⁻¹ de N;

4. A irrigação com água residuária elevou o caráter salino do solo de não sódico para salino-sódico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PRO-SAB) pelo apoio financeiro ao trabalho e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) pelo apoio técnico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C.V.; DOMASZAK, S.; FERNANDES, F.; LARA, A.I. Proposta preliminar de regulamentação para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Paraná. *Revista Técnica da Sanepar*, Curitiba, v.7, n.7, p.53-60, 1997.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Tradução de GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J.F.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1999. 217p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29).

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P.C.S. Conceito de reuso de água. In: MANCUSO, C.S.A.; SANTOS, H. F. (Editores). *Reuso de água*. Barueri, SP: Manole, 2003. p.37-95.

CAVALLINI, J.M. Sistemas integrados de tratamento y uso de águas residuales em América Latina: realidad y potencial. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA

- SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún. *Anais...* Cancún, 2002.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. *Manual técnico para utilização do lodo de esgoto no Paraná*. Curitiba: SANEPAR, 1997. 96 p.
- DUARTE, A. de S. *Desenvolvimento do pimentão irrigado com água residuária tratada*. 2002. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.
- EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.; GREENBERG, A.E. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19.ed., Washington: APHA, 1995. Paginação irregular.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*. Brasília: EMBRAPA – Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos – CNPS, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa dos Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1997. 212p.
- FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Irrigation with treated sewage effluent. *Advanced Series in Agricultural Science*, v.17, 1991. 216p.
- FONSECA, A.D. da. *Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado*. 2001. 126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- FREIRE, R.M.M. Ricinoquímica. In: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. *O agronegócio da Mamona no Brasil*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2001. cap. 13, p.295-333.
- HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, C. S. A.; SANTOS, H. F. (Editores). *Reúso de água*. Barueri, SP: Manole, 2003. p.37-95.
- HOLANDA, J.S. de; AMORIM, J.R.A. de. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. de. (Editores). *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande: UFPB, 1997. cap.5, p.137-169.
- LEON, S.G.; CAVALLINI, J.M. *Tratamento e uso de águas residuárias*. Tradução de GHEYI, H.R.; KONIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1999. 108p.
- LIMA, L.A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J. F. de. (Editores). *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande: UFPB, 1997. cap.4, p.113-133.
- LIMA, V.L.A. Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem. 1998. 87f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MARCIANO, C.R. *Incorporação de resíduos urbanos e as propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo*. 1999. 93f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MARQUES, M.O. *Incorporação de biossólidos em solo cultivado com cana-de-açúcar*. 1997. 111f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal.
- RICHARDS, L.A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: United States Department of Agriculture, 1954. 160p.
- SANTOS, R.V. dos; MURAOKA, T. Interações salinidade e fertilidade do solo. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. de. (Editores). *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande: UFPB, 1997. cap.9, p.289-308.
- SOUSA, J.T.; LEITE, V.D. *Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura*. Campina Grande: EDUER, 2003. 103p.
- TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos, In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Editores). *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001. cap. 5, p.133-180.