



Recuperação de um solo salinizado após cultivo em ambiente protegido¹



Flávio F. Blanco² & Marcos V. Folegatti³

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Trabalho financiado pela FAPESP

² USP/ESALQ. Av. Pádua Dias 11, C.P. 9, CEP 13418-900, Piracicaba, SP. Fone: (19) 429 - 4217, Ramal: 268. E-mail: ffblanco@carpa.ciagri.usp.br (Foto)

³ USP/ESALQ. Fone: (19) 429 - 4380. E-mail: mvfolega@carpa.ciagri.usp.br

Protocolo 058 - 29/05/2000

Resumo: O excesso de fertilizantes e o manejo inadequado da irrigação nos cultivos em ambiente protegido, têm levado à salinização dos solos, o que resulta na redução da produtividade das culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes lâminas de lavagem e métodos de aplicação na recuperação de um solo salinizado em ambiente protegido. Foram utilizadas três diferentes frações (2/3, 1 e 3/2) da lâmina calculada, aplicadas por gotejamento e inundação, resultando em um esquema fatorial 2 x 3, com três repetições. Pelos resultados obtidos, concluiu-se que a aplicação por gotejamento foi mais eficiente na lixiviação dos sais acumulados no solo, devendo-se utilizar lâmina relativa de lavagem e coeficiente k de 0,9 e 0,1 para gotejamento e de 1,3 e 0,2 para inundação, respectivamente.

Palavras-chave: salinidade, lixiviação, eficiência de lavagem

Reclamation of a salinized soil after cultivation in greenhouse

Abstract: Overapplication of fertilizers and inadequate irrigation management in greenhouse crops have caused soil salinization, resulting in reduction of crop yields. The aim of this work was to evaluate different depths of leaching and methods of application for reclamation of a salinized soil under greenhouse conditions. Three relative water depths (2/3, 1, 3/2), based on calculated leaching water depth, were applied by drip irrigation and flooding, in a 2 x 3 factorial scheme, with 3 replications. From the obtained results, it may be concluded that the application by drip was more efficient than flooding in leaching the accumulated salts in the soil and the relative water depth and coefficient k of 0.9 and 0.1 for drip and 1.3 and 0.2 for flooding, respectively, should be used.

Key words: salinity, leaching, leaching efficiency

INTRODUÇÃO

Tem-se observado, nos últimos anos, um significativo aumento na área cultivada em ambiente protegido no Brasil, principalmente na produção de hortaliças e flores. Entre as culturas mais exploradas sob este sistema de cultivo, encontram-se pimentão, pepino, tomate e alface, entre outras (Trani et al., 1997).

No Estado de São Paulo têm-se informações sobre a salinização dos solos de estufa, devida, provavelmente, ao controle inadequado da lâmina de irrigação, embora a água de irrigação utilizada seja de boa qualidade. Porém, a aplicação de fertilizantes em ambiente protegido é feita via água de irrigação, o que a torna salina, sendo o nível de salinidade da água diretamente proporcional à quantidade de fertilizantes adicionada.

Sob condições irrigadas, muitas vezes, os sais podem elevar a salinidade do solo, tornando-a mais salina. Com o

aumento na quantidade de água aplicada em cada irrigação, o nível de salinidade do solo pode ser reduzido devido ao aumento do volume de água percolado abaixo da região radicular da cultura (Petersen, 1996). Em ambiente protegido, Medeiros (1998) e Blanco (1999) cultivando, respectivamente, pimentão e pepino, verificaram que a aplicação de diferentes frações de lixiviação não foi suficiente para evitar o acúmulo de sais na região radicular da cultura, sendo que a salinidade do solo aumentou linearmente com a salinidade da água de irrigação utilizada.

Quando as frações de lixiviação utilizadas na irrigação não são suficientes para impedir o aumento do teor de sais no solo durante o ciclo de uma cultura, faz-se necessária a redução da salinidade do solo, até um nível tolerado pela cultura a ser implantada, através da lavagem de recuperação (Rhoades et al., 1992). Segundo Hoffman et al. (1992) quando a água não é muito salina de modo que, durante o ciclo da cultura, a salinidade do solo não ultrapasse a salinidade limiar, não seria necessário realizar-se

lixiviações constantes, caso em que poderia ser realizada apenas uma lavagem de recuperação no final do ciclo da cultura.

van Hoorn (1981), em condições de campo verificou que, a equação desenvolvida por van der Molen (1956) não estimou com precisão a lâmina de lavagem. O autor afirma que modelos desenvolvidos em colunas de solo em laboratório necessitam de um fator de correção para serem aplicados no campo, devido à grande variabilidade na estrutura do solo e ao fato de que parte da água de lavagem não se mistura com a solução do solo, devido à presença de grandes poros e fendas.

No processo de dessalinização de solos com alto teor inicial de sais, a salinidade cai gradualmente no tempo, em função da quantidade de água aplicada, numa função aproximadamente exponencial (Salazar et al., 1988). Existem diversos modelos para o cálculo da quantidade de água a ser aplicada na lavagem, porém nenhum dos métodos descreve os diversos processos que ocorrem simultaneamente com o fluxo de água. Segundo Rhoades & Loveday (1990) embora tenham sido desenvolvidos modelos determinísticos para simular a recuperação de solos salinos, as estimativas da quantidade de água de lixiviação necessária são baseadas em relações empíricas, derivadas de pesquisas e experiências de campo. Exemplos destes modelos são aqueles desenvolvidos por Reeve et al. (1955), van der Molen (1956) e diversos outros modelos apresentados por FAO (1973).

O efeito da textura do solo sobre a quantidade de água necessária para a lixiviação dos sais pelo método da inundação contínua, tem sido demonstrado ao se estabelecer a relação entre a fração de concentração inicial de sais (C_0) e a remanescente no perfil (C) e a lâmina de água infiltrada (L_d) através de uma profundidade de solo (L_s) representada por Hoffman (1980) como:

$$\frac{C}{C_0} \cdot \frac{L_d}{L_s} = k \quad (1)$$

sendo k um coeficiente cujo valor varia de acordo com o tipo de solo e o método de aplicação da lâmina. Segundo este autor os valores representativos de k são de 0,3 a 0,1 para lavagem por inundação, em solo variando de argiloso a arenoso, ou 0,1 para aspersão ou gotejamento, independentemente do tipo de solo.

De acordo com Hoffman (1980) quando a água de irrigação apresenta concentração significativa de sais, sua salinidade pode entrar na equação acima, em subtração a C e C_0 , resultando em:

$$L = k \cdot Z \cdot \frac{C_0 - C_a}{C - C_a} \quad (2)$$

em que:

C_a - concentração de sais da água de irrigação usada na lavagem, dS m^{-1}

Z - profundidade de solo a ser recuperada, m

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a eficiência de lavagem de um solo salinizado após um cultivo de pepino em ambiente protegido, utilizando-se diferentes lâminas de lavagem e métodos de aplicação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da USP/ESALQ, no município de Piracicaba, SP, em uma ambiente protegido de 110 m^2 . A salinização do solo foi consequência de um experimento com a cultura do pepino enxertado (*Cucumis sativus* L.) irrigado com águas de diferentes salinidades, resultando em parcelas com diferentes concentrações salinas, proporcionais às das águas utilizadas. Foram confeccionados três canteiros de $16,85 \text{ m}$ de comprimento e $1,0 \text{ m}$ de largura, os quais foram divididos em 9 parcelas, resultando em 27 parcelas.

Terminado o cultivo do pepino, coletaram-se amostras de solo nas profundidades de 0 - 0,20, 0,20 - 0,40 e 0,40 - 0,60 m, coletadas em todas as parcelas em pontos preestabelecidos, a 0,10 e 0,05 m de distância do gotejador, as quais foram misturadas, formando uma amostra composta para cada parcela e para cada profundidade. Como as parcelas submetidas ao tratamento menos salino apresentaram baixa concentração de sais, a lavagem foi realizada apenas nas 18 parcelas restantes, as quais apresentavam salinidade média na camada de 0 - 0,60 m acima de $2,30 \text{ dS m}^{-1}$ (Tabela 1). A salinidade do solo foi avaliada pela condutividade elétrica da suspensão 1:2 (solo:água), a partir da qual se estimou a condutividade elétrica do extrato de saturação (Richards, 1954) utilizando-se curvas de calibração determinadas para esta finalidade.

Tabela 1. Salinidade média do extrato de saturação do solo das parcelas experimentais (0 - 0,60 m profundidade) antes da recuperação e lâminas de lavagem relativas e calculadas para gotejamento (Got) e inundação (Inund)

Tratamento*	Salinidade do Solo		Lâmina de Lavagem	
	Got	Inund	Got	Inund
	dS m^{-1}		mm	
L_1 (2/3 L)	2,49	2,95	71	170
L_2 (L)	2,52	2,58	108	222
L_3 (3/2 L)	3,11	2,33	203	297

* Lâmina de lixiviação L calculada em base de Eq. 2

O solo da estufa foi classificado por Ranzani (1966) como Terra Roxa Estruturada, série "Luiz de Queiroz", e pela classificação norte-americana, como um Palendalf óxico, cujo material de origem são rochas básicas. Algumas características físicas do solo estão apresentadas na Tabela 2.

As parcelas experimentais encontravam-se devidamente isoladas no momento da aplicação das lâminas de lavagem, uma vez que antes do transplântio das mudas de pepino no experimento anterior foi instalado um filme plástico até 0,80 m de profundidade, para evitar o deslocamento lateral de sais entre as parcelas adjacentes. A lâmina de lavagem foi calculada pela Eq. (2) assumindo $C_a = 0,22 \text{ dS m}^{-1}$, $C = 1,5 \text{ dS m}^{-1}$, $Z = 0,60 \text{ m}$ e $k = 0,1$ e 0,2 para a aplicação por gotejamento e inundação,

Tabela 2. Granulometria e classe textural do solo para diferentes profundidades

Profundidade (m)	Granulometria - g kg^{-1}			Classe Textural
	Areia	Silte	Argila	
0 - 0,20	400	140	460	Argiloso
0,20 - 0,40	370	130	500	Argiloso
0,40 - 0,60	350	130	520	Argiloso
0,60 - 0,80	330	110	560	Argiloso

respectivamente. Os tratamentos foram compostos de dois métodos de aplicação da lâmina de lavagem (gotejamento e inundação) e três lâminas relativas ($L_1 = 2/3.L$, $L_2 = L$ e $L_3 = 3/2.L$). O delineamento experimental foi o de blocos inteiramente casualizados e os fatores foram arranjados no esquema fatorial 2×3 , com 3 repetições.

A água utilizada na recuperação tinha condutividade elétrica de $0,22 \text{ dS m}^{-1}$ e pH 8,1, possuindo a seguinte composição química: $\text{Na} = 0,24$; $\text{Ca} = 0,69$; $\text{Mg} = 0,45$; $\text{K} = 0,07$; $\text{Cl} = 0,01$; $\text{SO}_4 = 0,48$ e alcalinidade ($2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$) = $0,34 \text{ mmol L}^{-1}$. Para a aplicação das lâminas de lavagem foi utilizado o próprio sistema de irrigação instalado na área, sendo a pressurização realizada por uma motobomba de 0,5 cv conectada a uma caixa d'água de 500 L; a aplicação por gotejamento foi realizada com um sistema de irrigação com gotejadores autocompensantes, de vazão média igual a $4,0 \text{ L h}^{-1}$, e a lâmina aplicada foi calculada pelo tempo de irrigação. Cada parcela possuía um registro, de forma que a lâmina aplicada era controlada individualmente. O sistema de irrigação era composto de duas linhas espaçadas 0,60 m, com cinco gotejadores em cada linha, espaçados 0,40 m, resultando em uma intensidade de aplicação de, aproximadamente, 22 mm h^{-1} .

Na aplicação por inundação, a linha lateral do sistema de irrigação foi desconectada das linhas que continham os gotejadores e a água proveniente da linha lateral foi aplicada diretamente sobre as parcelas; neste caso, o volume de água aplicado foi controlado através de medidas da altura da lâmina d'água na caixa, calibrada previamente.

O tempo médio necessário para se aplicar a lâmina de lavagem nas parcelas recuperadas por inundação foi de 15 min, uma vez que o solo apresentava boa drenagem interna. Após a aplicação, as parcelas eram cobertas com lona plástica para evitar a perda de água por evaporação. Na recuperação por gotejamento, as parcelas foram mantidas cobertas, também durante a aplicação das lâminas, uma vez que o tempo médio de aplicação foi de 5,8 h. Decorridos 10 dias da aplicação da lâmina de lavagem, o plástico foi retirado e o solo amostrado, sendo as amostras coletadas nas mesmas profundidades e em pontos próximos daqueles utilizados na amostragem inicial. Também foram coletadas amostras nas profundidades de 0 - 0,20, 0,20 - 0,40, 0,40 - 0,60 e 0,60 - 0,80 m, em diferentes posições em relação ao gotejador, a fim de se determinar o perfil de distribuição de sais no solo, tanto lateral quanto transversalmente ao canteiro. Para a determinação do perfil lateral, no sentido do comprimento do canteiro as amostras foram coletadas nas distâncias de 0, 0,10 e 0,20 m do gotejador e, para o perfil transversal, no sentido da largura do canteiro, a 0, 0,05, 0,10, 0,20 e 0,30 m do gotejador (Figura 1). A amostragem foi realizada em duas parcelas, sendo uma recuperada por inundação e outra por gotejamento, ambas submetidas à lâmina relativa D_3 .

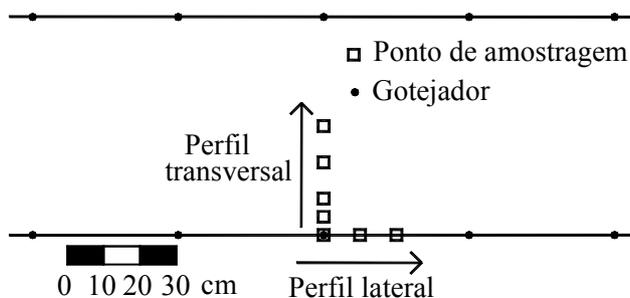


Figura 1. Esquema de uma parcela experimental indicando os pontos de amostragem do solo em relação ao gotejador, para a determinação dos perfis de salinidade

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A salinidade do solo foi reduzida após a lavagem pelos dois métodos de aplicação, apresentando maiores reduções pelo método do gotejamento (Figura 2). Em ambos os métodos a salinidade do solo diminuiu com o aumento da lâmina relativa de lavagem; por outro lado, quando a aplicação foi realizada por inundação, a redução da salinidade do solo foi menos afetada pelo aumento da lâmina relativa de lavagem.

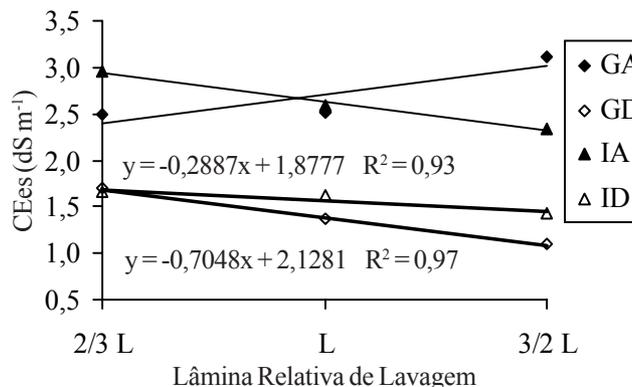


Figura 2. Salinidade do solo (CEes) antes (A) e depois (D) da aplicação das lâminas de lixiviação por gotejamento (G) e inundação (I), utilizando diferentes lâminas relativas de lavagem

Após a lavagem, a salinidade final do solo (CEF) e a relação CEF/CEI reduziram e a redução da salinidade (CEI-CEF) aumentou linearmente com o aumento da lâmina relativa de lavagem, quando a recuperação foi realizada por gotejamento, não apresentando diferença significativa para a aplicação por inundação (Tabela 3); além disso, a lâmina relativa L_3 proporcionou salinidade final significativamente menor para gotejamento e menor relação CEF/CEI, que a aplicação por inundação, sendo que a redução na salinidade não apresentou diferença significativa entre os métodos de aplicação, embora o valor para gotejamento tenha sido 2,2 vezes menor que para a aplicação por inundação.

Na aplicação por inundação, o reduzido decréscimo da salinidade com o acréscimo da lâmina de lavagem deve estar relacionado à baixa eficiência de lixiviação, pois segundo Hoffman (1980), o aumento da lâmina na recuperação por inundação contínua leva a uma redução significativa na eficiência de lavagem, devido ao fluxo preferencial que ocorre nesta condição. Para a lâmina relativa L_2 , observa-se que a salinidade do solo, após a lavagem, foi inferior e superior a $1,5 \text{ dS m}^{-1}$, para os métodos de aplicação por gotejamento e inundação, respectivamente, ou seja, o coeficiente k utilizado no modelo de Hoffman (1980) superestimou a lâmina de lavagem para a aplicação por gotejamento e a subestimou para inundação, evidenciando a maior eficiência da lavagem por gotejamento. Portanto, sendo o valor de k dependente do tipo de solo e do método de aplicação da lâmina, fica claro que este é um coeficiente que reflete a eficiência do método de aplicação de acordo com a textura do solo a ser recuperado e, com isso, o valor de k varia de maneira inversamente proporcional à eficiência do método para cada tipo de solo.

Substituindo-se os valores da salinidade final do solo na Eq. (2) pôde-se determinar o valor do coeficiente k para cada parcela experimental. O coeficiente k apresentou valores que variaram de 0,08 a 0,10 para a lavagem por gotejamento (Figura 3), estando esses bastante próximos ao recomendado por Hoffman (1980). Na lavagem por inundação, os valores de k variaram de 0,15 a 0,28 com o aumento da lâmina aplicada, aproximando-se do valor recomendado para a aplicação por inundação contínua que é de 0,3. O valor estimado do coeficiente k após a recuperação por gotejamento não apresentou variações estatisticamente significativas (Tabela 3) com o aumento da lâmina de lavagem, mas apresentou aumento linear quando a recuperação foi realizada por inundação.

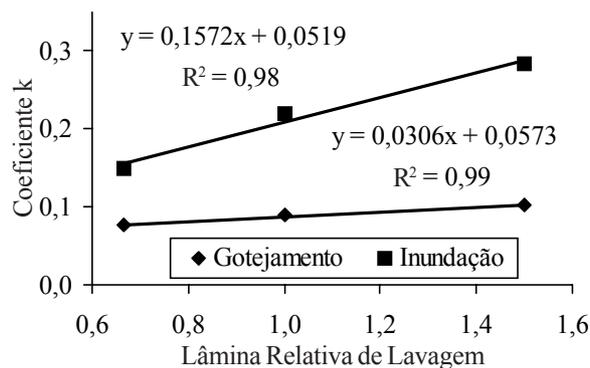


Figura 3. Variação dos valores do coeficiente k em função da lâmina relativa de lavagem para os métodos de aplicação por gotejamento e inundação

Tabela 3. Salinidade do solo após a recuperação (CEF), redução da salinidade (CEI-CEF), relação entre a salinidade final e a inicial (CEF/CEI) e coeficiente k da equação de Rhoades & Loveday (1990) para as diferentes lâminas relativas de lavagem por gotejamento e inundação

Lâmina Relativa de Lavagem	CEF		CEI-CEF		CEF/CEI		Coeficiente k	
	Got	Inund	Got	Inund	Got	Inund	Got	Inund
	dS m ⁻¹							
L ₁ (2/3 L)	1,69a	1,66a	0,79a	1,29a	0,69a	0,56a	0,08a	0,15a
L ₂ (L)	1,36a	1,63a	1,15a	0,95a	0,56a	0,63a	0,09b	0,22a
L ₃ (3/2 L)	1,09b	1,43a	2,02a	0,90a	0,36b	0,62a	0,10b	0,28a
Teste F	**	ns	*	ns	*	ns	ns	*

*** Significativo ao nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, pelo teste de regressão linear; ns - não significativo

¹ Médias seguidas por letras diferentes nas linhas apresentam diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste de Tukey, entre a aplicação por gotejamento e inundação, para cada variável analisada

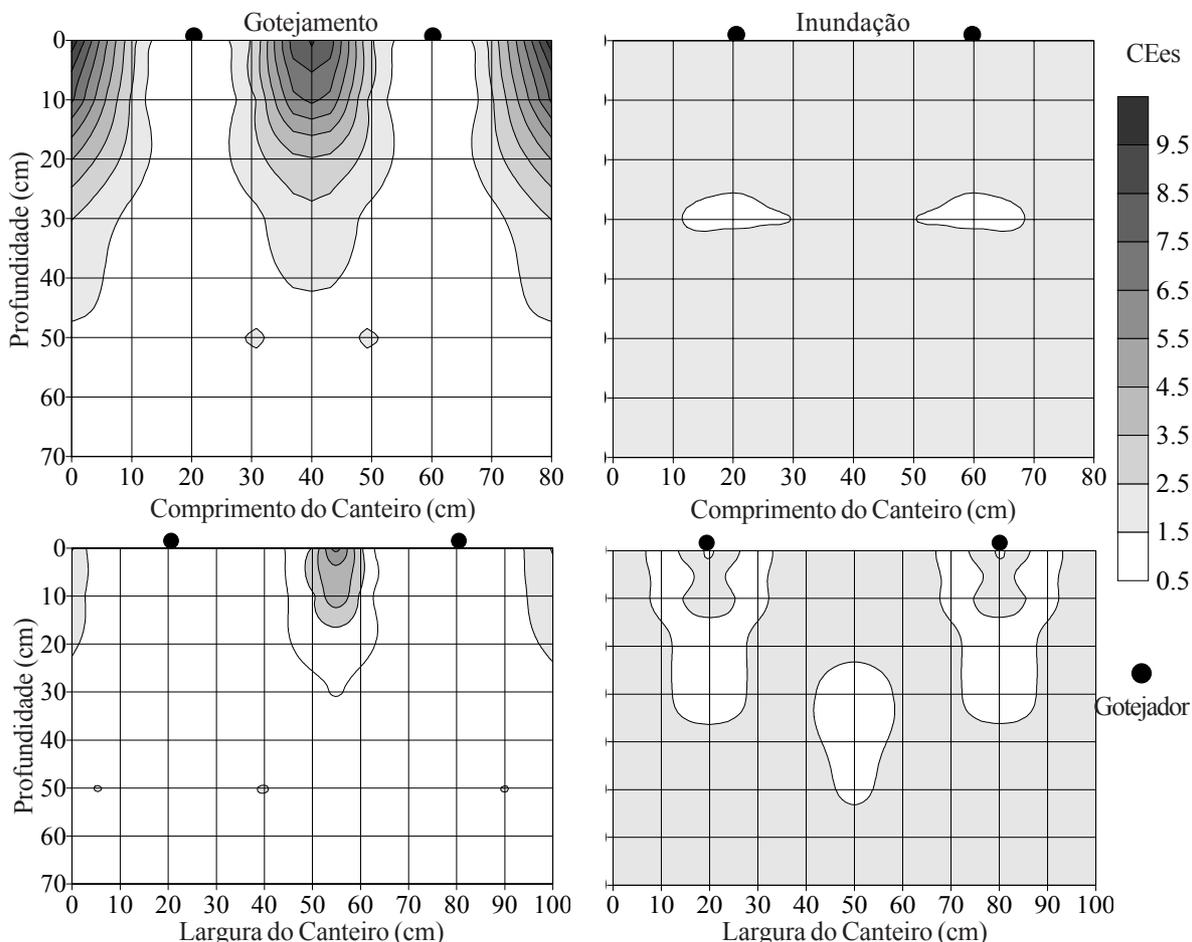


Figura 4. Perfis de salinidade do solo após a aplicação de lâmina de lavagem correspondente a 1,5 vezes a lâmina calculada por Hoffman (1980) por gotejamento e inundação

Considerando-se que a aplicação das lâminas de lavagem foi realizada para reduzir a salinidade do solo para $1,5 \text{ dS m}^{-1}$, a partir das equações de regressão apresentadas na Figura 2, pode-se dizer que a lâmina relativa de lavagem a ser utilizada na recuperação de solos salinizados deve ser de 0,9 para gotejamento e de 1,3 para inundação quando se utilizam os valores do coeficiente k recomendados por Hoffman (1980), ou então que os valores deste coeficiente devem ser de 0,09 e 0,26 para a aplicação por gotejamento e inundação, respectivamente.

No perfil do solo, a lavagem por gotejamento proporcionou maior redução da salinidade apenas na região próxima ao gotejador, dentro do bulbo molhado, onde foram coletadas as amostras para a avaliação das variáveis analisadas (Figura 4); já o método da inundação resultou em uma redução de salinidade mais uniforme em toda a área da parcela, sendo as variações devidas à distribuição de sais no solo antes da recuperação, visto que a salinidade do solo foi proporcionada pela aplicação de água salina por gotejamento, resultando em uma distribuição desuniforme de sais no perfil.

Os resultados sugerem que para cultivos protegidos, onde o método de irrigação mais utilizado é o gotejamento, seria mais vantajoso realizar-se a recuperação do solo salinizado pelo próprio sistema de irrigação, uma vez que este já se encontra instalado na área; portanto, caso não haja revolvimento do solo após um cultivo, a recuperação pode ser realizada por gotejamento, desde que o plantio da cultura subsequente seja realizado dentro da região do bulbo molhado do cultivo anterior, onde a redução da salinidade pela lavagem é satisfatória. Porém se houver o revolvimento, pode-se realizar a recuperação por inundação, ou mesmo por gotejamento, desde que esta seja feita após o revolvimento do solo devendo-se, neste caso, proceder à amostragem após o preparo do solo.

CONCLUSÕES

1. O aumento da lâmina relativa de lavagem pelos métodos de gotejamento e inundação proporcionou reduções crescentes da salinidade do solo, apresentando diferenças significativas apenas para a aplicação por gotejamento.

2. O valor do coeficiente k recomendado por Hoffman (1980) subestimou a lâmina de lavagem para a aplicação por inundação e a superestimou para o gotejamento.

3. A lavagem por inundação permite a obtenção de um perfil de salinidade mais uniforme na área recuperada, em relação ao gotejamento.

4. A aplicação da lâmina de lavagem para a recuperação de solos salinizados em ambiente protegido, pode ser realizada pelo próprio sistema de irrigação por gotejamento, desde que esta seja feita após o preparo do solo para o plantio.

LITERATURA CITADA

- Blanco, F.F. Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo. Piracicaba: ESALQ/USP, 1999. 104p. Dissertação Mestrado
- FAO. Irrigation, drainage and salinity: An international source book. Paris: UNESCO/Hutchinson, 1973. cap. 13, p. 430-480.
- Hoffman, G.J. Guidelines for reclamation of salt-affected soils. In: Inter-american Salinity Water Management Technology Conference, Juarez, 1980. Proceedings... Juarez: 1980. p.49-64.
- Hoffman, G.J.; Rhoades, J.D.; Letey, J.; Sheng, F. Salinity management. In: Hoffman, G.J.; Howell, T.A.; Solomon, K.H. (Ed.) Management of farm irrigation systems. St. Joseph: ASAE, Pamela De-Vore-Hansen, 1992. cap.18, p.667-715, ASAE Monograph, 9
- Medeiros, J.F. Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. 152p. Tese Doutorado
- Petersen, F.H. Water testing and interpretation. In: Reed, D.W. (Ed.) Water media, and nutrition for greenhouse crops. Batavia: Ball, 1996. cap.2, p.31-49.
- Ranzani, G. Carta de solos do município de Piracicaba. Piracicaba: Centro de Estudos de Solos/ESALQ/USP, 1966. 85p.
- Reeve, R.C.; Pillsbury, A.F.; Wilcox, L.V. Reclamation of saline and high boron soil in the Coachella Valley of California. Hilgardia, Berkeley, v.24, p.69-91, 1955.
- Rhoades, J.D.; Kandiah, A.; Mashali, A.M. The use of saline waters for crop production. Rome: FAO, 1992. 133p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48
- Rhoades, J.D.; Loveday, J. Salinity in irrigated agriculture. In: Stewart, D.R.; Nielsen, D.R. (Eds.) Irrigation of agricultural crops. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1990. cap.36, p.1089-1142. Agronomy, 30
- Richards, L.A. (Ed.) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. USDA. Agriculture Handbook, 60
- Salazar, R.V.; Félix, S.G.; Cordeiro, G.G. Avaliação econômica da recuperação de solos salinos no perímetro irrigado de Vaza-Barris – Cocorobó, BA. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, 1988. 16p. EMBRAPA. Documentos, 48
- Trani, P.E.; Groppo, G.A.; Silva, M.C.P.; Minami, K.; Burke, T.J. Diagnóstico sobre a produção de hortaliças no estado de São Paulo. Horticultura Brasileira, Brasília, v.15, n.1, p.19-24, 1997.
- van der Molen, W.H. Desalination of saline soils as a column process. Soil Science, Baltimore, v.81, p.19-27, 1956.
- van Hoorn, J.W. Salt movement, leaching efficiency, and leaching requirement. Agricultural Water Management, Wageningen, v.4, n.4, p.409-428, 1981.