

INFLUÊNCIA NO SOLO DA SALINIDADE DO REJEITO DA DESSALINIZAÇÃO USADO PARA IRRIGAÇÃO

Everaldo Rocha Porto¹; Luiza Teixeira de Lima Brito² & José Monteiro Soares³

Resumo - Objetivando avaliar a influência no solo do rejeito da dessalinização usado para irrigação da *Atriplex nummularia*, foram aplicados quatro volumes de água correspondendo aos tratamentos T1=75; T2=150; T3=225 e T=300 litros por planta por semana. Foram determinadas características químicas do rejeito e coletadas amostras de solos semanais nas profundidades de 0-30; 30-60 e 60-90 cm, para avaliação da condutividade elétrica do extrato de saturação; umidade e caracterização química. Foi determinada a velocidade de infiltração de água no solo, no início e após a colheita. Os resultados indicam aumentos nos íons, refletindo na salinidade do rejeito, que atingiu valor máximo de CE=12,9 dS/m. No contexto da salinidade do solo, ocorreram incrementos nas variáveis em função do volume de água aplicado, refletindo na condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, que antes do plantio apresentava um valor médio de CEs = 0,41 dS/m e após a colheita de CEs=8,03 dS/m. Os riscos de sodicidade estão representados pela redução da velocidade de infiltração inicial. Com os dados de umidade do solo estimou-se a condutividade elétrica na zona do sistema radicular da planta (CE_{EST}) que atingiu um valor máximo de 36,88 dS/m.

Abstract - To evaluate the influence in the soil of the reject from desalting used for irrigation of the *Atriplex nummularia*, four volumes of water corresponding to the treatments T1=75; T2=150; T3=225 and T=300 liters for plant a week were applied. Chemistries characteristics of the reject and from soil samples were analyzed weekly in the depths of 0-30; 30-60 and 60-90 cm. The infiltration rate of the soil was determined, in the beginning and after harvest the crop. The results indicate increases in the ions, contemplating in the salinity of the reject, that reached maximum value of CE=12,9 dS/m. In the context of the salinity of the soil, it happened increment in the variables in function of the applied volume of water, contemplating in the electric conductivity of the extract of saturation of the soil, that presented a medium value of CEs before the plantation = 0,41 dS/m and

¹ Eng. Agrônomo, Ph.D, Pesquisador Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152, Zona Rural, C.P. 23, 56300-970, Petrolina-PE, Fone: 87-3862-1711, Fax: 87-3862-1744 e-mail: erporto@cpatsa.embrapa.br

² Eng. Agrícola, Ph.D, Pesquisadora Embrapa Semi-árido, BR 428, Km 152, Zona Rural, C.P. 23, 56300-970, Petrolina-PE, Fone: 87-3862-1711, Fax: 87-3862-1744, e-mail: luizatlb@cpatsa.embrapa.br

³ Eng. Agrônomo, Ph.D, Pesquisador Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152, Zona Rural, C.P. 23, 56300-970, Petrolina-PE, Fone: 87-3862-1711, Fax: 87-3862-1744, e-mail: monteiro@cpatsa.embrapa.br

after the crop of $CEs=8,03$ dS/m. The sodium hazard risks are represented by the reduction of the initial infiltration rate. With the data of the soil moisture was estimated the electric conductivity in the root zone of the crop that reached a maximum value of 36,88 dS/m.

Palavras-Chave - rejeito; dessalinização; solo; erva-sal.

Keywords – reject; desalting; soil; saltbush.

INTRODUÇÃO

A escassez de água em muitas regiões do mundo tem induzido à sociedade a buscar alternativas para aumentar a disponibilidade de água, adotar medidas de redução de desperdícios e de reutilização de águas para fins diversos.

Na região semi-árida brasileira, onde predominam rochas do tipo cristalino, os sistemas aquíferos são do tipo fissural e de baixa produtividade, os poços são rasos e apresentam vazões inferiores a $3,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, com elevados teores de sólidos dissolvidos totais, em média, $3,0 \text{ g L}^{-1}$, predominando o cloreto (LEAL, 1999). Para que essa água seja utilizada para consumo humano há necessidade de ser dessalinizada.

Entre os diferentes processos de dessalinização existentes, a osmose inversa é o que tem apresentado maior eficiência e está sendo utilizado em vários países, principalmente na Arábia Saudita, seguido pelos Emirados Árabes, Estados Unidos e União Soviética. Estudos técnicos e econômicos realizados na região semi-árida mexicana mostraram que a osmose inversa é a opção mais econômica para dessalinizar água do mar ou salobra, devido às novas alternativas de energia e de membranas, obtendo-se custos de até $\$0,32/\text{m}^3$ de água tratada. Porém, este processo requer alto custo de investimento inicial, pessoal capacitado e custos para manutenção das membranas (DIAZ & GONZÁLEZ, 2003).

O processo de dessalinização resulta em dois tipos de água. Um, é água potável, que, em média, corresponde a 50% da capacidade de bombeamento do poço. O outro, é uma água de alta concentração salina, denominado de rejeito, apresentando baixa qualidade e altos riscos ambientais. A utilização da água do rejeito da dessalinização tem como principal enfoque a redução dos riscos ambientais, além de permitir seu uso para produção de alimentos como a tilápia e a irrigação de plantas tolerantes à salinidade.

Águas com altas concentrações de sais têm sido utilizadas para irrigação em diversas partes do mundo, associadas a diferentes práticas de cultivo, devido a que a salinidade da água afeta sobremaneira as características físico-hídricas do solo.

O efeito da salinidade da água de irrigação sobre o solo ocorre pela interação eletroquímica entre os sais e a argila, reduzindo sua permeabilidade e afetando a disponibilidade de água para a planta. A salinidade limita a retirada de água pelas plantas devido à redução do potencial osmótico e, assim, do potencial total de água no solo e reduz a permeabilidade; além disso, certos elementos como cloreto, sódio, boro, nitrato, podem se tornar tóxicos às plantas ou causar desequilíbrios nutricionais, se presentes em altas concentrações. Estes efeitos ocorrem de forma similar para todas as plantas; no entanto, nem todas são igualmente afetadas pelo mesmo nível de salinidade; algumas culturas são mais tolerantes que outras e podem extrair água do solo com mais facilidade (Rhoades *et al.*, 1990; Ayers e Westcot, 1991), como as plantas halófitas.

Este trabalho teve por objetivo avaliar as características físicas do solo cultivado com *Atriplex nummularia*, irrigado com diferentes lâminas de água proveniente do rejeito da dessalinização de um sistema integrado água potável para o consumo humano versus produção de tilápia para alimentação do homem e de forragens para alimentação animal.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no campo experimental da Caatinga, da Embrapa Semi-Árido, cujo solo foi classificado como Argiloso Amarelo cultivado com a *Atriplex nummularia* transplantada em 16/06/2000, num espaçamento de 4,0 m entre linhas e 4,0 m entre plantas.

No primeiro ano de produção que compreendeu o período de agosto de 2000 a julho de 2001 a *Atriplex* recebeu quatro diferentes volumes de água de irrigação correspondendo aos tratamentos T1=75; T2=150; T3=225 e T=300 litros de água do rejeito por planta por semana, aplicada de uma só vez.

Neste período, foram determinadas as características químicas do rejeito da dessalinização correspondendo à água de irrigação, referente a Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- , pH e a condutividade elétrica da água que expressa a salinidade e determinada à relação de adsorção de sódio (RAS), de acordo com Richards (1954), citado por Ayers e Westcot (1991).

Também foram coletadas amostras de solos semanais nas profundidades de 0-30; 30-60 e 60-90 cm, para avaliação da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; umidade do solo e de determinação da caracterização química. Também foram realizados testes para determinação da velocidade de infiltração de água solo, no início do plantio e logo após a colheita, em função dos volumes aplicados, possibilitando a determinação da curva de velocidade de infiltração do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos resultados obtidos referentes à qualidade da água do rejeito da dessalinização utilizada para irrigação da *Atriplex nummularia*, pode observar que ocorreram aumentos significativos em alguns íons como Ca^{++} , Na^+ , Cl^- e HCO_3^- no período de novembro/00 a março/01 refletindo no aumento da salinidade da água, como também na relação de adsorção de sódio atingindo os maiores valores para $\text{CE}=12,9$ dS/m e $\text{RAS}=12,86$ mmol/L (Tabela 1). Como este período coincide com a ocorrência das chuvas na região este aumento podem estar associados à lixiviação de sais e outros minerais com as águas das chuvas no perfil do solo para alimentar os aquíferos.

A água do rejeito da dessalinização apresenta severas restrições de uso ($\text{CE}>3,0$ dS/m) para irrigação, de acordo com recomendações de Ayers e Westcot, (1991); porém como se trata da irrigação de uma cultura halófito, que são plantas altamente resistentes a salinidade no sistema solo-água, os efeitos no desenvolvimento e na produtividade da planta são baixos, devido a que o maior valor obtido foi de 12,9 dS/m (Tabela 1), e a *Atriplex nummularia* tolera elevados níveis de salinidade de até 57,0 dS/m (FAO, 1996).

Tabela 1 - Qualidade da água do rejeito da dessalinização utilizada para irrigação da *Atriplex nummularia* no período de julho de 2000 a julho de 2001.

Data	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	HCO_3^-	SO_4^-	Cl^-	pH	CE	RAS
	----- (mmol/L) -----								(dS/m)	(mmol/L) ^{1/2}
12/07/00	14,3	35,7	0,75	0,01	20,0	3,0	30,0	7,5	8,88	0,15
07/08/00	18,3	33,6	40,03	1,04	7,70	1,91	87,3	6,8	8,82	7,86
18/09/00	20,3	42,7	60,0	1,00	9,80	2,87	107,8	6,9	10,59	10,69
16/10/00	17,3	33,3	32,96	0,60	9,20	2,16	75,9	7,0	8,83	6,55
17/11/00	40,0	20,0	70,4	0,51	20,0	3,74	100,0	7,4	10,6	12,86
13/12/00	50,0	40,0	64,3	0,77	30,0	4,66	150,0	8,3	12,9	9,59
08/02/01	23,0	33,0	52,2	0,72	20,0	1,31	98,0	6,9	9,4	9,86
06/03/01	23,0	31,0	56,96	0,49	17,0	1,42	103,0	6,9	9,66	10,96
05/04/01	14,0	28,0	30,4	0,48	10,5	1,66	64,9	7,2	7,12	6,64
07/06/01	13,6	30,8	36,0	0,26	10,8	2,12	77,1	7,2	8,07	7,64
18/07/01	13,6	35,9	47,76	1,12	13,3	1,98	86,2	7,1	8,6	9,60

No contexto da salinidade do solo, observa-se que durante o período analisado ocorreu incremento significativo em todas as variáveis em função do volume de água aplicado, ou seja, dos tratamentos (T) e da profundidade do solo (P), refletindo na condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEs) que antes do plantio apresentava um valor médio de $\text{CEs} = 0,41$ dS/m e

após a colheita de $CEs=8,03$ dS/m, como mostra a Tabela 2. De modo semelhante, ocorreram aumentos nos valores da relação de adsorção de sódio (RAS) que variaram de 0,14 a 12,16 mmol/L, respectivamente, no tratamento T1, isto é, com o menor volume de água de irrigação. É importante ressaltar que o limite para a RAS causar problemas nas propriedades do solo é de 15,0 mmol/L.

Todavia, esses parâmetros não incluem os cultivos halófitos, ou seja, cultivos com alta tolerância à salinidade.

Os riscos de sodicidade representados pela salinidade da água de irrigação refletem nas características físicas dos solos, principalmente sobre sua estrutura, promovendo a formação de crostas, na camada superficial do solo, em consequência dos elevados teores de sódio em relação ao cálcio, que causam a dispersão da argila. Estes fatores atuam na redução da infiltração da água no solo e na sua disponibilidade para as plantas. Segundo Ayers e Westcot, (1991), estes riscos são maiores quando o teor de sódio supera o do cálcio numa proporção superior a 3:1. No caso do trabalho em foco, esta proporção variou durante o decorrer do ciclo de cultivo, chegando a ultrapassar em 18/07/01, conforme Tabela 1.

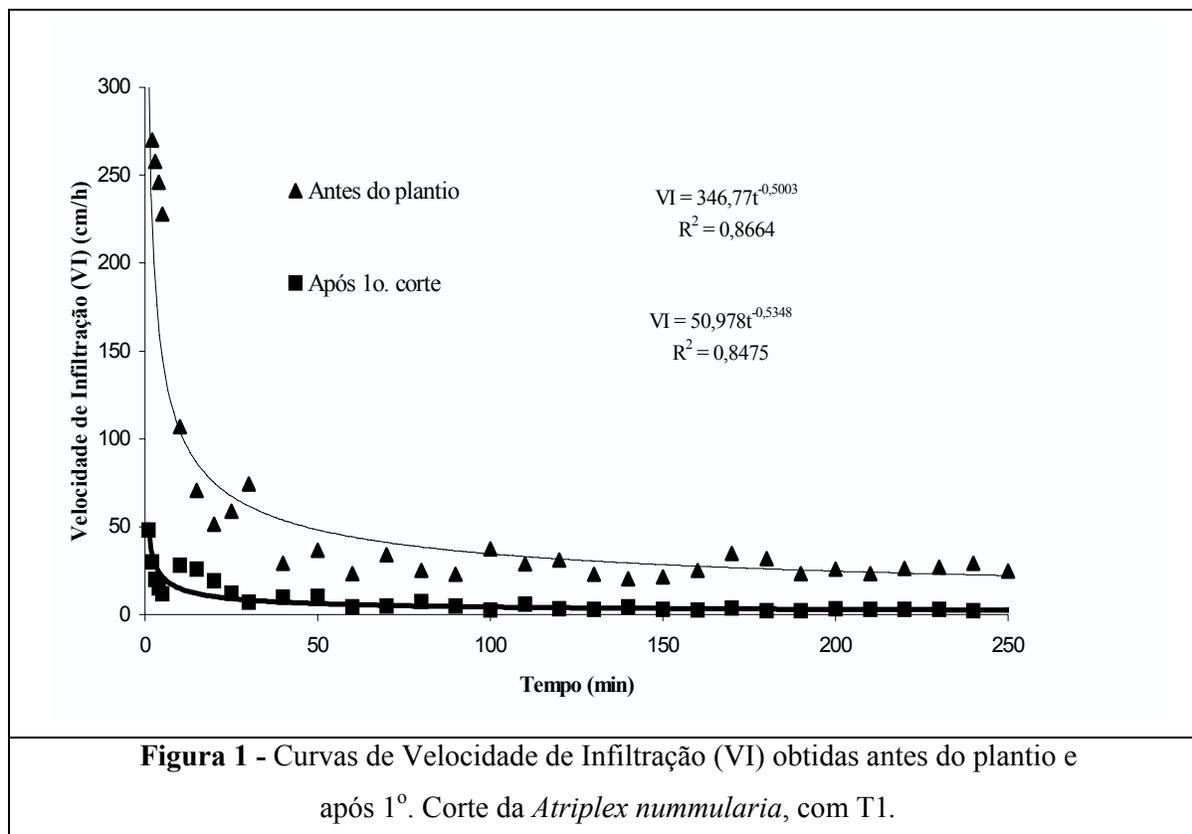
Se a área não contém sistema de drenagem para permitir a lixiviação dos sais, estes vão se acumulando no solo e modificando a dinâmica da água, comumente analisada pela curva da velocidade de infiltração.

Tabela 2. Características químicas do solo antes do plantio e após a colheita da *Atriplex nummularia* em função das profundidades do solo (P) e dos tratamentos (T), correspondendo aos quatro volumes de água aplicados pela irrigação.

		Variáveis										
P (cm)		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	pH	CE _s	RAS	PST*
T		-----(mmol/L)-----						(dS/m) (mmol/L) ^{1/2} (%)				
Antes do plantio												
P1		2,0	1,0	0,2	0,31	1,0	0,57	2,0	6,01	0,3	0,16	-1,03
P2		2,5	2,0	0,22	0,35	1,0	0,64	4,0	5,45	0,38	0,15	-1,05
P3		4,0	2,5	0,21	0,28	2,0	0,44	4,5	4,81	0,54	0,12	-1,10
Média		2,83	1,83	0,21	0,31	1,33	0,55	3,50	5,42	0,41	0,14	-1,07
Após a colheita da <i>Atriplex nummularia</i>												
	P1	16,0	43,0	85,63	0,66	13,0	1,8	137,0	5,2	10,69	15,77	22,2
T1	P2	8,0	19,0	40,13	0,29	12,0	1,2	60,0	5,8	5,96	10,92	14,99
	P3	15,0	34,0	47,3	0,51	10,0	1,2	76,0	6,1	7,43	9,56	12,96
Média		13	32	57,69	0,49	11,67	1,40	91,00	5,70	8,03	12,16	16,84
	P1	14,0	38,0	58,67	1,23	9,0	1,5	96	6,0	8,73	11,51	15,87
T2	P2	6,0	20,0	33,6	0,39	8,0	1,1	50	6,3	4,99	9,32	12,61
	P3	9,0	28,0	37,82	0,55	7,0	0,27	66	6,1	4,56	8,79	11,83
Média		9,67	28,67	43,36	0,72	8,00	0,96	70,67	6,13	6,09	9,87	13,43
	P1	9,0	24,0	39,02	0,65	6,0	0,3	69,0	6,4	6,54	9,61	13,04
T3	P2	6,0	20,0	23,98	0,45	10,0	1,2	34,0	6,9	3,63	6,65	8,64
	P3	7,0	35,0	23,13	0,25	8,0	0,37	50,0	5,7	4,75	5,05	6,25
Média		7,33	26,33	28,71	0,45	8,00	0,62	51,00	6,33	4,97	7,10	9,31
	P1	8,0	23,0	34,02	0,45	8,0	1,3	51,0	6,9	5,22	8,64	11,60
T4	P2	4,0	11,0	30,8	0,46	8,0	0,28	40,0	7,0	4,71	11,25	15,48
	P3	5,0	19,0	21,84	0,36	8,9	1,1	34,0	6,0	3,89	6,30	8,12
Média		5,67	17,67	28,89	0,42	8,30	0,89	41,67	6,63	4,61	8,73	11,73

PST=[100*(-0,0126+0,01475RAS)/1+(-0,0126+0,01475RAS)], Richards (1954).

Pela Figura 1, observa-se que antes do plantio a curva da velocidade de infiltração apresenta maiores valores que após a colheita, retratando o efeito do selamento superficial no solo causado pelo sódio. Este efeito pode ser estimado em aproximadamente, sete vezes a velocidade de infiltração inicial, reforçando a hipótese do efeito da floculação ocorrer nos primeiros centímetros do solo.



A Figura 2 apresenta a distribuição da salinidade no perfil do solo antes e após a colheita, em função da profundidade. Os tratamentos T1, T2 e T3 apresentam o mesmo comportamento, ou seja, a mesma tendência, com maiores valores da salinidade na camada de 0-30 cm, uma tendência de redução na camada intermediária (30-60 cm), voltando a aumentar na última camada (60-90 cm), porém, com valores inferiores à primeira camada.

Com relação ao tratamento 4, a Figura 2 apresenta que os valores da salinidade foram menores em todas as camadas quando comparado aos três tratamentos anteriores. Ao mesmo tempo, isto pode indicar que o volume de água aplicado está sendo suficiente para molhar o perfil do solo, permitindo a lixiviação dos sais além das camadas analisadas.

Além disto, outras variáveis são utilizadas para avaliar o efeito da salinidade no solo, como o pH, a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEs) e a porcentagem de sódio trocável (PST). Valores de PST superiores a 7% já indicam tendência de sodicidade dos solos. Na Tabela 2 os valores de PST foram estimados a partir de Richards (1954), observando, mais uma vez, que o

Tratamento 1 (T1) apresentou valores mais elevados de PST, atingindo 22% na camada de solo de 0-30 cm. Mesmo ultrapassando os limites estabelecidos para a maioria das culturas, neste caso, trata-se de um cultivo halófito, cujas tabelas de tolerância à salinidade e sodicidade contidas nos manuais de irrigação não fazem referência a este cultivo.

A salinidade da solução do solo varia em função do teor de umidade numa escala entre a capacidade de campo (C.C.) e o ponto de murcha permanente (P.M.P.). Como os sais, de modo geral, são pouco absorvidos pelas plantas, sua concentração na solução do solo aumenta à medida que o teor de umidade diminui, isto é, se aproxima do P.M.P. Na Tabela 3 pode-se observar os teores de umidade média nas diferentes camadas do perfil do solo, como também os valores na capacidade de campo (C.C.) e no ponto de murcha permanente (P.M.P.) e da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo. Segundo Richards (1954), nas condições de C.C. e P.M.P. a salinidade do solo pode ser estimada em duas e quatro vezes maior que a CE do extrato de saturação, respectivamente. A partir dos dados estimados, pode-se observar valores médios da CE_{EST} de até 36,88 dS/m, obtida no tratamento 1 e na profundidade 0-30 cm, no mês de outubro de 2000 e valores médios da CE_{EST} iguais a 27,07; 26,09 e 24,96 dS/m nas profundidades de 0-30; 30-60 e 60-90 cm em T1. É importante afirmar que estes valores são os mais elevados suportados pelas plantas, visto que as amostras de solo foram coletadas em dias anteriores a irrigação. Mesmo assim, são valores elevados, indicando inclusive que os volumes de água aplicados não permitem lixiviação dos sais para fora da zona do sistema radicular, exceção feita ao tratamento T4.

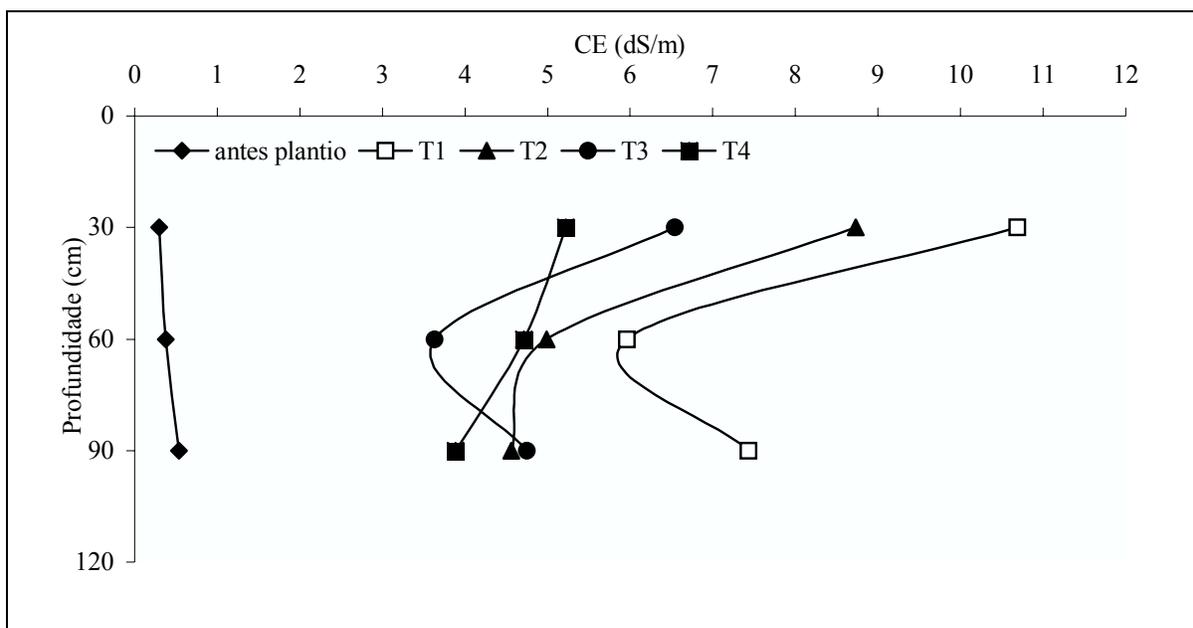


Figura 2 - Perfil da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEs) do solo antes do plantio da *Atriplex nummularia* e após o primeiro corte, em função dos tratamentos.

Tabela 3 - Condutividade elétrica estimada (CE_{EST}) a partir dos teores de umidade do solo, com base em Richards (1954), em função dos tratamentos (T) e da profundidade do solo (P) para os meses de outubro de 2000 e março de 2001.

Data	CE_s (dS/m)			Umidade (% peso)			CE_{EST} (dS/m)			
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	
C.C.				8,39	14,36	20,86				
P.M.P.				4,38	8,82	12,19				
	Out/00	9,22	7,92	6,58	5,51	8,11	9,48	36,88	31,70	26,32
T1	Mar/01	8,63	5,12	5,49	7,5	8,89	11,73	17,25	20,48	21,96
Média		8,93	6,52	6,04	6,51	8,50	10,61	27,07	26,09	24,96
	Out/00	7,14	5,37	5,88	7,24	9,83	12,35	14,27	21,48	23,53
T2	Mar/01	4,76	3,19	3,52	7,04	9,89	11,93	9,53	12,74	14,09
Média		5,95	4,28	4,70	7,14	9,86	12,14	11,90	17,11	18,81
	Out/00	6,73	4,93	5,34	8,33	11,0	13,62	13,45	9,86	21,36
T3	Mar/01	5,82	3,99	3,78	8,24	10,4	13,01	11,64	15,97	15,13
Média		6,28	4,46	4,56	8,29	10,7	13,32	12,55	12,92	18,25
	Out/00	7,59	5,72	5,54	8,24	10,66	12,55	15,18	22,89	22,15
T4	Mar/01	5,43	3,57	3,77	7,76	9,76	12,41	10,85	14,28	15,06
Média		6,51	4,65	4,66	8,20	10,21	12,45	13,02	18,59	18,67

CONCLUSÕES

- Ocorreu acumulação de sais no perfil do solo, refletida pela condutividade elétrica do extrato de saturação, que antes do plantio apresentou um valor médio de $CE_s = 0,41$ dS/m e após a colheita de $CE_s = 8,03$ dS/m;
- Ocorreu redução da velocidade de infiltração inicial, observando-se antes do plantio maiores valores que após a colheita, retratando o efeito do selamento superficial no solo, causado pelo sódio;
- A condutividade elétrica na zona do sistema radicular (CE_{EST}), estimada a partir umidade do solo atingiu um valor máximo de 36,88 dS/m, obtida com T1 na profundidade 0-30 cm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução H. R. GHEYI; J. F. MEDEIROS; F. A. V. DAMACENO. Campina Grande: UFPB. 1991. 218p. (FAO: Irrigação e Drenagem; 29) Revisado 1.
- [2] FAO. Estudos de caso de espécie vegetal para zonas áridas y semiaridas de Chile y México. Santiago: FAO-Oficina Regional para América Latina y el Caribe, 1996. 143 p. (FAO. Zonas Áridas e Semiáridas: 10).
- [3] DIAZ, M. F.; GONZÁLEZ, A R. Desalación del agua: una alternativa para resolver la demanda de agua potable en el sur de la Republica Mexicana. **Agua Latinoamérica**, set-out, 2003. p. 1-6. Disponível em: < <http://www.agualatinoamerica.com/archive.cfm> >. Acesso em: 24 set 2003.
- [4] LEAL, A. de S. As águas subterrâneas no Brasil: ocorrências, disponibilidade e usos. In: FREITAS, M. A. V. de. (Ed.). **O estado das águas no Brasil**; perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos. Brasília: ANEEL-SRH/MME/MMA-SRH/OMM, 1999. p. 139-164. il.
- [5] RHOADES, J. D.; LOVEDAY, J. Salinity in irrigated agriculture. In: STEWART, D. R.; NIELSON, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1990. p. 1089-1142.
- [6] RICHARDS, L. A. (ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).