



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Silva de Aquino, Alexandre José; Feitosa de Lacerda, Claudivan; Alves Bezerra, Marlos; Gomes Filho, Enéas; Nonato Távora Costa, Raimundo

CRESCIMENTO, PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA E RETENÇÃO DE Na⁺, K⁺ E Cl⁻ EM DOIS GENÓTIPOS DE SORGO IRRIGADOS COM ÁGUAS SALINAS

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 31, núm. 5, 2007, pp. 961-971

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214062013>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

CRESCIMENTO, PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA E RETENÇÃO DE Na^+ , K^+ E Cl^- EM DOIS GENÓTIPOS DE SORGO IRRIGADOS COM ÁGUAS SALINAS⁽¹⁾

Alexandre José Silva de Aquino⁽²⁾, Claudivan Feitosa de Lacerda⁽³⁾, Marlos Alves Bezerra⁽⁴⁾, Enéas Gomes Filho⁽⁵⁾ & Raimundo Nonato Távora Costa⁽⁶⁾

RESUMO

Os mecanismos de tolerância à salinidade são complexos e dependem de mudanças fisiológicas e anatômicas que ocorrem na planta inteira. Este trabalho teve como objetivo avaliar a retenção de íons, o crescimento e a participação de matéria seca em dois genótipos de sorgo forrageiro [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] irrigados com água com crescentes níveis de salinidade. Sementes selecionadas foram germinadas em vasos com 12 kg de Argissolo Vermelho-Amarelo textura arenosa em condições de casa de vegetação. O delineamento foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 5, composto por dois genótipos (CSF 18, sensível, e CSF 20, tolerante) e cinco concentrações de sais na água de irrigação, correspondentes às condutividades elétricas (CEa) de 0,5 (controle), 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 dS m⁻¹, com quatro repetições. A aplicação dos tratamentos (concentrações de sais) teve início aos cinco dias após a emergência, e a coleta das plantas foi realizada aos 44 dias depois do início dos tratamentos. Foram determinadas a produção e a participação de matéria seca, bem como a distribuição das raízes nos vasos e os teores de íons (Na^+ , K^+ e Cl^-) nas diversas partes da planta. A salinidade reduziu a área foliar e a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes; a redução no crescimento da parte aérea foi maior no genótipo CSF 18. A salinidade alterou a participação de fotoassimilados de forma similar nos dois genótipos, resultando em aumento na proporção entre fontes e drenos, o que pode contribuir para a aclimatação das plantas ao estresse salino. As plantas de sorgo mostraram eficiente mecanismo de retenção de Na^+ , prevenindo

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor. Recebido para publicação em setembro de 2005 e aprovado em junho de 2007.

⁽²⁾ Mestrando em Irrigação e Drenagem, Universidade Federal do Ceará – UFCE. Campus do Pici, bloco 804, Caixa Postal 12168, CEP 60455-760 Fortaleza (CE). E-mail: alexaquino_br@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola, UFC. E-mail: cfeitosa@ufc.br

⁽⁴⁾ Pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical. Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Planalto do Pici, CEP 60511-110 Fortaleza (CE). E-mail: marlos@cnpat.embrapa.br

⁽⁵⁾ Professor Associado do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, UFC. E-mail: egomesf@ufc.br

⁽⁶⁾ Professor Associado do Departamento de Engenharia Agrícola, UFC. E-mail: rntcosta@ufc.br

seu acúmulo nos tecidos foliares. Esse mecanismo, no entanto, provocou diminuição na suculência foliar. Os teores foliares de K⁺ e a retenção de Na⁺ nos colmos foram maiores no genótipo CSF 20 (tolerante).

Termos de indexação: estresse salino, tolerância à salinidade, *Sorghum bicolor*, partição de carbono.

SUMMARY: GROWTH, DRY MASS PARTITIONING, AND Na⁺, K⁺, AND Cl⁻ RETENTION BY TWO SORGHUM GENOTYPES IRRIGATED WITH SALINE WATER

The mechanisms for salt tolerance are complex and depend upon physiological and anatomical changes occurring in the whole-plant. This research aimed at evaluating ion retention, vegetative growth, and dry matter partitioning by two forage sorghum genotypes [*Sorghum Bicolor (L.) Moench*] irrigated with saline water. Selected seeds were sown in plastic pots containing 12 kg a sandy Argisol and grown under greenhouse conditions. The experiment was in completely randomized with treatments arranged in a 2 x 5 factorial design, consisting of two genotypes (CSF 18, sensitive and CSF 20, tolerant) and five levels of increasing salinity (0.5, 2.0, 4.0, 6.0 and 8.0 dS m⁻¹), with four replicates. The treatments (salinity water) application began five days after seeds emergence. On the forty-fourth day after the salt water applications began plants were harvested and evaluated for the following characteristics: dry mass production, dry mass partitioning, root distribution into pots, and Na⁺, K⁺ and Cl⁻ contents. Salinity reduced leaf area and dry mass production of shoots and roots; the reduction in shoot growth was highest in the CSF 18 genotype. Salinity also altered carbon partitioning in both genotypes and caused an increase in source/sink ratio, which may contribute to plant acclimation to salt stress. Sorghum plants presented an efficient mechanism of Na⁺ retention, avoiding excessive accumulation in leaf tissues. However, this mechanism caused a certain dehydration degree in the leaves. Among the studied parameters, potassium leaf content and retention of sodium ions in the stem were highest in genotype CSF 20 (tolerant).

*Index terms: salt stress, salt tolerance, *Sorghum bicolor*, carbon partitioning.*

INTRODUÇÃO

A região semi-árida do Nordeste brasileiro, além da escassez de recursos hídricos para atender às necessidades da população (consumo, indústria, irrigação, etc.), também se defronta com o alto teor de sais em grande parte das fontes de águas subterrâneas (poços) e superficiais (açudes de pequeno e médio portes e lagoas) (Holanda & Amorim, 1997). Além disso, a concentração salina dessas águas, principalmente dos pequenos e médios reservatórios, aumenta durante o período seco, quando o volume da água é significantemente reduzido. Já as águas de rios ou riachos podem, também, apresentar problemas de salinidade, dependendo dos tipos de solo, da qualidade de água das barragens ou, ainda, do retorno da água de drenagem (Holanda & Amorim, 1997; Seckler et al., 1998).

A utilização de fontes de águas salinas pode, dependendo de sua composição, alterar de forma negativa as propriedades físicas e químicas do solo e, dependendo da sua forma de aplicação, pode provocar variados graus de estresse aos vegetais. Alternativas

para o uso de águas salinas na agricultura irrigada incluem o uso de halófitas forrageiras ou oleaginosas (Glenn et al., 1998), de espécies não-halófitas, mediante o manejo de solo, da rotação de culturas, da irrigação com misturas de águas de diferentes concentrações salinas, ou utilizando-se águas salinas apenas nos estádios de crescimento e desenvolvimento em que a planta apresentam maior grau de tolerância ao estresse (Sharma & Rao, 1998). Dentre as espécies não-halófitas, o sorgo, reconhecido por sua tolerância moderada ao estresse salino (Ayers & Westcot, 1999), pode ser uma alternativa para o aproveitamento de recursos (água e solo) salinos (Igartua et al., 1995).

A salinidade afeta a produção de biomassa e altera a partição de fotoassimilados entre as diferentes partes das plantas (Greenway & Munns, 1980; Silva et al., 2003), sendo essas respostas decorrentes dos efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais. As diferenças nos graus de tolerância das espécies ou cultivares depende, portanto, da eficiência dos mecanismos morfológicos e fisiológicos, que aumentam a capacidade das plantas de enfrentar o aumento da concentração de sais no solo (Storey, 1995; Moya et al., 1999; Lacerda et al.,

2003). Por exemplo, muitos autores têm correlacionado a tolerância à salinidade com a manutenção de adequada nutrição potássica (Taleisnik & Grunberg, 1994), podendo a relação Na^+/K^+ ser utilizada como critério de seleção de materiais sensíveis e tolerantes ao estresse salino. As plantas podem também reter íons nas raízes e nos caules, limitando a salinidade da seiva xilemática e reduzindo a quantidade deles que chega às folhas (Trindade et al., 2006), ou podem manter a concentração de sais constante por longos períodos, desde que a absorção de água seja proporcional à absorção deles, resultando em aumento no grau de suculência (Larcher, 2000). Embora muitos desses mecanismos sejam especialmente eficientes nas halófitas, eles também têm sido observados em glicofitas; nestas espécies, o mecanismo de exclusão de íons dos tecidos fotossintetizantes parece ser o mais eficiente (Lacerda et al., 2003).

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da salinidade da água de irrigação sobre o crescimento vegetativo, a partição de matéria seca e a retenção de íons nos colmos e bainhas de dois genótipos de sorgo forrageiro com diferentes graus de tolerância ao estresse salino.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no município de Fortaleza ($3^{\circ} 44' S$, $38^{\circ} 44' W$), no período de setembro a outubro de 2004. Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo Aw'. A temperatura e a umidade relativa médias do ar durante o experimento foram de $27,3^{\circ}\text{C}$ e 72 %, respectivamente. Foram utilizadas sementes de dois genótipos de sorgo forrageiro [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], cedidas pela Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), Recife, PE, avaliados previamente como sensível (CSF 18) e tolerante (CSF 20) ao estresse salino (Lacerda et al., 2003).

As sementes, após seleção, foram postas para germinar em vasos com 12 kg de terra seca ao ar e peneirada em malha de 4 mm. O material foi coletado na camada superficial do solo (0 a 20 cm), sendo este classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo textura arenosa. Cinco dias após a emergência, as plantas passaram a ser irrigadas com água com diferentes concentrações de sais, correspondentes às condutividades elétricas (CEa) de 0,5 (controle), 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 dS m^{-1} . Para o preparo das soluções salinas, os sais NaCl , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ foram dissolvidos em água destilada, na proporção de 7:2:1, obedecendo-se à relação: $\text{mmol}_c \text{L}^{-1} = \text{CEa} \times 10$, conforme Rhoades et al. (1992). Para evitar o acúmulo excessivo de sais, a água de irrigação foi aplicada em quantidade acima da necessária para saturar o solo, constituindo uma fração de lixiviação de 15 % (Ayers & Westcot, 1999). Pequenos furos e uma camada de

aproximadamente 2 cm de brita na parte inferior dos vasos foram utilizados para facilitar a drenagem. Nas primeiras três semanas de tratamento foi utilizado um turno de rega de cinco dias, reduzindo-se em seguida para quatro dias até o final do experimento. Com o intuito de corrigir eventuais carências nutricionais do solo, foram aplicados, para cada vaso, 0,44 g de uréia, 3,9 g de superfosfato simples e 0,83 g de cloreto de potássio, seguindo recomendações de Fernandes (1993). Também foram aplicados S, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, B e Mo, respectivamente nas seguintes quantidades: 64, 160, 96, 0,064, 0,264, 1,96, 0,220, 0,550 e 0,096 mg. Esses nutrientes foram adicionados à água de irrigação, sendo as doses totais divididas em três aplicações com intervalo de 15 dias.

O experimento obedeceu a um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 5, composto por dois genótipos e cinco níveis de condutividade elétrica da água (CEa) de irrigação.

A coleta das plantas foi realizada aos 44 dias do início dos tratamentos, medindo-se inicialmente a área foliar total com um medidor de área modelo LI-3000 (Li-Cor, Inc., Lincoln, Nebraska, USA). A parte aérea das plantas foi separada em colmos, bainhas, limbos foliares e material morto (restos de bainhas e limbos foliares). Após pesagem para avaliação da massa de tecido fresco, o material foi seco em estufa a 60°C , para avaliação da matéria seca.

Após coleta da parte aérea, amostras de solo dos vasos foram coletadas em três profundidades: 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm. Em seguida, cada camada teve o seu conteúdo (solo + raízes) peneirado em malha de 4 mm, para separar as raízes do solo. Cada amostra de raiz foi lavada com água de torneira e depois com destilada, sendo devidamente identificada quanto ao seu genótipo, tratamento, profundidade e repetição, colocada em sacos de papel e posta para secar em estufa a 60°C , para determinações de massa de tecido seco. As amostras de solo nas diferentes profundidades foram utilizadas nas determinações da condutividade elétrica em extratos 1:1 (solo:água) e da percentagem de Na trocável (PST), conforme Silva (1999).

Com os dados de produção de matéria seca foram calculadas as percentagens particionadas entre os órgãos vegetativos e o índice de tolerância à salinidade, comparando-se os dados dos tratamentos salinos com os do controle (CEa = 0,5 dS m^{-1}), de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{IT} = \frac{\text{Produção no tratamento salino}}{\text{Produção no tratamento controle}} \times 100$$

Nos cálculos desses índices utilizaram-se a matéria seca da parte aérea (ITPA), a matéria seca das raízes (ITR) e a área foliar (ITAF). Com os dados referentes aos limbos foliares, calculou-se a suculência foliar, expressa pela relação (matéria fresca - matéria seca)/área foliar, conforme proposto por Mantovani (1999).

Nas amostras secas dos limbos foliares, bainhas e colmos, finamente trituradas em moinho tipo Wiley, foram determinados os teores de Na^+ , K^+ (Miyazawa et al., 1984; Malavolta et al., 1989) e Cl^- (Gaines et al., 1984).

Os resultados foram submetidos às análises de variância e de regressão, utilizando-se o Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG) da Universidade Federal de Viçosa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Acúmulo de sais no solo

O uso de águas salinas promoveu acúmulo crescente de sais no solo, sendo os maiores valores de condutividade elétrica observados na camada de 20 a 30 cm de profundidade do solo (Quadro 1). Isso deve ter ocorrido pelo fato de os vasos terem recebido 15 % a mais da água de irrigação necessária para saturação do solo (Ayers & Westcot, 1999), o que favoreceu a lixiviação dos sais para a parte inferior dos vasos. Por outro lado, os maiores valores da percentagem de Na^+ trocável (PST) foram encontrados nas profundidades de 10 a 20 e de 20 a 30 cm, sugerindo que a lixiviação de Na^+ para a parte inferior dos vasos foi inferior à dos demais íons na solução do solo. De modo geral, nos tratamentos com CEA superiores a 4,0 dS m⁻¹ os valores de PST foram próximos ou maiores que 15,0 %, indicando riscos de sodicidade no ambiente radicular das plantas (Richards, 1954).

Crescimento

A salinidade reduziu o crescimento da parte aérea medido pelo ITPA, e o grau de redução variou entre os dois genótipos estudados (Quadro 2 e Figura 1a). Os efeitos da salinidade foram mais acentuados no genótipo CSF 18 que no CSF 20, evidenciando a maior sensibilidade do genótipo CSF 18 à salinidade, conforme observado por outros autores (Lacerda et al., 2003; Silva et al., 2003). No entanto, os graus de inibição do crescimento obtidos por esses autores foram maiores que no presente estudo, o que pode ser explicado pelas diferenças nas condições experimentais utilizadas, incluindo os meios de cultivo e as intensidades do estresse. Vale salientar que a extração das curvas de regressão (Figura 1a) sugere que diferença mais significativa entre os genótipos poderia ter sido obtida se as plantas tivessem sido submetidas a concentrações de sais superiores a 8,0 dS m⁻¹. Com relação ao crescimento das raízes, medido pelo ITR, os dois genótipos foram igualmente afetados pela salinidade (Figura 1b), o que diverge dos resultados obtidos por Lacerda et al. (2003) e Silva et al. (2003), trabalhando com meios de cultivo hidropônico. Os resultados sobre os efeitos da salinidade na área foliar (dados não mostrados) foram semelhantes aos observados para produção de matéria seca da parte aérea (Quadro 2).

Partição de matéria seca

A salinidade aumentou a proporção de limbos foliares e reduziu a partição de matéria seca para

Quadro 1. Valores de condutividade elétrica (CE) em extrato 1:1 (solo:água) e da percentagem de sódio trocável (PST) como variável da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) em diferentes profundidades do solo⁽¹⁾

CEa	CE 1:1			PST		
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
dS m ⁻¹						
Início do experimento						
	0,06	0,06	0,06	3,0	3,0	3,0
Final do experimento						
0,5	0,18	0,21	0,28	3,0	3,5	6,5
2,0	0,43	0,49	0,77	6,0	8,0	10,0
4,0	0,77	0,94	1,30	11,5	15,0	17,0
6,0	1,29	1,33	1,64	14,5	16,0	19,0
8,0	1,36	1,63	2,11	16,5	22,0	19,5

⁽¹⁾ As análises foram realizadas em amostras compostas de cinco subamostras para cada profundidade do solo e para cada genótipo. Os dados são médias dos dois genótipos, visto que não ocorreram diferenças entre eles.

Quadro 2. Valores dos quadrados médios e significância estatística para o índice de tolerância à salinidade, calculados com base nos dados de matéria seca da parte aérea (ITPA), matéria seca da raiz (ITMSR) e área foliar (ITAF) de plantas de genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes concentrações de sais resultando em diferentes condutividades elétricas (CEa)

Variável	Quadrado médio					CV (%)
	Tratamento	Genótipo	Tratamento x genótipo	Resíduo		
ITPA	1774,7**	302,4**	208,4**	13,8	14,3	
ITR	8167,9**	9,7 ns	41,5 ns	152,3	16,6	
ITAF	869,2 **	606,9**	167,2**	25,6	15,5	

, ** e ns: significativos pelo teste F a 5 e 1 % e não-significativo, respectivamente.

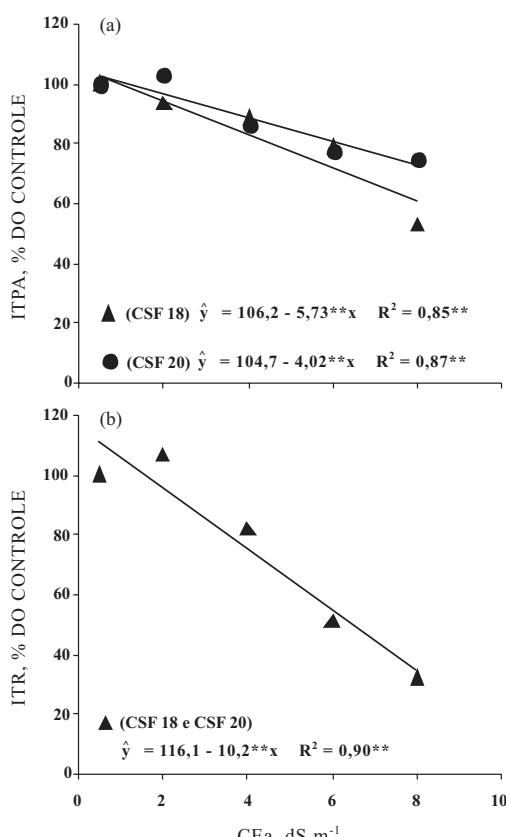


Figura 1. Índices de tolerância da parte aérea (a) e das raízes (b) de plantas de dois genótipos de sorgo forrageiro como variável da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa).

colmos e raízes, de forma semelhante nos dois genótipos (Quadro 3), o que resultou em aumento na proporção entre fontes (limbos foliares) e drenos (colmos e raízes). As alterações na distribuição percentual da matéria seca provocadas pelo estresse salino são condizentes com o fato de que a salinidade, além de reduzir a

produção de biomassa total, pode também alterar a participação de fotoassimilados entre as diferentes partes das plantas (Greenway & Munns, 1980; Silva et al., 2003). Os aumentos nas proporções fonte/dreno podem representar diferentes sensibilidades dos órgãos vegetativos ao estresse salino ou os diferentes mecanismos de proteção que as plantas utilizam para as suas diferentes partes. Essas diferenças na participação de fotoassimilados podem também contribuir para a aclimatação das plantas ao estresse salino, compensando a considerável redução na área foliar destinada à assimilação de C e aos aumentos no gasto metabólico necessário para ajustamento da planta ao estresse imposto (Munns, 2002).

A salinidade também aumentou a proporção de bainhas foliares e de material morto (Quadro 3), e esses aumentos foram maiores nos genótipos CSF 20 e CSF 18, respectivamente. O aumento na proporção de bainhas foliares é coerente com o observado na proporção de limbos foliares. Por sua vez, o incremento na proporção de material morto (bainhas e limbos foliares) com o aumento da salinidade deve-se, provavelmente, ao efeito do estresse salino na aceleração da senescência de folhas (Prisco & O'Leary, 1972; Lutts et al., 1996). O maior incremento na morte de folhas no genótipo CSF 18 pode ser mais um indicativo de sua maior sensibilidade ao estresse salino, em relação ao genótipo CSF 20 (Lacerda et al., 2003).

A distribuição da matéria seca do sistema radicular, no interior dos vasos, foi influenciada pela salinidade da água e diferiu entre as profundidades estudadas (Quadro 4 e Figura 2). Nos níveis mais baixos de salinidade, observou-se distribuição proporcionalmente maior de raízes nas camadas de 0 a 10 e de 20 a 30 cm, porém o aumento na concentração de sais na água de irrigação reduziu a quantidade de raízes, principalmente nessas duas camadas. Essas alterações na morfologia do sistema radicular devem-se, pelo menos em parte, à distribuição desigual de sais no perfil do solo (Quadro 1) e às variações no seu teor de umidade, fatores que influenciam diretamente a concentração

dos diferentes íons na solução do solo. Isso pode ter consequências para a tolerância das plantas à salinidade e pode explicar possíveis discrepâncias em relação aos estudos realizados em meio hidropônico (Lacerda, 2005), onde as disponibilidades de sais e de água são praticamente as mesmas em todo o ambiente radicular.

Retenção de íons nos colmos e bainhas

A salinidade influenciou significativamente as razões entre os teores de Na^+ , K^+ e Cl^- nos colmos e bainhas, em relação aos seus teores nos limbos foliares (Quadro 5). Essas relações também diferiram entre os dois genótipos, exceto as relações entre os teores de

Quadro 3. Distribuição percentual da matéria seca nas diversas partes da planta e relação matéria seca dos limbos foliares/matéria seca de colmos e raízes, em plantas de dois genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas com diferentes condutividades elétricas (CEa)

CEa	Partição de matéria seca					Limbo/caule e raiz
	Limbo	Colmo	Bainha	Material Morto	Raízes	
dS m ⁻¹	% Genótipo CSF 18					
0,5	19,9 (14,6) ⁽¹⁾	21,6 (15,8)	16,5 (12,1)	11,1 (8,1)	31,1 (23,2)	0,382
2,0	17,8 (13,2)	20,9 (15,1)	15,2 (11,2)	10,3 (7,6)	35,8 (27,3)	0,325
4,0	21,9 (14,2)	16,0 (10,3)	16,7 (10,8)	14,7 (9,5)	30,6 (19,9)	0,472
6,0	26,3 (14,0)	14,8 (8,0)	17,3 (9,2)	16,6 (8,8)	25,1 (13,4)	0,677
8,0	28,1 (9,9)	12,6 (4,5)	21,8 (7,7)	13,6 (4,8)	23,9 (8,4)	0,788
Genótipo CSF 20						
0,5	20,0 (14,9)	20,8 (15,3)	16,5 (12,2)	9,1 (6,8)	33,6 (25,8)	0,373
2,0	20,9 (17,1)	18,6 (15,1)	17,1 (13,9)	5,4 (4,4)	37,9 (31,0)	0,371
4,0	24,8 (16,7)	13,6 (9,2)	19,4 (13,0)	5,3 (3,6)	36,8 (25,0)	0,498
6,0	25,8 (13,6)	15,1 (7,9)	23,3 (12,2)	8,6 (4,5)	27,3 (14,4)	0,615
8,0	30,5 (14,0)	16,8 (7,6)	24,7 (11,3)	8,7 (3,9)	19,4 (8,8)	0,849
QM _T ⁽²⁾	139,5**	78,5**	69,5**	23,9**	300,5**	0,310**
QM _G	25,9 ns	0,47 ns	73,5**	339,3**	29,8 ns	0,0015 ns
QM _T x G	5,5 ns	14,5 ns	9,3*	16,8**	29,9 ns	0,0048 ns
QM _{RES}	8,6	10,3	2,8	3,4	29,6	0,015
DMS	2,12	2,32	1,23	1,34	3,94	0,176
CV (%)	12,4	18,8	9,1	17,9	18,1	22,7

⁽¹⁾ Valores entre parênteses correspondem às produções de matéria seca, em grama, de cada parte da planta. ⁽²⁾ QM_T: quadrado médio de tratamento; QM_G: quadrado médio de genótipo; QM_T x G: quadrado médio da interação; QM_{RES}: quadrado médio do resíduo; DMS: diferenças mínimas significativas a 5%; CV: coeficiente de variação. *, ** e ns: significativos pelo teste F a 5 e 1% e não-significativo, respectivamente.

Quadro 4. Valores dos quadrados médios e significância estatística da distribuição da matéria seca das raízes em diferentes profundidades nos vasos cultivados com plantas de sorgo forrageiro irrigadas com água com crescentes concentrações de sais resultando em diferentes condutividades elétricas (CEa)

Quadrado médio								
Tratamento	Genótipo	Profundidade	Trat x Gen	Trat x Prof.	Gen x Prof.	Gen x prof x trat	Resíduo	CV (%)
183,6**	22,0 ns	617,7*	2,58 ns	41,8**	38,7**	31,6**	7,5	41,6

* , ** e ns: significativos pelo teste F a 5 e 1% e não-significativo, respectivamente.

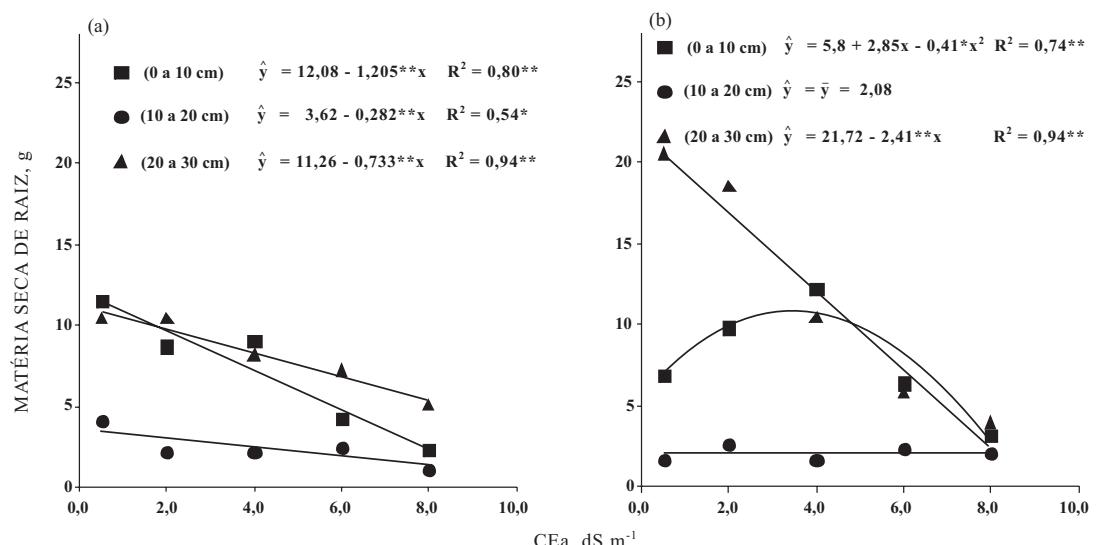


Figura 2. Distribuição das raízes nos vasos cultivados com plantas dos genótipos CSF 18 (a) e CSF 20 (b) de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas com diferentes condutividades elétricas (CEa).

Quadro 5. Valores dos quadrados médios e significância estatística para as relações entre os teores de Na^+ , Cl^- e K^+ no colmo e bainha em relação aos respectivos teores desses íons no limbo foliar, relação Na^+/K^+ no limbo foliar e grau de suculência foliar (GS), em plantas de dois genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas com diferentes condutividades elétricas (CEa)

	Relação colmo/limbo			Relação bainha/limbo			Na^+/K^+	GS
	Na^+	Cl^-	K^+	Na^+	Cl^-	K^+		
$\text{QM}_{\text{T}}^{(1)}$	61,27**	1,029**	0,202*	4,27**	0,124*	0,109*	0,004**	0,106**
QM_{G}	14,64**	0,90*	3,23**	0,01ns	0,337**	0,04ns	0,005**	0,601**
$\text{QM}_{\text{T} \times \text{G}}$	3,78ns	0,17ns	0,017ns	0,089ns	0,019ns	0,04ns	0,0003ns	0,031ns
QM_{RES}	1,537	0,19	0,176	0,176	0,044	0,012	0,00023	0,025
DMS	0,899	0,317	0,164	0,304	0,153	0,101	0,011	0,114
CV (%)	21,3	21,8	26,2	25,2	15,6	14,6	13,8	9,9

⁽¹⁾ QM_{T} : quadrado médio de tratamento; QM_{G} : quadrado médio de genótipo; $\text{QM}_{\text{T} \times \text{G}}$: quadrado médio da interação; QM_{RES} : quadrado médio do resíduo; DMS: diferenças mínimas significativas a 5%; CV: coeficiente de variação. *, ** e ns: Significativos pelo teste F a 5 e 1% e não-significativo, respectivamente.

Na^+ e K^+ nas bainhas e nos limbos, porém não foram verificadas interações significativas entre tratamentos salinos e genótipos.

A salinidade aumentou em cerca de 12 vezes a relação entre os teores de Na^+ nos colmos e nos limbos foliares, e os maiores valores dessa relação foram observados no genótipo CSF 20 (Figura 3a). Isso mostra a grande capacidade de retenção de Na^+ nos colmos das plantas de sorgo, com a bainha exercendo papel importante nesse mecanismo, apresentando

também, relações crescentes entre os teores deste íon em seus tecidos e aqueles nos limbos foliares, com a salinidade (Figura 3b). Por outro lado, a capacidade de retenção de Cl^- foi bem menor que a de Na^+ , sendo maior nos colmos do que nas bainhas (Figura 3c,d). Esses resultados são bons indicativos da capacidade de retenção de íons potencialmente tóxicos, especialmente de Na^+ , sugerindo que essa espécie exporta pouco Na^+ do colmo para os limbos foliares, evitando, assim, o excesso desse íon nos tecidos fotosintetizantes (Azevedo Neto & Tabosa, 2000).

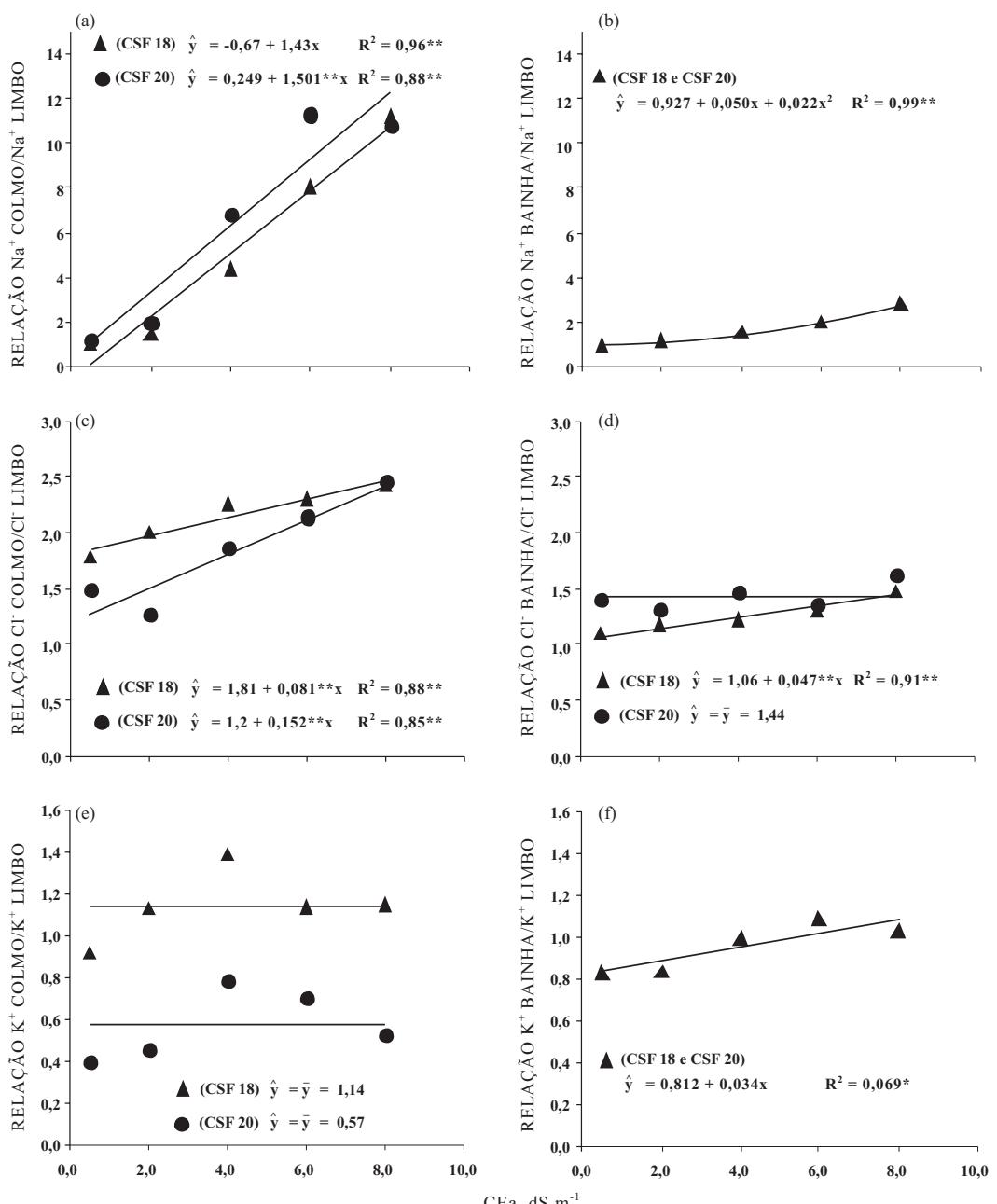


Figura 3. Relações entre os teores de Na^+ (a, b), Cl^- (c, d) e K^+ (e, f) no colmo e bainha em relação aos respectivos teores desses íons no limbo foliar, em plantas de dois genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas com diferentes condutividades elétricas (CEa).

Diferentemente do Na^+ e do Cl^- , não se observou acúmulo de K^+ nos colmos e bainhas, com as relações colmo/limbo e bainha/limbo apresentando, de modo geral, valores inferiores a 1,0 (Figura 3e,f). Isso sugere a existência de mecanismos específicos de acúmulo de íons nas células dos colmos, os quais favorecem a retenção de íons potencialmente tóxicos e

o transporte do K^+ para os tecidos foliares. A relação entre os teores de K^+ nos colmos e nos limbos foliares foi bem menor no genótipo CSF 20, sugerindo que esse genótipo apresenta maior capacidade de distribuição de K^+ para as folhas, o que pode ser considerado uma característica importante para a tolerância à salinidade (Taleisnik & Grunberg, 1994).

Os resultados demonstram que a salinidade afeta os teores de íons na planta, mas esse efeito não ocorre de maneira uniforme em todas as suas partes (Azevedo Neto & Tabosa, 2000). Os resultados da figura 3 mostram diferenças na distribuição dos íons Na^+ , Cl^- e K^+ na parte aérea, sendo essa resposta influenciada tanto pelo genótipo como pelo tratamento. Nas plantas controle ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), as percentagens de Na^+ no limbo, bainha e colmo foram de 35, 27 e 38 % no genótipo CSF 18 e de 34, 26 e 40 % no genótipo CSF 20, respectivamente. No tratamento com maior nível de salinidade ($8,0 \text{ dS m}^{-1}$), esses valores foram de 13, 26 e 61 % para o genótipo CSF 18 e 11, 25 e 64 % para o genótipo CSF 20, respectivamente. Neste mesmo tratamento, apenas 22 e 13 % do K^+ se encontravam no colmo dos genótipos CSF 18 e CSF 20, respectivamente. Portanto, o acúmulo de Na^+ ocorreu, preferencialmente, no colmo, e o de K^+ , no limbo foliar, com o genótipo CSF 20 apresentando maior capacidade de acumulação de K^+ nos tecidos fotossintetizantes. Essas respostas sugerem a existência de mecanismos seletivos de retenção de íons e dão suporte à hipótese de que as plantas buscam um ajuste em relação às concentrações de Na^+ e de K^+ . O Na^+ em excesso devido à sua maior disponibilidade no solo salino pode contribuir para o ajustamento osmótico dos tecidos, porém pode causar toxidez, inibindo o crescimento e os processos fisiológicos da célula (Bernstein et al., 1993; Munns, 2002).

Embora o mecanismo de retenção de íons no colmo e bainha possa reduzir a toxidez iônica nos tecidos fotossintetizantes, ele resultou em desidratação foliar, com reduções significativas no grau de suculência foliar ($\text{g H}_2\text{O}$ por unidade de área foliar) nos dois genótipos estudados (Quadro 5 e Figura 4). A suculência é uma característica que possui importantes implicações anatômicas e fisiológicas em plantas estressadas e está diretamente relacionada ao acúmulo de sais nos tecidos. Ela permite a regulação da concentração de sais nos tecidos foliares e depende, diretamente, da absorção, do transporte e do acúmulo de íons, podendo contribuir para reduzir

o efeito dos sais sobre o crescimento da planta (Larcher, 2000). Os resultados estão de acordo com os obtidos por outros autores, os quais mostraram que o aumento da suculência é uma resposta comum em folhas de dicotiledôneas estressadas com sais de Cl^- , sendo, porém, pouco comum nas gramíneas (Stroganov, 1964; Zekri, 1991).

A relação Na^+/K^+ na folha aumentou com o aumento da salinidade na água de irrigação (Quadro 5 e Figura 5); os valores podem ser considerados baixos se comparados com os obtidos por outros autores (Lacerda et al., 2003). Os maiores valores da relação Na^+/K^+ foram observados no genótipo sensível, em razão de sua menor capacidade de acumular K^+ nas folhas, visto que os teores de Na^+ não diferiram entre os genótipos (dados não apresentados). Essa característica pode ter sido determinante para a sensibilidade diferencial dos genótipos ao estresse salino, o que tem sido sugerido por outros autores (Taleisnik & Grunberg, 1994; Costa et al., 2003). Na realidade, muitos autores têm correlacionado a tolerância à salinidade com a manutenção de adequada nutrição potássica (Taleisnik & Grunberg, 1994), podendo a relação Na^+/K^+ ser usada como critério de seleção de materiais sensíveis e tolerantes ao estresse salino.

As diferentes concentrações de íons potencialmente tóxicos nas diferentes partes da planta podem ter influenciado, também, a participação de matéria seca. O acúmulo excessivo de Na^+ no colmo, por exemplo, pode ter influenciado o seu crescimento, afetando diretamente as regiões dos meristemas intercalares, como foi sugerido por Bernstein et al. (1993). Isso reforça a idéia de que diferenças no crescimento de colmo e limbo foliar se devem principalmente aos mecanismos de proteção que as plantas utilizam para suas diferentes partes; a retenção diferencial de íons favorece nitidamente o crescimento foliar em detrimento do crescimento do colmo.

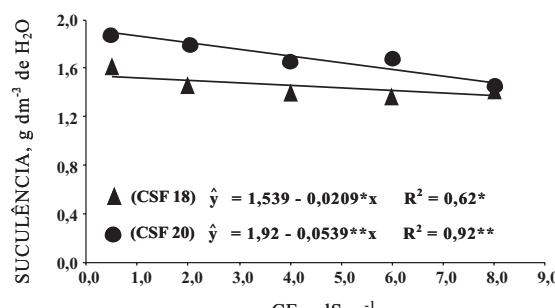


Figura 4. Grau de suculência foliar de plantas de dois genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com água com crescentes concentrações de sais e com diferentes condutividades elétricas (CEa).

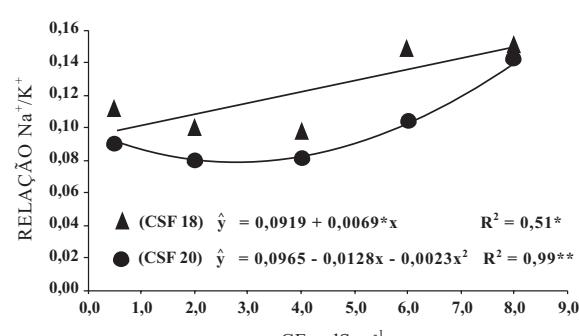


Figura 5. Relação Na^+/K^+ nos limbos foliares em plantas de dois genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com água com crescentes concentrações de sais e com diferentes condutividades elétricas (CEa).

CONCLUSÕES

1. A salinidade reduziu a produção de matéria seca e a área foliar dos dois genótipos; a redução no crescimento da parte aérea foi mais acentuada no genótipo CSF 18 (sensível).
2. A salinidade alterou a participação de fotoassimilados de forma similar nos dois genótipos, resultando em aumento na proporção entre fontes e drenos, o que pode contribuir para a aclimatação das plantas ao estresse salino.
3. As plantas de sorgo mostraram eficiente retenção de Na^+ , principalmente no colmo, prevenindo seu acúmulo nos tecidos foliares.
4. Os teores foliares de K^+ e a retenção de Na^+ no colmo foram maiores no genótipo CSF 20, indicando que esse genótipo possui mecanismos mais eficientes de tolerância ao estresse salino.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de recursos financeiros indispensáveis à realização deste trabalho de pesquisa.

LITERATURA CITADA

- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1999. 153p.
- AZEVEDO NETO, A.D. & TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II. Distribuição dos macronutrientes cationícios e suas relações com sódio. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 4:165-171, 2000.
- BERNSTEIN, N.; SILK, W.K. & LÄUCHLI, A. Growth and development of sorghum leaves under conditions of NaCl stress. Planta, 191:433-439, 1993.
- COSTA, P.H.A.; SILVA, J.V.; BEZERRA, M.A.; ENÉAS-FILHO, J.; PRISCO, J.T. & GOMES-FILHO, E. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. R. Bras. Bot., 26:289-297, 2003.
- FERNANDES, V.L.B., coord. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 1993. 248p.
- GAINES, T.P.; PARKER, M.B. & GASCHO, G.J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. Agron. J., 76:371-374, 1984.
- GLENN, E.; TANNER, R.; MIYAMOTO, S.; FITZSIMMONS, K. & BOYER, J. Water use, productivity and forage quality of the halophyte *Atriplex nummularia* grown on saline waste water in a desert environment. J. Arid Environ., 38:45-62, 1998.
- GREENWAY, H. & MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Plant Physiol., 31:149-190, 1980.
- HOLANDA, J.S. & AMORIM, J.R.A. Qualidade da água para a irrigação. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E. & MEDEIROS, J.F., eds. SIMPÓSIO "MANEJO E CONTROLE DA SALINIDADE NA AGRICULTURA IRRIGADA. Campina Grande, 1997. Anais. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1997. p.137-169.
- IGARTUA, E.; GRACIA, M.P. & LASA, J.M. Field responses of grain sorghum to a salinity gradient. Field Crop Res., 42:15-25, 1995.
- LACERDA, C.F. Interação salinidade x nutrição mineral. In: NOGUEIRA, R.J.C.; ARAÚJO, E.L., WILLADINO, L.G. & CAVALCANTE, U., eds. Estresses ambientais: Danos e benefícios às plantas. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 2005. p.127-137.
- LACERDA, C.F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M.A.O.; RUIZ, H.A. & PRISCO, J.T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. Environ. Exp. Bot., 47:107-120, 2003.
- LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos, RiMa, 2000. 533p.
- LUTTS, S.; KINET, J.M. & BOUHARMONT, J. NaCl -induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Ann. Bot., 78:389-398, 1996.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MANTOVANI, A. A method to improve leaf succulence quantification. Braz. Arch. Biol. Technol., 42:9-14, 1999.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & BLOCH, M.F.M. Avaliação de métodos com e sem digestão para extração de elementos em tecidos de plantas. Ci. Cult., 36:1953-1958, 1984.
- MOYA, J.L.; PRIMO-MILLO, E. & TALON, M. Morphological factors determining salt tolerance in citrus seedlings: the shoot to root ratio modulates passive root uptake of chloride ions and their accumulation in leaves. Plant Cell Environ., 22:1425-1433, 1999.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ., 25:239-250, 2002.
- PRISCO, J.T. & O'LEARY, J.W. Enhancement of intact bean leaf senescence by NaCl salinity. Physiol. Plant., 27:95-100, 1972.
- RHOADES, J.P.; KANDIAH, A. & MASHALI, A.M. The use of saline waters for crop production. Roma, FAO, 1992. 133p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48).
- RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, US Salinity Laboratory Staff. USDA, 1954. 160p. (Handbook, 60)
- SECKLER, D.; AMARASINGHE, U.; MOLDEM, D.; SILVA, R. & BAKER, R. World water demand and supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues. Colombo, International Water Management Institute, 1998. 41p. (Research Report, 19)

- SHARMA, D.P. & RAO, K.V.G.K. Strategy for long term use of saline drainage water for irrigation in semi-arid regions. *Soil Till. Res.*, 48:287-295, 1998.
- SILVA J.V.; LACERDA, C.F.; AZEVEDO-NETO, A.D.; COSTA, P.H.A.; PRISCO, J.T.; ENÉAS-FILHO, J. & GOMES-FILHO, E. Crescimento e osmoregulação em dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos a estresse salino. *R. Ci. Agron.*, 33:125-131, 2003.
- SILVA, F.C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- STOREY, R. Salt tolerance, ion relations and the effect of root medium on the response of citrus to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.*, 22:101-114, 1995.
- STROGONOV, B.P. Physiological basis of salt tolerance of plants. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations, 1964. 279p.
- TALEISNIK, E. & GRUNBERG, K. Ion balance in tomato cultivars differing in salt tolerance. I. Sodium and potassium accumulation and fluxes under moderate salinity. *Physiol. Plant.*, 92:528-534, 1994.
- TRINDADE, A.R.; LACERDA, C.F.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M.A. & PRISCO, J.T. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimatação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.*, 10:804-810, 2006.
- ZEKRI, M. Effects of NaCl on growth and physiology of sour orange and Cleopatra mandarin seedlings. *Sci. Hortic.*, 47:305-315, 1991.