



Crescimento e fotossíntese de plantas jovens de cajueiro anão precoce sob estresse salino

Marlos A. Bezerra¹; Claudivan F. de Lacerda²; José T. Prisco³ & Enéas Gomes Filho³

¹ Embrapa Agroindústria Tropical, Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici, Fortaleza, CE. Fone (85) 3299 1895, E-mail: marlos@cnpat.embrapa.br;

²Departamento de Engenharia Agrícola/UFC, E-mail: cfeitosa@ufc.br; ³Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular/UFC, E-mail: jtprisco@superig.com.br, egomesf@ufc.br

Protocolo 114

Resumo: Objetivando estudar a resposta de plantas jovens de cajueiro anão precoce à salinidade, mudas enxertadas foram irrigadas com soluções salinas de diferentes condutividades elétricas, aplicadas diretamente no ambiente radicular ou sobre as folhas. Os valores da condutividade elétrica da água de drenagem ou do lixiviado praticamente dobraram em relação àqueles da condutividade elétrica das soluções salinas, independentemente do modo de aplicação da irrigação. Os conteúdos foliares de Na⁺ e Cl⁻ aumentaram com a elevação da salinidade da água de irrigação, com maior expressividade nas plantas irrigadas sobre as folhas. Os valores de área foliar e matéria seca foliar nas plantas irrigadas via foliar decresceram com o aumento da salinidade na água de irrigação; além disso, com o aumento da salinidade observou-se redução linear nos valores de fotossíntese líquida. Os efeitos deletérios da salinidade foram mais conspícuos quando a solução de irrigação foi aplicada sobre as folhas e as mudas enxertadas parecem aclimatar-se melhor ao estresse salino quando este é aplicado apenas no sistema radicular.

Palavras-chave: enxertia, salinidade, trocas gasosas

Growth and photosynthesis of young dwarf cashew plants grown under salt stress

Abstract: Objectifying to study the responses of young cashew plants to salt stress, grafted dwarf cashew plants were irrigated with saline solutions of different electrical conductivities (ECs) applied either into the root environment or directly on the plant leaves. The electrical conductivities of drained water (ECd) practically doubled in relation to ECs, independently of the way that water was applied. Leaf Na⁺ and Cl⁻ contents increased with increases of irrigation solutions, especially when applied on the leaves. When irrigation water was applied on the leaves, there were higher reductions in leaf area and leaf dry matter with salinity increase of the irrigation solution. Net photo synthesis was reduced linearly with the increase in salinity and this reduction appeared to be due mainly to stomatal limitations. The effects of salinity are more conspicuous when the irrigation solution was applied directly on the leaves, and the grafted plants appeared to acclimate better to salt stress if the saline solution was applied into the root environment.

Key words: grafting, salinity, gas exchange

INTRODUÇÃO

Dentre as espécies frutíferas cultivadas no Nordeste brasileiro, destaca-se o cajueiro, com mais de 650.000 ha plantados. Grande parte destes pomares foi propagada por sementes e são cultivados sob regime de sequeiro (Barros et al., 2002; 2004). Nos últimos anos, a propagação vegetativa do cajueiro e a prática de irrigação vêm-se tornando fundamental para o estabelecimento de novos pomares mais produtivos (Cavalcanti Junior & Chaves, 2001). A maioria dos pomares de cajueiro no Brasil está localizada no trópico semi-árido, onde a

água é escassa e apresenta problemas de salinidade (Gheyi, 2000), o que obriga os viveiristas a utilizarem água salina na produção de mudas. Nesta espécie, a aplicação de soluções salinas sobre a parte aérea das plantas provocou redução da área foliar e da matéria seca de mudas enxertadas (Bezerra, 2001); entretanto, este efeito parece depender da forma de aplicação da água (Bezerra et al., 2002).

Em geral, a salinidade inibe o crescimento das plantas, em função dos efeitos osmóticos e tóxicos dos íons (Munns, 2002). Dentre os processos fisiológicos afetados pelo estresse salino, destacam-se a assimilação do CO₂ e a síntese de proteínas, as

quais limitam a capacidade produtiva das plantas. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo estudar a resposta de plantas jovens de cajueiro anão precoce à salinidade, avaliando os efeitos de duas diferentes formas de aplicação de água salina no crescimento e na fotossíntese das plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

Para formação das mudas, utilizaram-se tubetes de polipropileno, contendo 288 cm³ de matéria orgânica e solo, fazendo-se irrigação diária. As plantas foram enxertadas aos 40 dias após o plantio, utilizando-se do clone CCP 06 como porta-enxerto e o CCP 76 como enxerto. As mudas enxertadas foram mantidas em ambiente telado e irrigadas diariamente. Decorridos 60 dias após a enxertia, iniciou-se a aplicação dos tratamentos, que consistiu da aplicação diária de 50 mL de águas salinizadas, obtendo-se os seguintes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEs = 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 dS m⁻¹), aplicada diretamente no substrato do tubete ou diretamente sobre as folhas das plantas.

As soluções salinas foram preparadas pela adição de diferentes quantidades de sais de NaCl, CaCl₂·2H₂O e MgCl₂·6H₂O, na proporção de 7:2:1, obedecendo-se a relação entre CEs e a concentração (mmol L⁻¹ = CE x 10), extraída de Rhoades et al. (1992).

A CEs e a condutividade elétrica da água de drenagem ou do lixiviado (CEsd), que foi determinada após 30 dias do início da aplicação dos tratamentos, foram mensuradas com um condutivímetro (644 condutivímetro, Metrohm).

Após 30 dias do início da aplicação dos tratamentos, mediram-se a taxa fotossintética líquida (A) e a condutância estomática ao vapor de água (g_s), medidas com o auxílio de um analisador de gás no infravermelho (IRGA, LCA2, ADC), e os parâmetros de crescimento. As medições com o IRGA ocorreram entre 10 e 12 h, na segunda folha totalmente expandida, com radiação saturante na temperatura e umidade ambiente.

Após coleta e determinação da matéria fresca, determinou-se a área foliar (AF), utilizando-se de um medidor tipo LI-3000, LiCor, Inc., Lincoln; em seguida, o material foi secado em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, durante 72 h, para determinação da matéria seca foliar (MSF).

Na matéria seca foliar foram determinados os teores de Na⁺ e Cl⁻. Para o primeiro, a extração foi realizada de acordo com Miyazawa et al. (1984), homogeneizando-se 500 mg do material vegetal com 25 mL de H₂SO₄ 1 N, por 60 min, sob agitação constante; em seguida, o material foi filtrado e o líquido utilizado

para determinação dos teores de Na⁺. Para extração do Cl⁻, utilizou-se de procedimento similar, mas se utilizou água desionizada ao invés do ácido. Os teores de Na⁺ foram determinados por fotometria de chama e o de Cl⁻ pelo método descrito por Gaines et al. (1984).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições (três plantas por unidade experimental), em arranjo fatorial de 2 (modo de irrigação) x 5 (níveis de salinidade). Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando o valor de F foi estatisticamente significativo a P d' 0,05, os dados foram comparados pelo teste de Tukey ou ajustados pela análise de regressão do parâmetro linear.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modo de aplicação da água salina, constituindo os tratamentos, afetou negativamente as plantas; exceto a MSF, os demais parâmetros estudados foram afetados pelo nível de sais das águas aplicadas (Tabela 1); entretanto, quando se analisou a interação entre o modo de aplicação e os níveis de salinidade, observou-se diferença apenas para o conteúdo foliar de Na⁺ e Cl⁻.

Excetuando-se os teores foliares de sódio e cloreto, nas demais variáveis os valores decresceram nas plantas em que a água salinizada foi aplicada nas folhas, em relação aos tratamentos com os mesmos níveis salinos aplicados diretamente no solo. De maneira geral, essas diferenças ocorreram quando as CEs das soluções salinas aplicadas foram de 3,0 e 4,0 dS m⁻¹, exceto para os teores dos íons sódio e cloreto, em que as diferenças referiram-se a todos os níveis de salinidade aplicados. Essas reduções refletem o efeito deletério do contato direto de soluções com elevados teores de sais com o sistema foliar das plantas, conforme pode ser comprovado pela queima nas bordas das lâminas foliares das plantas irrigadas na parte aérea (Figura 1).

Independente da maneira de aplicação, a irrigação diária com 50 mL de água salina resultou em acúmulo elevado de sais no ambiente radicular (Figura 2). Ao final do experimento, a concentração de sais na solução drenada foi cerca de duas vezes maior que da solução aplicada, exceto no tratamento com o nível mais alto de sal (4,0 dS m⁻¹). Possivelmente, parte dos sais aplicada nas folhas foi carregada e acumulada no substrato.

O crescimento das plantas, com base na AF e MSF, praticamente não foi afetado com o aumento do conteúdo de sais das águas aplicadas no ambiente radicular (Figura 3);

Tabela 1. Resumo da análise de variância do efeito da irrigação com as águas salinas de diferentes concentrações aplicadas diretamente no substrato radicular ou nas folhas de cajueiro anão precoce.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio ¹					
		AF	MSF	A	g _s	Na ⁺	Cl ⁻
Aplicação	1	11292,96*	0,508*	10,68*	0,0056*	101,47*	1480,97*
Salinidade	4	1759,73*	0,076	9,09*	0,0057*	31,76*	345,26*
Aplicação X Salinidade	4	707,87	0,077	0,35	0,003	9,96*	190,40*
Resíduo	30	359,43	0,042	0,56	0,005	0,53	13,36
CV (%)		12,88	18,64	33,31	16,35	8,33	14,84

¹Área foliar (AF), matéria seca foliar (MSF), fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), sódio (Na⁺) e cloreto (Cl⁻). * significativo pelo teste de F ao nível de 1% de probabilidade

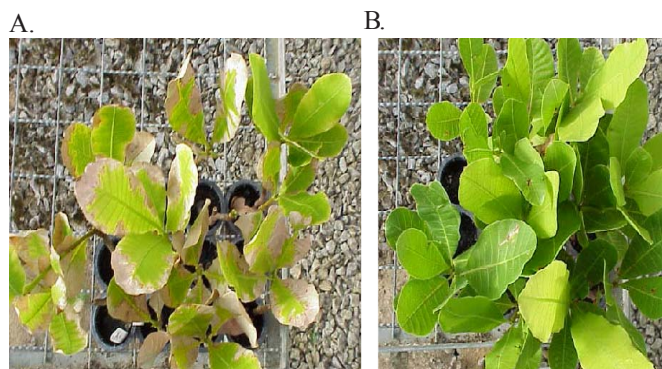
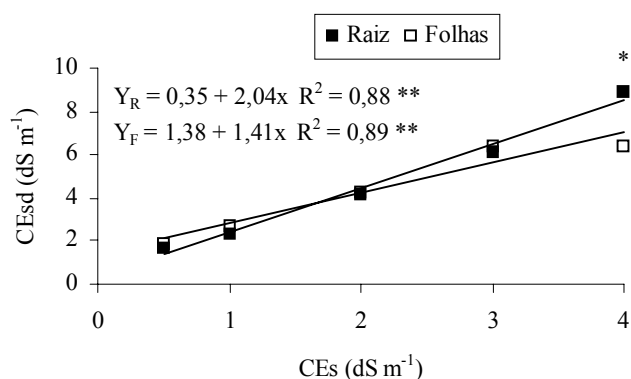


Figura 1. Plantas de cajueiro anão precoce após 30 dias de irrigação com solução salina (CEs $4,0 \text{ dS m}^{-1}$). (A) plantas irrigadas diretamente na parte aérea (B) plantas irrigadas diretamente no ambiente radicular.



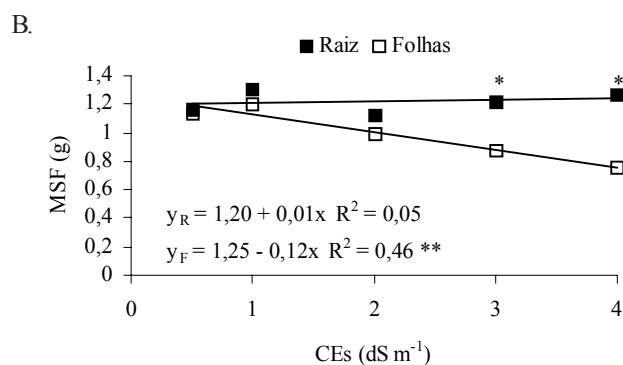
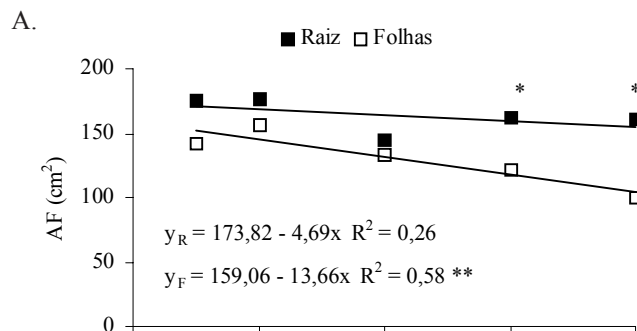
* diferença significativa, dentro do mesmo nível de sal, ao nível de 5% de probabilidade
 ** regressão significativa, a nível de 1% de probabilidade.

Figura 2. Condutividade elétrica da solução de drenagem (CESd) de tubetes contendo plantas de cajueiro anão precoce irrigadas com diferentes níveis de salinidade, aplicados no ambiente radicular ou na parte aérea das plantas

entretanto, quando a aplicação foi feita nas folhas, os decréscimos na AF e na MSF foram proporcionais ao aumento da CEs. Ao comparar as duas formas de aplicação, constataram-se diferenças significativas nos respectivos parâmetros, com as maiores reduções referentes às águas de 3,0 e $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ quando aplicadas na parte aérea. Nas plantas em que as soluções salinas foram aplicadas na parte aérea ocorreu queima das margens foliares, especialmente naquelas irrigadas com águas de altas CEs (Figura 1), emitindo sintomas de toxidez de Na^+ e/ou Cl^- .

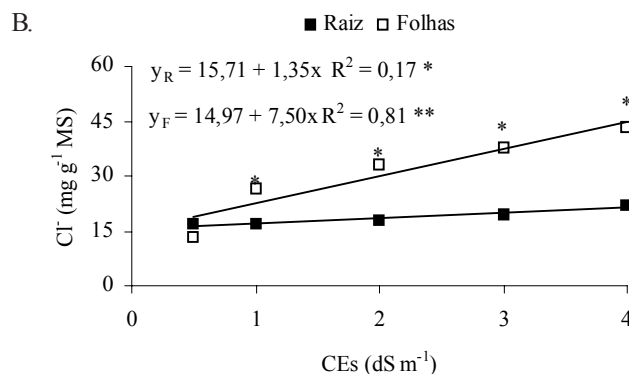
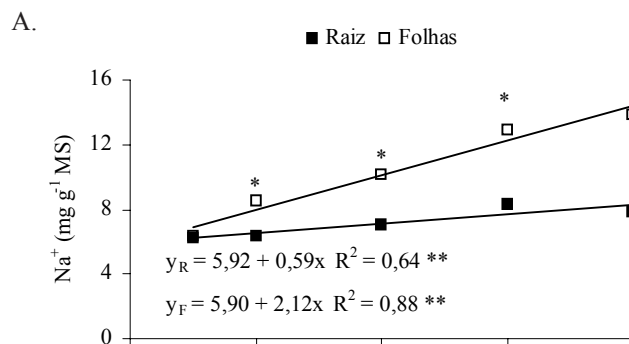
A AF, componente essencial para a produtividade das plantas, é um dos parâmetros mais sensíveis, tanto ao estresse salino quanto ao estresse hídrico (Heuer, 1997). A redução desta variável nas plantas que foram irrigadas na parte aérea foi de 30% para os níveis mais altos de salinidade, evidenciando que o componente osmótico não foi o responsável mais expressivo pela inibição do crescimento das plantas, uma vez que existia a mesma quantidade de sais no ambiente radicular.

A aplicação das águas salinizadas diretamente nas folhas resultou em um significante acréscimo dos conteúdos foliares de Na^+ e Cl^- (Figura 4). A mesma tendência não foi observada nas plantas que receberam as soluções salinas no ambiente radicular; nestas, o acréscimo no conteúdo foliar dos mesmos



* diferença significativa, dentro do mesmo nível de sal, ao nível de 5% de probabilidade
 ** regressão significativa, ao nível de 1% de probabilidade.

Figura 3. Área foliar (AF) (A) e matéria seca foliar (MSF) (B) de plantas de cajueiro anão precoce irrigadas com diferentes níveis de salinidade, aplicados no ambiente radicular ou na parte aérea das plantas



* diferença significativa, dentro do mesmo nível de sal, ao nível de 5% de probabilidade
 ** regressão significativa, ao nível de 1% de probabilidade.

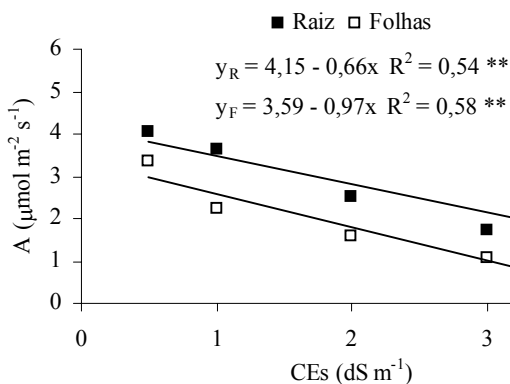
Figura 4. Conteúdo foliar de sódio (Na^+) (A) e cloreto (Cl^-) (B) de plantas de cajueiro anão precoce irrigadas com diferentes níveis de salinidade, aplicados no ambiente radicular ou na parte aérea das plantas

íons foi pequeno (Figura 4), existindo diferenças significativas entre os dois modos de aplicação para todos os níveis de salinidade, exceto no de 0,5 dS m⁻¹.

As maiores reduções na AF e na MSF, aliadas aos maiores acúmulos foliares dos íons Na⁺ e Cl⁻ nas plantas que receberam as águas salinizadas nas folhas justificam a possibilidade de que a inibição do crescimento das plantas se deveu, em maior parte, ao efeito tóxico dos respectivos íons.

Os mecanismos de ajustamento das plantas halotolerantes consistem na restrição da entrada dos íons nas raízes, ao transporte dos íons para as folhas através do xilema e no seqüestro, para o vacúolo, dos íons que chegam às folhas (O'Leary, 1995). A regulação da absorção e do transporte de Na⁺ e Cl⁻ ocorre na membrana plasmática das células corticais e epidérmicas das raízes, no tonoplasto dos vacúolos das células das raízes e do mesófilo foliar e na membrana plasmática das células condutoras e parenquimáticas do xilema, responsáveis pelo transporte e direcionamento dos íons (Yeo & Flowers, 1986; Flowers & Yeo, 1992; McKensie & Leshem, 1994). No presente caso, os resultados sugerem que o cajueiro anão precoce apresentou pelo menos uma das duas primeiras estratégias já que, quando os sais foram aplicados no sistema radicular, não foi pronunciado o aumento dos íons nas folhas (Figura 4).

A taxa fotossintética (A) foi inibida, linearmente, com o aumento da salinidade das soluções de irrigação (Figura 5). Este efeito foi mais acentuado nas plantas que receberam as soluções nas folhas. Apesar da drástica redução na fotossíntese das plantas submetidas aos níveis mais elevados de sais (Figura 5), a limitação no crescimento parece não ser decorrente, apenas, da redução na capacidade fotossintética das plantas, uma vez que, mesmo sob baixa fotossíntese, as plantas que receberam os sais no sistema radicular mantiveram seu crescimento (Figura 3). A redução do crescimento foliar das plantas irrigadas na parte aérea pode ter sido consequência direta da acumulação dos altos teores foliares de Na⁺ e Cl⁻ nas folhas (Figura 4), provocando inibição da divisão e expansão celular (Munns & Termaat, 1986; Munns, 1993), que por sua vez restringiu a área foliar disponível para a fotossíntese, limitando a capacidade produtiva das plantas.

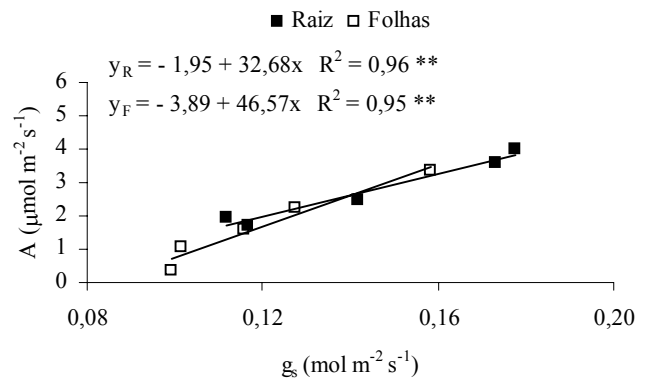


* diferença significativa, dentro do mesmo nível de sal, a nível de 5% de probabilidade.

** regressão significativa, a nível de 1% de probabilidade.

Figura 5. Taxa fotossintética (A) de plantas de cajueiro anão precoce irrigadas com diferentes níveis de salinidade, aplicados no ambiente radicular ou na parte aérea das plantas

Grande parte da redução da fotossíntese parece ter sido decorrente de limitação estomática, uma vez que tanto nas plantas cujos tratamentos foram aplicados nas folhas quanto nas que receberam as soluções no sistema radicular, existiu uma elevada correlação entre A e g_s (Figura 6). Por outro lado, a redução da fotossíntese pode ter sido, ainda, consequência de uma retroinibição do metabolismo do carbono, resultado da diminuição da utilização de fotoassimilado no crescimento das plantas (Munns, 1988; Serraj & Sinclair, 2002). A redução da fotossíntese sob estresse salino pode ser consequência da diminuição da turgescência, da retroinibição do ciclo de Calvin, da deficiência de K⁺ induzida por Na⁺ e dos efeitos tóxicos do Na⁺ e ou Cl⁻ (Storey & Walker, 1999), uma vez que o transporte de elétrons nos cloroplastos é relativamente insensível aos sais (Taiz & Zaiger, 2002).



** regressão significativa, a nível de 1% de probabilidade.

Figura 6. Correlação entre a taxa fotossintética (A) e a condutância estomática (g_s) de plantas de cajueiro anão precoce irrigadas com diferentes níveis de salinidade, aplicados no ambiente radicular ou na parte aérea das plantas

CONCLUSÕES

- 1- O cajueiro anão precoce foi mais sensível aos efeitos dos sais sob irrigação foliar do que diretamente no solo.
- 2- Até o nível de salinidade aplicado no solo, o cajueiro anão precoce foi hábil em não permitir o acúmulo de sais em excesso nas folhas.
- 3- Apesar do decréscimo na fotossíntese, a redução do crescimento das plantas irrigadas sobre as folhas se deveu mais aos efeitos tóxicos dos íons sódio e cloreto diretamente sobre o metabolismo das plantas.

LITERATURA CITADA

- Barros, L.M.; Crisóstomo, J.R.; Paiva, W.O. de; Paiva, J.R. de. Melhoramento genético do cajueiro. In: Silva, V.V. da. (ed.). Caju. O produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa-SPI, 2004. p.81-92.
- Barros, L.M.; Paiva, J.R.; Cavalcanti, J.J.V.; Araújo, J.P.P. Cajueiro. In: Bruckner, C.H. (ed.). Melhoramento de Fruteiras Tropicais. Viçosa: Editora UFV, 2002. p.159-176.
- Bezerra, I.L. Produção de mudas enxertadas de cajueiro anão precoce, usando águas de diferentes salinidades. Campina Grande: UFP, 2001. 85p. Dissertação Mestrado

- Bezerra, M.A.; Santos, F.J.S.; Lacerda, C.F.; Gomes Filho, E. Fotossíntese de cajueiro anão precoce submetido ao estresse salino. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 16p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 6.
- Cavalcanti Junior, A.T.; Chaves, J.C.M. Produção de mudas de cajueiro. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. Documentos Nº 42.
- Flowers, T.J.; Yeo, A.R. Solute Transport in Plants. Glasgow: Chapman & Hall, 1992. 176p.
- Gaines, T.P.; Parker, M.B.; Gascho, G.J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. Agronomy Journal, Madison, v.76, n. 3, p.371-374, 1984.
- Gheyi, H.R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: Oliveira, T.S.; Assis Jr, R.N.; Romero, R.E.; Silva, J.R.C. (ed.). Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Fortaleza: DCS/UFC, 2000. p.329-346.
- Heuer, B. Photosynthetic carbon metabolism of crops under salt stress. In: Pessarakli, M. (ed.). Handbook of Photosynthesis. New York: Marcel Dekker, 1997. p.887-896.
- McKersie, B.D.; Leshem, Y.A. Stress and stress coping in cultivated plants. London: Kluwer Academic Publisher, 1994. 260p.
- Miyazawa, M.; Pavan, M.A.; Bloch, M.F.M. Avaliação de métodos com e sem digestão para extração de elementos em tecidos de plantas. Ciência e Cultura, São Paulo, v.36, p.1953-1958, 1984.
- Munns, R. Why measure osmotic adjustment? Australian Journal of Plant Physiology, Collingwood, v.15, n. 6, p.717-726, 1988.
- Munns, R. Physiological processes limiting plant growth on saline soils: some dogmas and hypotheses. Plant Cell & Environment, Oxford, v.16, n. 1, p.15-24, 1993.
- Munns, R. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell & Environment, Oxford, v.25, n. 2, p.239-250, 2002.
- Munns, R.; Termaat, A. Whole-plant responses to salinity. Australian Journal of Plant Physiology, Collingwood, v.13, n. 1, p.143-160, 1986.
- O'Leary, J.W. Adaptative components of tolerance. In: Pessarakli, M. (ed.). Handbook of plant and crop physiology. New York: Marcel Dekker, 1995. p.577-585.
- Rhoades, J.P.; Kandiah, A.; Mashali, A.M. The use saline waters for crop production. Roma: FAO, 1992. 133p. Irrigation and Drainage Paper nº 48
- Serraj, R.; Sinclair, T.R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?. Plant Cell & Environment, Oxford, v.25, n. 2, p.333-341, 2002.
- Storey, R.; Walker, R.R. Citrus and salinity. Scientia Horticulturae, Amsterdam, v.78, n. 1-4, p.39-81, 1999.
- Taiz, L.; Zeiger, E. Plant physiology. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 690p.
- Yeo, A.R.; Flowers, T.J. Ion transport in *Suaeda maritima*: its relation to growth and implications for the pathway of radial transport of ions across the root. Journal Experimental Botany, Lancaster, v.37, n.175, p.143-159, 1986.