



# Estresse salino em plantas de milho: I - macronutrientes aniônicos e suas relações com o cloro

Giovanni de O. Garcia<sup>1</sup>; Paulo A. Ferreira<sup>1</sup>; Delfran B. dos Santos<sup>1</sup>;  
Flávio G. de Oliveira<sup>1</sup> & Glauco V. Miranda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DEAg/UFV, CEP 36571-000, Viçosa, MG. Fone: (31) 3899 1911. E-mail: giovanniog@vicosa.ufv.br, pafonso@ufv.br, delfran@universiabrasil.net, flaviogoliveira@ibest.com.br

<sup>2</sup> Departamento de Fitotecnia/UFV. Fone: (31) 3899 1117. E-mail: glauco@ufv.br

Protocolo 7

**Resumo:** Com objetivo de avaliar os efeitos da salinidade do solo sobre a nutrição mineral da variedade de milho UFVM 100, conduziu-se um experimento em lisímetros de drenagem sob condições de casa de vegetação, montado em delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos, sendo um irrigado com água doce e sem lixiviação e seis irrigados com água salina de 1,2 dS m<sup>-1</sup>, com frações de lixiviação de 40, 30, 20, 15, 10 e 5% da lâmina de irrigação aplicada, e três repetições. Os efeitos da salinidade do solo sobre a nutrição mineral da cultura do milho foram avaliados, determinando-se o teor foliar dos macronutrientes aniônicos e suas relações com o Cl aos 120 dias após o plantio, na fase fenológica correspondente à maturação fisiológica. Na variedade avaliada, o aumento da salinidade do solo elevou os teores foliares de cloro e as relações Cl/N, Cl/P, Cl/S, seguidos da redução dos teores de nitrogênio, fósforo e enxofre.

**Palavras-chaves:** salinidade do solo, *Zea mays*, nutrição mineral

## Saline stress in maize plants: I - Anionic macronutrients and their relationships with chloride

**Abstract:** Aiming at the evaluation of the soil salinity effects upon the mineral nutrition of the maize (UFVM 100 cv.), an experiment was conducted in drainage lysimeters, under greenhouse conditions. A completely randomized design was used with seven treatments: one irrigated with fresh water without leaching and six irrigated with saline water of 1.2 dS m<sup>-1</sup> with leaching fractions of 40, 30, 20, 15, 10 and 5% of the irrigation depth applied, and three replicaticns. The effects of the soil salinity upon the mineral nutrition of the maize crop were evaluated, by determining the leaf content of the anionic macronutrients and their relationships with Cl at 120 days after planting, at the phenological phase corresponding to the physiological maturation. For the evaluated variety, the increase in the soil salinity elevated the leaf contents of chloride and the relations Cl/N, Cl/P and Cl/S, followed by reduction in the contents of nitrogen, phosphorus and sulfur.

**Key words:** soil salinity, *Zea mays*, mineral nutrition

## INTRODUÇÃO

A maioria das culturas evoluiu, sob condições de baixa salinidade do solo. Os mecanismos desenvolvidos para absorver, transportar e utilizar os nutrientes minerais presentes em substratos não salinos, podem não ser eficazes em condições salinas. Nessas condições, a concentração dos íons de Na<sup>+</sup> e/ou de Cl, freqüentemente, excedem as concentrações

de macro e micronutrientes (Grattan & Grieve, 1999). Quando o conteúdo de NaCl no solo é alto, a absorção de nutrientes minerais, especialmente o NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup>, é reduzida (Larcher, 2000).

A disponibilidade de nutrientes para as plantas, em ambientes salinos, é afetada por muitos fatores envolvendo solo - planta no ambiente. O pH do solo influencia a disponibilidade de nutrientes, enquanto a concentração e as relações entre eles podem influenciar a absorção e o transporte

de um nutriente e afetar, indiretamente, a absorção e a translocação de outros (Grattan & Lamenta, 1994).

Em ambientes salinos, o NaCl é o sal predominante e é, também, aquele que causa maiores danos às plantas. Os efeitos sobre a nutrição mineral são decorrentes, principalmente, da toxicidade dos íons, em razão da absorção excessiva do Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> e do desequilíbrio nutricional, causado por distúrbios na absorção e distribuição dos nutrientes (Yahya, 1998). Os excessos de Na<sup>+</sup> e, em especial, de Cl no protoplasma ocasionam distúrbios em relação ao balanço iônico, além dos efeitos específicos desses íons sobre as enzimas e membranas celulares (Flores, 1990).

Com o presente trabalho objetivou-se estudar o efeito da salinidade da solução do solo sobre os teores dos macronutrientes aniônicos e suas relações com o Cl<sup>-</sup>, em plantas de milho.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em 21 lisímetros de drenagem de 1,0 m de largura, 1,40 m de comprimento e 0,80 m de profundidade, construídos dentro de uma casa de vegetação, no campus da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG com coordenadas geográficas de 20° 45' de latitude Sul, 42° 45' de longitude Oeste e altitude de 651 m. A área total ocupada pelos lisímetros era de 124,6 m<sup>2</sup> (7,0 m de largura por 17,80 m de comprimento), sendo cada lisímetro provido de drenagem de fundo de caixa, ligada a uma estação de coleta de efluente. A espessura do perfil do solo, dentro da caixa era 0,70 m.

O solo utilizado no preenchimento dos lisímetros foi coletado no perfil natural de um Argissolo Vermelho Escuro Eutrófico Tb, sendo a caracterização física e química (Tabela 1) realizadas nos laboratórios de Análises de Física do Solo e de

Tabela 1. Características químicas e físico-hídricas do solo utilizado no preenchimento dos lisímetros de drenagem

Característica	Valor
Areia grossa (dag kg <sup>-1</sup> )	18,40
Areia fina (dag kg <sup>-1</sup> )	9,80
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	17,00
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	54,80
Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )	1,20
Densidade das partículas (kg dm <sup>-3</sup> )	2,63
Porosidade (dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup> )	54,40
pH em água	5,90
Na <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	99,00
P (mg dm <sup>-3</sup> )	4,20
K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	60,00
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,70
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,60
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,33
Soma de Bases (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,88
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,88
CTC total (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,21
Saturação por alumínio (%)	0,00
Saturação por bases (%)	92,00
PST (%)	10,09
P - rem (mg L <sup>-1</sup> )	31,36

PST - Porcentagem de sódio trocável; P - rem - Fósforo remanescente.

Água e Solo dos Departamentos de Solo e de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, respectivamente, conforme rotina descrita pela Embrapa (1997).

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos e três repetições, perfazendo o total de 21 unidades experimentais. Os sete tratamentos se compuseram de um irrigado com água doce e sem lixiviação e seis irrigados com água salina (1,2 dS m<sup>-1</sup>) sendo as frações de lixiviação de 40, 30, 20, 15, 10 e 5% da lâmina de irrigação aplicada.

A água salina utilizada nas irrigações (Tabela 2) foi preparada em um reservatório com capacidade de 1000 L, mediante adição de NaCl e CaCl<sub>2</sub> em quantidades necessárias à obtenção de uma condutividade elétrica (CEai) de 1,20 dS m<sup>-1</sup> e uma relação iônica, em peso, equivalente a 3Na:2Ca, relação esta predominante nas águas salinas utilizadas em irrigação na região Nordeste do país, conforme citado por Medeiros (1992).

Tabela 2. Características médias da água utilizada na irrigação da cultura do milho durante o período experimental

Característica	Valor	
	Água salina	Água não salina
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	1,20	0,06
Concentração de sódio (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,4436	0,0002
Concentração de cálcio (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,2875	0,0167
Concentração de cloro (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,0141	0,0000
Concentração de magnésio (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,0534	0,0103
Concentração de potássio (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,0186	0,0192
RAS (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	1,0744	0,0002
PH	6,70	6,20

As lâminas de irrigação, equivalentes à evapotranspiração real da cultura (ET<sub>r</sub>), foram calculadas em função da ET<sub>0</sub>, estimada por meio do método FAO-24 da radiação, (Frevort et al., 1983) e corrigida para os valores de K<sub>c</sub> da cultura e do coeficiente de umidade do solo (K<sub>s</sub>), propostos por Bernardo et al. (2005). As lâminas de lixiviação foram aplicadas em todas as irrigações e o controle das lixiviações foi feito por meio de um balanço de água no solo, empregando-se a equação:

$$ET_r = I - \Delta U - D \quad (1)$$

em que:

I - lâmina de irrigação (mm)

ΔU - variação do conteúdo de água no solo (mm)

D - lâmina de percolação profunda (mm)

Em sulcos espaçados de 0,70 m, foram distribuídas, manualmente, 16 sementes por metro linear da variedade de milho UFVM 100, num total de 32 sementes por lisímetro; no momento de plantio, todos os tratamentos receberam adubação química: 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de sulfato de amônio; 50 kg ha<sup>-1</sup> de P na forma de superfosfato simples e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K na forma de cloreto de potássio. Aos 30, 45 e 60 dias após o plantio (DAP), realizaram-se três adubações nitrogenadas e uma potássica, em cobertura, e aos 15 DAP foram feitos os desbastes, permanecendo 8 plantas por lisímetro (correspondentes a 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>).

Os tratamentos com água salina e frações de lixiviação foram aplicados a partir dos 30 DAP, mantendo-se as plantas em níveis adequados de umidade, até essa data, através de irrigações frequentes. A lâmina de irrigação correspondente à ETr e acrescida da fração de lixiviação de cada tratamento foi aplicada em cada lisímetro, manual e uniformemente.

Para avaliação dos efeitos da salinidade da solução do solo sobre os teores foliares de macronutrientes aniônicos, coletaram-se, aleatoriamente, três folhas localizadas abaixo da inserção da espiga, de plantas diferentes em cada unidade experimental, na fase fenológica correspondente à maturação fisiológica; na matéria seca desse material foram realizadas análises foliares de nitrogênio, fósforo, enxofre e cloro, conforme metodologia descrita por Fontes (2001), determinando-se os teores foliares de N, P, S e Cl e a relação dos três primeiros com o Cl, aos 120 DAP.

Paralelamente à coleta das folhas para as análises, amostras de solo foram retiradas em cada unidade experimental, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, para determinação da salinidade no perfil, avaliada a partir da medição da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo, por leitura direta na solução, com auxílio de um condutivímetro (Ruiz, 2003). Os valores de CEes foram relacionados com os teores de nutrientes na folha.

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se do teste "t" e adotando-se  $\alpha$  de até 5%, no coeficiente de determinação ( $r^2$ ) da variável em estudo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Salinidade do solo

Aos 120 DAP, os níveis médios de salinidade do solo excederam o valor tolerado pela cultura (Ayers & Westcot, 1991). A salinidade média do extrato de saturação do solo (CEes), em função das frações de lixiviação dos tratamentos com água salina, aumentou com o decréscimo nas frações de lixiviação (Tabela 3). Estes resultados comprovam que frações de lixiviação adequadas podem ser práticas eficazes para reduzir o excesso de sais solúveis na zona radicular das culturas.

### Teores de nitrogênio, fósforo, enxofre e cloro

A salinidade do solo afetou, significativamente, os teores de N, P e S, nas folhas das plantas de milho, aos 120 DAP. As

Tabela 3. Valores médios da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes) das unidades experimentais, aos 120 DAP

Tratamentos	CEes (dS m <sup>-1</sup> )
Água doce	0,85
Água salina acrescida da fração de lixiviação de 40%	3,21
Água salina acrescida da fração de lixiviação de 30%	4,07
Água salina acrescida da fração de lixiviação de 20%	4,67
Água salina acrescida da fração de lixiviação de 15%	5,18
Água salina acrescida da fração de lixiviação de 10%	6,57
Água salina acrescida da fração de lixiviação de 5%	7,89

Figuras 1 (A, B e C) mostram, respectivamente, os decréscimos lineares nos teores desses nutrientes, atingindo valores, em todos os tratamentos, abaixo daqueles considerados por Taiz & Zeiger (2004) como adequados ao desenvolvimento da cultura, enquanto, por outro lado, o teor de cloro nas folhas aumentou com os níveis de salinidade do solo (Figura 1 D).

Bar et al. (1997) afirmam que o teor de nitrogênio nas plantas de milho é afetado pela salinidade do solo e a absorção e o transporte do nitrato são limitados, em condições de salinidade, devido ao efeito antagônico existente entre os íons de nitrato

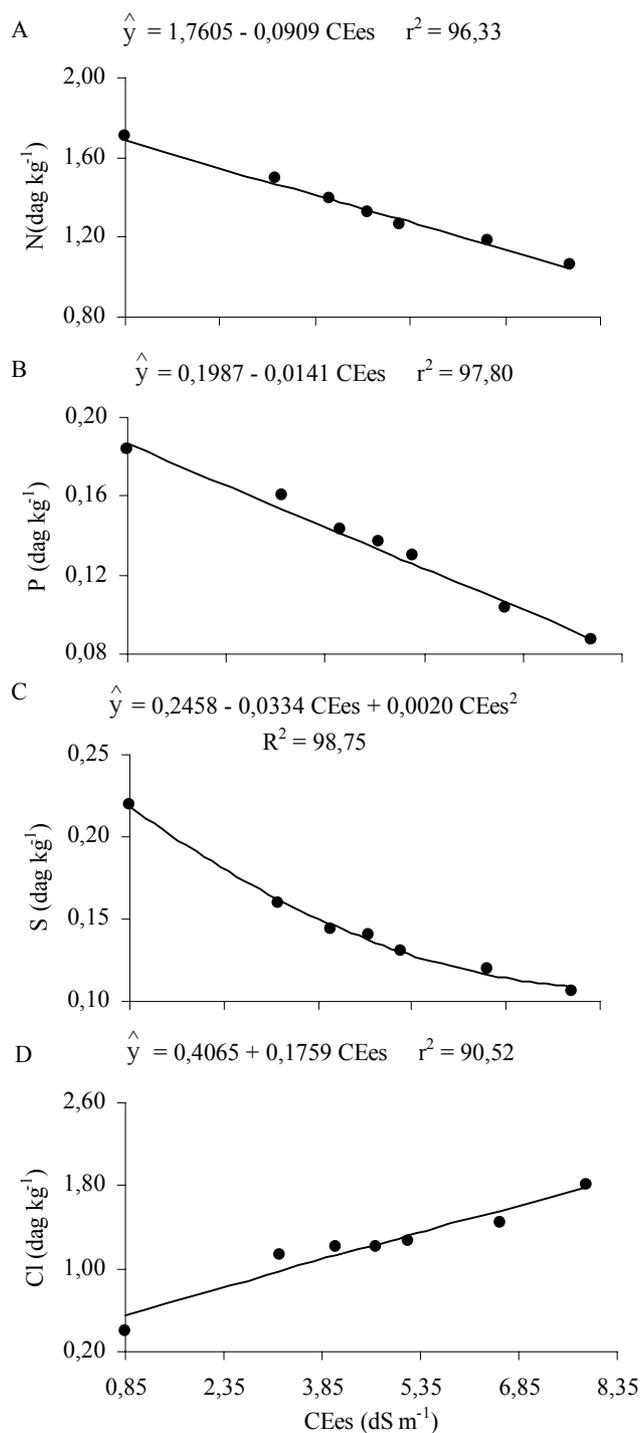


Figura 1. Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), enxofre (C) e cloro (D) nas folhas de milho aos 120 DAP, em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

e cloro. Papadopoulos & Rendig (1993) obtiveram rendimento satisfatório de milho, em plantas cultivadas em ambientes salinizados, mas somente, quando doses extras de nitrogênio foram aplicadas ao solo; os autores constataram, ainda, que a fertilização nitrogenada não melhora a tolerância da cultura ao estresse salino. Abd El-Shamad et al. (2000) verificaram que o aumento da concentração de NaCl, na solução nutritiva, diminuiu o teor de nitrato em folhas e raízes de milho.

Via de regra, a salinidade diminui a concentração de P no tecido das plantas, devido aos efeitos de força iônica e diminuição da solubilidade deste mineral com o aumento dos níveis de NaCl no solo. Em muitos casos, a concentração de P nos tecidos das plantas pode reduzir de 20 a 50%, em ambientes salinos, sem evidências de deficiência de P nas plantas (Sharpley et al., 1992). Martinez & Lauchili (1995) verificaram diminuição na absorção e translocação de fósforo em plantas de algodão na presença de altos níveis de NaCl; Awad et al. (1995) observaram absorção de fósforo pela cultura do tomateiro, apenas em baixos níveis de NaCl.

A interação entre salinidade e o teor de fósforo nas plantas é complexa e dependente de espécie, cultivar, estágio fenológico da planta, concentração de fósforo no substrato, tipos de sais e nível de salinidade (Grattan & Grieve, 1999).

As informações referentes ao acúmulo de enxofre nos tecidos das plantas cultivadas sob condições de salinidade são bastante limitadas. Em geral, os estudos enfocam os efeitos ocasionados pela salinidade e decorrentes do excesso de sulfatos, em relação àqueles ocasionados por cloretos. Mor & Manchanda (1992) notaram que a salinidade reduzia o teor de enxofre nas folhas de ervilha, enquanto o aumentava nas raízes, com incremento da salinidade.

O cloro é necessário às reações de quebra da molécula de água na fotossíntese, produzindo oxigênio (Clarke & Eaton Ryne, 2000), sendo essencial, também, para a divisão celular (Harling et al., 1997). Em geral, a maioria das plantas absorve Cl em níveis superiores àqueles necessários ao seu metabolismo. No presente estudo, os teores médios encontrados nas folhas de milho cresceram 0,17% por acréscimo unitário no nível de salinidade do solo enquanto, antagonicamente, o nitrogênio decresceu 0,09% (Figura 1 D e A). Marschner (1995) afirma que altas concentrações de Cl no solo, principalmente em ambientes salinos, podem diminuir a absorção de nitrogênio pelas plantas, devido ao efeito antagonístico existente entre ambos.

#### Relação do cloro com nitrogênio (Cl/N), fósforo (Cl/P) e enxofre (Cl/S)

O aumento na salinidade do solo afetou, significativamente, as relações Cl/N, Cl/P e Cl/S nas folhas de milho. A Figura 2 (A, B e C) mostra o aumento linear decorrente de maior absorção e acumulação de cloro pela cultura do milho, em relação ao nitrogênio, fósforo e enxofre.

As relações Cl/S e Cl/P foram mais expressivas que a relação Cl/N, em virtude das menores concentrações de S e P nas folhas, conseqüentes de uma menor absorção destes nutrientes. No caso da relação Cl/P, destaca-se o fósforo, em razão de uma maior necessidade deste nutriente para a realização de processos metabólicos (Awad et al., 1995) ou, ainda, de um maior dispêndio energético da planta (Marschner, 1995). Por sua vez, apesar do aumento da relação Cl/N aos 120 DAP,

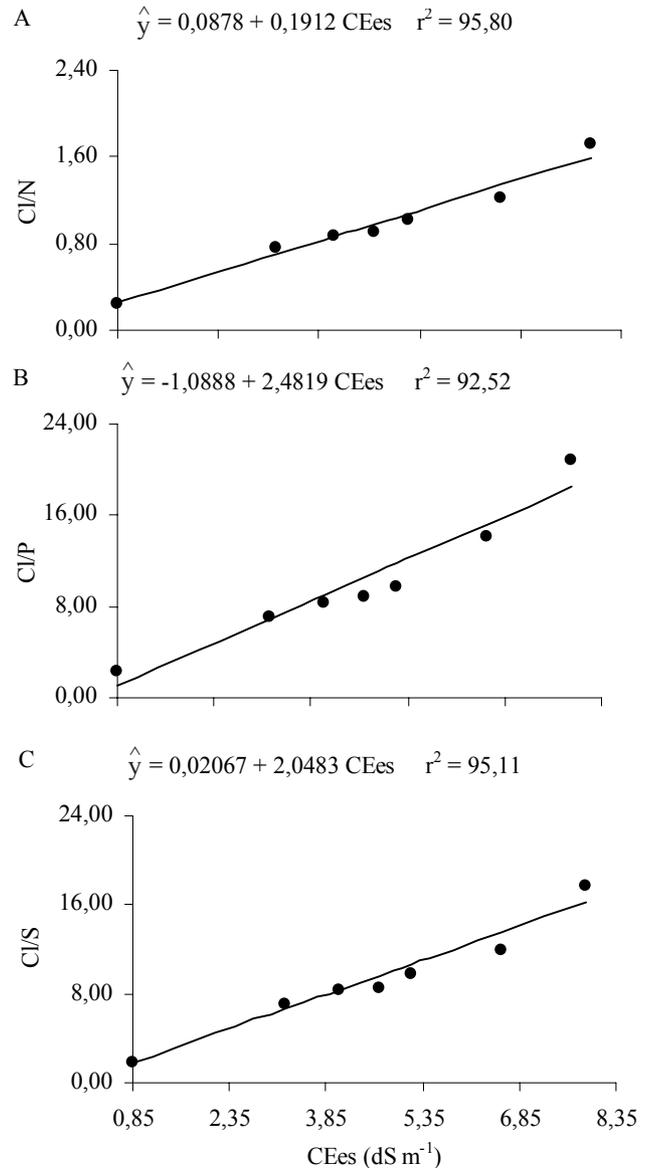


Figura 2. Relação entre as concentrações de cloro nas folhas de milho com (A) nitrogênio (Cl/N), (B) fósforo (Cl/P) e (C) enxofre (Cl/S) em função dos níveis de salinidade do solo (CEes), aos 120 DAP

quando a maturidade fisiológica dos grãos ocorre, a absorção de nitrogênio é baixa e a maior parte é translocada para o grão.

Baixos valores das relações Cl/N, Cl/P e Cl/S, em tecidos vegetais, podem constituir um importante indicativo de tolerância dos genótipos à salinidade por sais de Cl, pois, quando este nutriente alcança teores internos excessivos, associados a teores internos inadequados de nitrogênio, fósforo e enxofre, ocorrem distúrbios nutricionais devido ao efeito antagonístico entre esses íons (Greenway & Muns, 1980).

## CONCLUSÕES

A salinidade progressiva do solo, decorrente das frações de lixiviação, resultou na elevação dos teores de cloro e redução nos teores de nitrogênio, fósforo e enxofre em folhas de milho da cv. UFVM 100, com conseqüente elevação das relações entre Cl/N, Cl/P e Cl/S.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro.

## LITERATURA CITADA

- Abd El-Shamad, H.M., Shaddad, M.A.K. Comparative effect of sodium carbonate, sodium sulfate, and sodium chloride on the growth and related metabolic activities of plants. *Journal Plant Nutrition*, New York, v.19, p.717-728, 2000
- Awad, A.S.; Edwards, D.G.; Campbell, L.C. Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. *Crop Science*, Madison, v.30, n. 1, p. 123-128, 1995.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991, 218p. Estudos da FAO Irrigação e Drenagem, 29 revisado
- Bar-Tal, A.; Feigenbaum, S.; Sparks, D.L. Potassium-salinity interactions in irrigated corn. *Irrigation Science*, New York, v.12, p.27-35, 1991.
- Bernardo, S.; Mantovani, E.C.; Soares, A.A. Manual de irrigação. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611p.
- Clarke, S.M.; Eaton-Rye, J.J. Amino acid deletions in loop C of the chlorophyll a-binding protein CP47 alter the chloride requirement and/or prevent the assembly of photosystem II. *Plant Molecular Biology*, New York, v.44, p.591-601, 2000.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2.ed. Rev. Atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p.
- Fontes, P.C.R. Diagnóstico do estado nutricional das plantas. Viçosa: UFV. 2001, 122 p.
- Flores, H.E. Polyamines and plant stress. In: LASCHER, R.G.; CUMMING, J.R. Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms. Wiley-liss, New York, 1990, p.217-239.
- Frevert, D.R.; Hill, R.W.; Braaten, B.C. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage*, New York, v.109, p.265-270, 1983.
- Grattan, S. R.; Grieve, C. M. Salinity-mineral relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v.78, p.127-157, 1999.
- Grattan, S.R.; Lamenta, M., Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessarakli, M. (ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress*. New York: Marcel Dekker, 1994, p.203-226.
- Greenway, H.; Muns, R. Mechanisms of salt tolerance in crop plants. *Plant Physiology*. Rockville, v.31, p.149-190, 1980.
- Harling, H.; Czaja, L.Schell, J.; Walden, R. A plant cation-chloride co-transporter promoting auxin-independent tobacco protoplast division, *EMBO*, New York, v.16, p.5855-5866, 1997.
- Larcher, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000, 531p
- Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plant*. 2. ed. New York: Academy, 1995. 889p.
- Martinez, V.; Lauchli, A. Phosphorus translocation in salt stressed cotton. *Plant Physiology*, Rockville, v.83, p.627-632, 1995.
- Medeiros, J.F. Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo gat, nos estados do RN, PB e CE. Campina Grande, PB: UFPB. 1992. 137p. Dissertação Mestrado
- Mor, R.P.; Manchanda, H.R. Influence of phosphorus on the tolerance of table pea to chloride and sulfate salinity in a sandy soil. *Arid Soil Research, Rehab*, v.6, p.41-52. 1992.
- Papadopoulos, I.; Rendig, V.V.. Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. *Plant Soil*, Dordrecht, v.73, p.47-57, 1983
- Ruiz, H.A. Métodos de análises físicas do solo. Viçosa:UFV, 2003, 56p., Apostila Acadêmica
- Sharpley, A.N.; Meisinger, J.J.; Power, J.F.; Suarez, D.L. Root extraction of nutrients associated with long-term soil management. In: Stewart, B. (ed.), *Advances in Soil Science*: Springer, v.19, p.151-217, 1992.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. 3 ed. Porto Alegre: Artmed. 2004. 719p.
- Yahya, A. Salinity effects on growth and uptake and distribution on sodium and some essential mineral nutrients in sesame. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.21, n.2, p.1439-1451, 1998.