

Produção relativa do milho e teores folheares de nitrogênio, fósforo, enxofre e cloro em função da salinidade do solo¹

Mayze relative production and leaf contents of nitrogen, phosphorus, sulfur and chlorine as a function of the soil salinity

Paulo Afonso Ferreira², Giovanni de Oliveira Garcia³, Júlio Cezar Lima Neves⁴,
Glauco Vieira Miranda⁵ e Delfran Batista dos Santos⁶

Resumo - A concentração de sais na solução do solo pode ser fator determinante na produtividade das culturas, pois sua ação pode ir de uma simples diminuição do potencial de água no solo até uma injúria celular causada por um estresse oxidativo na planta. Os efeitos da salinidade do solo sobre a produção relativa da variedade de milho UFV 100 e os teores folheares de nitrogênio, fósforo e enxofre, e suas relações com o cloro foram avaliados em 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, sem lixiviação, e seis irrigados com água salina de 1,20 dS.m⁻¹, com frações de lixiviação de 40; 30; 20; 15; 10 e 5% da lâmina de irrigação aplicada, e três repetições. Os teores de cloro nas folhas de milho elevaram a partir dos 120 dias após o plantio (DAP), enquanto os teores de nitrogênio e fósforo reduzem a partir dos 90 e 120 DAP, e os de enxofre a partir dos 120 DAP. As relações Cl/N, Cl/P, Cl/S aumentam a partir dos 120 DAP, (60 e 120) DAP e (60; 90 e 120) DAP, respectivamente. A variedade de milho UFVM 100 mostrou-se sensível à salinidade do solo e a produção relativa decresceu 15,68% com incrementos unitários da salinidade do solo acima de 1,70 dS.m⁻¹ (salinidade limiar).

Termos para indexação: Salinidade do solo, *Zea mays* L., nutrição mineral

Abstract - The concentration of salts in the soil solution can be a decisive factor in the productivity of crops, since its action may extend from a simple decrease in the soil water potential to a cellular injury caused by an oxidative stress in the plant. The effects of the soil salinity on either relative production of the mayze variety UFV 100 and the leaf contents of nitrogen, phosphorus and sulfur, as well as their relationships with chlorine were evaluated in an experiment conducted with drainage lysimeters under greenhouse conditions, which was set up under an entirely randomized design with seven treatments: one irrigated with fresh water and no leaching and six irrigated with saline water of 1.2 dS.m⁻¹ with leaching fractions of 40; 30; 20; 15; 10 and 5% of the applied irrigation depth, and three replicates. The chlorine contents in the leaves were increased from 120 days after planting (DAP), whereas the contents of nitrogen and phosphorus were reduced from 90 and 120 DAP, and those of sulfur from 120 DAP on. The relationships Cl/N, Cl/P, Cl/S were increased from 120 DAP, (60 and 120) DAP and (60; 90 and 120) DAP, respectively. The mayze variety UFVM 100 showed to be sensitive to the soil salinity and the relative production showed a decrease of 15.68% with unit increments of the soil salinity above 1.70 dS.m⁻¹ (threshold salinity).

Index terms: Soil salinity, *Zea mays* L., mineral nutrition

¹ Recebido para publicação em 14/02/2006; aprovado em 23/11/2006.

Parte da Tese de Doutorado do segundo autor apresentada ao Dep. de Engenharia Agrícola, UFV, MG

² Eng. Agrônomo, Ph.D., Prof. do Dep. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa, MG, e-mail: pafonso@ufv.br

³ Eng. Agrônomo, Doutorando do Dep. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa, MG, e-mail: giovanniog@vicosa.ufv.br

⁴ Eng. Agrônomo, D.S., Prof. do Dep. de Solos, UFV, Viçosa, MG, e-mail: jeneves@ufv.br

⁵ Eng. Agrônomo, D.S., Prof. do Dep. de Fitotecnia, UFV, Viçosa, MG, e-mail: glauco@ufv.br

⁶ Eng. Agrônomo, D.S. Prof da EAFSB, BA, delfran@universiabrasil.net.

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, onde a concentração dos íons de Na^+ e, ou de Cl^- , freqüentemente, excedem as concentrações de macro e micronutrientes (Grattan & Lamonta, 1994). Quando o conteúdo de NaCl no solo é alto, a absorção de nutrientes minerais, especialmente o NO_3^- , K^+ e Ca^{2+} , é reduzida (Larcher, 2000).

Em ambientes salinos a disponibilidade de nutrientes para as plantas é afetada por fatores como o pH do solo, que influencia a disponibilidade de nutrientes, a concentração e as relações entre nutrientes que podem afetar a absorção e o transporte de um nutriente e, indiretamente, afetar a absorção e a translocação de outros (Grattan & Lamonta, 1994).

Nos ambientes salinos o NaCl é, geralmente, o sal predominante e, conseqüentemente, aquele que causa maiores danos às plantas. Os efeitos sobre a nutrição mineral decorrem, principalmente, da toxicidade dos íons em razão da absorção excessiva do Na^+ e Cl^- e do desequilíbrio nutricional causado pelos distúrbios na absorção e distribuição dos nutrientes (Yahya, 1998). Um excesso de Na^+ e, sobretudo, de Cl^- no protoplasma, ocasiona distúrbios em relação ao balanço iônico, além dos efeitos específicos destes íons sobre as enzimas e membranas celulares (Flores, 1990).

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta de ciclo anual, pertence à família Gramínea, apresenta baixo ponto de compensação de CO_2 , alta taxa fotossintética e baixo consumo de água para formação de matéria fresca (Azevedo Neto, 1997).

A importância econômica do milho caracteriza-se pelas diversas formas de sua utilização, compreendendo desde o consumo "in natura" até o processamento em indústria de alta tecnologia. O uso do milho em grão na alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, ou seja, cerca de 70%, no mundo.

O milho classifica-se como uma espécie moderadamente tolerante à salinidade, sendo mais sensível ao estresse salino no período vegetativo e mais tolerância na época de floração. O estresse salino provoca redução progressiva do crescimento em razão da redução do potencial osmótico e/ou do acúmulo excessivo de íons, podendo induzir à toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional ou ambos (Azevedo Neto, 1997).

Azevedo Neto e Tabosa (2000) avaliaram o efeito do estresse salino sobre o crescimento de cultivares de milho com tolerância diferenciada à salinidade. Os autores concluíram que o estresse salino afetou o conteúdo de matéria seca da parte aérea e das raízes, a razão parte aérea/raiz, a taxa de crescimento absoluto e relativo e a taxa de assimilação líquida.

Neste trabalho objetivou-se estudar os efeitos da salinidade da solução do solo sobre a produção relativa e os teores folheares de nitrogênio, fósforo e enxofre e suas relações com o cloreto, em plantas de milho (variedade UFVM 100).

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em 21 lisímetros de drenagem de 1,0 m de largura, 1,4 m de comprimento e 0,8 m de profundidade, construídos dentro de uma casa de vegetação, no campus da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, com coordenadas geográficas de $20^\circ 45'$ de latitude Sul, $42^\circ 45'$ de longitude Oeste e altitude de 651 m. A área total ocupada pelos lisímetros foi de $124,6 \text{ m}^2$ ($7,0 \text{ m}$ de largura por $17,80 \text{ m}$ 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 foi de $0,7 \text{ m}$.

O solo utilizado no preenchimento dos lisímetros foi coletado no perfil natural de um Argissolo Vermelho Escuro Eutrófico Tb, sendo a caracterização química e física (Tabela 1) realizadas nos laboratórios de Análises de Física do Solo e de Água e Solo dos Departamentos de Solo e de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, conforme rotina (Embrapa, 1997).

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos e três repetições, perfazendo um total de 21 unidades experimentais. Os sete tratamentos foram constituídos de um irrigado com água doce e sem lixiviação e seis irrigados com água salina ($1,2 \text{ dS.m}^{-1}$), 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 1.000 L, mediante adição de NaCl e CaCl_2 em quantidades necessárias à obtenção de uma condutividade elétrica (CEai) de $1,20 \text{ dS.m}^{-1}$ e uma relação iônica, em peso, equivalente a $3\text{Na}:2\text{Ca}$, relação esta predominante nas águas salinas utilizadas em irrigação na região do nordeste do país (Medeiros, 1992).

Tabela 1 – Características físico-químicas do solo utilizado no preenchimento dos lisímetros de drenagem

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

PST – Porcentagem de sódio trocável; P – rem – Fósforo remanescente

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 ⁻¹) | 1,2000 | 0,0600 |
| Concentração de sódio (cmol _c .L ⁻¹) | 0,4436 | 0,0002 |
| Concentração de cálcio (cmol _c .L ⁻¹) | 0,2875 | 0,0167 |
| Concentração de cloro (cmol _c .L ⁻¹) | 7,0141 | 0,0000 |
| Concentração de magnésio (cmol _c .L ⁻¹) | 0,0534 | 0,0103 |
| Concentração de potássio (cmol _c .L ⁻¹) | 0,0186 | 0,0192 |
| RAS (cmol _c .L ⁻¹) ^{0,5} | 1,0744 | 0,0002 |
| pH | 6,7000 | 6,2000 |

Os dados de temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar incidente e velocidade do vento foram coletados numa estação meteorológica localizada dentro da casa de vegetação e os valores da ETr foram corrigidos pontualmente, em cada lisímetro, por meio do balanço de água do solo, com base numa frequência de irrigação de dez dias (Figura 1 A, B, C, D e E).

As lâminas de irrigação equivalentes a evapotranspiração real da cultura (ETr) foram calculadas em função da evapotranspiração de referência (ET₀), estimada por meio do método FAO-24 da radiação (Frevert et al., 1983) e corrigida para os valores de Kc da cultura e do coeficiente de umidade do solo (Ks) (Bernardo et al., 2005).

O balanço de água no solo foi realizado empregando a equação:

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

Em que: I – lâmina de irrigação (mm); ΔU – variação do conteúdo de água no solo (mm) e D – lâmina de percolação profunda (mm).

Utilizou-se a variedade de milho UFVM 100, plantada manualmente, em sulcos espaçados de 0,7 m, colocando-se 16 sementes por metro linear, ou seja, um total

de 32 sementes por lisímetro, no momento de plantio. No plantio, todos os tratamentos receberam adubação química: 30 kg.ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio; 50 kg.ha⁻¹ de P na forma de superfosfato simples e 80 Kg.ha⁻¹ de K na forma de cloreto de potássio. Aos 30; 45 e 60 dias após o plantio (DAP), foram feitas três adubações nitrogenadas e uma potássica em cobertura. Aos 15 DAP, foram feitos os desbastes permanecendo oito plantas por lisímetro (50.000 plantas.ha⁻¹).

Os tratamentos com água salina e frações de lixiviação foram aplicados a partir dos 30 DAP, enquanto a aplicação de irrigações nos primeiros 30 dias tinha por objetivo manter a umidade adequada no solo. A lâmina de irrigação correspondente a ETr e acrescida da fração de lixiviação de cada tratamento foi aplicada manual e uniformemente em cada lisímetro.

Os efeitos da salinidade da solução do solo sobre a nutrição mineral da cultura do milho foram avaliados determinando-se o teor foliar de nitrogênio, fósforo e enxofre e suas relações com o cloreto. Para tanto, nas fases fenológicas do período vegetativo, floração, formação da colheita e maturação fisiológica, correspondente aos 30; 60; 90 e 120 DAP, respectivamente, foram coletadas aleatoriamente, em diferentes plantas de cada unidade experimental, três folhas localizadas abaixo da inserção da espiga, sendo encaminhadas ao laboratório para a realização das análises, conforme descrito por Fontes (2001). Aos 30 DAP foi coletada a quarta folha totalmente expandida.

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 a

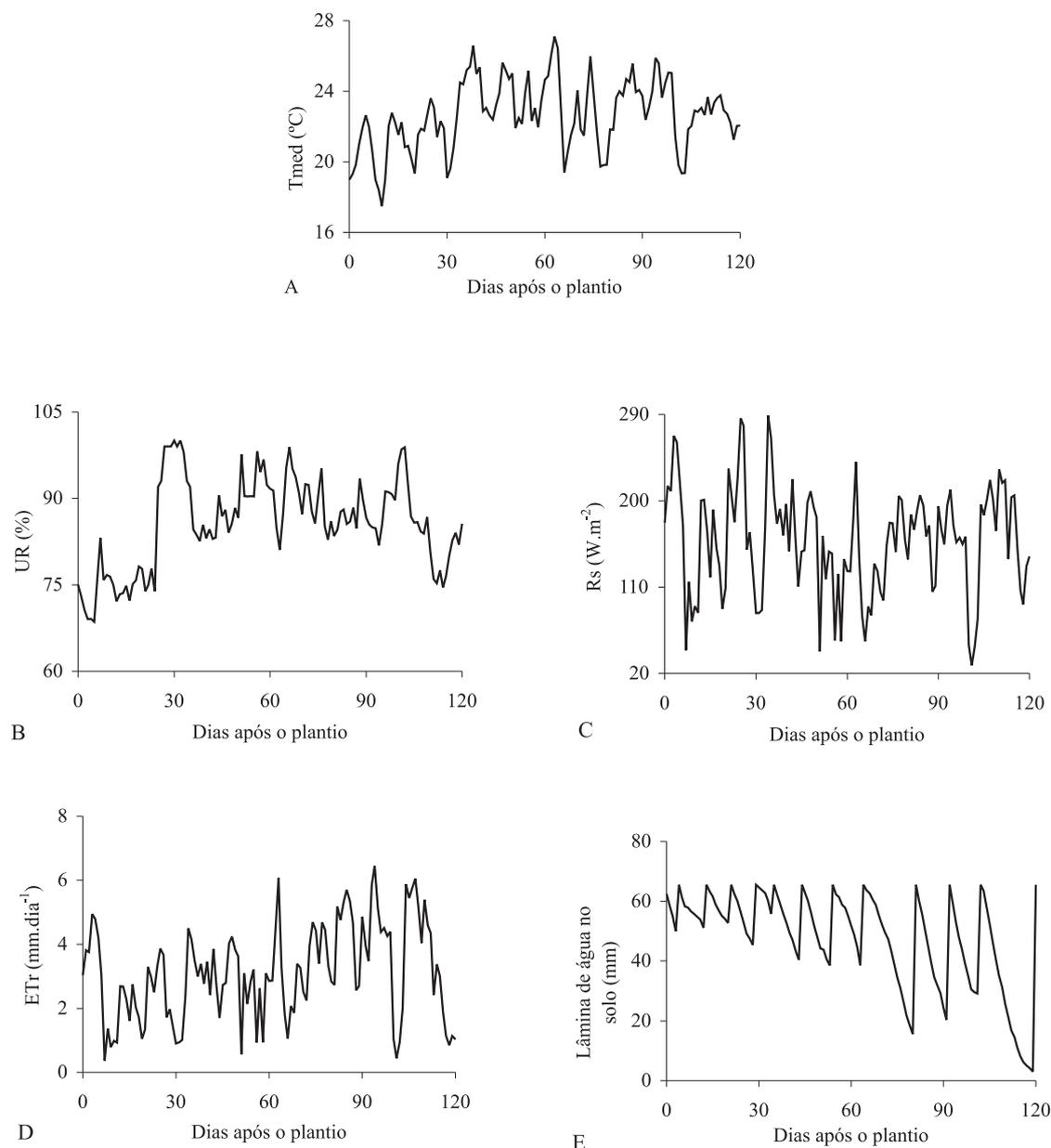


Figura 1 - Valores médios diários de temperatura (A), umidade relativa (B), radiação solar incidente (C), evapotranspiração real (D) e o balanço de água no solo (E) durante o período experimental de cultivo da cultura do milho

determinação da salinidade no perfil; esta foi 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).

O decréscimo da produção relativa da cultura do milho em função da salinidade do solo foi calculado empregando-se a metodologia do *Linear Response plateau* (LRP) proposta por Maas & Hoffman (1977).

Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utili-

zando-se o teste “t” e adotando-se α de até 5%, no coeficiente de determinação (r^2) e no fenômeno em estudo.

Resultados e Discussão

Salinidade do solo

A salinidade do solo foi afetada pelas frações de lixiviação aplicadas ao longo do período de cultivo da variedade de milho UFVM 100 (Tabela 3). Esse resultado comprova que a lixiviação resultante da passagem de água

Tabela 3 – Valores médios da condutividade elétrica do extrato de saturação no perfil do solo determinados nas unidades experimentais aos 30; 60; 90 e 120 DAP

| Tratamentos | Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (dS.m ⁻¹) | | | | |
|-------------|--|--------|--------|---------|-------|
| | 30 DAP | 60 DAP | 90 DAP | 120 DAP | Média |
| AD | 0,81 | 0,85 | 0,81 | 0,85 | 0,83 |
| ASFL 40% | 1,27 | 1,67 | 2,55 | 3,21 | 2,17 |
| ASFL 30% | 1,13 | 1,74 | 2,92 | 4,07 | 2,47 |
| ASFL 20% | 1,29 | 1,96 | 3,29 | 4,67 | 2,80 |
| ASFL 15% | 1,10 | 2,10 | 3,58 | 5,18 | 2,99 |
| ASFL 10% | 1,18 | 2,53 | 4,05 | 6,57 | 3,58 |
| ASFL 05% | 1,39 | 3,01 | 5,01 | 7,89 | 4,33 |

AD – Água doce; ASFL – Água salina acrescida com a fração de lixiviação

através do perfil do solo é uma prática eficaz para reduzir o excesso de sais solúveis na zona radicular das culturas.

Nitrogênio

A salinidade do solo afetou significativamente os teores de nitrogênio nas folhas das plantas de milho aos 90 e 120 DAP (Tabela 4). Na Figura 2 A e B, observa-se o decréscimo linear nos teores de nitrogênio nas folhas de milho com o aumento unitário dos níveis de salinidade do solo, atingindo valores menores que 3,00 dag.kg⁻¹, considerados por Taiz & Zeiger (2004), como adequados para a cultura.

Segundo Bar-tal et al. (1991), 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 antagonístico existente entre os íons nitrato e cloro. Por outro lado, a salinidade pode afetar, indiretamente, o processo de nitrificação (conversão do nitrogênio na forma amoniacal à forma nítrica) devido à diminuição do conteúdo de água decorrente do efeito osmótico ocasionado pelo excesso de sais (Van Hoorn et al., 2001).

Semelhantemente aos resultados apresentados na Figura 2, Abd El-samad & Shaddad (2000), relataram que o aumento da concentração de NaCl em solução nutritiva, diminuiu o teor de nitrato nas folhas e raízes de milho, enquanto que Papadopoulus & Rendig (1983), afirmam que plantas de tomate, cultivadas em ambientes salinos, apresentaram rendimento satisfatório somente quando foram aplicados ao solo doses extras de nitrogênio, sendo que a fertilização nitrogenada não aumentou o grau de tolerância da cultura ao estresse salino.

semelhantemente aos resultados apresentados na Figura 2, Abd El-samad & Shaddad (2000), relataram que o aumento da concentração de NaCl em solução nutritiva, diminuiu o teor de nitrato nas folhas e raízes de milho, enquanto que Papadopoulus & Rendig (1983), afirmam que plantas de tomate, cultivadas em ambientes salinos, apresentaram rendimento satisfatório somente quando foram aplicados ao solo doses extras de nitrogênio, sendo que a fertilização nitrogenada não aumentou o grau de tolerância da cultura ao estresse salino.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância da variável nitrogênio em função da salinidade do solo aos 30; 60; 90 e 120 DAP

| Fonte de variação | GL | Quadrados médios | | | |
|-----------------------------|--------|----------------------|----------------------|---------|---------|
| | | 30 DAP | 60 DAP | 90 DAP | 120 DAP |
| Tratamentos | 6 | 0,0170 ^{ns} | 0,0817 ^{ns} | 0,1416* | 0,1351* |
| Resíduo | 14 | 0,0339 | 0,0753 | 0,0029 | 0,0049 |
| Coeficiente de variação (%) | 5,7600 | 10,3800 | 4,8800 | 5,2300 | |

ns – não significativo; * significativo a 5% de probabilidade

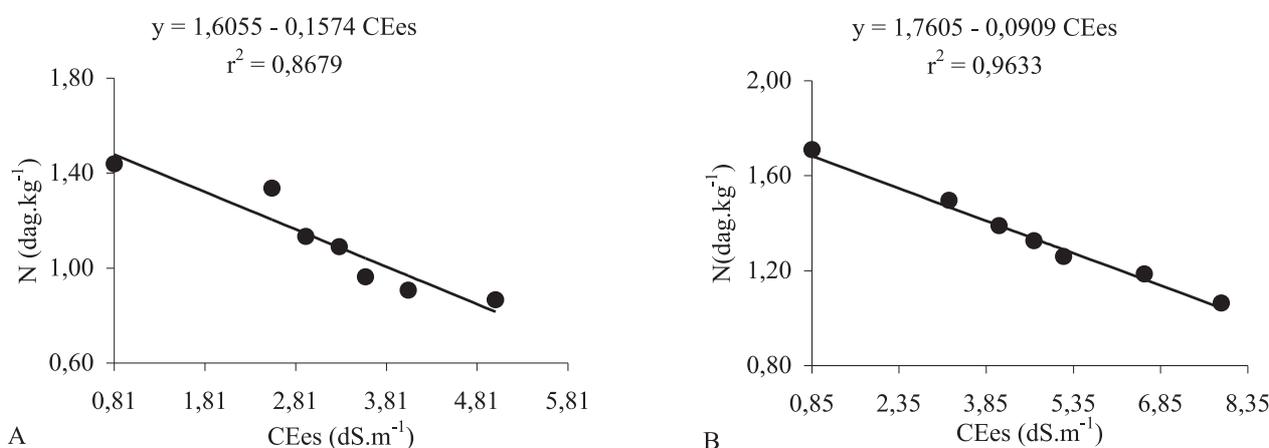


Figura 2 – Teores de nitrogênio (N) nas folhas de milho aos 90 (A) e 120 (B) DAP em função dos níveis de salinidade do solo (CEes)

A absorção do nitrogênio pelas plantas é contínua até próximo à maturidade fisiológica, sendo que grande parte do nitrogênio é translocada das partes vegetativas da planta para os grãos em desenvolvimento. Essa translocação pode resultar em deficiências de nutrientes nas folhas, a menos que quantidades adequadas de nutrientes estejam disponíveis para a planta, durante aquele período (Ritchie et al., 2003). Dessa forma, além do aumento dos níveis de salinidade do solo, teores inadequados de nitrogênio nas folhas das plantas de milho, podem ser também devido à translocação da maior parte do nitrogênio absorvido para os grãos em formação, aos 90 e 120 DAP, períodos caracterizados pelos estádios de formação da colheita e de maturidade fisiológica, respectivamente.

Fósforo

Os teores de fósforo nas folhas do milho aos 90 e 120 DAP foi também afetado pela salinidade do solo (Tabela 5). Na Figura 3 A e B detecta-se o decréscimo linear do teor de fósforo nas folhas das plantas de milho, nos dois períodos, com o incremento unitário do nível de salinidade do solo, atingindo valores menores que $0,3 \text{ dag.kg}^{-1}$, considerados por Taiz & Zeiger (2004), como adequados para a cultura.

A salinidade diminuiu a concentração de P no tecido das plantas devido aos efeitos de força iônica que reduzem a atividade do fosfato na solução do solo, da elevada adsorção do fosfato e da diminuição da solubilidade deste mineral com o aumento dos níveis de NaCl no solo. Resultados experimentais evidenciam que a concentração de P nos tecidos das plantas pode ser reduzida de 20% a 50%, em ambiente salino, sem apresentar evidências de deficiência de P nas plantas (Sharpley et al., 1992).

Altos níveis de NaCl diminuíram a absorção e translocação de fósforo em plantas de algodão (Martinez & Lauchli, 1995), assim como a absorção eficiente de fósforo na cultura do tomateiro somente ocorreu em baixos níveis de NaCl (Awad et al., 1995). A interação entre salinidade e o teor de fósforo nas plantas é complexa e dependente da espécie, cultivar, estágio fenológico da planta, concentração de fósforo no substrato, tipos de sais e nível de salinidade (Grattan & Grieve, 1999).

Enxofre

A salinidade do solo afetou significativamente os teores de enxofre nas folhas das plantas milho apenas aos 120 DAP (Tabela 6). Na Figura 4 contata-se a relação

Tabela 5 – Resumo da análise de variância da variável fósforo em função da salinidade do solo aos 30; 60; 90 e 120 DAP

| Fonte de variação | GL | Quadrados médios | | | |
|-----------------------------|----|----------------------|----------------------|---------|---------|
| | | 30 DAP | 60 DAP | 90 DAP | 120 DAP |
| Tratamentos | 6 | 0,0009 ^{ns} | 0,0003 ^{ns} | 0,0017* | 0,0032* |
| Resíduo | 14 | 0,0008 | 0,0001 | 0,0005 | 0,0001 |
| Coeficiente de variação (%) | | 18,4100 | 14,4800 | 20,5900 | 8,2600 |

ns – não significativo; * significativo a 5% de probabilidade

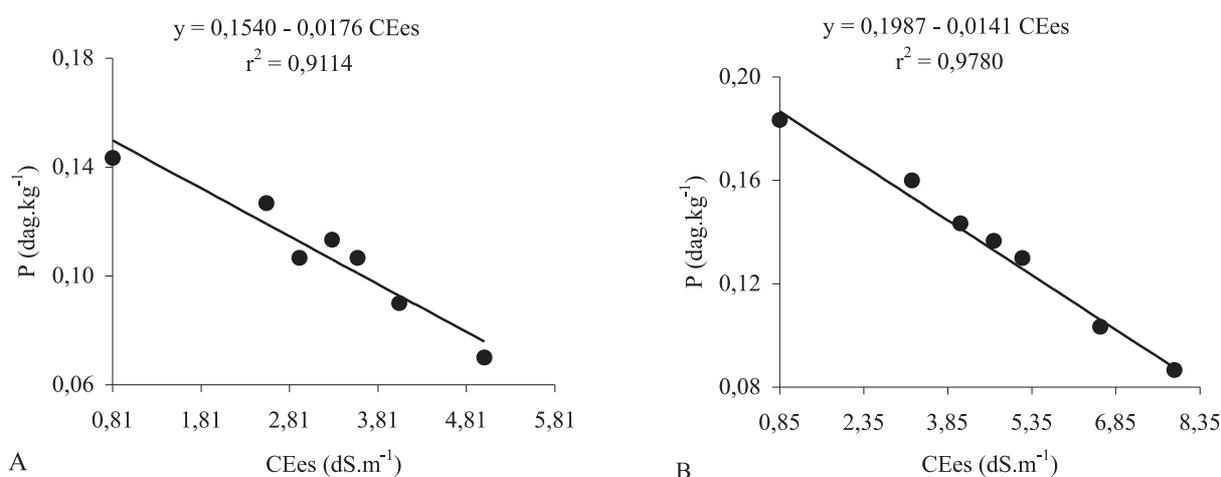


Figura 3 – Teores de fósforo (P) nas folhas de milho aos 90 (A) e 120 (B) DAP em função dos níveis de salinidade do solo (CEes)

Tabela 6 – Resumo da análise de variância da variável enxofre em função da salinidade do solo aos 30; 60; 90 e 120 DAP

| Fonte de variação | GL | Quadrados médios | | | |
|------------------------------|----|----------------------|----------------------|----------------------|---------|
| | | 30 DAP | 60 DAP | 90 DAP | 120 DAP |
| Tratamentos | 6 | 0,0004 ^{ns} | 0,0005 ^{ns} | 0,0003 ^{ns} | 0,0041* |
| Resíduo | 14 | 0,0019 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0001 |
| Coefficiente de variação (%) | | 25,8900 | 17,1600 | 24,5400 | 8,0600 |

ns – não significativo; * significativo a 5% de probabilidade

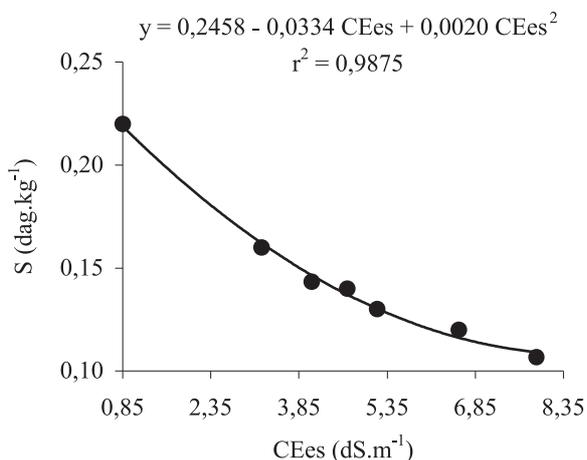


Figura 4 – Teores de enxofre (S) nas folhas de milho aos 120 DAP em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

quadrática do decréscimo nos teores de enxofre nas folhas de milho com o aumento dos níveis de salinidade do solo. Contudo, os teores de enxofre nas folhas, estão pró-

ximos do valor de 0,10 dag kg⁻¹, considerado por Taiz & Zeiger (2004), como adequados para a cultura.

As informações referentes ao acúmulo de enxofre nos tecidos das plantas cultivadas sob condições de salinidade são bastante limitadas. Os estudos, em sua maioria, enfocam os diferentes efeitos ocasionados pela salinidade decorrentes do excesso de sulfatos em relação àqueles ocasionados por cloretos. Mor & Manchanda (1992), verificaram que a salinidade reduziu o teor de enxofre nas folhas de ervilha, mas por outro lado, relataram acúmulo de S nas raízes com o incremento da salinidade.

Cloro

A salinidade do solo afetou significativamente os teores de cloro nas folhas de milho apenas aos 120 DAP (Tabela 7). A Figura 5 mostra o aumento quadrático do teor de cloro nas folhas de milho com o aumento dos níveis de salinidade do solo. De uma forma geral, o teor adequado de Cl⁻ nos tecidos vegetais é de 0,1 a 0,2 dag.kg⁻¹

Tabela 7 – Resumo da análise de variância da variável cloro em função da salinidade do solo aos 30; 60; 90 e 120 DAP

| Fonte de variação | GL | Quadrados médios | | | |
|------------------------------|----|----------------------|----------------------|----------------------|---------|
| | | 30 DAP | 60 DAP | 90 DAP | 120 DAP |
| Tratamentos | 6 | 0,1489 ^{ns} | 0,0175 ^{ns} | 0,0208 ^{ns} | 0,9106* |
| Resíduo | 14 | 0,1381 | 0,0209 | 0,0624 | 0,0028 |
| Coefficiente de variação (%) | | 13,9300 | 21,0500 | 26,9900 | 4,6500 |

ns – não significativo; * significativo a 5% de probabilidade

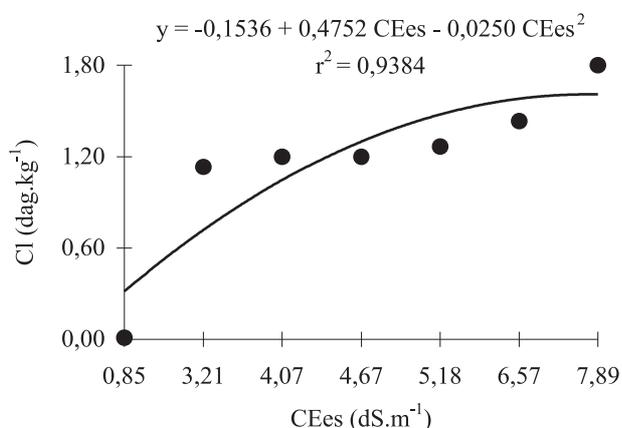


Figura 5 – Teores de cloro (Cl) em função dos níveis de salinidade do solo (CEes), nas folhas de milho aos 120 DAP

(Taiz & Zeiger, 2004) e teores acima de 0,25 dag.kg⁻¹, podem ocasionar toxicidade em plantas sensíveis (Marschner, 1995).

O cloro é necessário para as reações de quebra da molécula de água na fotossíntese, pelas quais o oxigênio é produzido (Clarke & Eaton-Rye, 2000). Além disso, o cloro pode ser necessário para a divisão celular, tanto em folhas quanto em raízes (Harling et al., 1997).

A maioria das plantas geralmente absorve Cl⁻ em níveis acima do necessário ao seu metabolismo. Os teores médios encontrados nas folhas de milho atingiram níveis que podem induzir à toxicidade, além dos efeitos antagônicos, especialmente em relação ao nitrogênio que decresceu com a salinidade (Figura 2, A e B). 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 antagônico existentes entre os íons.

Relações do cloro com o nitrogênio (Cl/N), fósforo (Cl/P) e enxofre (Cl/S)

A salinidade do solo afetou significativamente as relações Cl/N, Cl/P e Cl/S nas folhas de milho (Tabela 8). A relação Cl/S foi mais expressiva que as relações Cl/N e Cl/P, nos diferentes períodos de avaliação da cultura. Tal fato deve-se a menor concentração de S nas folhas, consequência de uma menor absorção deste nutriente. O aumento menos expressivo da relação Cl/P nas folhas de milho foi

devido a uma maior translocação de P nas folhas, em razão de uma maior necessidade deste nutriente (Awad et al., 1995), para a realização de processos metabólicos, ou de um maior consumo energético da planta (Marschner, 1995). O aumento da relação Cl/N aos 120 DAP, ocorreu, provavelmente, devido a cultura encontrar-se em fase de maturidade fisiológica dos grãos, em que a absorção de nitrogênio é baixa, além de a maior parte absorvida ser translocada para os grãos.

Analisando os teores dos macronutrientes aniônicos nas folhas das plantas de milho ao longo do ciclo da cultura, observa-se que houve a diminuição progressiva dos teores de nitrogênio, fósforo e enxofre juntamente com o aumento dos teores de cloro (Tabela 9).

Tabela 8 – Resumo da análise de variância das variáveis relação Cl/N, Cl/P e Cl/S em função da salinidade do solo aos 30, 60, 90 e 120 DAP

| Fonte de variação GL | GL | Quadrados médios | | | |
|------------------------------|----|------------------------|----------------------|----------------------|-----------|
| | | 30 DAP | 60 DAP | 90 DAP | 120 DAP |
| Relação Cl/N | | | | | |
| Tratamentos | 6 | 0,0209 ^{ns} | 0,0063 ^{ns} | 0,0585 ^{ns} | 0,5996* |
| Resíduo | 14 | 0,0165 | 0,0036 | 0,0558 | 0,0126 |
| Coefficiente de variação (%) | - | 15,3200 | 23,0900 | 26,2800 | 11,7400 |
| Relação Cl/P | | | | | |
| Tratamentos | 6 | 214,7286 ^{ns} | 17,7348* | 9,7394 ^{ns} | 103,9550* |
| Resíduo | 14 | 197,5787 | 5,1874 | 7,0872 | 1,9871 |
| Coefficiente de variação (%) | - | 18,6600 | 23,7800 | 23,5200 | 13,8500 |
| Relação Cl/S | | | | | |
| Tratamentos | 6 | 32,0438 ^{ns} | 145,5293* | 7,4002* | 69,2131* |
| Resíduo | 14 | 35,7569 | 6,5541 | 1,5647 | 4,1774 |
| Coefficiente de variação (%) | - | 25,9700 | 16,0300 | 22,5800 | 21,9400 |

ns – não significativo; * significativo a 5% de probabilidade

Tabela 9 – Coeficientes de correlação entre os teores de cloro com nitrogênio, fósforo e enxofre nas folhas de milho aos 30; 60; 90 e 120 DAP

| Variáveis | | Coeficiente de correlação | Valor de t | Probabilidade > t |
|-----------|------------|---------------------------|------------|-------------------|
| | | | | |
| 30 DAP | | | | |
| Cloro | Nitrogênio | -0,1928 | 0,8562 | 0,2013 |
| Cloro | Fósforo | -0,1555 | 0,6862 | 0,2504 |
| Cloro | Enxofre | -0,0665 | 0,2904 | 0,3873 |
| 60 DAP | | | | |
| Cloro | Nitrogênio | -0,2576 | 0,6958 | 0,2475 |
| Cloro | Fósforo | -0,2787 | 1,2651 | 0,1106 |
| Cloro | Enxofre | -0,2170 | 0,9691 | 0,1723 |
| 90 DAP | | | | |
| Cloro | Nitrogênio | -0,5770 | 1,2564 | 0,1121 |
| Cloro | Fósforo | -0,5572 | 1,1599 | 0,1302 |
| Cloro | Enxofre | -0,4435 | 0,6323 | 0,2674 |
| 120 DAP | | | | |
| Cloro | Nitrogênio | -0,9425 | 12,2926 | 0,0001 |
| Cloro | Fósforo | -0,9107 | 9,6115 | 0,0001 |
| Cloro | Enxofre | -0,9559 | 14,7191 | 0,0001 |

Os baixos valores das relações Cl/N, Cl/P e Cl/S nos tecidos vegetais, podem constituir um importante indicativo de tolerância da cultivar a salinidade por sais de Cl, pois quando este nutriente alcança teores internos excessivos, associados com teores internos de nitrogênio, fósforo e enxofre inadequados, ocasiona distúrbios nutricionais devido ao efeito antagonico entre tais íons (Greenway & Muns, 1980).

Produção relativa das plantas de milho em função da salinidade do solo.

Pela metodologia da regressão segmentada (modelo platô) aplicada aos dados de produção relativa (Figura 6), verifica-se que a salinidade limiar do cultivar de milho UFVM-100 foi 1,20 dS.m⁻¹

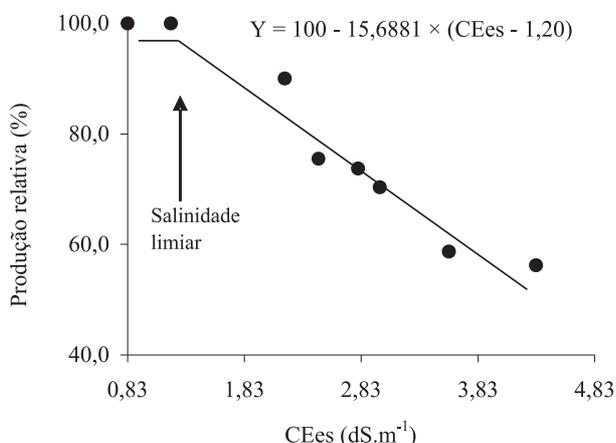


Figura 6 – Produção relativa da variedade de milho UFVM-100 em função do aumento dos níveis de salinidade do solo (CEes)

Na Figura 6 observa-se, ainda, que incremento unitário na CEes acima da salinidade limiar para a variedade UFVM-100, reduz em 15,68% a produção relativa acima da salinidade limiar de 1,20 dS.m⁻¹. Ayers & Westcot (1991), encontraram, para a cultura do milho, perda de rendimento de 12,05% por aumento unitário da acima da salinidade limiar de 1,70 dS.m⁻¹. Por esta metodologia, a variedade de milho UFVM 100 é classificada como sensível à salinidade, embora os autores classifiquem a cultura do milho, em geral, como moderadamente tolerante; evidenciam que a resposta da cultura a salinidade varia consideravelmente com as condições ambientais e o cultivar.

Conclusões

1. Os teores de cloro nas folhas de milho (variedade UFVM 100) irrigado com água salina elevaram (relação quadrática) a partir dos 120 dias após o plantio (DAP),

enquanto os teores de nitrogênio e fósforo reduzem linearmente a partir dos 90 e 120 DAP, e os de enxofre (relação quadrática) a partir dos 120 DAP.

2. As relações Cl/N, Cl/P, Cl/S aumentam linearmente a partir dos 120 DAP, (60 e 120) DAP e (60, 90 e 120) DAP, respectivamente.
3. A variedade de milho UFVM 100 mostrou-se sensível à salinidade do solo e a produção relativa decresceu 15,68% com incrementos unitários da salinidade do solo acima de 1,70 dS m⁻¹ (salinidade limiar).

Agradecimentos

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

Referências Bibliográficas

- ABD EL-SAMAD, 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**, v.19, p.717-728, 2000
- AWAD, A. S.; EDWARDS, D. G.; CAMPBELL, L. C. Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. **Crop Science**, 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.
- AZEVEDO NETO, A. D. **Estudo do crescimento e distribuição de nutrientes em plantas de milho submetidas ao estresse salino**. 1997. 134 f. Dissertação (Mestrado) – UFRPE, Recife.
- AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte I análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.4, n.2, p.159-164, 2000
- BAR-TAL, A.; FEIGENBAUM, S.; SPARKS, D. L. Potassium-salinity interactions in irrigated corn. **Irrigation Science**, 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**, v.44, p.591-601, 2000.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. CNPS. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa, Ed. Da UFV, 2001. 122p.

- FLORES, H. E. Polyamines and plant stress. In: LASCHER, R. G.; CUMMING, J. R. **Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms**. New York, Wiley-liss, 1990. p.217-239.
- FREVERT, D. R.; HILL, R. W.; BRAATEN, B. C. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage**, v.109, p.265-170, 1983.
- GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity-mineral relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, 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**, 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 Journal**, v.16, p.5855-5866, 1997.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, RiMa Artes e Textos, 2000. 531p
- MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance – current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v.103, n.1R2, p.115-134, 1977.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINEZ, V.; LAUCHLI, A. Phosphorus translocation in salt stressed cotton. **Plant Physiology**, v.83, p627-632, 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**. 1992. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- 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**, 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**, v.73, p.47-57, 1983
- RUIZ, H. A. **Métodos de análises físicas do solo**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: Apostila do Programa de Pós-Graduação em solos e nutrição de plantas. 2003, 53p.
- 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. New York: Verlag, 1992. p.151-217.
- 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**, v.21, n.2, p.1439-1451, 1998.
- VAN HOORN, J. W.; KATERJI, N.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Effect of salinity on yield and nitrogen uptake of four grain legumes and on biological nitrogen contribution from the soil. **Agricultural Water Management**, v.51, p.87-98, 2001