

ÍNDICES FISIOLÓGICOS, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO MILHO IRRIGADO COM ÁGUA SALINA

Giovanni de Oliveira Garcia¹; Paulo Afonso Ferreira²; Glauco Vieira Miranda³; Flávio Gonçalves de Oliveira⁴; Delfran Batista dos Santos⁵

¹Departamento de Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, giovanni@cca.ufes.br.

²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

³Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

⁴Núcleo de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, MG.

⁵Escola Agrotécnica Federal do Senhor do Bonfim, Senhor do Bonfim, BA.

1 RESUMO

Objetivando avaliar os efeitos da salinidade da solução do solo sobre o crescimento, desenvolvimento, características fisiológicas e de produtividade em plantas de milho, foi conduzido um experimento em lisímetros de drenagem dentro de casa de vegetação. O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos constituídos de um irrigado com água doce (sem lixiviação) e seis irrigados com água salina de 1,2 dS m⁻¹ e frações de lixiviação de 40, 30, 20, 15, 10 e 5% da lâmina de irrigação aplicada e três repetições. Na variedade avaliada o aumento da salinidade do solo decorrente da irrigação com água salina reduziu expressivamente a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes, as taxas de assimilação líquida, crescimento absoluto e relativo, da área foliar total e útil, fotossíntese, condutância estomática, transpiração, eficiência do uso de água na produtividade, peso de grãos por lisímetro e peso médio da espiga sem palha seguido do aumento da razão de área foliar.

UNITERMOS: estresse salino, manejo de água, irrigação.

GARCIA, G.O. de; FERREIRA, P.A.; MIRANDA, G.V.; OLIVEIRA, F.G.de; SANTOS, D.B.dos. PHYSIOLOGICAL INDICES, GROWTH AND PRODUCTION OF MAIZE IRRIGATED WITH SALINE WATER

2 ABSTRACT

An experiment was carried out in drainage lysimeters under greenhouse conditions in order to evaluate the salinity effects in soil solution on the growth, development, physiological characteristics, and productivity of maize plants. The experiment was had an entirely randomized design with seven treatments consisting of one irrigated with fresh water (without leaching) and six ones irrigated with saline water of 1.2 dS m⁻¹ and leaching fractions of 40, 30, 20, 15, 10 and 5% of the applied irrigation depth and three replications. In the variety under evaluation, the increased soil salinity due to irrigation with saline water, significantly reduced the dry matter yield of either the aerial part and roots, as well as the rates concerning to: net assimilation, both absolute and relative growths, both total and effective leaf area, photosynthesis, stomatic conductance, transpiration, water use

efficiency on productivity, kernel weight by lysimeter, and average weight of the huskless ear, following the increase in the leaf area ratio.

KEYWORDS: Salt stress, water management, irrigation

3 INTRODUÇÃO

As culturas respondem diferenciadamente à salinidade, algumas com rendimentos aceitáveis em condições de elevada salinidade do solo e da água de irrigação, enquanto outras são sensíveis em níveis relativamente baixos. A diferença se deve à maior capacidade de adaptação osmótica de algumas espécies, as quais absorvem água em um nível compatível com o nível celular, mesmo em condições de alta salinidade. Essa capacidade de adaptação permite a seleção de genótipos mais tolerantes e capazes de produzir em níveis economicamente aceitáveis, mesmo quando não se consegue manter a salinidade do solo abaixo do nível de tolerância da maioria das plantas (Marcum, 2001). Se os efeitos relacionados ao potencial osmótico e aqueles inerentes aos íons específicos, em decorrência da absorção de sais, excedem o nível de tolerância da planta, ocorrem distúrbios funcionais e injúrias. Esse fenômeno compromete a fotossíntese não apenas ao fechamento estomático, mas, também, pelo efeito dos íons de Cl^- sobre os cloroplastos, em particular sobre o transporte eletrônico (Flores, 1990).

Excessos de Na^+ e, sobretudo, de Cl^- no protoplasma ocasionam distúrbios em relação ao balanço iônico (K^+ e Ca^{+2} em relação ao Na^+), bem como os efeitos sobre as atividades de certas enzimas e membranas. Como consequência, pouca energia é produzida por meio da fosforilação, afetando a assimilação do nitrogênio e provocando a acumulação de diaminas, como putrescina, a cadaverina e de poliaminas (Taiz e Zeiger, 2004).

O desbotamento dos pigmentos foliares está diretamente relacionado à degradação do conteúdo de clorofila, em função do efeito da salinidade. Ibarra e Maiti (1995) observaram que elevadas concentrações de NaCl podem aumentar a degradação de clorofilas via atividade clorofilase, ou diminuir a sua síntese, em virtude da competição por nitrogênio com outros compostos, como prolina.

O estresse salino induz uma redução progressiva do crescimento das plantas de milho o que pode ser causado pela redução do potencial osmótico e/ou acumulação excessiva de íons, podendo induzir à toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional ou ambos simultaneamente (Azevedo Neto, 1997).

Os processos de crescimento são particularmente sensíveis ao efeito dos sais, de forma que a taxa de crescimento e a produção de biomassa são critérios adotados para avaliação do grau de estresse, bem como a capacidade da planta em tolerar o estresse salino (Larcher, 2000).

Vários conceitos e técnicas de análise de crescimento são disponibilizados na literatura, para o estudo dos efeitos ambientais sobre o crescimento das plantas. Dessa forma, a interferência do ambiente sobre a produção das culturas pode ser evidenciada pelas alterações no crescimento dos vegetais. A análise de crescimento é um meio prático e preciso para se avaliar o crescimento e inferir sobre a contribuição de diferentes processos fisiológicos no comportamento vegetal (Benincassa, 2003).

O presente trabalho teve como objetivo estudar algumas características morfológicas inerentes ao crescimento e desenvolvimento da variedade de milho UFVM 100 cultivado sob diferentes níveis salinidade do solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido numa 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, em 21 lisímetros de drenagem de 1,0 m de largura, 1,40 m de comprimento e 0,80 m de profundidade. A área total ocupada pelos lisímetros era de 124,6 m² (7,0 m de largura por 17,80 m de comprimento) e cada lisímetro era provido de dreno de fundo de caixa ligada a um dispositivo para a coleta do efluente. A espessura do perfil do solo, dentro da caixa era de 0,70 m.

O solo utilizado no preenchimento dos lisímetros foi coletado no perfil natural de um Argissolo Vermelho Escuro Eutrófico Tb existente na base da Serra de São Geraldo, no município de São Geraldo, MG, distante 21 km de Viçosa, MG. Antes do plantio, devido ao excesso de sais do solo nos lisímetros que receberiam as irrigações com água salina, foi feita uma intensa lixiviação com água limpa até que a salinidade do solo atingisse, aproximadamente, 1,00 dS m⁻¹ no extrato de saturação do solo.

O material de solo foi caracterizado quanto aos aspectos físicos e químicos (Tabela 1). As análises químicas de P disponível, K, Ca, Mg, Na, Al trocável, H+Al, CTC efetiva, CTC total, pH, saturação de bases, porcentagem de sódio trocável, índice de saturação por alumínio e fósforo remanescente e a análise física de massa específica do solo e das partículas análise granulométrica, foram feitas seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (Embrapa, 1997).

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

Característica	Valor	Característica	Valor
Areia grossa (dag kg ⁻¹)	18,4	Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,70
Areia fina (dag kg ⁻¹)	9,8	Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,60
Silte (dag kg ⁻¹)	17,0	Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,00
Argila (dag kg ⁻¹)	54,8	H +Al (cmol _c dm ⁻³)	0,33
Massa específica do solo (kg dm ⁻³)	1,20	Soma de Bases (cmol _c dm ⁻³)	3,88
Massa específica das 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	5,9	Saturação por alumínio (%)	0,0
Na ⁺ (mg dm ⁻³)	99,0	Saturação por bases (%)	92,0
P (mg dm ⁻³)	4,2	PST (%)	10,1
K ⁺ (mg dm ⁻³)	60,0	P – rem (mg L ⁻¹)	31,4

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

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos e três repetições, perfazendo um total de 21 unidades experimentais. Os sete tratamentos constituíram-se de um irrigado com água doce (sem lixiviação) e seis irrigados com água salina de 1,2 dS m⁻¹ e frações de lixiviação de 40, 30, 20, 15, 10 e 5% da lâmina aplicada.

A água salina utilizada nas irrigações (Tabela 2) foi preparada em um reservatório com capacidade para 1000 L mediante a adição de NaCl e CaCl₂ em proporções suficientes para se obter uma condutividade elétrica (CEai) de 1,20 dS m⁻¹ e uma relação iônica, em peso, equivalente a 3Na:2Ca, relação esta predominante nas águas salinas utilizadas na irrigação no nordeste do país, conforme 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 ⁻¹)	1,20	0,06
Sódio (cmol _c L ⁻¹)	0,4436	0,0002
Cálcio (cmol _c L ⁻¹)	0,2875	0,0167
Cloro (cmol _c L ⁻¹)	0,0141	0,0000
Magnésio (cmol _c L ⁻¹)	0,0534	0,0103
Potássio (cmol _c L ⁻¹)	0,0186	0,0192
Razão de adsorção de sódio (cmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	1,0744	0,0002
pH	6,70	6,20

Os dados de temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar incidente e velocidade do vento foram coletados numa estação meteorológica localizada no interior da casa de vegetação e os valores da evapotranspiração de referência 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 até E)

A lâmina de irrigação, equivalente a evapotranspiração real da cultura, foi calculada em função da evapotranspiração de referência a qual foi estimada por meio do método FAO-24 da radiação, adaptado por Frevert et al (1983), corrigida para os valores de Kc da cultura e do coeficiente de umidade do solo (Ks), proposto por Bernardo et al. (2005).

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

$$ETr = I - \Delta U - D \quad (1.1)$$

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

A variedade de milho empregada no experimento foi a UFVM 100. A semeadura foi feita manualmente, em sulcos espaçados 0,70 m entre si, com 16 sementes por metro linear de sulco, perfazendo um total de 32 sementes por lisímetro no momento de plantio. Aos 15 DAP foi feito o desbaste mantendo oito plantas mais vigorosas por lisímetro, perfazendo uma densidade de plantio equivalente a 50.000 plantas ha⁻¹.

Os tratamentos receberam a mesma adubação química de plantio que constituiu de 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 de cobertura na dose de 30 Kg ha⁻¹, na forma de sulfato de amônio, e uma potássica na dose de 20 kg ha⁻¹, na forma de cloreto de potássio.

As frações de lixiviação foram aplicadas a partir dos 30 DAP, enquanto no período inicial foi aplicada apenas a lâmina de irrigação de manutenção da umidade do solo. A lâmina de irrigação correspondente a ETr, acrescida da fração de lixiviação de cada tratamento foi aplicada manualmente e de forma uniforme, em cada lisímetro.

O estudo dos efeitos da salinidade da solução do solo sobre as características fisiológicas da cultura do milho foi realizado na fase fenológica correspondente ao período de formação da colheita aos 90 DAP. As medições da taxa fotossintética, condutância estomática e a taxa de transpiração foram realizadas utilizando um analisador de gases no

infravermelho, portátil, modelo LI 6400 sob intensidade luminosa artificial de $1000 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$, as quais foram determinadas na terceira folha de uma planta em cada unidade experimental.

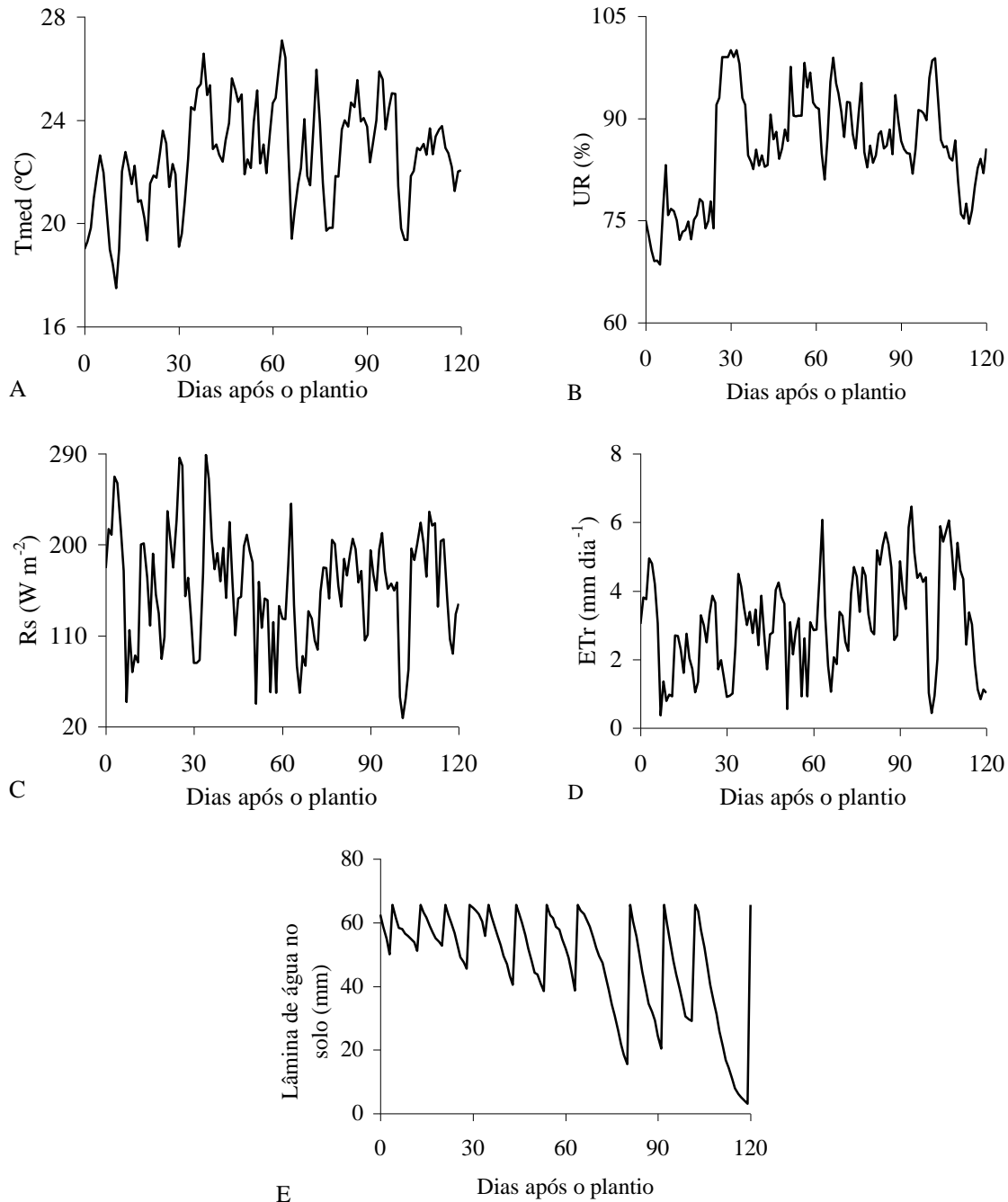


Figura 1. Valores médios diários de temperatura (A), umidade relativa (B), radiação solar incidente (C), evapotranspiração real (D) e o balanço de água no solo (E) durante o período experimental de cultivo da cultura do milho.

Foram determinados também a eficiência de uso de água na produtividade aos 30, 60 90 e 120 DAP, conforme a metodologia descrita por Larcher (2000). Determinou-se,

ainda, o peso de grãos por lisímetro, peso médio das espigas e o peso médio de grãos por planta em cada unidade experimental.

Para determinar os efeitos da salinidade da solução do solo sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho, nas fases fenológicas do período vegetativo, floração, formação da colheita e maturação fisiológica, correspondente aos 30, 60, 90 e 120 DAP, respectivamente, foi coletada aleatoriamente uma planta de cada unidade experimental e encaminhada ao laboratório para secagem em estufa a $\pm 70^{\circ}\text{C}$ até atingirem peso constante. Posteriormente foram realizadas determinações de matéria seca da parte aérea e da raiz; taxa de crescimento absoluto; taxa de crescimento relativo; área foliar total, útil e morta, razão de área foliar e taxa de assimilação líquida realizadas conforme metodologia descrita por Benincassa (2003).

As taxas de crescimento absoluto (TCA), crescimento relativo (TCR), e assimilação líquida (TAL), e a razão de área foliar (RAF), foram calculadas empregando as equações:

$$\text{TCA} = (\text{MSf} - \text{MSi})/t \text{ (g dia}^{-1}\text{)};$$

$$\text{TCR} = (\text{Ln MSf} - \text{Ln MSi})/t \text{ (g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}\text{)};$$

$$\text{TAL} = [(\text{MSf} - \text{MSi})/t]/[\text{LnAFf} - \text{LnAFi}]/(\text{AFf} - \text{AFi}) \text{ (g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}\text{)}, \text{ e};$$

$$\text{RAF} = \text{AF}/\text{MSf} \text{ (cm}^2 \text{ g)}.$$

Em que MSi é matéria seca total inicial; MSf é a matéria seca total final e t é o intervalo de tempo entre as amostragens (dias).

As áreas foliares inicial (AFi) e final (AFf) foram determinadas em amostras na forma de discos de área conhecida. A área foliar é igual à relação entre o peso total das folhas secas pelo peso dos discos secos multiplicada pela área dos discos (cm^2).

Paralelamente as coletas das folhas para as análises, foram retiradas de cada unidade experimental amostras de solo nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, para a determinação do balanço de sais no perfil do solo, avaliado a partir da medição da condutividade elétrica do solo saturado. O extrato de saturação foi obtido conforme descrito por Ruiz (2003) e a condutividade elétrica foi determinada por leitura direta, na solução extraída, com auxílio um condutivímetro. Os dados foram submetidos a análise de variância e de regressão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Salinidade do solo

Os níveis de salinidade do solo (Tabela 3) aos 30 DAP não excedem ao valor apresentado por Ayers e Westcot (1999) de $1,70 \text{ dS m}^{-1}$ referente a salinidade limiar, para a cultura do milho, capaz de induzir diminuição sensível no rendimento. Por outro lado, a partir da fase de floração os níveis médios de salinidade, conforme os critérios estabelecidos pelos autores acima citados, são capazes de induzir uma redução potencial no rendimento da cultura.

A salinidade do solo, em função das frações de lixiviação apresentados na Tabela 3, aumentou ao longo dos períodos de avaliação da cultura, por sua vez, a medida que as frações de lixiviação diminuíram dentro de cada período analisado, exceto na fase do período vegetativo, a salinidade do extrato de saturação do solo aumentou. Esses resultados evidenciam que a lixiviação resultante da passagem de água através do perfil do solo é uma prática eficaz para reduzir o excesso de sais solúveis na zona radicular das culturas.

Tabela 3. Valores médios da condutividade elétrica da pasta de solo saturado (CEes) no perfil do solo determinados nas unidades experimentais nas fases do crescimento vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (120 DAP) das plantas de milho UFVM 100

Tratamentos	CEes (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 5%	1,39	3,01	5,01	7,89	4,33

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

Taxa fotossintética, taxa de transpiração e condutância estomática

O aumento da salinidade do solo na fase de formação da colheita inibiu linearmente a taxa fotossintética, taxa de transpiração e condutância estomática das plantas. Conforme indicado na Figura 2 (A, B e C) as reduções foram de 4,3356 (Figura 2A); 0,3823 (Figura 2B) e de 0,0335 (Figura 2C) por incremento unitário da salinidade do solo.

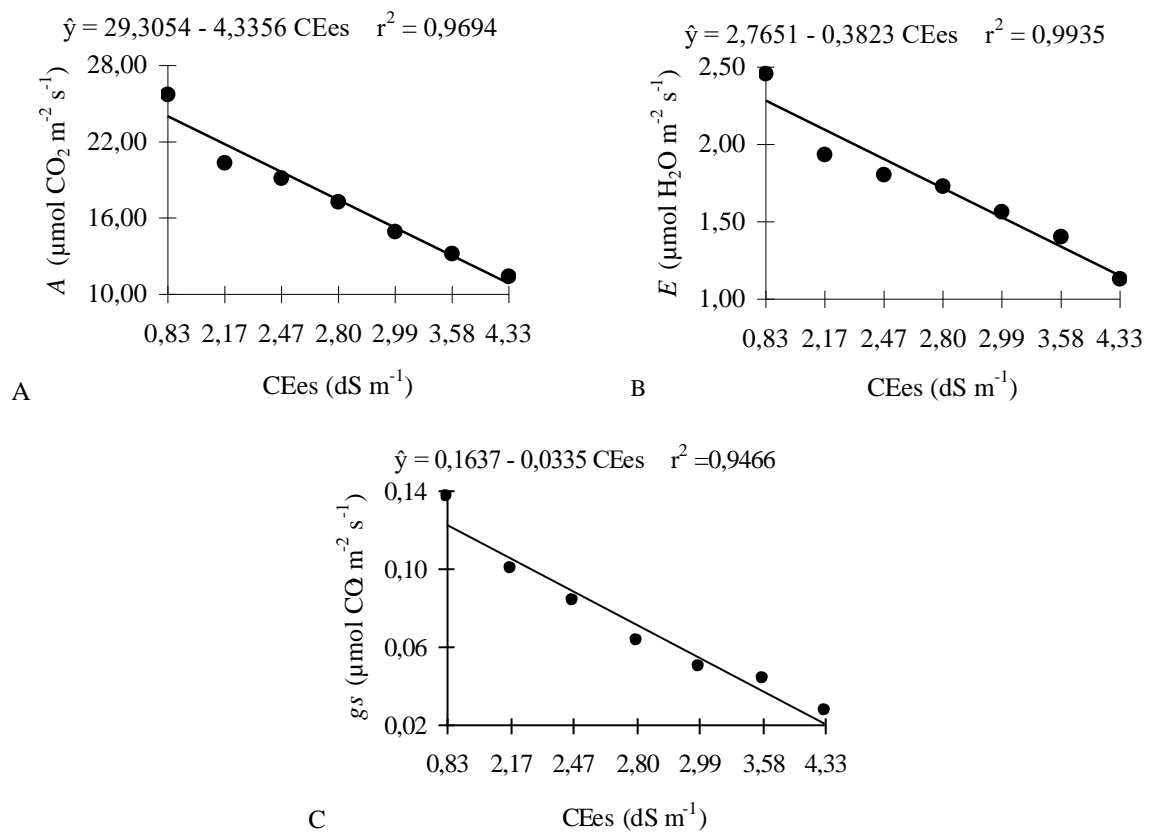


Figura 2. Taxa Fotossintética (A), taxa de transpiração (B) e condutância estomática (C) nas folhas das plantas de milho em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

Observa-se na Figura 2 A que a taxa de fotossíntese, das plantas de milho, submetidas aos níveis mais elevados de salinidade (ASFL_{5%}), diminuíram em cerca de 60% quando comparados com a testemunha (AD). Essa redução pode ser atribuída ao acúmulo de sódio e/ou cloro nos cloroplastos decorrentes da alta concentração destes íons nos tecidos das plantas. Se os efeitos osmóticos e íons-específicos decorrentes da absorção de sais excedem o nível de tolerância da planta a fotossíntese é limitada, não somente devido ao fechamento estomático mas, também, pelo efeito do sal sobre as atividades dos cloroplastos (Larcher, 2000; Taiz e Zeiger 2004).

Resultados semelhantes foram registrados por Alamgir e Ali (1999) em seis genótipos de arroz cultivados em substrato salino com níveis crescentes de salinidade. Parida e Bandhu das (2005) relataram que sob altas concentrações salinas a eficiência fotossintética de diversas culturas são afetadas de forma significativa.

Os níveis mais elevados de salinidade do solo, quando comparados com a testemunha, provocaram reduções da ordem de 54,06 e 78,57% da transpiração e condutância estomática, respectivamente, nas folhas das plantas de milho. A redução dos valores médios da condutância estomática (Figura 2 C) com o aumento dos níveis de salinidade do solo obtidos nas folhas das plantas de milho é devido ao fechamento dos estômatos e conseqüentemente reduzindo a taxa de transpiração (Figura 2 B). A redução da condutância estomática em plantas submetidas ao estresse salino, possivelmente está relacionada ao estresse hídrico a que estão submetidas. Com o aumento da concentração de sais na solução do solo, o potencial total da água torna-se progressivamente mais baixo, pois o componente osmótico soma-se algebricamente ao matricial e, dessa forma, a água torna-se menos disponível às plantas que, como auto defesa, fecham seus estômatos na tentativa de manter a turgescência (Sultana et al., 1999).

Pelos resultados a variedade de milho UFVM 100 revelou ser sensível ao aumento dos níveis de salinidade do solo. Esse comportamento diverge do obtido por Azevedo Neto et al. (2004) após verificarem que a condutância estomática de oito genótipos de milho, classificados como tolerantes a salinidade não foram influenciadas pelo aumento dos níveis de NaCl, em solução nutritiva.

Willadino et al. (1999) observaram que a salinidade não promoveu nenhuma alteração no número e no tamanho (comprimento e largura) dos estômatos nas folhas de plantas de milho. Resultados coerentes com os observados em outros cultivares de milho, quando se detectou redução na frequência estomática, em função do estresse salino (Radi et al., 1989). O que indica, no caso de plantas de milho, que tanto a frequência estomática quanto o tamanho dos estômatos, em resposta ao estresse salino, apresentaram-se como características intrínsecas dos genótipos avaliados.

Eficiência do uso de água na produtividade

A salinidade do solo afetou significativamente a eficiência do uso de água na produtividade no florescimento, formação da colheita e maturação fisiológica (Figura 3 A, B e C).

O decréscimo dos valores médios da EUAp expressam o consumo adicional de energia das plantas de milho, quando irrigadas com água salina sob diferentes frações de lixiviação, para absorver a água retida no solo devido ao efeito osmótico, decorrente do aumento dos níveis de salinidade.

A energia necessária para a planta absorver água da solução de um solo salino é adicional a energia requerida para absorver água da solução de um solo não salino e, dessa forma, as plantas exerceram maior força de embebição para extrair do solo salino uma

unidade de massa de água comparativamente ao esforço para extraí-la em solo não salino (Ayers e Wetscot, 1999).

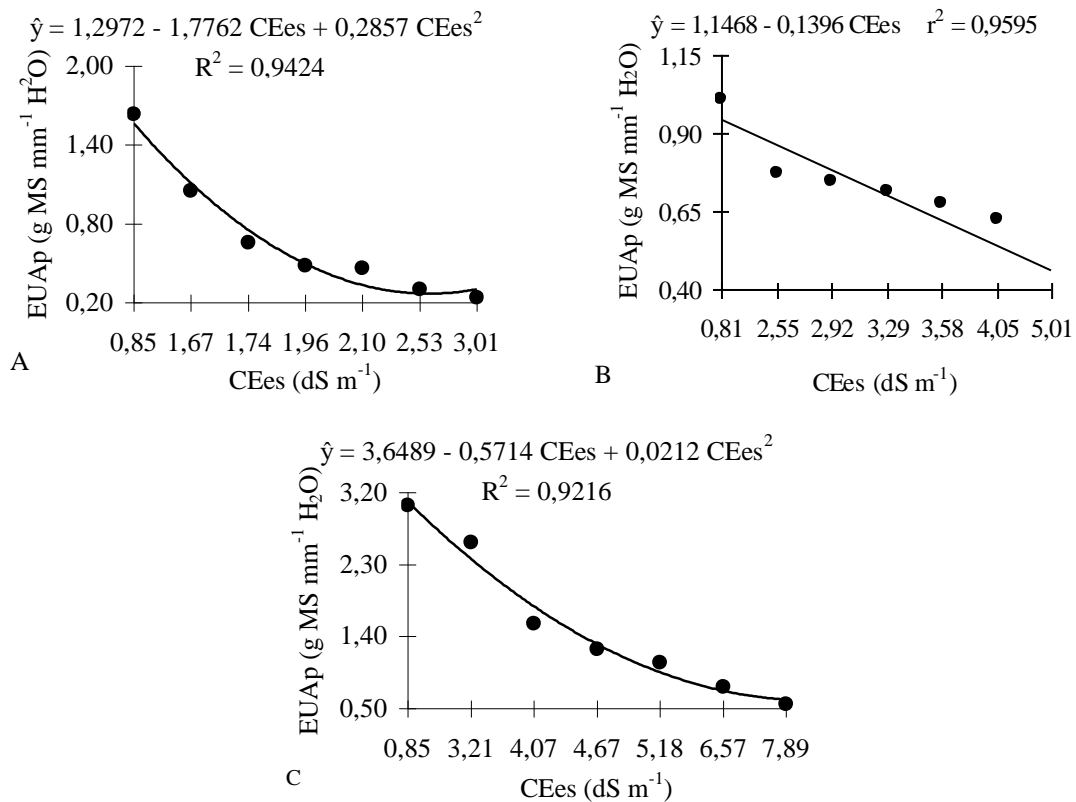


Figura 3. Eficiência do uso da água na produtividade nas fases de florescimento (A), formação da colheita (B) e maturação fisiológica (C) das plantas de milho em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

A necessidade de consumo de água para produzir uma unidade de matéria seca depende de cada espécie ou variedade vegetal, do estágio de desenvolvimento, da densidade da associação vegetal, das condições ambientais e, sobretudo da disponibilidade hídrica e da evaporativa do ar. Em geral as plantas C₄, como é o caso do milho, em condições favoráveis ao seu desenvolvimento, consomem em média 2,5 a 3,5 mm de água por grama de MS produzida (Larcher, 2000).

Produção de matéria seca da parte aérea e das raízes

O aumento dos níveis de salinidade do solo afetou significativamente a matéria seca da parte aérea (MSpa) e das raízes (MSra) das plantas de milho. A Figura 4 (A a F), mostra respectivamente, uma redução dos valores da MSpa e MSra, respectivamente, na ordem de 80,82 e 81,45% no florescimento, 60,85 e 61,74% na formação da colheita e 62,16 e 63,83% na maturação fisiológica, retratando assim, a diminuição do crescimento das plantas de milho com o aumento dos níveis de salinidade do solo.

Nos solos, sob condições não salinas, a concentração de cátions adsorvidos na micela está em equilíbrio com a fração que permanece na solução. Com o aumento do teor salino do solo, os cátions anteriormente adsorvidos (Ca⁺², Mg⁺²) podem ser substituídos por outros cátions introduzidos na solução do solo, em especial o Na⁺. Essa substituição ocorre de forma linear em condições de baixa salinidade da solução do solo reduzindo

exponencialmente quando os conteúdos são mais elevados. Dessa forma, a inibição do crescimento das plantas de milho ocasionado pelo estresse salino progressivo pode estar relacionada ao desvio de energia em decorrência do aumento dos níveis de salinidade do solo, logo, a redução nos valores da MSpa e MSra pode ser o reflexo do custo metabólico de energia associada a uma tentativa de adaptação ao estresse salino.

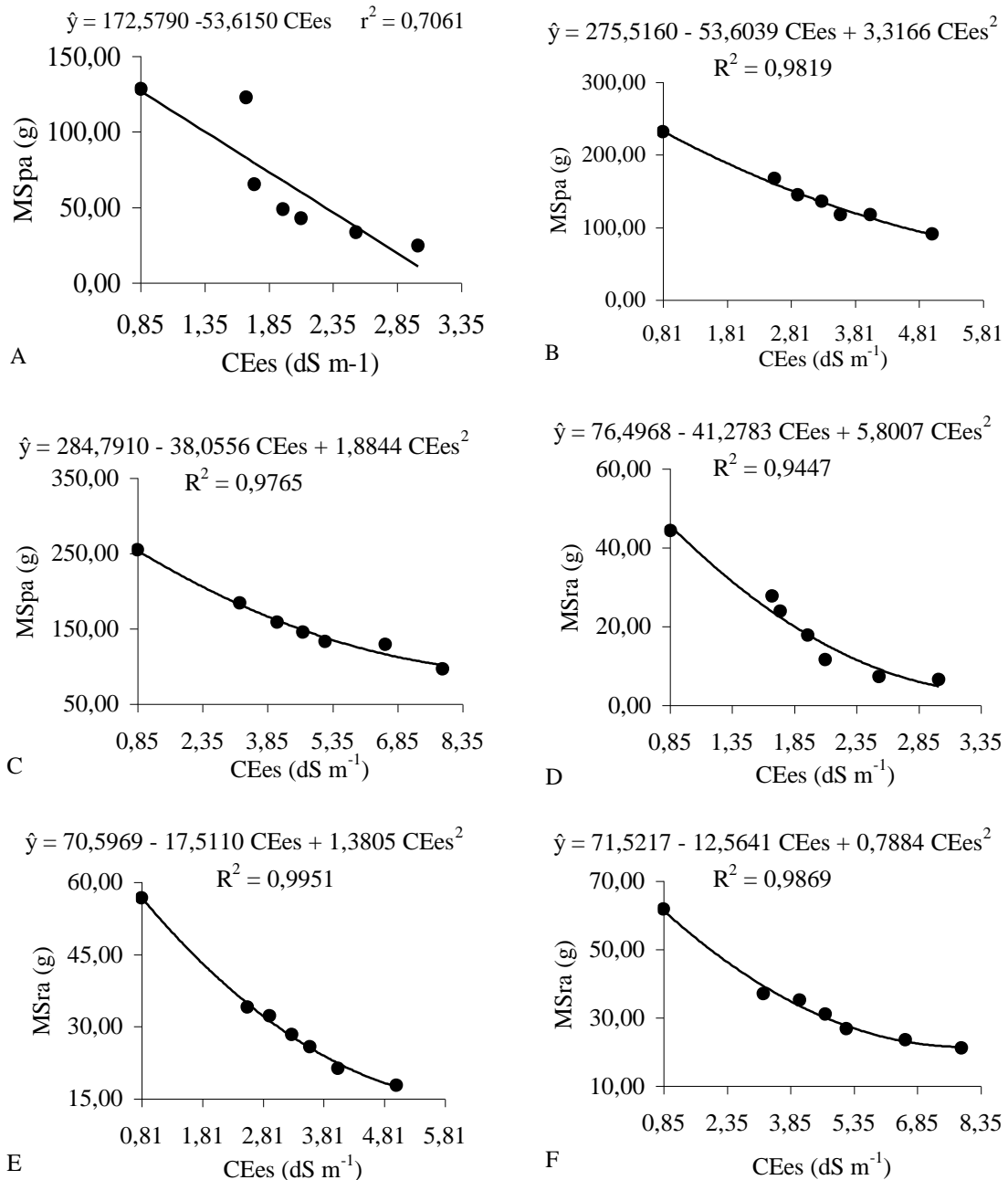


Figura 4. Matéria seca da parte aérea (MSpa) das plantas de milho na fase de florescimento (A), formação da colheita (B) e maturação fisiológica (C) e matéria seca das raízes (MSra) na fase de florescimento (D), formação da colheita (E) e maturação fisiológica (F) em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

O estudo do crescimento de plantas de milho sob condições de salinidade tem sido relatado por diversos autores. Izzo et al. (1991) verificaram que concentrações de 80 e 160 mol m⁻³ de NaCl em solução nutritiva induziram a uma diminuição na MS da parte aérea das plantas. No entanto, as raízes mostraram-se sensíveis apenas às concentrações de 160 mol m⁻³ de NaCl.

Azevedo Neto e Tabosa (2000) verificaram que em dois cultivares com tolerância diferenciada a salinidade a concentração de 100 mol m⁻³ de NaCl em solução nutritiva reduziu a produção de MS da parte aérea em torno de 56 a 74% e das raízes de 42 a 66%.

Taxas de crescimento absoluto e relativo

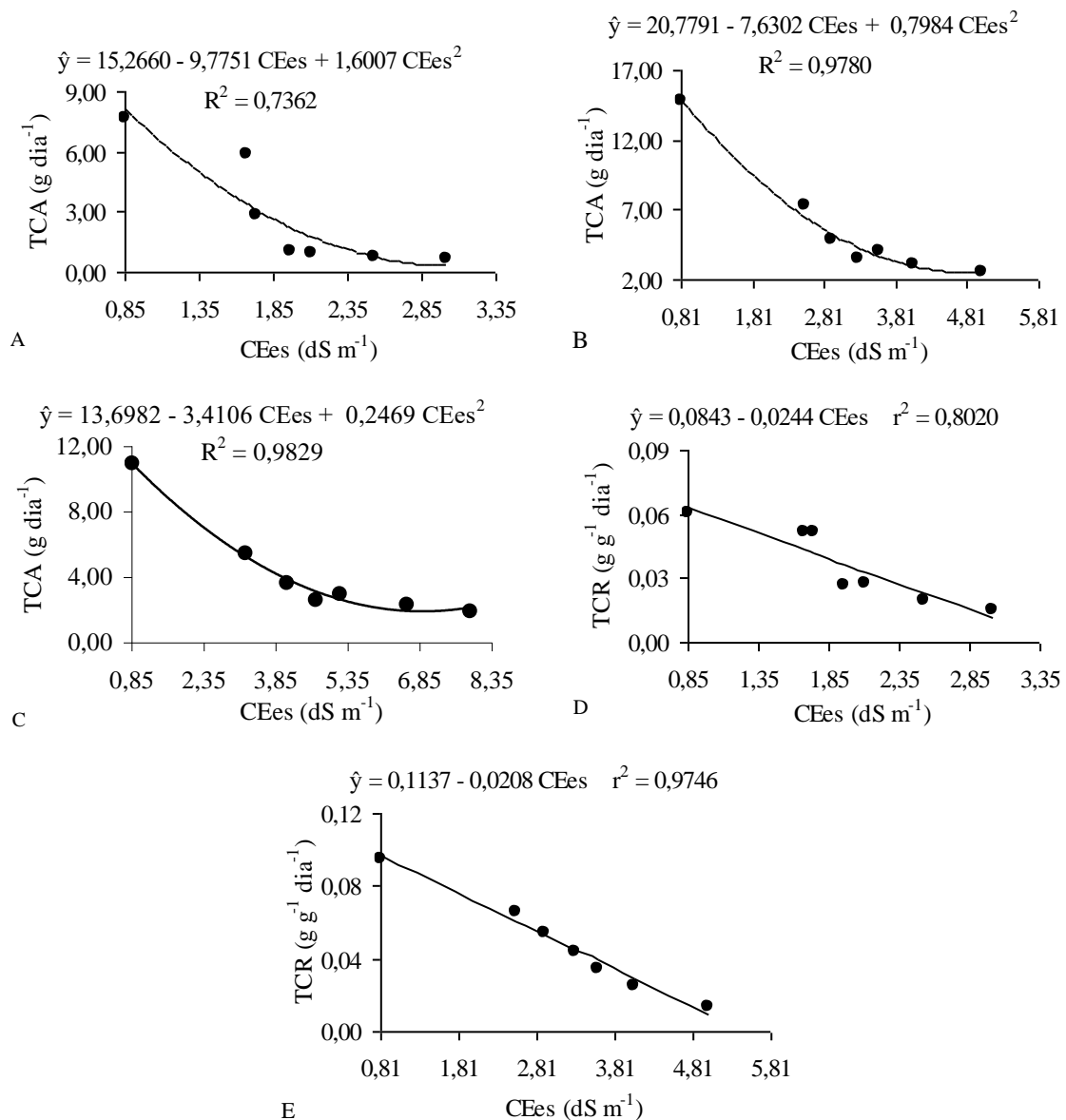


Figura 5. Taxa de crescimento absoluto (TCA) nas fases de floração (A), formação da colheita (B) e maturação fisiológica (C), e taxa de crescimento relativo (TCR) nas fases de floração (D) e formação da colheita (E), em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

Assim como ocorreu com os valores da MS_{pa} e da MS_{ra} a salinidade do solo prejudicou significativamente as taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) das plantas de milho. A Figura 5 (A, B e C) mostra respectivamente, o decréscimo dos valores médios da TCA na floração, formação da colheita e maturação fisiológica e a Figura 5 (D e E) mostram respectivamente, o decréscimo dos valores médios da TCR na floração e formação da colheita, retratando assim, a diminuição da velocidade do crescimento (TCA) e do impulso do crescimento (TCR) das plantas de milho com o aumento dos níveis de salinidade do solo.

O tratamento mais salino em comparação com a testemunha reduziu a TCA nos diferentes períodos de avaliação da cultura do milho em 92,20; 82,40 e 82,24% nas fases de floração, formação da colheita e maturação fisiológica, respectivamente, e a TCR em 83,33 e 90,00% nas fases de floração e formação a colheita, respectivamente. De acordo com Cushman (2001), na medida em que a concentração salina do solo aumenta acima de um limite tolerável, a TCA e a TCR da maioria das espécies vegetais diminui progressivamente.

Os resultados estão de acordo com os apresentados por Azevedo Neto e Tabosa (2000) em dois cultivares de milho, sendo um tolerante e outro sensível à salinidade, os quais apresentaram, respectivamente, reduções na ordem de 46 e 81% dos valores da TCA e 27 e 74% da TCR em relação as suas respectivas testemunhas, quando cultivadas em 100 mol m⁻³ de NaCl em solução nutritiva. Resultados similares foram observados por Willandino et al. (1994) e Saneoka et al. (1995) ao submeterem genótipos de milho ao estresse salino utilizando solução nutritiva com 100 mol m⁻³ de NaCl.

A TCR sob condições de salinidade é uma variável fortemente influenciada pelas concentrações de íons Na⁺ no tecido vegetal. Nesse sentido, Akita e Cabuslay (1990) reportaram esse efeito também em cultivares de arroz submetidas a estresses salinos de 8,0 e 15,0 dS m⁻¹ de condutividade elétrica. Azevedo Neto et al. (1996) obtiveram correlações negativas significativas entre a TCR de plântulas milho e os teores de Na⁺ (r = - 0,92) nas plantas.

Área foliar total, útil e morta

Nos períodos de avaliação das plantas de milho a salinidade do solo afetou negativamente a área foliar total (AFT) e útil (AFU) na floração, formação da colheita e maturação fisiológica enquanto que a área foliar morta (AFM) foi afetada apenas na floração e formação da colheita. A Figura 6 (A, B e C) mostra, respectivamente, o decréscimo dos valores médios da AFT aos 60, 90 e 120 DAP, a Figura 6 (D, E e F) mostra, respectivamente o decréscimo dos valores médios da AFU aos 60, 90 e 120 DAP enquanto a Figura 6 (G e H) mostra, respectivamente, o acréscimo da AFM das plantas de milho com o aumento dos níveis de salinidade do solo refletindo, assim, num menor alongamento celular e conseqüentemente numa menor expansão foliar devido ao estresse hídrico em conseqüência do estresse salino.

A redução da AFT e AFU deve-se ao estresse osmótico seguido do estresse hídrico, os quais são decorrentes do estresse salino, tendo como efeito imediato à diminuição do conteúdo de água da planta, proveniente da diminuição do potencial osmótico, devido à elevada concentração iônica, ocasionada principalmente pelo sódio e cloro. O decréscimo do volume celular resulta em uma menor pressão de turgor e na subsequente concentração de solutos nas células tornando a membrana celular mais espessa e comprimida. Por ser a redução de turgor o efeito biofísico significante mais precoce do estresse hídrico, as

atividades dependentes do turgor, como a expansão foliar e o alongamento de raízes, são mais sensíveis ao déficit hídrico Taiz e Zeiger (2004).

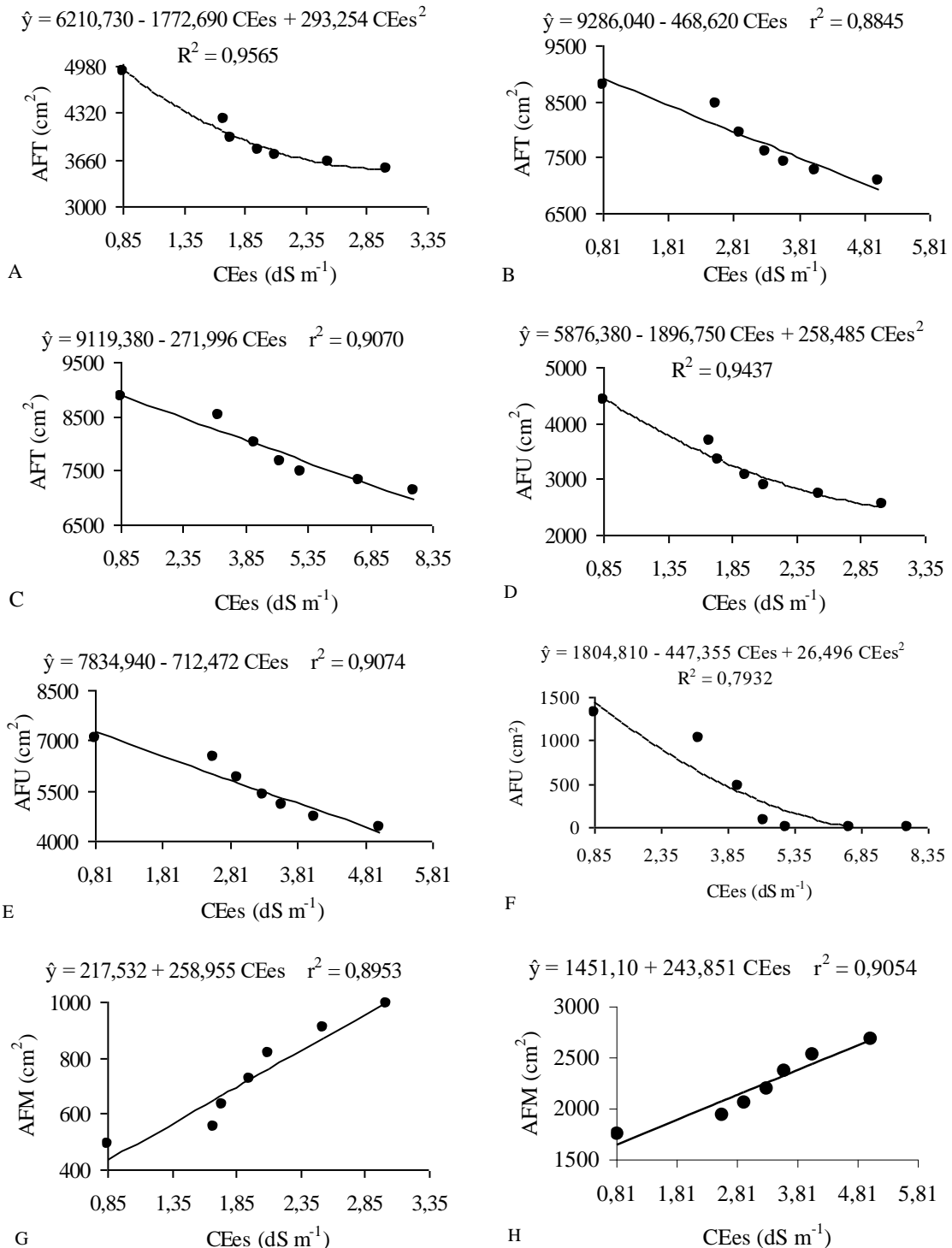


Figura 6. Área foliar total (AFT) na floração (A), formação da colheita (B) e maturação fisiológica (C); área foliar útil (AFU) na floração (D), formação da colheita (E) e maturação fisiológica (F); e área foliar morta na floração (G) e formação da colheita (H) das plantas de milho em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

Azevedo Neto e Tabosa (2000) verificaram em genótipos de milho que a AF decresceu com o aumento do estresse salino. Numa solução nutritiva de $12,0 \text{ dS m}^{-1}$ as plantas de milho tiveram sua AF reduzida em 73% quando comparadas com as cultivadas em solução não salina. Resultados semelhantes foram obtidos por e Alberico e Cramer (1993); Hasaneen et al. (1994); Willandino et al. (1994) e Saneoka et al. (1995).

Razão de área foliar e taxa de assimilação líquida

O aumento dos níveis de salinidade afetou significativamente a razão de área foliar (RAF) e a taxa de assimilação líquida (TAL) das plantas de milho na floração, formação da colheita e maturação fisiológica. A Figura 7 (A, B e C) mostra, respectivamente, o aumento linear dos valores da RAF na floração, formação da colheita e maturação fisiológica, refletindo um efeito menor da salinidade sobre a área foliar (AF), quando relacionada com a fitomassa seca total. Por outro lado o decréscimo dos valores da TAL evidenciam que a salinidade afetou a taxa de fotossíntese líquida ao longo dos períodos de observação, em relação à matéria seca produzida por unidade de área foliar (Figura 7 D, E e F).

Em termos relativos, os valores obtidos na testemunha comparados com o tratamento ASFL_{5%}, ao longo dos períodos de avaliação da cultura, mostra que a RAF aumentou em 73,40; 51,40 e 49,30%, respectivamente, na floração, formação da colheita e maturação fisiológica. O aumento dos valores de RAF representa uma elevada transpiração aumentando assim, a demanda de água e a concentração de íons Na^+ e/ou Cl na parte aérea das plantas. Dessa forma, sob condições de salinidade do solo, o aumento dos valores da RAF reflete em menores valores de MS, pois a massa de tecido está diretamente relacionada à demanda de água e ao transporte de íons Na^+ e/ou Cl para a parte aérea (Azevedo Neto e Tabosa, 2000).

De acordo com Benincasa (2003), em média cerca de 90% da matéria seca acumulada pelas plantas, ao longo do seu crescimento, resultam de atividade fotossintética. Logo, observando em termos relativos, nota-se que a TAL Figura 2.6 (D, E e F) decresceu em média 86,96% em todos os períodos avaliados, indicando assim que o estresse salino afetou de forma semelhante a fotossíntese ou a atividade da clorofila das plantas de milho. Esses resultados indicam que esta variável pode constituir-se como um indicador bastante realístico características de tolerância e sensibilidade das plantas à salinidade.

Azevedo Neto e Tabosa (2000) verificaram que plântulas de milho e tomate sob estresse salino reduziram os valores da TAL, e assim como neste trabalho, os autores verificaram que a produção de matéria seca foi mais afetada pelo estresse salino de que a fotossíntese líquida (TAL). Por outro lado, Alarcon et al. (1994) concluíram que plantas de tomate sob estresse salino não sofreram alterações significativas da TAL, evidenciando que sob condições de salinidade a taxa de expansão celular foi afetada mais rapidamente que a taxa fotossintética.

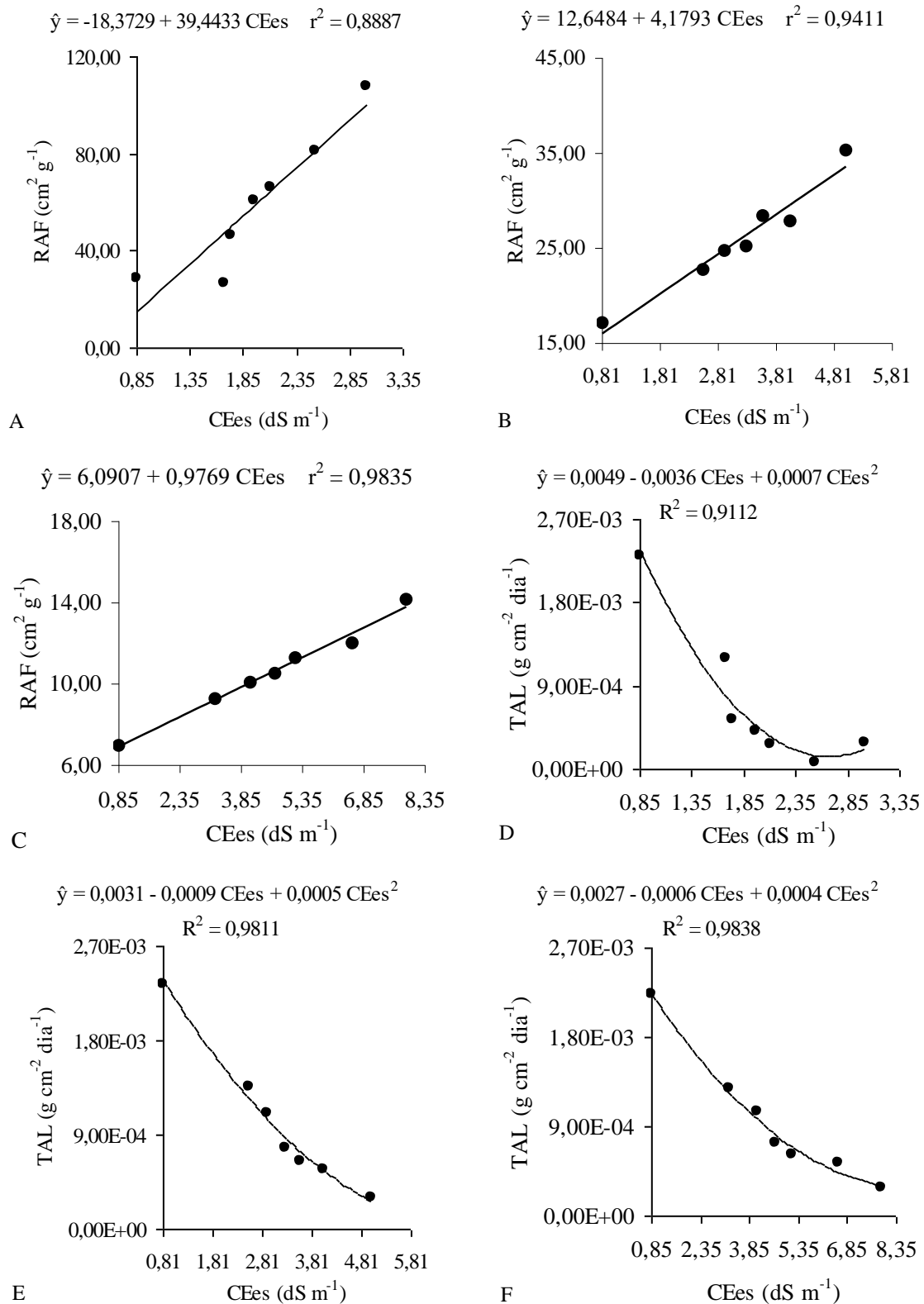


Figura 7. Razão de área foliar (RAF) na floração (A), formação da colheita (B) e maturação fisiológica (C); e taxa de assimilação líquida (TAL) na floração (D), formação da colheita (E) e maturação fisiológica (F) das plantas de milho em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

Peso de grãos por lisímetro, peso médio das espigas sem palha e de grãos por planta

A salinidade provocou redução no peso de grãos por lisímetro, peso médio das espigas sem palha e de grãos por planta conforme indicado na Figura 8.

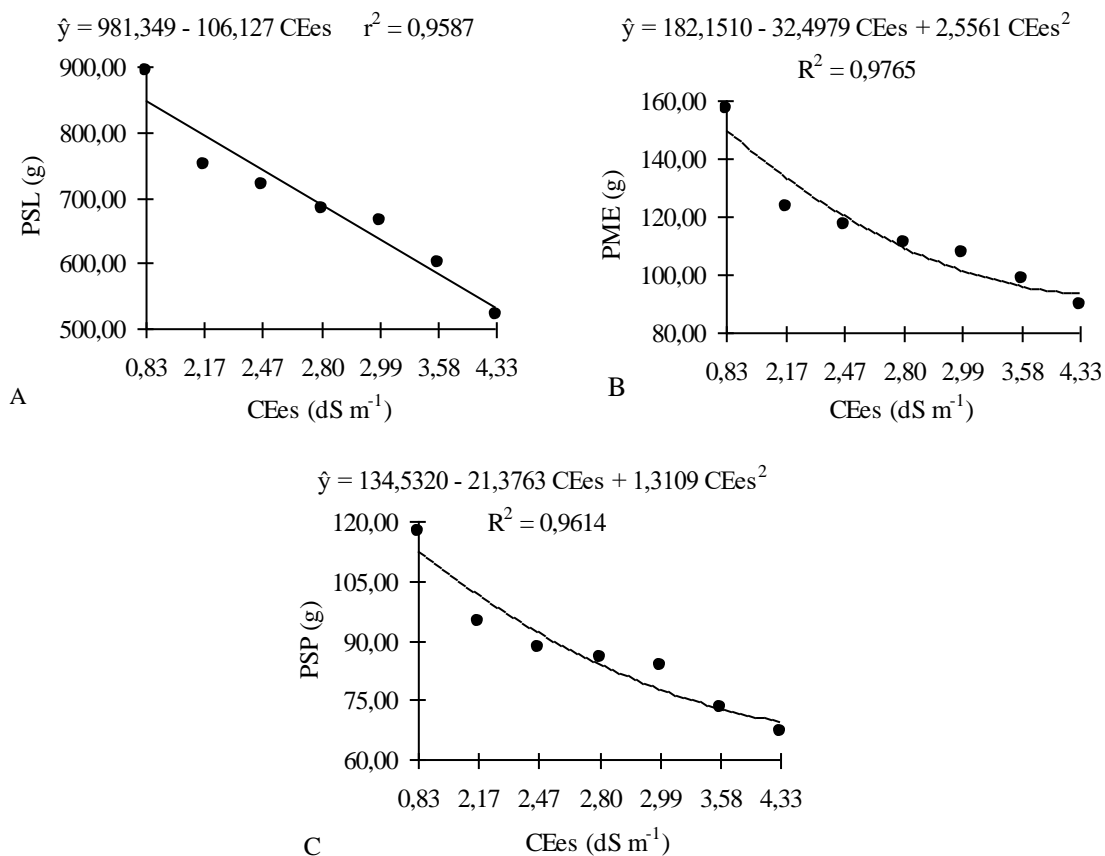


Figura 8. Peso de grãos por lisímetro (A), peso médio das espigas sem palha (B) e de grãos por planta (C) das plantas de milho em função dos níveis médios de salinidade do solo (CEes) ao longo do ciclo da cultura.

O declínio nos rendimentos dos componentes de produção na Figura 8 (A, B e C) é resultado do efeito simultâneo dos estresses hídrico, osmótico, toxidez e nutricional imposto à cultura, durante a sua fase de crescimento, desencadeando alterações fisiológicas, bioquímicas, morfológicas e de crescimento. Dessa forma, o estresse salino, induzido pelo manejo, pode ser um fator progressivo de distúrbios nas plantas que afeta a produção.

A concentração de sais na água de irrigação pode ser um fator determinante na produtividade das culturas, pois sua ação pode ir além de uma simples diminuição no potencial hídrico no solo até a injúria celular, causada por um estresse oxidativo na planta. Portanto, a utilização inadequada de água salina na agricultura implica comprometer a produção da cultura com o estresse salino progressivo.

A redução dos componentes de rendimento da cultura do milho em função do aumento da salinidade do solo é relatada por diversos autores. Willadino et al. (1992) verificaram que a produção de grãos, de oito genótipos de milho cultivados em área salina, decresceu de 24 a 60% em relação à área não salina. Katerji et al. (1998); Katerji et al. (2000); Katerji et al. (2001); Katerji et al. (2004) também constataram que a produtividade do milho foi reduzida em função do aumento da salinidade do solo.

6 CONCLUSÕES

- Os efeitos deletérios da salinidade sobre o crescimento das plantas de milho são efetivamente evidentes a partir da fase de floração quando os níveis de salinidade do solo alcançam valores que podem ocasionar uma redução potencial na ordem de 10% atingindo cerca de 50% na fase de maturação fisiológica, e;
- O aumento da salinidade do solo decorrente da irrigação com água salina, provocou na variedade de milho UFVM 100: redução da fotossíntese, condutância estomática, transpiração e da eficiência do uso de água na produtividade; matéria seca da parte aérea e das raízes; taxas de crescimento absoluto e relativo, de assimilação líquida, área foliar total e útil das plantas; peso de grãos por lisímetro, peso médio das espigas sem palha e de grãos por planta;
- Dentre as variáveis avaliadas, a produção de matéria seca da parte aérea e raízes; área foliar total, útil e morta e as taxas de crescimento absoluto e relativo são as variáveis que melhor representam o efeito do estresse salino sobre as plantas; por sua vez a taxa de assimilação líquida e a razão de área foliar são as variáveis que melhor expressam as características de tolerância e sensibilidade;

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AKITA, S.; CABUSLAY, G.S. Physiological basis of differential response to salinity in rice cultivars. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.123, p.277-294, 1990.
- ALAMGIR, A.N.M., ALI, M.Y. Effect of salinity on leaf pigments, sugar and protein concentrations and chloroplast ATPase activity of rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Botanic**, Bangladesh, v.28, 145–149. 1999.
- ALARCON, J.J. et al. Growth and osmotic adjustment of two tomato cultivars during and after saline stress. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.166, p.75-82, 1994.
- ALBERICO, G.J., CRAMER, G.R.. Is the salt tolerance of maize related to sodium exclusion I. Preliminary screening of seven cultivars. **Journal Plant Nutrition**, New York, v.16, p.2289-2303, 1993.
- ARIDA, A.K.; BANDHU DAS, A. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v.60, n.3, p.324-349, 2005.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 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 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal). UFRPE, Recife, 1997.
- AZEVEDO NETO, A.D. et al. Efeito do estresse salino sobre cultivares de milho: I. Produção e alocação de fitomassa. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DA

CIÊNCIA DO SOLO, 21, 1996b, Águas de Lindóia. **Resumos...** Águas de Lindóia: SBCS, 1996b. CD-ROM.

AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II Análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, p.159-164, 2000.

AZEVEDO NETO, A.D. et al. Effects salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Brazilian Journal Plant Physiology**. Piracicaba, v.16, n.1, p.31-38, 2004.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003, 41p.

BERNARDO, S.; et al. **Manual de irrigação**. 7ed. Viçosa: UFV, 2005. 711p.

CUSHMAN, J.C. Osmoregulation in plants: implications for agriculture. **American Zoologist**, New York, v.41, n.4, p.758-769, 2001.

FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA, 1989. 425p. (EMBRAPA/ CNPAF. Documento, 18).

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, 1990. p.217-239.

FREVERT, D.R.; et al. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage**, New York, v.109, p.265-270, 1983.

HASANEEN, M.N.A.; et al.. Growth, carbohydrates and associated invertase and amylase activities in castor bean and maize as affected by metribuzin and NaCl. **Biologia Plantarum**, Prague, v.36, p.451-459, 1994.

IBARRA, M.; MAITI, R.K. Biochemical mechanism in Glossy Sorghum lines for resistance to salinity stress. **Journal Plant Physiology**, Melbourne, v.26, p.515-519, 1995.

IZZO, R.; NAVARI-IZZO, F.; QUARTACCI, F. Growth and mineral absorption in Maize seedling as affected by increasing NaCl concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.14, p.687-699, 1991.

KATERJI, N. et al. Comparison of corn yield response to plant water stress caused by salinity and by drought. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.65, p.95-101, 2004.

KATERJI, N. et al. Salinity and drought, a comparison of their effects on the relationship between yield and evapotranspiration. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.36, p.45-54, 1998.

KATERJI, N. et al. Salt tolerance classification of crops to soil salinity and to water stress day index. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.43, p.99-109, 2000.

KATERJI, N. et al. Salt tolerance classification of crops to tree classification methods and examination of some hypothesis about salt tolerance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.47, p.1-8, 2001.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531p.

MARCUM, K.B. Salinity tolerance of 35 bentgrass cultivars. **Hortscience**, Alexandria, v.36, n.2, p.374-376, 2001.

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. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) UFPB. Campina Grande, 1992.

RADI, A.F. et al. Interactive effects of salinity and phytohormones on growth and plants water relationship parameters in maize and sunflower plants. **Acta Agronomica Hungarica**, Debrecen, v.38, p.271-282, 1989.

RUIZ, H.A. **Métodos de análises físicas do solo**. Apostila Acadêmica. Programa de Pós-Graduação em solos e nutrição de plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

SANEOKA, H. et al. Salt tolerance of glycinebetaine-deficient and-containing maize lines. **Plant Physiology**, Rockville, v.107, p.631-638, 1995.

SULTANA, N.; IKEDA, T.; ITOH, R. Effect of salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. **Environmental and Experimental Botany**, Kidlington, v.43, p.211-220, 1999.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

WILLADINO, L. et al. Tolerancia de cultivares de maíz a la salinidad en diferentes fases de desarrollo. In: SIMPOSIO NACIONAL SOBRE NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS, 4., Alicante, 1992. **Anais...** Alicante: Universidad de Alicante, 1992. p.487-494.

WILLADINO, L. et al. Obtenção de uma linhagem de milho tolerante ao estresse salino mediante a cultura de anteras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, p.1313-1318, 1994.

WILLADINO, L. et al. Resposta de genótipos de milho ao estresse salino em condições hidropônicas. **Sciencia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.1209-1213, 1999.