

GIOVANNI DE OLIVEIRA GARCIA

ALTERAÇÕES QUÍMICAS NO SOLO, ASPECTOS NUTRICIONAIS,
FISIOLÓGICOS E DE PRODUÇÃO DA CULTURA DO MILHO IRRIGADO
COM ÁGUA SALINA

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Agrícola, para obtenção do
Título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL

2006

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

G216a
2006

Garcia, Giovanni de Oliveira, 1977-
Alterações químicas do solo, aspectos nutricionais,
fisiológicos e de produção da cultura do milho irrigado
com água salina / Giovanni de Oliveira Garcia. – Viçosa :
UFV, 2006.

xiii, 88f. : il. ; 29cm.

Inclui anexo.

Orientador: Paulo Afonso Ferreira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Irrigação. 2. Solos - Salinidade. 3. Fertilidade do
solo. 4. Milho - Irrigação. 5. Milho - Efeito do sal.
6. Milho - Fisiologia. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22.ed. 631.587

GIOVANNI DE OLIVEIRA GARCIA

ALTERAÇÕES QUÍMICAS NO SOLO, ASPECTOS NUTRICIONAIS,
FISIOLÓGICOS E DE PRODUÇÃO DA CULTURA DO MILHO IRRIGADO
COM ÁGUA SALINA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do Título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 20 de fevereiro de 2006.

Glauco Vieira Miranda
(Conselheiro)

Júlio César Lima Neves

Sebastião Martins Filho

Edvaldo Fialho dos Reis

Paulo Afonso Ferreira
(Orientador)

A meus pais, Celsino de Oliveira Garcia e Maria das Graças de Oliveira Garcia, aos meus irmãos, Leandro e Gracianne de Oliveira Garcia.

OFEREÇO

A minha esposa Josiléia Curty de Oliveira

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e oportunidade bendita.

A Nossa Senhora de Fátima pela proteção e iluminação constante em meu caminho.

Ao professor Paulo Afonso Ferreira, pela amizade, orientação, confiança e apoio nos momentos difíceis.

Aos meus tios João Silvério de Oliveira e Wildineide Fonseca de Oliveira e seus filhos Adriane, Viviane, Silvério e Josiane e familiares Wander, Lula, Wanderson e João Luiz pelo carinho, apoio e compreensão nos momentos de dificuldade e impaciência.

Aos meus sogros José Nolasco de Oliveira e Neuza Maria Curty de Oliveira e cunhados Marcelo, Samira e Janille pelo apoio.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professores conselheiros Glauco Vieira Miranda e Júlio César Lima Neves pelas valiosas sugestões e esclarecimentos.

Aos funcionários da Área Experimental de Irrigação e Drenagem Roberto Milagres, Carlos Henrique, “Seu” Taíde e “Seu” Chico e aos laboratoristas Chicão, Eduardo e Simão pelo apoio durante a montagem e condução do experimento.

Aos irmãos e grandes companheiros de república Cristiano Tagliaferre, Fabrício Fagundes Pereira, Napoleão Argolo Neto e Thiago Oliveira de Almeida pelo valioso companheirismo e preciosa amizade, também de certa forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Aos professores Sebastião Martins Filho, Julião Soares de Souza Lima e Edvaldo Fialho dos Reis pela amizade e apoio desde a iniciação científica até o término do doutorado.

Aos amigos Flávio Gonçalves de Oliveira, Delfran Batista, Flávia Mariani Barros, Roberto Avelino, Paola Lô Mônaco, Rafael Batista, Franklin Buena,

Mozart Brasil, Cláudia Cabanellas, Allan Carlos da Costa, Adésio Ferreira, Calos Eduardo, Paulo Cezar Dias, Aldo Luiz Mauri, Josiane Campos, Bruno Laviola, Marcelo Curitiba, Gabriel Carvalho, Júlio e Maurinho pela valiosa amizade e união nos momentos difíceis do doutorado.

A todos os amigos do Departamento de Engenharia Agrícola pela colaboração e amizade que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

GIOVANNI DE OLIVEIRA GARCIA, filho de Celsino de Oliveira Garcia e Maria das Graças de Oliveira Garcia, nasceu em Alegre, ES, em 19 de agosto de 1977.

Em outubro de 2001, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Alegre-ES, diplomando-se em março de 2002.

Em agosto de 2001, ingressou no Programa de Mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, concentrando seus estudos na Área de Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se a defesa de tese em março de 2003.

Em março de 2003, ingressou no Programa de Doutorado em Engenharia Agrícola pela UFV, concentrando seus estudos na linha de pesquisa manejo-água-plantas em solos salinos, submetendo-se a defesa de tese em fevereiro de 2006.

Em março de 2006, iniciou suas atividades como bolsista de Pós-doutorado do CNPq junto ao Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo desenvolvendo trabalhos na linha de pesquisa Uso e reúso de águas de qualidade inferior.

INDICE

	Páginas
RESUMO.....	viii
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	3
CAPITULO 1 - ESTRESSE SALINO EM PLANTAS DE MILHO: ANÁLISE NUTRICIONAL E DE CRESCIMENTO.	4
1.1 INTRODUÇÃO.....	4
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	6
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
1.3.1 Salinidade do solo.....	12
1.3.2 Nitrogênio.....	16
1.3.3 Fósforo.....	18
1.3.4 Enxofre.....	19
1.3.5 Cloro.....	20
1.3.6 Relação do cloro com o nitrogênio, fósforo e enxofre.....	21
1.3.7 Cálcio.....	23
1.3.8 Magnésio.....	24
1.3.9 Potássio.....	25
1.3.10 Sódio.....	26
1.3.11 Relação do sódio com o cálcio, magnésio e potássio.....	28
1.3.12 Taxa fotossintética, taxa de transpiração, condutância estomática.....	32
1.3.13 Produção de matéria seca da parte aérea e das raízes.....	34
1.3.14 Eficiência do uso de água na produtividade.....	36
1.3.15 Taxas de crescimento absoluto e relativo.....	38
1.3.16 Área foliar total, útil e morta.....	40
1.3.17 Razão de área foliar e taxa de assimilação líquida.....	42
1.3.18 Peso de grãos por lisímetro, peso médio das espigas sem palha e de grãos por planta.....	44
1.4 CONCLUSÕES.....	46
1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	47
CAPÍTULO 2 – ALTERAÇÕES QUÍMICAS DE UM ARGISSOLO IRRIGADO COM ÁGUA SALINA.....	53
2.1 INTRODUÇÃO.....	53
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	54
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55

2.3.1 Salinidade do solo.....	55
2.3.2 Alterações das características químicas decorrentes da aplicação de água salina.....	55
2.3.3 Comportamento das características químicas do solo decorrente das frações de lixiviação com água salina.....	57
2.4 CONCLUSÕES.....	59
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	60
CAPÍTULO 3 - TOLERÂNCIA E PRODUÇÃO RELATIVA DA CULTURA DO MILHO À SALINIDADE AVALIADA POR MEIO DE TRES METODOLOGIAS.....	61
3.1 INTRODUÇÃO.....	61
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	63
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
3.3.1 Salinidade do solo.....	64
3.3.2 Coeficientes de sensibilidade à salinidade da variedade de milho UFVM 100.....	64
3.3.3 Produção relativa das plantas de milho em função da salinidade do solo.....	66
3.3.4 Produção relativa das plantas de milho em função do WDSI...	67
3.4 CONCLUSÕES.....	69
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	70
ANEXO	72

RESUMO

GARCIA, Giovanni de Oliveira, D.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2006. **Alterações químicas no solo, aspectos nutricionais, fisiológicos e de produção da cultura do milho irrigado com água salina.** Orientador: Paulo Afonso Ferreira. Conselheiros: Glauco Vieira Miranda e Marco Antônio Oliva Cano.

Objetivando avaliar os efeitos da salinidade da solução do solo sobre a nutrição mineral, crescimento, desenvolvimento, produção relativa, características fisiológicas, e os efeitos da irrigação com água salina sobre as propriedades químicas de um Argissolo Vermelho Eutrófico, cultivado com a variedade de milho UFVM 100, foi conduzido um experimento em lisímetros de drenagem em 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, elevou os teores de cloro, sódio e as relações Cl/N, Cl/P, Cl/S, Na⁺/Ca⁺², Na⁺/Mg⁺² e Na⁺/K⁺ e reduziu os teores foliares dos macronutrientes catiônicos e aniônicos. Houve redução da produção de matéria seca da parte aérea e das raízes, das 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, peso médio da espiga sem palha e do potencial de água na folha antemanhã seguido do aumento da área foliar morta e razão de área foliar. A aplicação de água salina comparativamente a água doce aumentou a disponibilidade de Na⁺, Ca²⁺, os valores da SB, CTC efetiva, CTC total, PST, RAS e MO seguidos da diminuição dos valores médios do pH e da disponibilidade de Mg²⁺. Por outro lado, com o aumento das frações de lixiviação houve a diminuição da disponibilidade de Na⁺ e, a partir de 20% da fração de lixiviação, os valores da PST, P-rem, RAS e CTC total também diminuíram. Os três métodos de classificação de tolerância das culturas à salinidade baseados, respectivamente, na condutividade elétrica do extrato da pasta do solo saturado,

déficit relativo de evapotranspiração e índice diário de estresse hídrico (WSDI), apresentaram resultados diferentes. A variedade de milho UFVM 100 apresentou um coeficiente de sensibilidade à salinidade de 0,99 e a produção relativa decresceu 6,85% com o incremento unitário do WSDI e 15,68% com o incremento unitário a partir da salinidade limiar de $1,20 \text{ dS m}^{-1}$. Os valores de WSDI foram significativamente afetados pelo aumento dos níveis de salinidade do solo mostrando, dessa forma, ser realmente uma metodologia sensível para caracterizar o decréscimo da produção relativa em função da salinidade do solo.

ABSTRACT

GARCIA, Giovanni de Oliveira, D.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2006. **Chemical changes in the soil and nutritional and physiologic, nutritional and productive aspects in maize cropping irrigated with saline water.** Adviser: Paulo Afonso Ferreira. Committee members: Glauco Vieira Miranda and Marco Antônio Oliva Cano.

An experiment was carried out in drainage lysimeters under greenhouse conditions in order to evaluate the effects of the soil solution salinity on the mineral nutrition, growth, development, relative yield and physiologic characteristics as well as the effects of the saline water irrigation upon the chemical properties of an Eutrophic Red Argisol cropped with the maize variety UFVM 100. The experiment was set up on an entirely randomized design with seven treatments consisting of one irrigated with fresh water (without leaching) and six irrigated with saline water of 1.2 dS m^{-1} and leaching fractions of 40, 30, 20, 15, 10 and 5% of the leaching depths applied and three replicates. In the variety under evaluation, the increase in the soil salinity due to irrigation with saline water rather raised the contents of chlorine, sodium and the relationships Cl/N , Cl/P , Cl/S , $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$, $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$ and Na^+/K^+ , besides reducing the leaf contents of the cationic and anionic macronutrients. The following were reduced: the dry matter yield of the aerial part and roots, the rates of the net assimilation, the absolute and relative growths, both total and useful leaf areas, photosynthesis, stomatic conductance, perspiration, water use efficiency in the productivity, the grain weight by lysimeter, average weight of either strawless maize ear and the leaf water potential on predawn, following the increase of the dead leaf area and leaf area ratio. The application of saline water compared to fresh water' rather increased the availability of Na^+ , Ca^{+2} , the values of SB and effective CTC, total CTC, PST, RAS and MO followed by decrease in either the average values of the pH and Mg^{+2} availability. With the increased leaching fractions, however, there occurred a decrease in the Na^+ availability, whereas the values of PST, P-rem, RAS and total CTC also decreased from the leaching fraction of 20%.. The three classification methods for crop tolerances to the salinity that were based on the electric conductivity in the paste extract of the

saturated soil, relative evapotranspiration deficit and water stress daily index (WSDI), respectively, showed different results. The maize variety UFVM 100 exhibited a sensibility coefficient of 0.99 to the salinity and the relative yield decreased down to 6.85% with the unit increment of WSDI as well as 15.68% with the unit increment from the salinity threshold of 1.20 dS m^{-1} . The values of WSDI were significantly affected by the increased salinity levels in the soil, therefore showing to be really a sensitive methodology to characterize the decrease in the relative yield as a function of the soil salinity.

INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda por alimentos tornou imperativo em todo o mundo o uso da irrigação, sobretudo em regiões semi-áridas, como as do nordeste brasileiro, onde ocorre déficit hídrico na maior parte do ano, tornando imprescindível a prática da irrigação para garantir a produção agrícola.

Atualmente, as áreas salinizadas vêm sendo exploradas com sucesso, graças à utilização de espécies tolerantes à salinidade assim como à adoção de práticas adequadas de manejo de solo-água-plantas (Fageria, 1989).

Estudos sobre os efeitos da salinidade no rendimento das culturas vêm merecendo destaque na literatura especializada, desde a década de 70, com ênfase na classificação das culturas quanto à tolerância à salinidade relativa, assim denominada por depender das condições ambientais e da planta, relativamente à espécie, à fase fenológica, ao estado nutricional, podendo, inclusive, variar entre cultivares de uma mesma espécie (Maas & Hoffman 1977; Maas, 1984 e Ayers & Westcot 1991).

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta de ciclo anual, pertencente à família Gramineae, que apresenta baixo ponto de compensação de CO₂, alta taxa fotossintética e baixo consumo de água para formação de matéria fresca (Azevedo Neto, 1997).

A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, compreendendo desde o consumo “in natura” até o processamento em indústria de alta tecnologia. Na realidade, o uso do milho em grão, na alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70%, no mundo. Apesar de não ter uma participação muito grande, em termos globais na alimentação humana, o milho em grãos, constitui uma parcela importante de uso deste cereal em regiões menos desenvolvidas. O milho, às vezes, constitui a fonte diária de alimentação como, por exemplo, no nordeste do Brasil onde é uma das principais fontes de energia para pessoas que vivem no semi-árido. Outro exemplo está na população mexicana, que tem o milho como um ingrediente básico na culinária (Duarte, 2004).

O estresse salino representa um dos mais sérios fatores, que limitam o crescimento e a produção das culturas, induzindo modificações morfológicas, estruturais e metabólicas nas plantas superiores. Considerado uma espécie moderadamente tolerante à salinidade, o milho sofre redução progressiva do crescimento com o aumento na concentração de sais no meio radicular. A maior sensibilidade da cultura ao estresse salino, ocorre no período vegetativo e a maior tolerância na época de floração, não sendo relatado nenhum efeito sobre a germinação. Vale ressaltar o fato de a produção de grãos, ser mais afetada pela salinidade em condições de campo do que em casa de vegetação (Hoffman et al., 1983).

O estresse salino provoca redução progressiva do crescimento das plantas de milho, em razão da redução do potencial osmótico e, ou acumulação excessiva de íons, podendo induzir à toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional ou ambos (Azevedo Neto, 1997). Entretanto, Cramer et al. (1994) afirmam que o grau com que cada um desses componentes do estresse salino influencia o crescimento é dependente de muitos fatores, tais como o cultivar, tipo de salinidade, intensidade e duração do estresse salino, luminosidade, umidade do solo e do ar e estágio de desenvolvimento da planta.

Azevedo Neto e Tabosa (2000a) 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, também, a taxa de assimilação líquida. Por outro lado, a razão de área foliar não foi afetada.

Em outro trabalho, Azevedo Neto e Tabosa (2000b) concluíram que o estresse salino elevou as concentrações de Na^+ e reduziu as concentrações de K^+ em todas as partes da planta. Os autores observaram, ainda, acumulação preferencial de Na^+ nos tecidos do colmo e da bainha, em detrimento dos tecidos do limbo, bem como os teores de Ca^{++} foram diminuídos na raiz, no colmo e limbo das plantas, enquanto os de Mg^{++} só diminuíram na raiz e no colmo.

O presente trabalho teve como objetivos avaliar os efeitos da salinidade da solução do solo sobre a nutrição mineral, crescimento, desenvolvimento,

produção relativa, características fisiológicas bem como os efeitos da irrigação com água salina sobre as propriedades químicas de um Argissolo Vermelho Eutrófico, cultivado com a variedade de milho UFVM 100.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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**. Recife: UFRPE, 1997. 134 p. (Dissertação de Mestrado).

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, 2000a.

AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.4, n.2, p.165-171, 2000b.

CRAMER, G.R.; ALBERICO, G.J.; SCHMIDT, C. Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. **Australian Journal of Plant Physiologic**. Melbourne, v.21, p.675-692, 1994.

DUARTE, J.O. **Importância econômica do milho**. Sete Lagoas, 2004. Disponível em: <www.cnpms.embrapa.br>. Acesso em: 08 de março de 2004.

FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA/DPU, 1989. 425p.

HOFFMAN, G.J.; MAAS, E.V.; PRCHARD, J.L.; MEVER, J.L. Salt tolerance of corn in the Sacramento, San Joaquin, Delta of California. **Irrigation Science**. v.4, p.31-44, 1983.

MAAS, E. V. Salt tolerance of plants. In CRISTIE, B.R. **The handbook of plant science in agriculture**. Boca Raton, Flórida, CRC Press, 1984.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance – current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, v.103, n.1R2, p.115-134, 1977.

CAPITULO 1 - ESTRESSE SALINO EM PLANTAS DE MILHO: ANÁLISE NUTRICIONAL E DE CRESCIMENTO

1.1 INTRODUÇÃO

No manejo da irrigação em regiões de clima árido e semi-árido, onde é freqüente a água conter sais solúveis em excesso, o uso dessas águas, sem uma adequada fração de lixiviação, pode provocar a salinização dos solos, reduzindo o crescimento e ou o desenvolvimento das plantas.

A salinização do solo ao baixar o potencial osmótico da água, causa o estresse hídrico às plantas, além de provocar problemas de direta toxicidade e desequilíbrio nutricional. Graças à utilização de espécies de plantas tolerantes à salinidade e à adoção de práticas adequadas de manejo de solo-água-plantas, muitas áreas com problemas de salinidade vêm sendo exploradas com sucesso (Fageria, 1989).

A resposta das plantas à salinidade é um fenômeno complexo, envolvendo alterações morfológicas e de crescimento, além de processos fisiológicos, bioquímicos e nutricionais (Cramer et al., 1994). Assim, a sobrevivência das plantas em ambientes salinos pode exigir processos adaptativos envolvendo a absorção, transporte e distribuição de íons nos vários órgãos da planta e sua compartimentação dentro das células (Munns e Termaat, 1986).

A maioria das culturas desenvolve 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 (Grattan & Grieve, 1999).

A disponibilidade de nutrientes para as plantas, em ambientes salinos, é afetada por muitos fatores no ambiente solo-plantas. O pH do solo influencia a disponibilidade dos nutrientes. A concentração e as relações entre os elementos podem influenciar a absorção e o transporte, em particular, de um nutriente e indiretamente pode afetar a absorção e a translocação de outros (Grattan & Lamenta, 1994).

Em ambientes salinos, o NaCl é o sal predominante e o 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⁺ e Cl, e do desequilíbrio nutricional causado pelos distúrbios na absorção ou distribuição dos nutrientes (Yahya, 1998).

Em condições não salinas, o citosol das células de plantas não halófitas contem cerca de 1,0 a 3,0 dag kg⁻¹ de K⁺ e 0,01 a 0,1 dag kg⁻¹ de Na⁺, um ambiente iônico no qual muitas enzimas alcançam o seu ótimo. Os efeitos de toxicidade iônica ocorrem, quando dos íons Na⁺ ou Cl acumulam-se nas células. Uma alta relação Na⁺/K⁺ bem como a concentração elevada de sais totais inativam as enzimas e inibem a síntese protéica (Taiz & Zeiger, 2004).

Os íons inorgânicos desempenham importante papel na preservação do potencial hídrico do vegetal. Portanto, os mecanismos que resultam no excesso de absorção iônica e exclusão de Na⁺ e Cl de tecidos metabolicamente ativos da parte aérea das plantas, podem ser responsáveis pela tolerância das culturas ao estresse salino (Cheeseman, 1988). Esta exclusão pode ser efetuada por acumulação preferencial de íons em tecidos, relativamente, tolerantes da raiz ou da parte aérea (Boursier et al., 1987).

O grau com que o estresse salino influencia o crescimento é dependente de muitos fatores, ou seja, da cultivar, do tipo de salinidade, da intensidade e duração do estresse salino, da luminosidade, da umidade do solo e do ar e do estágio de desenvolvimento da planta (Cramer et al., 1994).

Os processos de crescimento são, particularmente, sensíveis ao efeito dos sais, de forma que a taxa de crescimento e a produção de biomassa são bons critérios 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 encontrados na literatura, para o estudo dos efeitos ambientais sobre o crescimento das plantas. Dessa forma, a interferência do ambiente na produção das culturas pode ser evidenciada pelas alterações no crescimento dos vegetais. A análise de crescimento é um meio prático e preciso, para avaliar o crescimento e inferir

sobre a contribuição de diferentes processos fisiológicos no comportamento vegetal (Benincassa, 2003).

O presente trabalho teve como objetivo estudar os efeitos da salinidade do solo sobre a nutrição mineral e as características morfofisiológicas inerentes ao crescimento e desenvolvimento da variedade de milho UFVM 100 cultivada em lisímetros de drenagem sob diferentes níveis salinidade do solo, dentro de casa de vegetação.

1.2 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 abrangia 124,6 m² (7,0 m de largura por 17,80 m de comprimento) sendo que cada lisímetro era provido de drenagem 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, aproximadamente. Antes do plantio, devido ao excesso de sais do solo nos lisímetros que receberiam as irrigações com água salina, foi feita uma intensa lixiviação nos mesmos até atingir, aproximadamente, 1,00 dS m⁻¹ no extrato de saturação do solo, empregando água doce.

A caracterização química e físico-química do solo (Tabela 1.1) foi realizada nos laboratórios de Análise de Física do Solo e de Água e Solo dos Departamentos de Solo e de Engenharia Agrícola, respectivamente. As análises químicas consistiram em determinar os teores 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. Na

análise física do solo, foram efetuadas as seguintes determinações: massa específica, pelo método da proveta; partículas, pelo método do balão volumétrico e análise granulométrica, pelo método da pipeta (Embrapa, 1997).

Tabela 1.1 – Características físico-químicas do solo utilizado no preenchimento dos lisímetros de drenagem

Característica	Valor	Característica	Valor
Areia grossa (%)	18,4	Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,70
Areia fina (%)	9,8	Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,60
Silte (%)	17,0	Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,00
Argila (%)	54,8	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	5,9	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.

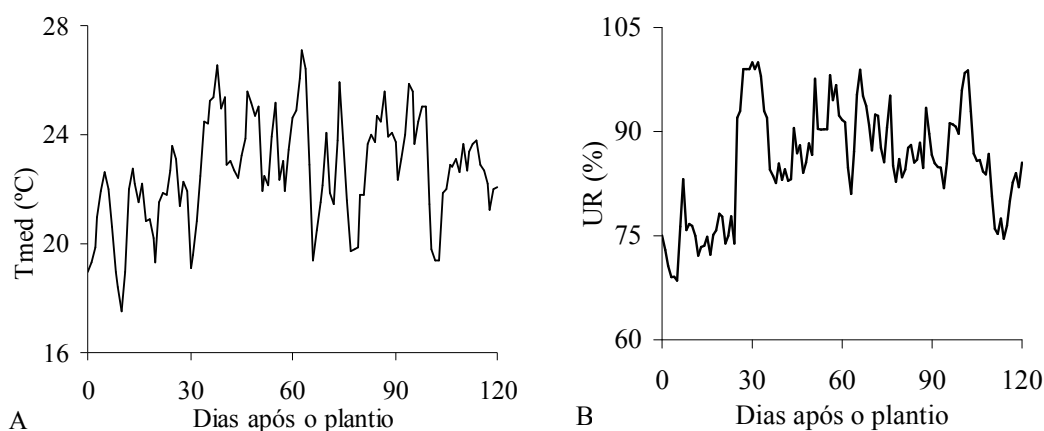
O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos e três repetições, perfazendo um total de 21 unidades experimentais. Os sete tratamentos constituíram-se de um irrigado com água doce (sem lixiviação) e seis irrigados com água salina de 1,2 dS m⁻¹ acrescidos com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

A água salina utilizada nas irrigações (Tabela 1.2) foi preparada em um reservatório com capacidade de 1000 L mediante a adição de NaCl e CaCl₂ em quantidades necessárias para obtenção de 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 citado por Medeiros (1992).

Tabela 1.2 – Características médias da água utilizada na irrigação da variedade de milho UFVM 100, durante o período experimental

Característica	Valor	
	Água salina	Água não salina
Condutividade elétrica (dS m^{-1})	1,20	0,06
Sódio ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	0,4436	0,0002
Cálcio ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	0,2875	0,0167
Cloro ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	0,0141	0,0000
Magnésio ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	0,0534	0,0103
Potássio ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	0,0186	0,0192
RAS ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$) ^{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 dentro da casa de vegetação, sendo 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 1.1 A até E)



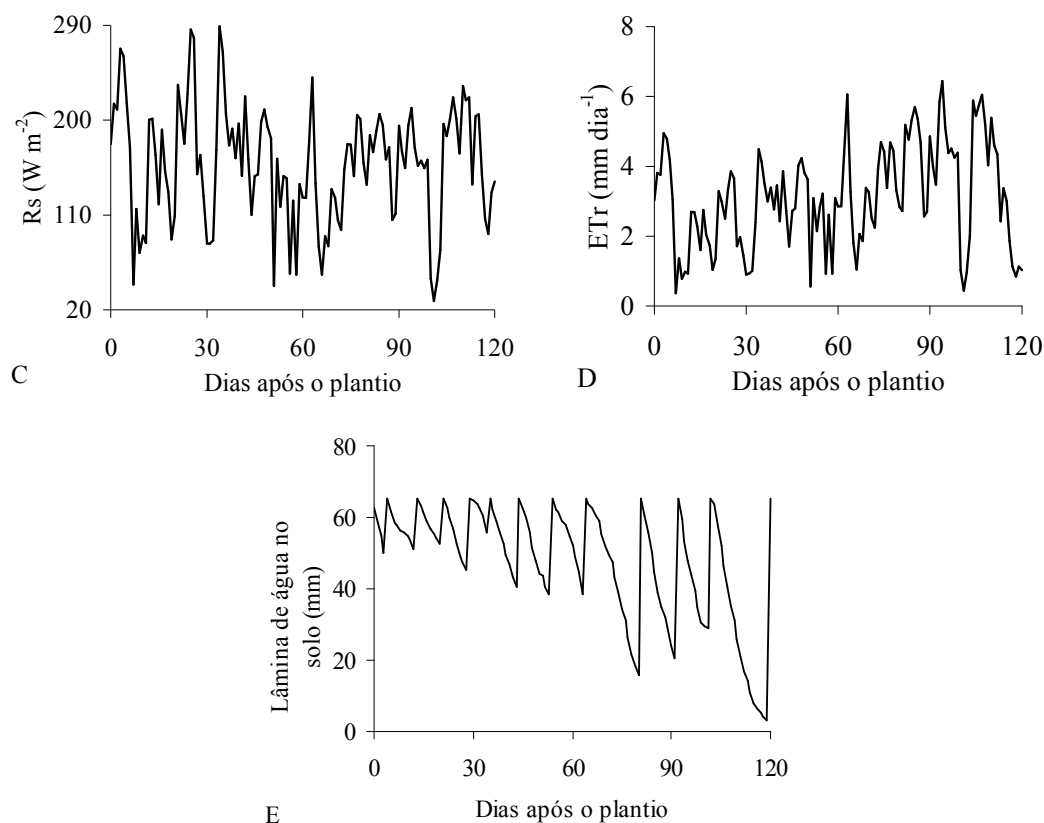


Figura 1.1 - Valores médios diários de temperatura (A), umidade relativa (B), radiação solar incidente (C), evapotranspiração real (D) e o balanço de água no solo (E) durante o período experimental de cultivo da variedade de milho UFVM 100.

A lâmina de irrigação equivalente à evapotranspiração real da cultura (ETr) foi calculada, em função da ET_0 , estimada por meio do método FAO-24 da radiação, adaptado por Frevort et al. (1983), corrigida para os valores de Kc da cultura e do coeficiente de umidade do solo (Ks), conforme descrito por Bernardo et al. (2005).

O balanço de água no solo foi realizado, empregando-se 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, sendo o plantio feito 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, permanecendo oito plantas por lisímetro (50.000 plantas ha⁻¹).

Todos 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.

O controle de ervas daninhas foi feito com capinas manuais enquanto o controle de lagarta do cartucho, foi feita aplicação do inseticida piretróide “Decis”, na dosagem de 0,3 L ha⁻¹.

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 à ETr, 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 variedade de milho UFVM 100 foram avaliados, determinando-se o teor foliar dos macronutrientes, Na⁺ e Cl e a relação dos macronutrientes catiônicos com o Na⁺ e dos aniônicos com o Cl. 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.

O estudo concernente aos efeitos da salinidade da solução do solo sobre as características fisiológicas da variedade de milho UFVM 100 foi realizado, apenas, na fase fenológica de formação da colheita. As medições da taxa fotossintética, condutância estomática e a taxa de transpiração foram realizadas, utilizado-se 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.

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 foi coletada aleatoriamente uma planta de cada unidade experimental e encaminhada ao laboratório para secagem em estufa a $\pm 70^\circ\text{C}$ até atingir peso constante. Posteriormente foram realizadas as 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-se as equações:

$$\text{TCA} = (\text{MSf} - \text{MSi})/t \text{ (g dia}^{-1}\text{)} \quad (1.2)$$

$$\text{TCR} = (\text{Ln MSf} - \text{Ln MSi})/t \text{ (g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}\text{)} \quad (1.3)$$

$$\text{TAL} = [(\text{MSf} - \text{MSi})/t]/[\text{LnAFf} - \text{LnAFi}]/(\text{AFf} - \text{AFi}) \text{ (g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}\text{)} \quad (1.4)$$

$$\text{RAF} = \text{AF}/\text{MSf} \text{ (cm}^2 \text{ g)} \quad (1.5)$$

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 e peso dos discos secos multiplicada pela área dos discos (cm^2).

Foi determinada também a eficiência de uso de água na produtividade nas fases fenológicas do período vegetativo, floração, formação da colheita e maturação fisiológica, conforme a metodologia descrita por Larcher (2000).

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

Ns fases fenológicas do período vegetativo, floração, formação da colheita e maturação fisiológica foram retiradas, em 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 de um condutivímetro.

Os dados foram analisados em função da salinidade do solo, determinada em cada fase fenológica, por meio de análise de variância, aplicando-se o teste “F” e as variáveis significativas foram submetidas à regressão. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, no coeficiente de determinação (r^2) e no fenômeno em estudo, adotando-se α de até 5%.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Salinidade do solo

Os níveis médios de salinidade do solo (Tabela 1.3) na fase fenológica do período vegetativo não excedem o valor de $1,70 \text{ dS m}^{-1}$ da salinidade limiar, estabelecido por Ayers e Westcot (1991) para a cultura do milho, capaz de induzir uma diminuição sensível no rendimento. Por outro lado, na fase fenológica da floração até a maturação fisiológica, os níveis médios de salinidade do solo, conforme os critérios estabelecidos por esses autores são capazes de induzir uma redução potencial na ordem de 10 a 50% no rendimento da cultura.

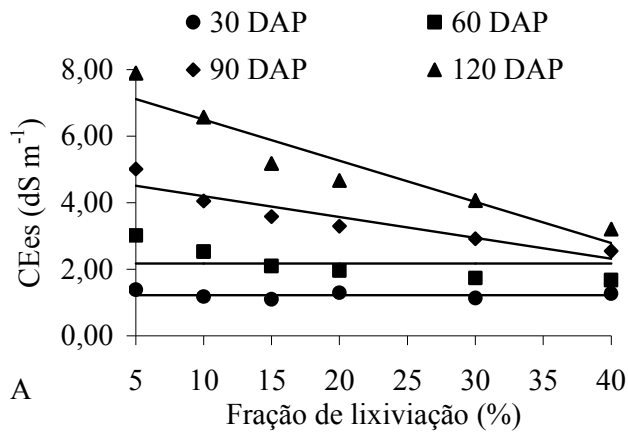
Tabela 1.3 – Valores médios da condutividade elétrica da pasta de solo saturado (CEes) no perfil do solo determinados nas unidades experimentais, nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (120 DAP)

Tratamentos	CEes (dS m ⁻¹)				
	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	Média
Água doce	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

ASFL – Água salina acrescida com a fração de lixiviação.

Os resultados médios da salinidade do solo em função das frações de lixiviação, apresentados na Tabela 1.3, aumentaram ao longo dos períodos de avaliação da cultura, por sua vez, à medida que as frações de lixiviação diminuíram durante cada período, exceto na fase do período vegetativo, a salinidade do extrato de saturação do solo aumentou. Este resultado comprova 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.

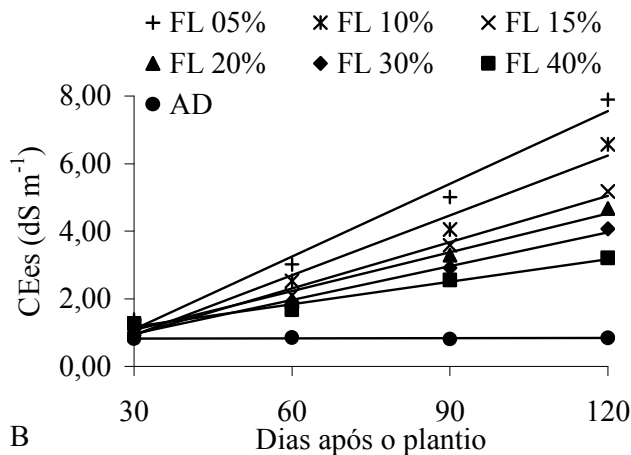
A salinidade do solo foi afetada, significativamente, pelas frações de lixiviação e épocas de avaliação ao longo do período de cultivo da variedade de milho. A Figura 1.2 (A e B) mostra, respectivamente, o decréscimo e o aumento linear dos valores da condutividade elétrica da pasta do solo saturado em função dos tratamentos e das épocas de avaliação. A Figura 1.3 (A até G) mostra, respectivamente, o aumento nos valores médios da condutividade elétrica da pasta do solo saturado com a profundidade nas épocas de avaliação, durante o período de cultivo de milho.



30 DAP: $\hat{y} = \bar{y} = 1,23$ 90 DAP: $\hat{y} = 4,8210 - 0,0629 ** FL$ $r^2 = 0,9526$

60 DAP: $\hat{y} = \bar{y} = 2,17$ 120 DAP: $\hat{y} = 7,7410 - 0,1236 ** FL$ $r^2 = 0,9413$

** Significativo a 1% de probabilidade



FL_{5%}: $\hat{y} = -1,0520 + 0,0717 ** DAP$ $r^2 = 0,9612$

FL_{10%}: $\hat{y} = -0,8430 + 0,0590 ** DAP$ $r^2 = 0,9731$

FL_{15%}: $\hat{y} = -0,4380 + 0,0457 ** DAP$ $r^2 = 0,9810$

FL_{20%}: $\hat{y} = -0,0630 + 0,0382 ** DAP$ $r^2 = 0,9868$

FL_{30%}: $\hat{y} = -0,0321 + 0,0333 ** DAP$ $r^2 = 0,9903$

FL_{40%}: $\hat{y} = -0,5000 + 0,0223 ** DAP$ $r^2 = 0,9958$

AD : $\hat{y} = \bar{y} = 0,83$

** Significativo a 1% de probabilidade

Figura 1.2 – Condutividade elétrica da pasta do solo saturado (CEes) em função dos tratamentos (A) e das épocas de avaliação (B), determinados no Argissolo Vermelho Escuro Eutrófico, durante o período de cultivo da variedade de milho UFVM 100, em lisímetros de drenagem.

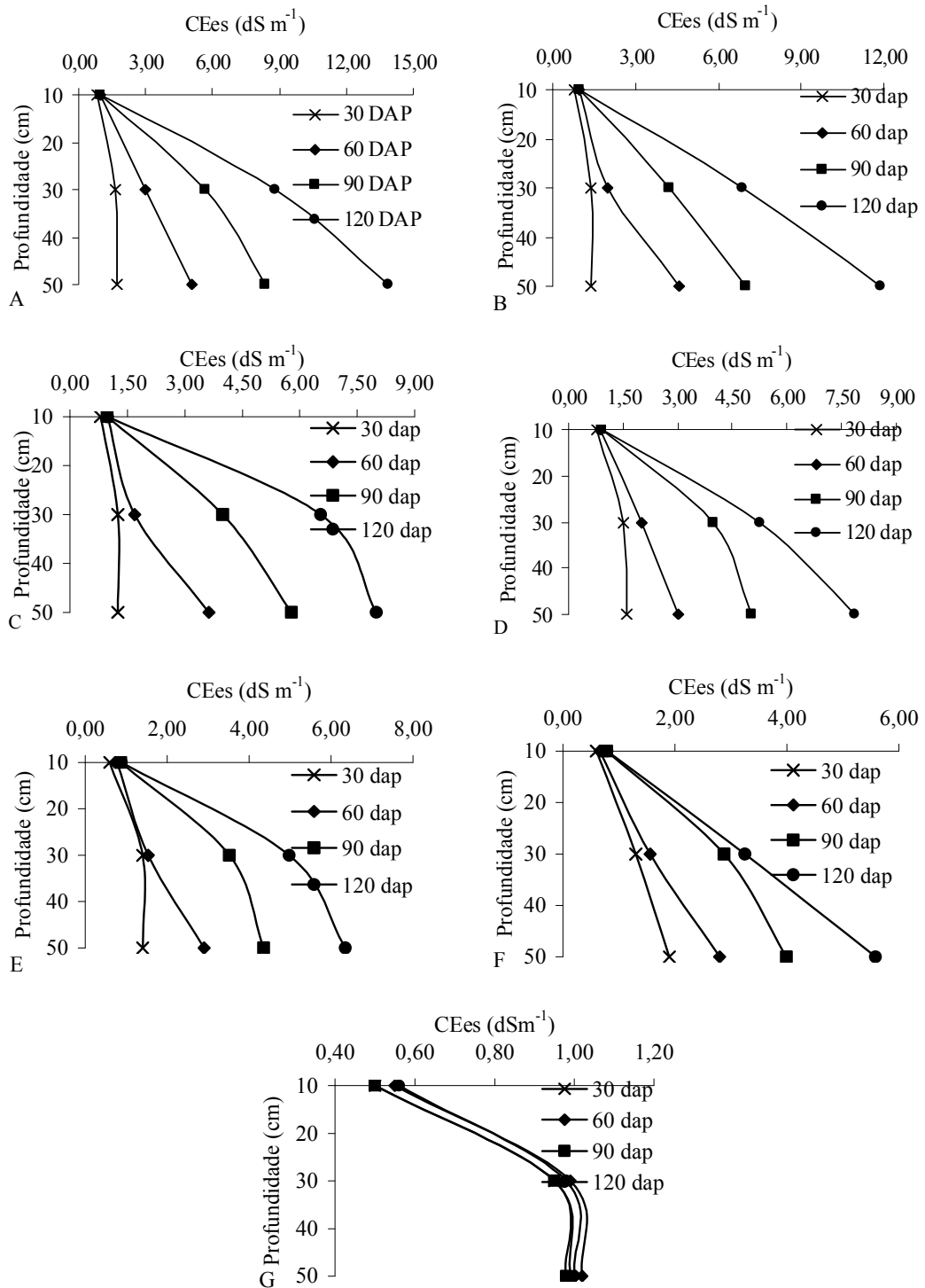


Figura 1.3 – Salinidade do solo com a profundidade de amostragem, em função das frações de lixiviação de 5 (A), 10 (B), 15 (C), 20 (D), 30 (E), 40% (F) e água doce (G), determinados no perfil do Argissolo Vermelho Escuro Eutrófico, durante o período de cultivo da variedade de milho UFVM 100 em lisímetros de drenagem.

Os resultados mostrados nas Figuras 1.2 (A e B) e 1.3 (A a F) comprovam que as lixiviações aplicadas foram eficientes, para reduzir o excesso de sais solúveis na zona radicular das culturas. Resultados semelhantes aos aqui relatados foram encontrados por Blanco e Folegatti (2002), que determinaram a salinidade do solo cultivado com pepino em casa de vegetação, encontrando aumento linear da condutividade elétrica do solo nas profundidades de 0,1; 0,3 e 0,5 m, com a aplicação de água com diferentes níveis de salinidade sob duas frequências de irrigação. Por outro lado, os autores observaram que as frações de lixiviação adotadas, independentemente da frequência de irrigação, não foram suficientes para lixiviar o excesso de sais através do perfil do solo, devido ao não parcelamento das mesmas junto com a irrigação. Tedeschi e Dell'Aquila (2005) verificaram que a salinidade até 0,5 m de profundidade de um solo irrigado com água salina em diferentes concentrações, durante sete anos, aumentou consideravelmente.

Ruiz et al. (2004) verificaram, em colunas de solo, a redução da condutividade elétrica da pasta saturada de um Neossolo Fúlvico, com características salino-sódicas, devido à aplicação de gesso seguida de lâminas de lixiviação. Esses autores concluíram que a redução na condutividade elétrica da pasta de solo saturado foi, em geral, mais acentuada quando as lâminas de lixiviação foram parceladas.

Os resultados mostrados nas Figuras 1.2 (A e B) e 1.3 (A até G) 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. Resultados semelhantes foram obtidos por Sampaio e Ruiz (1996), Gomes et al. (2000), Ruiz et al. (2004), Santos (2005) e Tedeschi e Dell'Aquila (2005).

1.3.2 Nitrogênio

A salinidade do solo afetou, significativamente, o teor de nitrogênio nas folhas das plantas de milho, nas fases fenológicas da formação da colheita e maturidade fisiológica (Tabela 1, em anexo). A Figura 1.4 A e B mostra o

decréscimo linear dos teores de nitrogênio nas folhas de milho, com o aumento nos níveis de salinidade do solo, atingindo valores menores que 3,00 dag kg⁻¹, considerados por Taiz e Zeiger (2004) como adequados para a cultura.

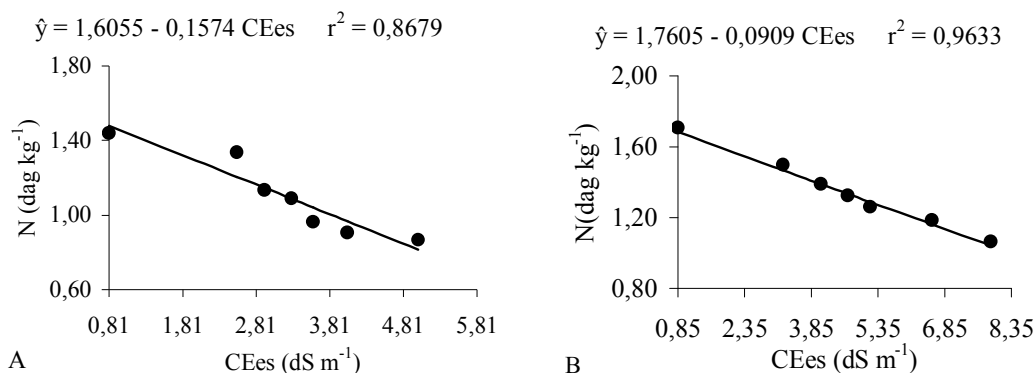


Figura 1.4 – Teor de nitrogênio (N) nas folhas da variedade de milho UFVM 100, nas fases fenológicas da formação da colheita (A) e maturação fisiológica (B) em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

O teor de nitrogênio nas plantas de milho é afetado pela salinidade do solo e que a absorção e o transporte do nitrato são limitados, em condições de salinidade, devido ao efeito antagonístico existente entre o íon nitrato e o íon de cloro (Bar et al., 1997). Por outro lado, a salinidade poderia afetar indiretamente o processo de nitrificação (conversão do nitrogênio na forma amoniacal a forma nítrica) devido à diminuição no conteúdo de água decorrente do efeito osmótico, ocasionado pelo excesso de sais (van Hoorn et al., 2001).

Plantas de milho, cultivadas em ambientes salinizados, apresentaram rendimento satisfatório, somente quando foi aplicado ao solo, doses extras de nitrogênio Papadopoulos e Rendig (1993) e que a fertilização nitrogenada não aumentou o grau de tolerância da cultura ao estresse salino. Abd El-Samad et al. (2000) verificaram que o aumento da concentração de NaCl, em solução nutritiva, diminuiu o teor de nitrato nas folhas e raízes de milho.

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 o grão em desenvolvimento. Esta translocação pode resultar em deficiência de nutrientes nas folhas, a menos que a quantidade

adequada de nutrientes esteja disponível para a planta durante aquele período (Ritchie et al., 2003). Dessa forma, além do aumento dos níveis de salinidade do solo, teor inadequado nas folhas das plantas de milho, deve-se também a translocação da maior parte do nitrogênio absorvido para os grãos em formação.

1.3.3 Fósforo

O teor de fósforo nas folhas de milho, nas fases fenológicas de formação da colheita e maturação fisiológica, foi também afetado pela salinidade do solo (Tabela 2, em anexo). A Figura 1.5 A e B mostra o decréscimo linear do teor de fósforo nas folhas da variedade de milho UFVM 100, nas duas fases, com o aumento do nível de salinidade do solo, atingindo valores menores que $0,30 \text{ dag kg}^{-1}$, considerados por Taiz e Zeiger (2004) como sendo adequados para a cultura.

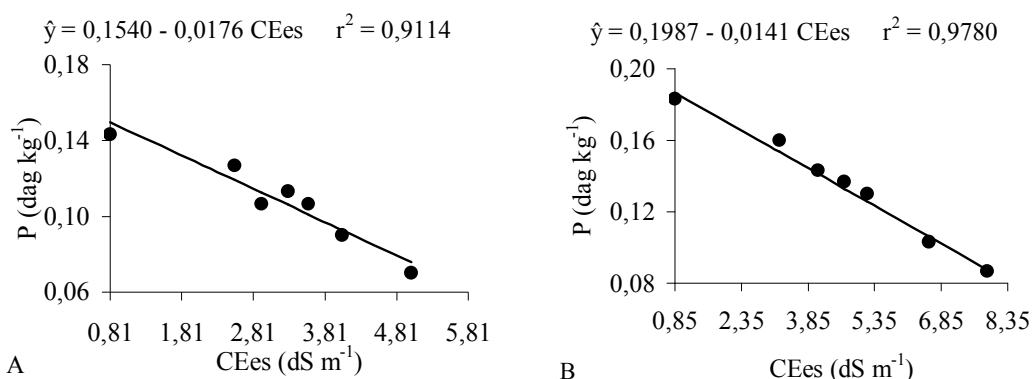


Figura 1.5 – Teor de fósforo (P) nas folhas da variedade de milho UFVM 100 nas fases fenológicas da formação da colheita (A) e maturação fisiológica (B) em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

A salinidade diminui a concentração de P no tecido das plantas devido aos efeitos de força iônica, que reduzem a atividade do fosfato na solução do solo e pela diminuição da solubilidade deste nutriente 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% contudo, em ambiente salino, sem apresentar evidências de deficiência de P nas plantas. (Sharpley et al., 1992). Martinez e Lauchili

(1995) verificaram, também, que altos níveis de NaCl diminuíram a absorção e translocação de fósforo, em plantas de algodão, enquanto Awad et al. (1995) observaram que a absorção eficiente de fósforo, na cultura do tomateiro, somente ocorreu em baixos níveis de NaCl.

A interação entre a salinidade e 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).

1.3.4 Enxofre

A salinidade do solo afetou, significativamente, o teor de enxofre nas folhas das plantas milho, apenas, na fase fenológica da maturação fisiológica (Tabela 3, em anexo). A Figura 1.6 mostra a relação quadrática do decréscimo nos teores de enxofre, nas folhas de milho, com o aumento nos níveis de salinidade do solo. Contudo, os teores de enxofre nas folhas estão próximos ao valor de $0,10 \text{ dag kg}^{-1}$, considerado por Taiz e Zeiger (2004) como adequados para a cultura.

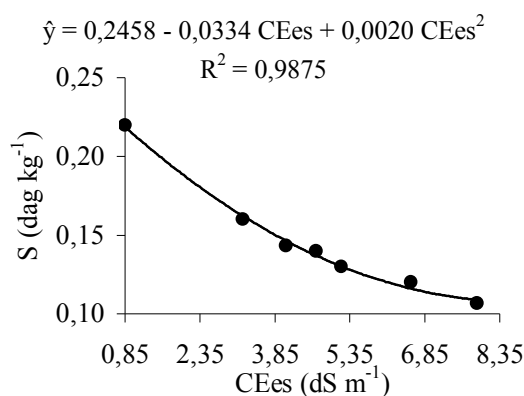


Figura 1.6 – Teor de enxofre (S) nas folhas da variedade de milho UFVM 100 na fase fenológica da maturação fisiológica, em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

As informações referentes ao acúmulo de enxofre nos tecidos das plantas cultivadas sob condições de salinidade são bastante limitadas. A maioria dos estudos enfoca os diferentes efeitos, ocasionados pela salinidade decorrente do

excesso de sulfatos em relação àqueles ocasionados por cloretos. Mor e Manchanda (1992) verificaram que a salinidade reduziu o teor de enxofre nas folhas de ervilha, entretanto, relatam acúmulo de S nas raízes com o incremento da salinidade.

1.3.5 Cloro

A salinidade do solo afetou, significativamente, o teor de cloro nas folhas de milho apenas na fase fenológica correspondente à maturação fisiológica (Tabela 4, em anexo). A Figura 1.7 mostra o aumento do teor de cloro nas folhas de milho com o aumento nos níveis de salinidade do solo. Em geral, o teor adequado de Cl nos tecidos vegetais é de 0,1 a 0,2 dag kg⁻¹ (Taiz e Zeiger, 2004) e teores acima de 0,25 dag kg⁻¹, podem ocasionar toxicidade em plantas sensíveis (Marschner, 1995).

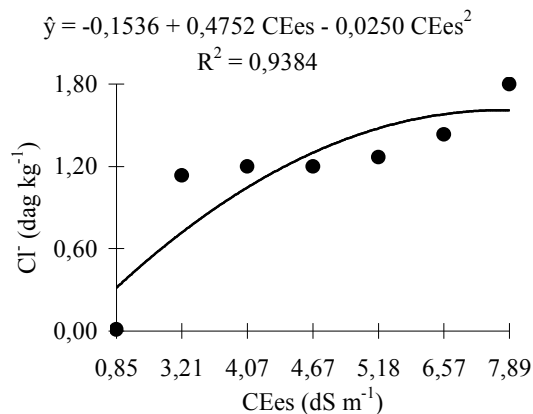


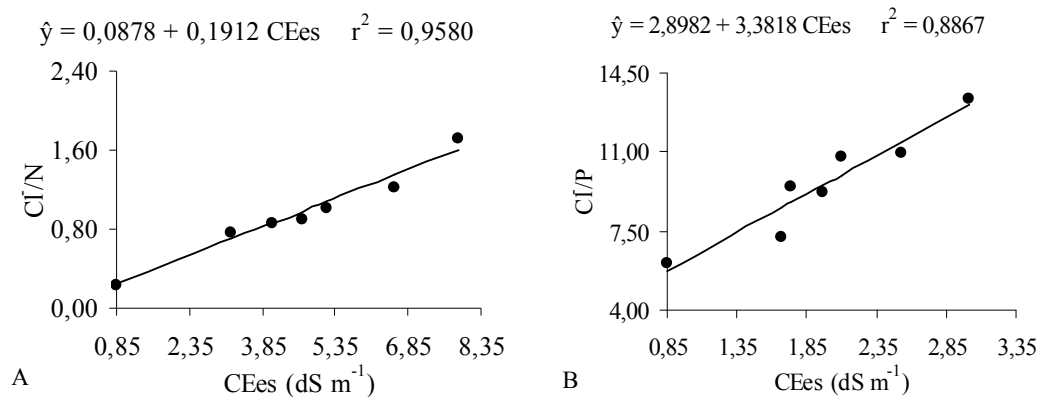
Figura 1.7 – Teor de cloro (Cl) nas folhas da variedade de milho UFVM 100 na fase fenológica correspondente à maturação fisiológica, em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

O cloro é necessário para as reações de quebra da molécula de água na fotossíntese, pelas quais o oxigênio é produzido (Clarke & Eaton Ryne, 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 maiores do que os necessários ao seu metabolismo, mas os teores médios encontrados nas folhas de milho aumentaram com a salinidade do solo, atingindo níveis que podem induzir à toxicidade ou mesmo efeitos antagônicos, especialmente com o nitrogênio que decresceu (Figura 1.4 A e B). De fato, as altas concentrações de Cl no solo, principalmente em ambientes salinos, podem diminuir a absorção de nitrogênio pelas plantas, devido ao efeito antagônico existente entre os íons (Marschner, 1995).

1.3.6 Relação do cloro com o nitrogênio, fósforo e enxofre

A salinidade do solo afetou, significativamente, as relações do cloro com o nitrogênio (Cl/N), fósforo (Cl/P) e enxofre (Cl/S) nas folhas da variedade de milho UFVM 100 (Tabela 5, em anexo). A Figura 1.8 (A a F) mostra o aumento linear decorrente da maior absorção e acumulação de cloro em relação ao nitrogênio, fósforo e enxofre, com o aumento nos níveis de salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo, floração, formação da colheita e maturação fisiológica.



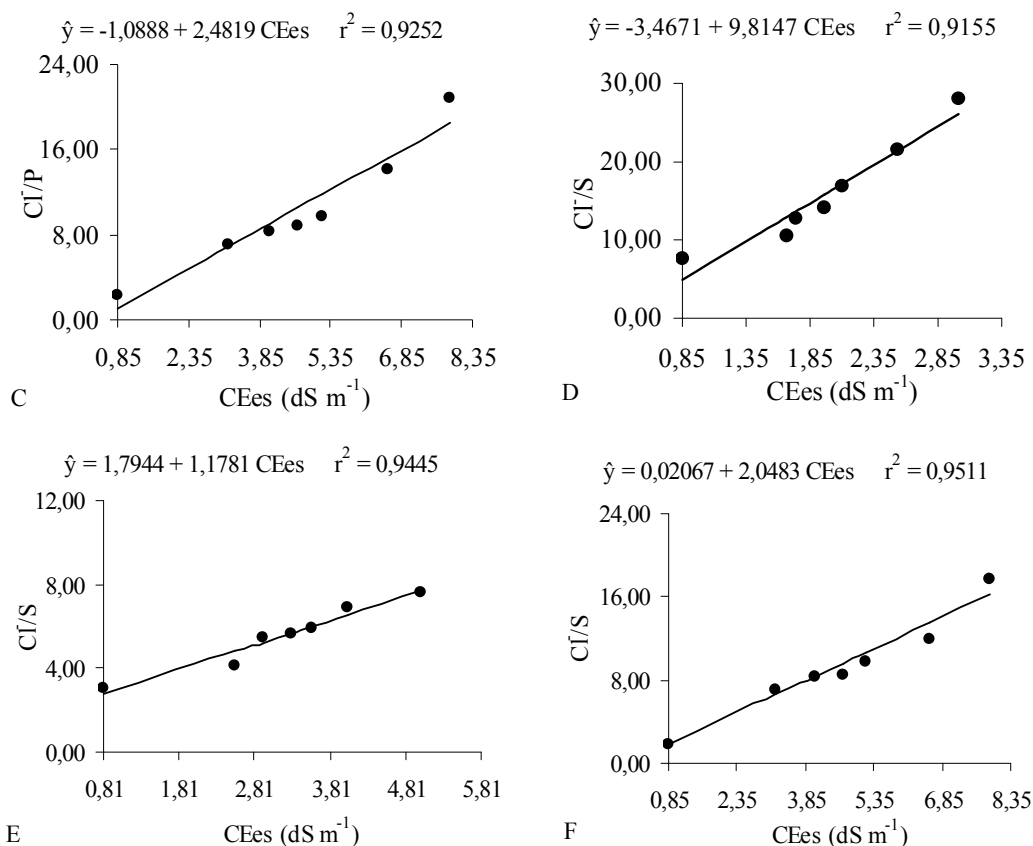


Figura 1.8 – Relação do cloro com nitrogênio (Cl/N) na fase fenológica da maturação fisiológica (A); do cloro com fósforo (Cl/P) no período vegetativo (B) e maturação fisiológica (C); do cloro com enxofre (Cl/S) no período vegetativo (D), floração (E) e maturação fisiológica (F) nas folhas da variedade de milho UFVM 100, em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

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, conseqüente de uma menor absorção deste nutriente. O aumento linear menos expressivo da relação Cl/P nas folhas de milho foi devido à 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).

Baixos valores das relações Cl/N, Cl/P e Cl/S nos tecidos vegetais, podem constituir um importante indicativo de tolerância da cultura a salinidade por sais de Cl, pois, quando este nutriente alcança teores internos excessivos, associados

a teores internos de nitrogênio, fósforo e enxofre inadequados, ocasiona distúrbios nutricionais devido ao efeito antagônico entre tais íons (Greenway & Muns, 1980).

1.3.7 Cálcio

A salinidade do solo afetou, significativamente, os teores de cálcio nas folhas da variedade de milho UFVM 100, na fase fenológica da maturação fisiológica (Tabela 6, em anexo). A Figura 1.9 mostra, respectivamente, o decréscimo do teor de cálcio nas folhas de milho, com o aumento dos níveis de salinidade do solo.

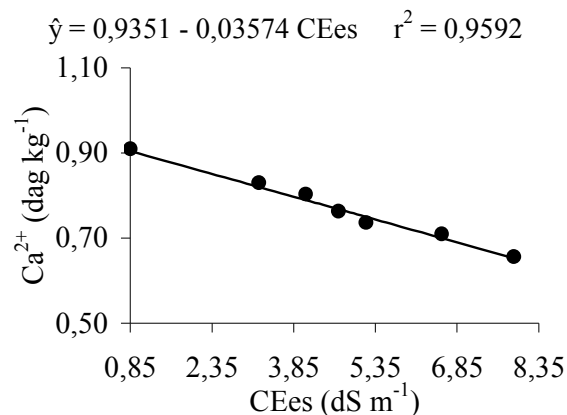


Figura 1.9 – Teor de cálcio (Ca^{+2}) nas folhas da variedade de milho UFVM 100 na fase fenológica da maturação fisiológica, em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

Apesar da tendência à diminuição nos teores de cálcio nas folhas aos 120 DAP, os resultados obtidos nesta fase de avaliação da cultura, são considerados adequados, conforme os critérios estabelecidos por Taiz e Zeiger (2004) de $0,32 \text{ dag kg}^{-1}$, mostrando existir uma relação definida entre o crescimento da planta e o teor de nutrientes em seus tecidos. Por sua vez, os teores adequados de cálcio nas folhas de milho foram devidos ao suprimento desse elemento pelo solo, evidenciados pelos valores na Tabela 1.1 e também pela adição deste nutriente ao solo via água de irrigação (Tabela 1.2).

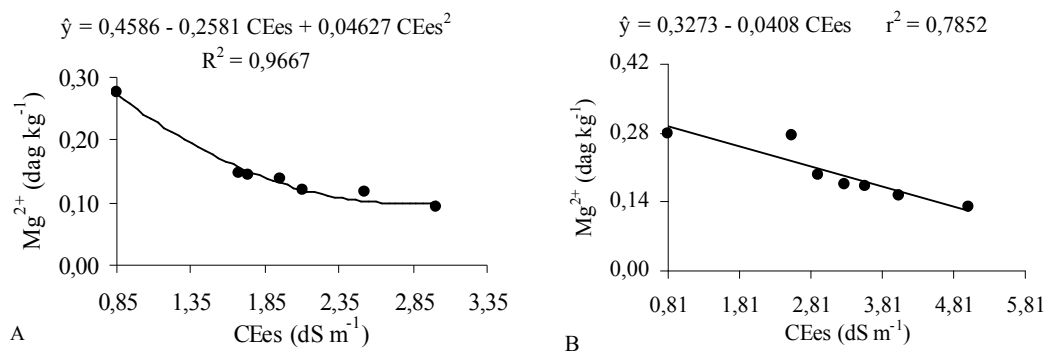
Estudos têm demonstrado que a salinidade diminui os teores de cálcio na parte aérea das plantas de milho (Alberico & Cramer, 1991; Cramer et al., 1994; Azevedo Neto & Tabosa 2000b). Semelhantemente a este trabalho, esses autores reportaram que o aumento no teor de sódio do meio externo ocasiona a diminuição dos teores de cálcio nos tecidos das plantas de milho, pois, segundo Cramer et al. (1995), o sódio desloca o cálcio do plasmalema das células radiculares, o que resulta em uma perda da integridade da membrana e efluxo citossólico de solutos orgânicos e inorgânicos.

As alterações nas membranas, onde o cálcio é um íon estabilizante, pode conduzir a uma sensibilidade maior da cultura ao estresse salino, haja vista a seletividade das membranas nos processos de absorção e compartimentação iônica (Azevedo Neto & Tabosa 2000b).

Trabalhos com plantas sob estresse salino tem demonstrado que a suplementação de cálcio reduz a acumulação de sódio e mantém os níveis de potássio (Colmer et al., 1994).

1.3.8 Magnésio

A salinidade do solo afetou, significativamente, os teores de magnésio nas folhas da variedade de milho UFVM 100 nas fases fenológicas da floração, formação da colheita e maturação fisiológica (Tabela 7, em anexo). A Figura 1.10 A, B e C mostram, respectivamente, o decréscimo do teor de magnésio nas folhas de milho com o aumento nos níveis de salinidade do solo.



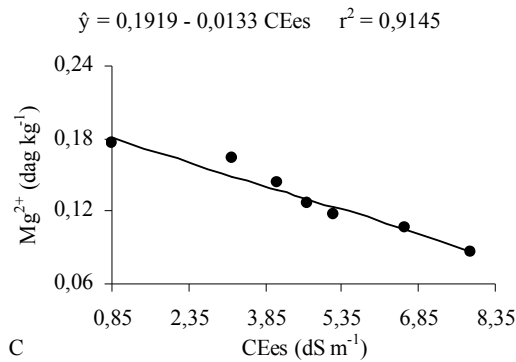


Figura 1.10 – Teor de magnésio (Mg^{+2}) nas folhas da variedade de milho UFVM 100 de milho nas fases fenológicas da floração (A), formação da colheita (B) e maturação fisiológica (C) DAP em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

Os teores de magnésio nas folhas das plantas de milho estão abaixo de $0,40 \text{ dag kg}^{-1}$, valor este estabelecido por Taiz e Zeiger (2004) como adequados para a cultura. Também Azevedo Neto e Tabosa (2000b) verificaram, em plantas de milho submetidas a diferentes níveis de NaCl em solução nutritiva, a diminuição dos teores de magnésio na raiz e no colmo, exceto na bainha e no limbo, onde esses teores permaneceram relativamente constantes.

Além do papel do magnésio na atividade, como co-fator em quase todas as enzimas do metabolismo energético e na molécula de clorofila, ele é requerido para a integridade dos ribossomos e contribui, efetivamente para a estabilidade estrutural dos ácidos nucleicos e membranas (Taiz & Zeiger, 2004). Devido à importância do magnésio no metabolismo vegetal, a literatura disponível sobre as concentrações deste nutriente em plantas cultivadas sob estresse salino é bastante limitada, tanto para milho quanto para outras espécies.

1.3.9 Potássio

O potássio desempenha importante papel na regulação do potencial osmótico das células vegetais, além de ativar muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (Taiz & Zeiger, 2004).

A Figura 1.11 mostra que salinidade do solo afetou, significativamente, os teores de potássio nas folhas da variedade de milho UFVM 100, apenas, na

fase fenológica da maturação fisiológica (Tabela 8, em anexo), decrescendo, linearmente, seus valores com o aumento nos níveis de salinidade do solo.

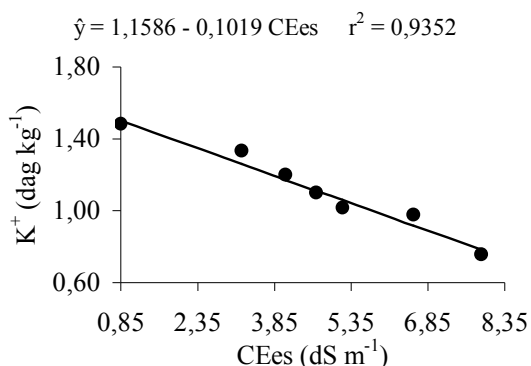


Figura 1.11 – Teor de potássio (K⁺) nas folhas da variedade de milho UFVM 100 na fase fenológica da maturação fisiológica, em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

Estudos têm demonstrado que a salinidade diminui os teores de potássio na parte aérea das plantas de milho (Alberico & Cramer, 1993; Cramer et al., 1994; Azevedo Neto & Tabosa 2000b). Semelhante a este trabalho, estes autores reportaram que o aumento na concentração de sódio do meio externo ocasiona a diminuição dos teores de potássio nos tecidos das plantas de milho, pois, segundo Kawasaki et al. (1983), o aumento da concentração de sódio no meio radicular pode inibir a absorção de potássio, devido à relação competitiva entre esses cátions monovalentes.

Segundo Azevedo Neto e Tabosa (2000b), o estresse salino promove aumento no efluxo citossólico de potássio nas raízes das plantas, sendo que esta perda pode ser o resultado direto de trocas, osmoticamente, induzidas na permeabilidade do plasmalema, como também da substituição de cálcio por sódio na membrana, abrindo canais para o potássio.

1.3.10 Sódio

Na Figura 1.12 A, B, C e D observa-se que a salinidade do solo afetou, significativamente, os teores de sódio nas folhas da variedade de milho UFVM

100, nas fases fenológicas do período vegetativo, floração, formação da colheita e maturação fisiológica (Tabela 9, em anexo), aumentando seus valores com o aumento nos níveis de salinidade do solo.

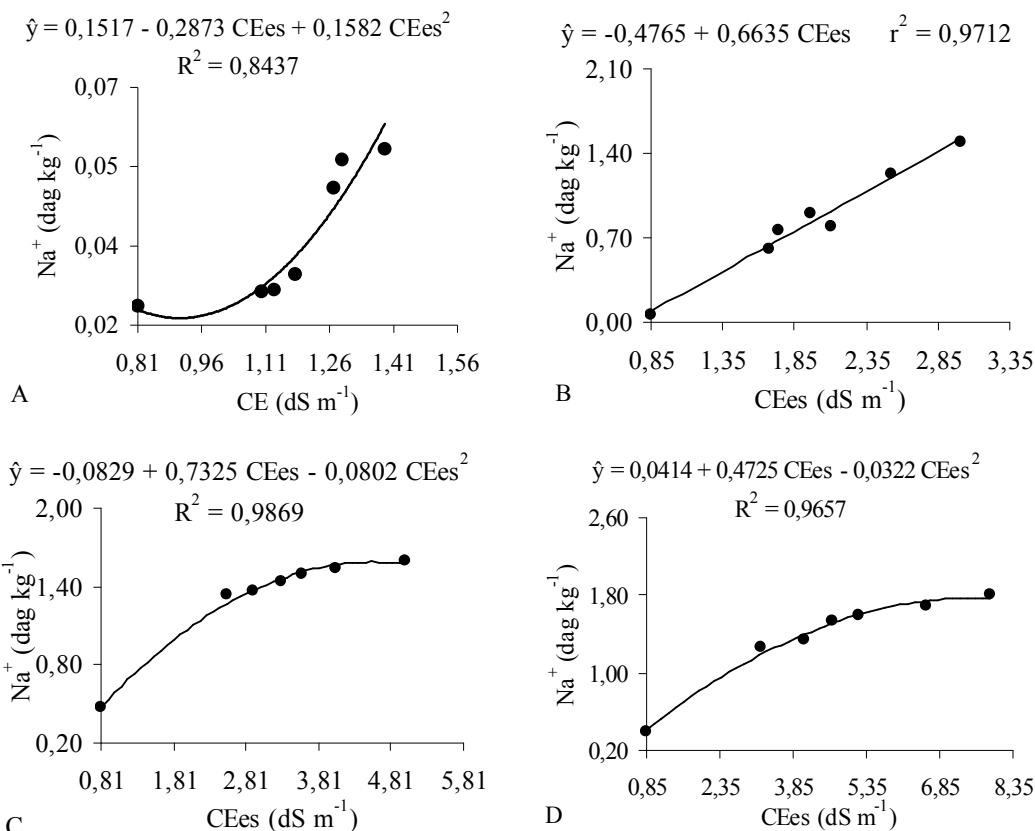


Figura 1.12 – Teor de sódio (Na^+) nas folhas da variedade de milho UFVM 100 nas fases fenológicas do período vegetativo (A), floração (B), formação da colheita (C) e maturação fisiológica (D) DAP em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

De acordo Marschner (1995), a maioria das espécies que utilizam as rotas C_4 de fixação do carbono requer íons sódio. Nestas plantas, o sódio parece ser vital para a regeneração do fosfoenolpiruvato, substrato da primeira carboxilação nas rotas C_4 , além de estimular o crescimento por meio de uma maior expansão celular e, ainda, substituir parcialmente o potássio como um soluto osmoticamente, ativo.

Exceto no período vegetativo, o teor de sódio nas folhas da plantas de milho aumentou, consideravelmente, com o incremento nos níveis de salinidade

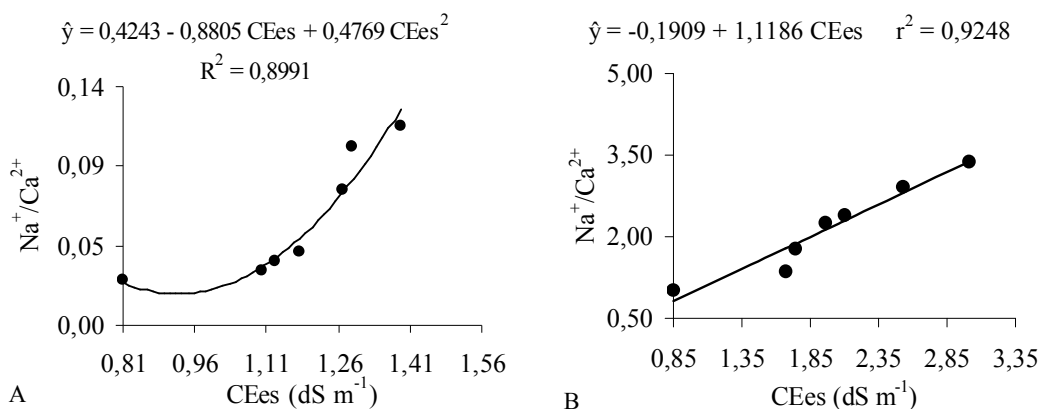
do solo. Nota-se que, na fase de formação da colheita e maturação fisiológica houve uma tendência de estabilização nos teores de sódio nos níveis mais elevados de salinidade do solo, o que pode representar uma compartimentação a nível celular, haja vista a não identificação da real locação do sódio nas células das folhas no presente trabalho, reduzindo, assim, a toxicidade por este íon nos sítios, metabolicamente, ativos das folhas.

O aumento da concentração de sódio na parte aérea de plantas de milho, cultivado em ambientes salinos, tem sido estudado por vários pesquisadores. Semelhantemente ao observado neste trabalho, Willadino et al. (1994) Azevedo Neto & Tabosa (2000b) e Azevedo Neto et al., (2004) observaram aumentos nos teores de sódio nas folhas de milho, cultivado em ambientes salinos.

1.3.11 Relação do sódio com o cálcio, magnésio e potássio

A determinação das relações do sódio com o cálcio, magnésio e potássio, ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$, $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$ e Na^+/K^+) revelam-se importantes variáveis para a seleção de plantas tolerantes, quando, nos estudos, os objetivos consistirem em analisar o estado nutricional das plantas submetidas à salinidade (Azevedo Neto e Tabosa, 2000b).

A salinidade do solo nas fases do período vegetativo, floração e maturação fisiologia afetou, significativamente, as relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$ nas folhas de milho (Tabela 10, em anexo). A Figura 1.13 A, B, C, D, E e F, respectivamente, mostram o aumento das relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$ nas folhas de milho, com o aumento nos níveis de salinidade do solo.



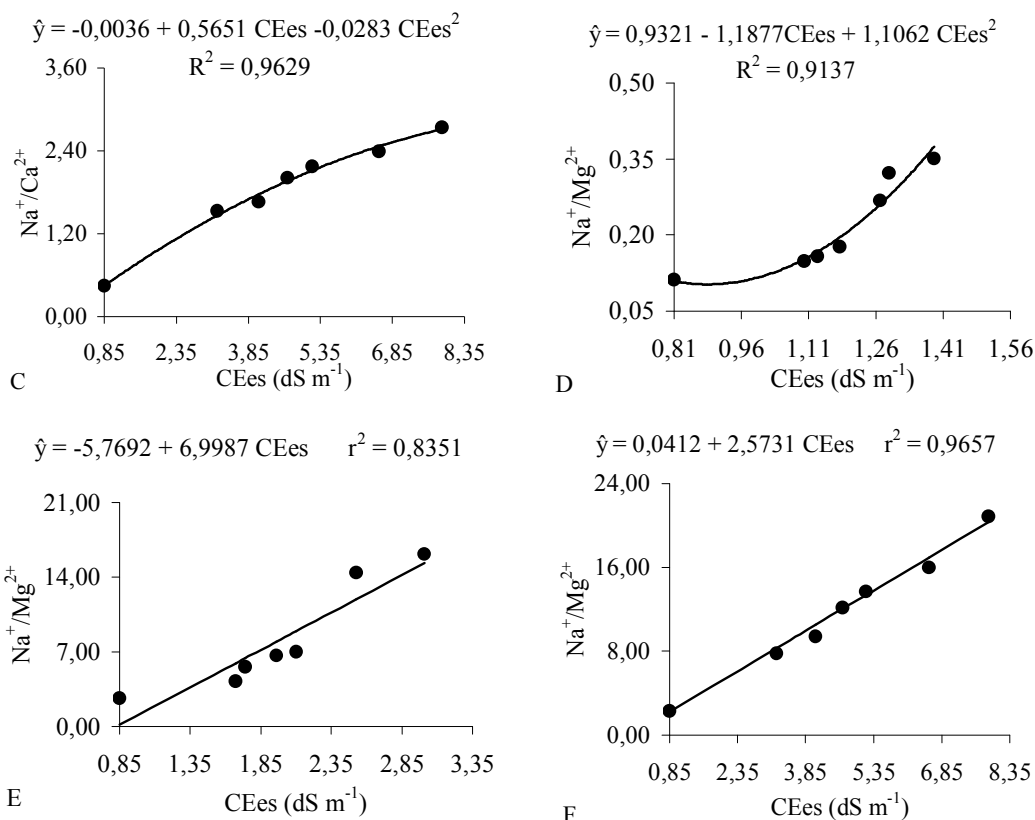


Figura 1.13 – Relação do sódio com o cálcio ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$) e magnésio ($\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$), respectivamente, nas folhas da variedade de milho UFVM 100, nas fases do período vegetativo (A) e (D), floração (B) e (E) e maturação fisiológica (C) e (F), em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

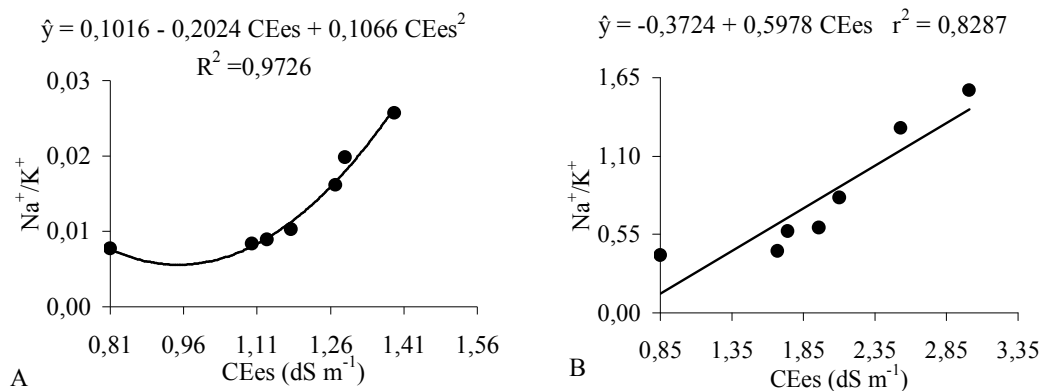
O aumento nos valores das relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$ nas folhas das plantas de milho com o incremento nos níveis de salinidade do solo indica o acréscimo na absorção de sódio, em detrimento da absorção de cálcio e magnésio. Ao contrário da fase de floração e maturação fisiológica (Figura 1.13 B, E, C e F respectivamente), as relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$ na fase do período vegetativo (Figura 1.13 A e D, respectivamente) não representou algum tipo de antagonismo entre os nutrientes ou mesmo evidenciaram alguma toxicidade relativa ao íon sódio, pois os resultados obtidos, segundo Greenway e Munns (1980), tais relações iônicas com valores abaixo de 0,60, são considerados adequados para uma ótima eficiência metabólica em plantas não halófitas.

A manutenção de baixas relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$ é considerada por Saur et al. (1995) como um importante critério na caracterização da tolerância das plantas à salinidade. Uma relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ elevada, faz com que o Na^+ desloque o Ca^{+2} da membrana celular, induzindo a perda de sua integridade resultando em desequilíbrio na absorção iônica (Marschner, 1995) e redução da seletividade de $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$ nas raízes (Azevedo Neto & Tabosa, 2000b).

A literatura evidencia que o aumento na concentração de sódio, no ambiente radicular das plantas, promove a elevação das relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$. Neste contexto, Azevedo Neto e Tabosa (2000b) verificaram o aumento das relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$ no limbo, raiz, colmo e bainha de plântulas de milho com o incremento nos níveis de NaCl, em solução nutritiva.

A relação Na^+/K^+ é um dos fatores que está intimamente relacionado ao grau de tolerância das culturas à salinidade, podendo ser utilizada como índice para toxicidade de sódio, devido ao fato de este íon inibir a atividade das enzimas que requerem potássio (Greenway & Munns, 1980).

A Figura 1.14 A a D, respectivamente, mostram que a salinidade afetou, significativamente, a relação Na^+/K^+ nas folhas da variedade de milho UFVM 100 nas fases fenológicas do período vegetativo, floração, formação da colheita e maturação fisiológica, aumentando seus valores com o incremento nos níveis de salinidade do solo.



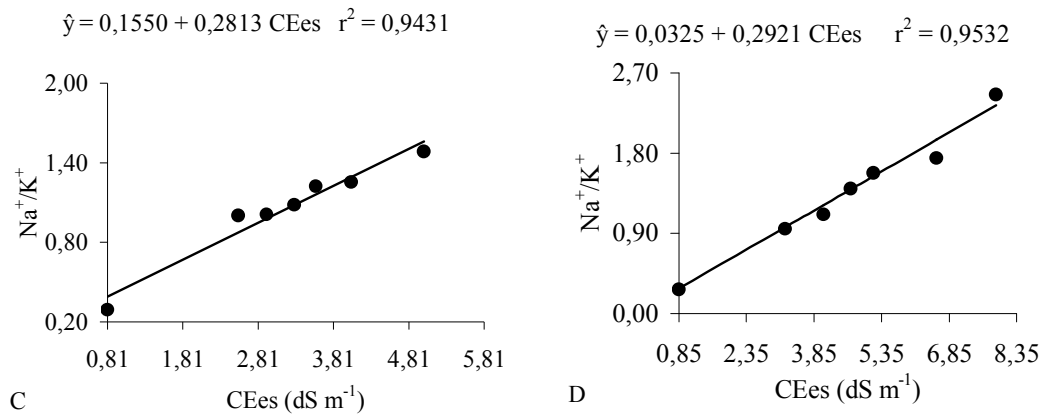


Figura 1.14 – Relação sódio potássio (Na^+/K^+) nas folhas da variedade de milho UFVM 100 nas fases fenológicas do período vegetativo (A), floração (B), formação da colheita (C) e maturação fisiológica (D) em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

Observando a relação Na^+/K^+ nas fases da floração, formação da colheita e maturação fisiológica (Figura 1.14 B, C e D, respectivamente) nota-se que seus valores crescem, linearmente, com o incremento nos níveis de salinidade do solo, evidenciando a maior absorção e translocação de sódio, em relação ao potássio com o incremento nos níveis de salinidade do solo, refletindo a sensibilidade da cultura ao estresse salino, a indução de um desequilíbrio iônico nas plantas e conseqüentemente, menor eficiência metabólica das folhas.

Exceto no período vegetativo (Figura 1.14 A), a relação Na^+/K^+ nas folhas das plantas de milho excede o valor de 0,6 considerado, por Greenway e Munns (1980), como o necessário para uma ótima eficiência metabólica em plantas não-halófitas.

É reconhecida a importância do Na^+ para as plantas de metabolismo fotossintético C_4 , sendo citado por Taiz e Zeiger (2004) como um micronutriente para elas. No entanto, tem sido observado que em altas concentrações, o Na^+ diminui a absorção do K^+ (Willandino et al., 1994).

Estudos têm indicado o efeito competitivo entre Na^+ e K^+ , assim como a seletividade por estes íons e sua relação com a sensibilidade das plantas à salinidade. Willandino et al., (1999), Azevedo Neto e Tabosa (2000b) e Azevedo Neto et al. (2004) verificaram aumento da relação Na^+/K^+ , na parte aérea de plantas de milho, com o incremento nos níveis de NaCl em solução nutritiva.

Segundo esses autores, o desequilíbrio na absorção iônica em decorrência do aumento nos valores da relação Na^+/K^+ reduziu a seletividade dos íons de K^+ nas raízes, devido à perda da integridade das membranas sob condições de salinidade.

1.3.12 Taxa fotossintética, taxa de transpiração, condutância estomática

A salinidade do solo na fase da formação da colheita afetou, significativamente, a taxa fotossintética, taxa de transpiração e condutância estomática, cujos valores decresceram com o aumento nos níveis de salinidade do solo (Tabela 11, em anexo). A Figura 1.15 (A, B e C) mostra, respectivamente, o decréscimo dos valores da taxa fotossintética, taxa de transpiração e condutância estomática com o aumento nos níveis de salinidade do solo.

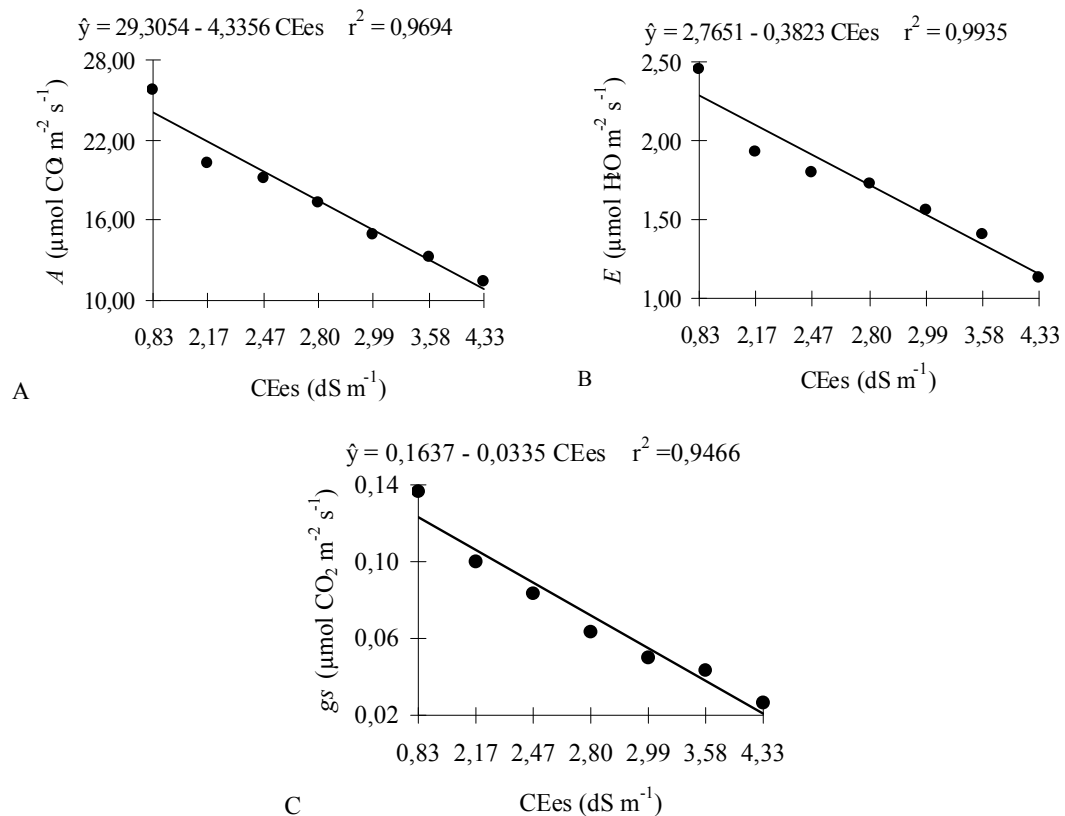


Figura 1.15 – Taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (B) e condutância estomática (C) medida nas folhas da variedade de milho UFVM 100 na fase fenológica da formação da colheita, em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

Observa-se, na Figura 1.15 A, que a taxa de fotossíntese das plantas de milho, submetidas aos níveis mais elevados de salinidade (ASFL_{5%}), diminuiu em cerca de 60% em comparação com a testemunha (AD). Esta redução da taxa fotossintética 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 devido ao efeito do sal sobre os cloroplastos (Larcher, 2000; Taiz & Zeiger 2004).

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

Observa-se que 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 1.15 C) com o aumento nos níveis de salinidade do solo, obtidos nas folhas das plantas de milho é devido ao fechamento dos estômatos, conseqüentemente reduzindo a taxa de transpiração (Figura 1.15 B).

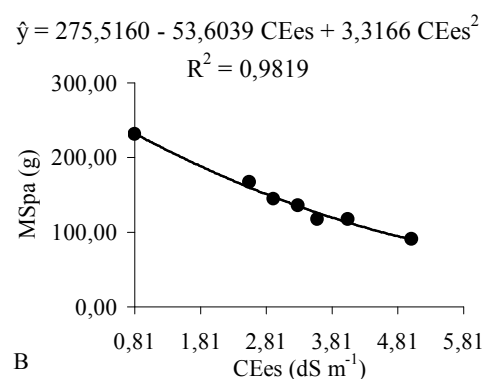
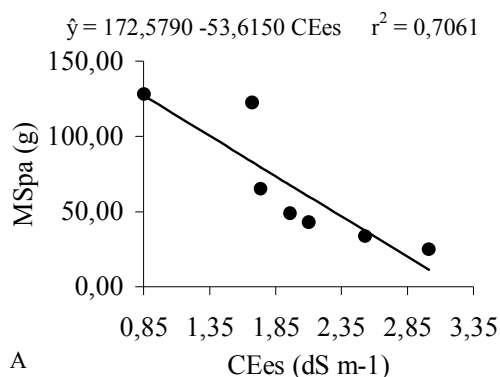
A redução da condutância estomática em plantas submetidas ao estresse salino, possivelmente está relacionada ao estresse hídrico ao qual estão sujeitas. Com o aumento da concentração de sais na solução do solo, o potencial total da água torna-se progressivamente mais baixo, pois, o componente osmótico soma-se algebricamente ao matricial e, dessa forma, a água torna-se menos disponível para as plantas que, como autodefesa, fecham seus estômatos na tentativa de manter a turgescência (Sultana et al., 1999).

Os resultados evidenciam a sensibilidade da variedade de milho UFVM 100 ao aumento nos níveis de salinidade do solo, pois, Azevedo Neto et al. (2004) verificaram 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 de plantas de milho. Esses resultados estão coerentes com aqueles observados em outros cultivares de milho, quando se detectou redução na frequência estomática, como consequência do estresse salino (Radi et al., 1989). No caso de plantas de milho, que tanto a frequência estomática quanto ao tamanho dos estômatos, em resposta ao estresse salino, apresentaram-se como características intrínsecas dos genótipos avaliados.

1.3.13 Produção de matéria seca da parte aérea e das raízes

O aumento nos níveis de salinidade do solo afetou, significativamente, a matéria seca da parte aérea (MSpa) e das raízes (MSra) da variedade de milho UFVM 100 (Tabela 12, em anexo). A Figura 1.16 (A a F), mostra uma redução nos valores da MSpa e MSra, respectivamente, na ordem de 80,82 e 81,45% na floração, 60,85 e 61,74% na formação da colheita e 62,16 e 63,83% na maturação fisiológica, retratando, assim, a diminuição no crescimento das plantas de milho com o aumento os níveis de salinidade do solo.



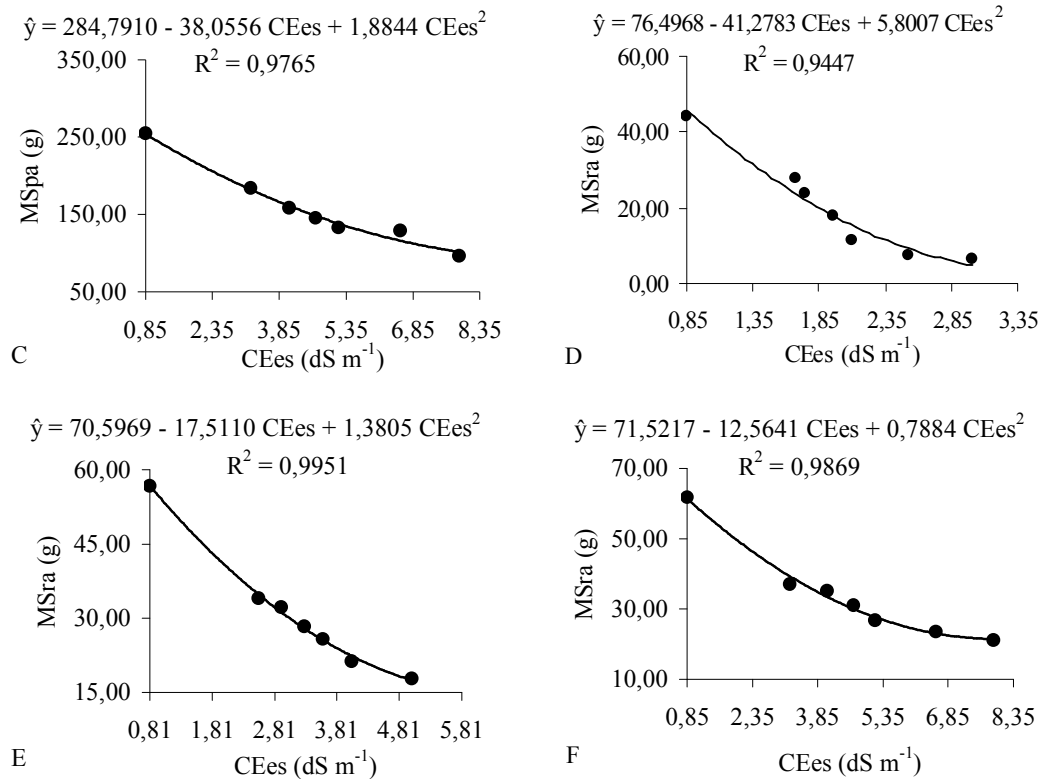


Figura 1.16 – Matéria seca da parte aérea (MSpa) da variedade de milho UFVM 100 na floração (A), formação da colheita (B) e maturação fisiológica (C) e das raízes (MSra) floração (D), formação da colheita (E) e maturação fisiológica (F), em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

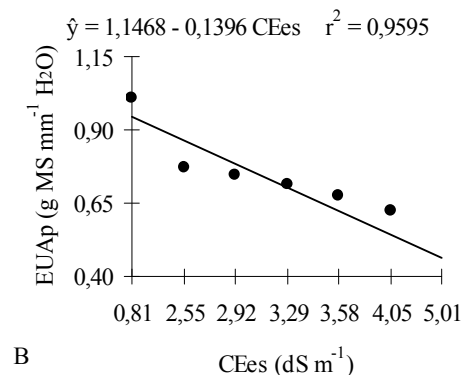
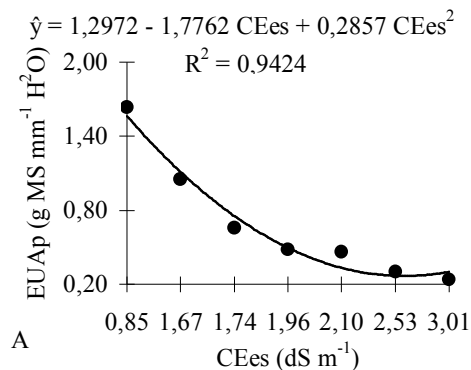
No solo, em condições normais, a quantidade de cátions adsorvidos na micela está em equilíbrio com a fração, que permanece na solução. Com o aumento da salinidade do solo, os cátions anteriormente adsorvidos (Ca^{+2} , Mg^{+2} , etc) podem ser substituídos por outros cátions, introduzidos na solução do solo, em especial o Na^+ . Esta substituição ocorre de forma linear em condições de baixa salinidade da solução do solo, reduzindo, exponencialmente, em concentrações mais elevadas. Dessa forma, a inibição do crescimento das plantas de milho ocasionada pelo estresse salino progressivo pode estar relacionada ao desvio de energia em decorrência do aumento dos níveis de salinidade do solo, portanto, a redução nos valores da MSpa e MSra pode ser o reflexo do custo metabólico de energia associada a uma tentativa de adaptação à salinidade.

O estudo do crescimento de plantas de milho sob condições de salinidade tem sido relatado por diversos autores. Em adição a este trabalho Izzo et al. (1991) verificaram que concentrações de 80 e 160 mol m⁻³ de NaCl em solução nutritiva induziram 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 (2000a) verificaram que, em dois cultivares com tolerância diferenciada à 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%.

1.3.14 Eficiência do uso de água na produtividade

A salinidade do solo afetou significativamente a eficiência do uso de água na produtividade na variedade de milho UFVM 100 nas fases da floração, formação da colheita e maturação fisiológica (Tabela 13, em anexo) e Figura 1.17 (A, B e C).



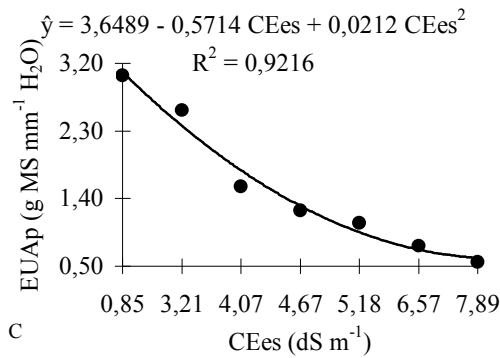


Figura 1.17 – Eficiência do uso da água na produtividade na floração (A), formação da colheita (B) e maturação fisiológica (C) das plantas da variedade de milho UFVM 100, em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

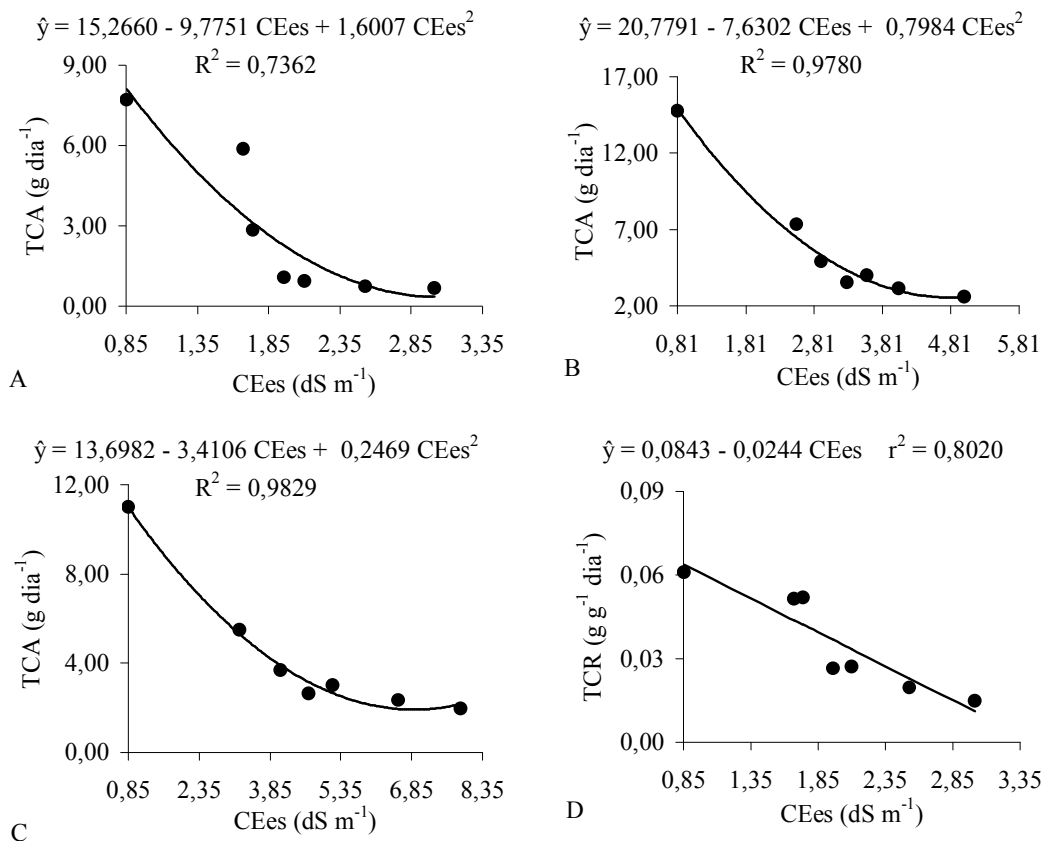
O decréscimo dos valores médios da EUAp evidenciam o gasto adicional de energia das plantas de milho, quando irrigadas com água salina usando diferentes frações de lixiviação, para absorver a água retida no solo devido ao efeito osmótico, decorrente do aumento nos níveis de salinidade.

A energia necessária para a planta absorver água da solução de um solo salino é adicional à energia requerida para absorver água da solução de um solo não salino e, dessa forma, as plantas terão de exercer 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 Westcot, 1991).

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).

1.3.15 Taxas de crescimento absoluto e relativo

Assim como ocorreu com os valores da MSpa e da MSra, a salinidade do solo afetou, significativamente, as taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) da variedade de milho UFVM 100 (Tabela 14, em anexo). A Figura 1.18 (A, B e C) mostra, respectivamente, o decréscimo nos valores médios da TCA nas fases da floração, formação da colheita e maturação fisiológica; e a Figura 1.18 D e E mostra, respectivamente, o decréscimo nos valores médios da TCR na floração e formação da colheita, retratando, assim, a diminuição na velocidade do crescimento (TCA) e do impulso do crescimento (TCR) das plantas de milho com o aumento nos níveis de salinidade do solo.



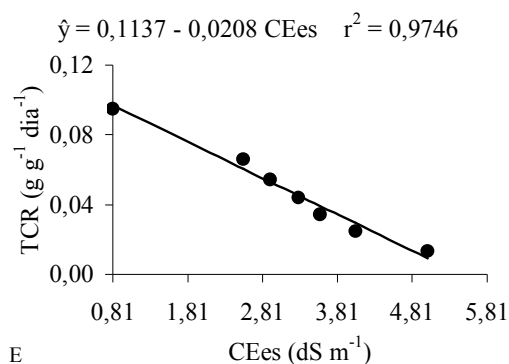


Figura 1.18 – Taxas de crescimento absoluto (TCA) na floração (A), formação da colheita (B) e maturação fisiológica (C) e relativo (TCR) na floração (D) e formação da colheita (E), em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

Comparando o tratamento mais salino com a testemunha, a TCA nos diferentes períodos de avaliação da cultura do milho, reduziu 92,20; 82,40 e 82,24% na floração, formação da colheita e maturação fisiológica, respectivamente, enquanto a TCR reduziu 83,33 e 90,00% na floração e formação da colheita, respectivamente. De acordo com Cushman (2001), à medida 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 obtidos nesse trabalho são coerentes com aqueles encontrados por Azevedo Neto e Tabosa (2000a) 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 às respectivas testemunhas, quando cultivadas em 100 mol m⁻³ de NaCl em solução nutritiva.

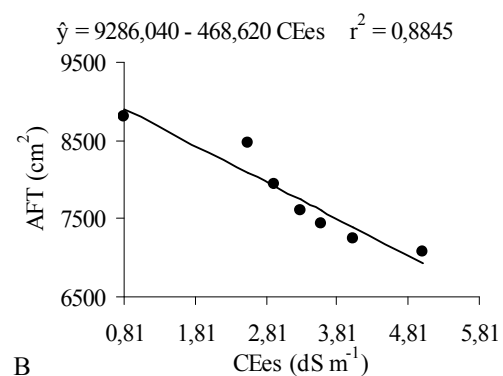
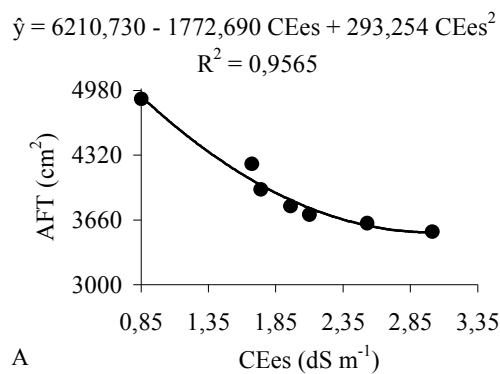
Resultados similares foram observados por Willandino et al. (1994) e Saneoka et al. (1995), ao submeterem genótipos de milho ao estresse salino, utilizando solução nutritiva com 100 mol m⁻³ de NaCl.

Estudos têm demonstrado que, sob condições de salinidade, a TCR é uma característica, fortemente, influenciada pelas concentrações de íons Na⁺ no tecido vegetal. Akita e Cabuslay (1990) reportaram este efeito em cultivares de arroz submetidos a estresses salinos de 8,0 e 15,0 dS m⁻¹ de condutividade elétrica.

Azevedo Neto et al. (1996) verificaram correlações negativas significativas entre a TCR de plântulas milho e os teores de Na^+ ($r = -0,92$) nas plantas.

1.3.16 Área foliar total, útil e morta

Durante os períodos de avaliação das plantas da variedade de milho UFVM 100, a salinidade do solo afetou, significativamente, a área foliar total (AFT) e útil (AFU) nas fases da floração, formação da colheita e maturação fisiológica, enquanto a área foliar morta (AFM) foi afetada, apenas, na floração e formação da colheita (Tabela 15, em anexo). A Figura 1.19 (A, B e C) mostra, respectivamente, o decréscimo dos valores médios da AFT na floração, formação da colheita e maturação fisiológica; a Figura 1.19 (D, E e F) mostra, respectivamente, o decréscimo dos valores médios da AFU na floração, formação da colheita e maturação fisiológica; e a Figura 1.19 (G e H) mostra, respectivamente, o acréscimo da AFM das plantas de milho nas fases da floração e formação da colheita, refletindo, assim, num menor alongamento celular e conseqüentemente, menor expansão foliar devido ao estresse hídrico em conseqüência do estresse salino.



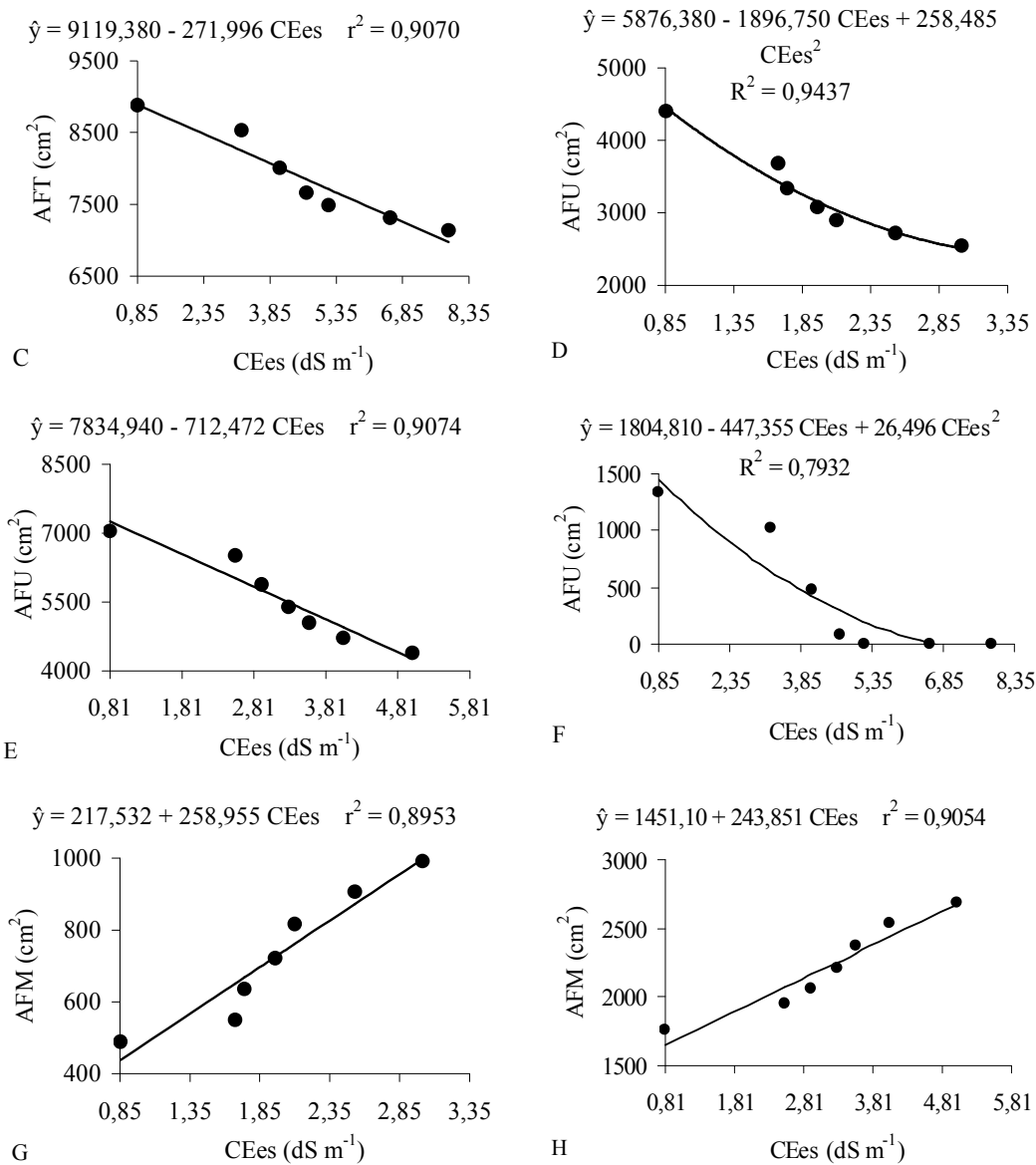


Figura 1.19 – Área foliar total (AFT) na floração (A), formação da colheita (B) e maturação fisiológica (C); área foliar útil (AFU) na floração (D), formação da colheita (E) e maturação fisiológica (F); e área foliar morta na floração (G) e formação da colheita (H) da variedade de milho UFVM 100, em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

A redução da AFT e AFU é devida ao estresse osmótico seguido do estresse hídrico, os quais são decorrentes do estresse salino, tendo como efeito imediato a diminuição no 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 significativo 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 & Zeiger, 2004).

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

1.3.17 Razão de área foliar e taxa de assimilação líquida

O aumento nos níveis de salinidade afetou, significativamente, a razão de área foliar (RAF) e a taxa de assimilação líquida (TAL) da variedade de milho UFVM 100, nas fases fenológicas da floração, formação da colheita e maturação fisiológica (Tabela 16, em anexo). A Figura 1.20 (A, B e C) mostra, respectivamente, o aumento linear nos 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 nos valores da TAL evidenciam que a salinidade afetou a taxa de fotossíntese líquida, ao longo das fases fenológicas observadas, em relação à matéria seca produzida por unidade de área foliar (Figura 1.20 D, E e F).

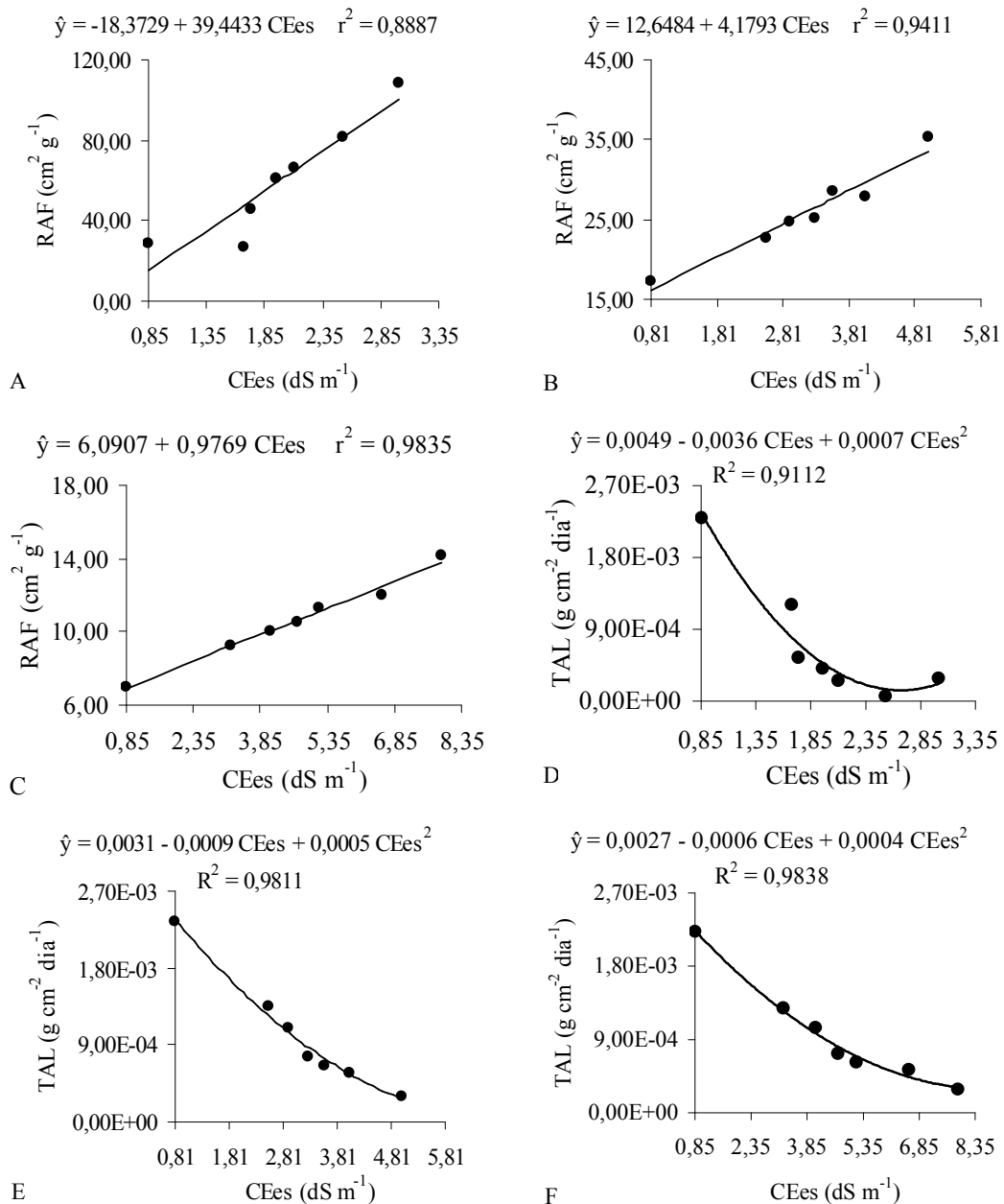


Figura 1.20 – Razão de área foliar (RAF) na floração (A), formação da colheita (B) e maturação fisiológica (C) e taxa de assimilação líquida (TAL) na floração (D), formação da colheita (E) e maturação fisiológica (F) das plantas da variedade de milho UFVM 100, em função dos níveis de salinidade do solo (CEes).

Em termos relativos, os valores obtidos na testemunha, comparados com o tratamento ASFL_{5%}, ao longo dos períodos de avaliação da cultura, mostram 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, em condições de salinidade do solo, o aumento nos valores da RAF reflete-se 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 & Tabosa, 2000a).

De acordo com Benincassa (2003), em média cerca de 90% da matéria seca acumulada pelas plantas, ao longo do seu crescimento, resultam de atividade fotossintética. Portanto, em termos relativos, nota-se que a TAL (Figura 1.20 D, E e F) decresceu 86,96%, em média, 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. Tais resultados indicam que esta característica pode constituir um indicador bastante realístico características de tolerância e sensibilidade das plantas à salinidade.

Em adição a este trabalho, Azevedo Neto e Tabosa (2000a) verificaram que plântulas de milho, 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 apresentaram alterações significativas da TAL. Segundo esses autores, aparentemente, a taxa de expansão celular foi afetada mais rapidamente que a taxa fotossintética, em condições de salinidade.

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

A salinidade média do solo afetou, significativamente, o peso de grãos por lisímetro, peso médio das espigas sem palha e de grãos por planta, cujos valores diminuíram com o aumento nos níveis de salinidade do solo (Tabela 17, em anexo). A Figura 1.21 (A, B e C) mostra, respectivamente, o decréscimo nos valores do peso de grãos por lisímetro, peso médio das espigas e de grãos por planta com o aumento nos níveis de salinidade do solo.

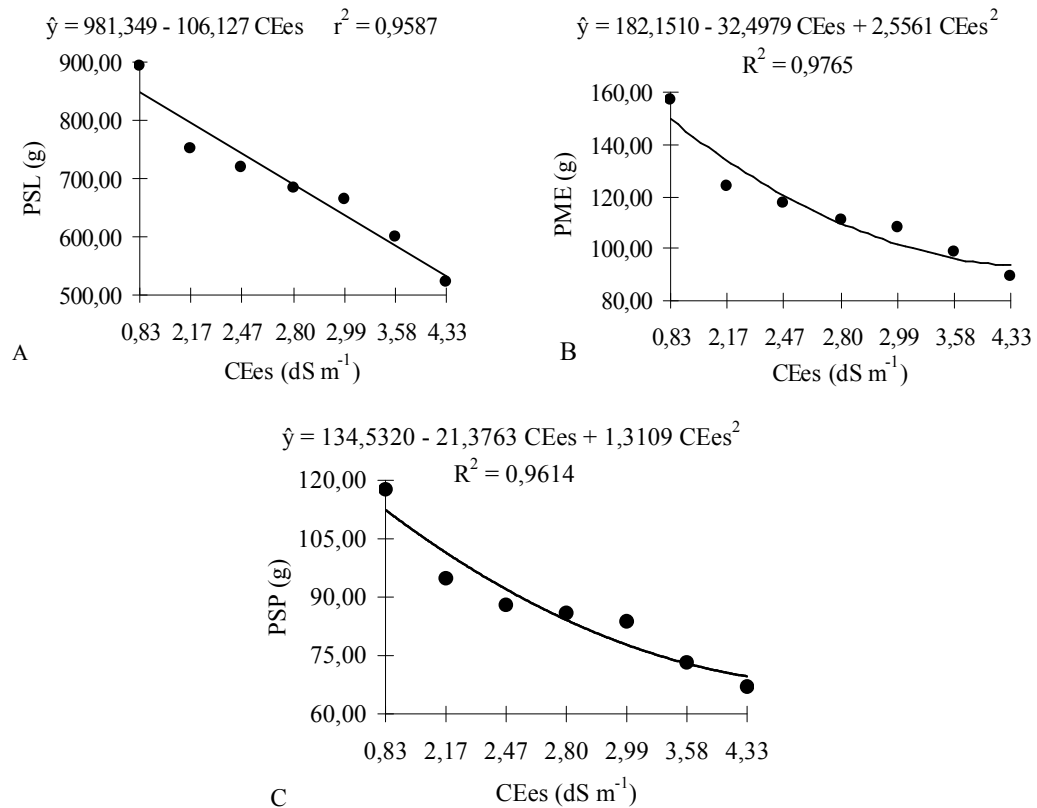


Figura 1.21 – Peso de grãos por lisímetro (A), peso médio das espigas sem palha (B) e de grãos por planta (C) da variedade de milho UFVM 100, em função dos níveis médios de salinidade do solo (CEes) ao longo do ciclo da cultura.

O decréscimo nos rendimentos dos componentes, apresentados na Figura 1.21 (A, B e C), é o resultado do efeito simultâneo dos estresses hídrico, osmótico, toxidez e nutricional imposto à cultura, durante sua estação 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, em última instância, 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 à injúria celular, causada por um estresse oxidativo na planta. Portanto, a utilização inadequada de água salina

na agricultura implica o comprometimento da produção da cultura com o estresse salino progressivo.

A redução dos componentes de rendimento da cultura do milho, em função do aumento na salinidade do solo, é relatada por diversos autores, dentre eles Willadinno et al. (1992). Esses autores 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. Semelhantemente Katerji et al. (1998), Katerji et al. (2000), Katerji et al. (2001) e Katerji et al. (2004) verificaram que a produtividade da cultura do milho foi reduzida, em função do aumento nos níveis de salinidade do solo.

1.4 CONCLUSÕES

Na variedade avaliada, o aumento nos níveis de salinidade do solo decorrentes da irrigação com água salina tem as seguintes conseqüências:

- Eleva os teores de cloro e sódio nas folhas, reduzindo os teores dos macronutrientes catiônicos (cálcio, magnésio e potássio) e aniônicos (nitrogênio, fósforo e enxofre);
- Eleva as relações Cl/N, Cl/P, Cl/S, $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$, $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$ e Na^+/K^+ nas folhas, mostrando-se como importantes características no estudo nutricional das plantas sob condições de salinidade;
- Diminui os teores de cálcio, magnésio, potássio, nitrogênio, fósforo e enxofre seguido do aumento de sódio e cloro ao longo do ciclo da cultura refletindo o desequilíbrio nutricional causado pelo estresse nutricional conseqüente ao estresse salino progressivo.
- Reduz a fotossíntese, condutância estomática, transpiração e a eficiência do uso de água na produtividade;
- Reduz a matéria seca da parte aérea e das raízes; as taxas de crescimento absoluto, relativo e de assimilação líquida, bem como a área foliar total e útil;
- Os efeitos deletérios da salinidade sobre o crescimento das plantas de milho são, efetivamente, evidentes a partir da 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 maturação fisiológica;

- Dentre as características 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 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 características que melhor expressam as características de tolerância e sensibilidade na variedade analisado;
- Reduz o peso de grãos por lisímetro, peso médio das espigas sem palha e de grãos por planta.

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

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**. New York, v.19, p.717-728, 2000.

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.; SANCHEZ-BLANCO, M.J.; BOLARIN, M.C.; TORRECILLAS, A. 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.

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.

AZEVEDO NETO, A.D.; BEZERRA NETO E.; BARRETO, L.P.; TABOSA, J.N., ANSELMO, O.C.; CAVALCANTI, P.A. Efeito do estresse salino sobre

cultivares de milho: I. Produção e alocação de fitomassa. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DA CIÊNCIA DO SOLO, 21, 1996b, Águas de Lindóia. **Resumos...** Águas de Lindóia: SBCS, 1996b. CD Rom.

AZEVEDO NETO, A.D. **Estudo do crescimento e distribuição de nutrientes em plantas de milho submetidas ao estresse salino.** Recife: UFRPE, 1997. 134 p. (Dissertação de Mestrado).

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, 2000a.

AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v.4, n.2, p.165-171, 2000b.

AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N.; ENEAS-FILHO, J.; LACERDA, C.F.; SILVA, J.V.; COSTA, P.H.C; GOMES FILHO, E.. 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.

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. **Manual de irrigação.** 7^a. ed. Viçosa: UFV, 2005, 611 p.

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

BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Salt accumulation and distribution in a greenhouse soil as affected by salinity of irrigation water and leaching management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Campina Grande, v.6, n.3, p.414-419, 2002.

BOURSIER, P.; LYNCH, J.; LÄUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Chloride partitioning in leaves of salt-stressed sorghum, maize, wheat and barley. **Australian Journal of Plant Physiology,** Melbourne, v.14, p.463-473, 1987.

CHEESEMAN, J.M. Mechanisms of salinity tolerance in plants. **Plant Physiology,** Rockville, v.87, p.547-550, 1998.

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.

COLMER, T.D.; FAN, T.W.M.; HIGASHI, R.M.; LÄUCHLI, A. Interactions of Ca^{2+} and NaCl stress on the relations and intracellular pH of Sorghum bicolor root tips: An in vivo ^{31}P -NMR study. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.45, p.1037-1044, 1994.

CRAMER, G.R.; ALBERICO, G.J.; SCHMIDT, C. Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.21, p.675-692, 1994.

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

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, 1997. 212p. EMBRAPA-CNPS. Documento, 1.

FONTES, P.C.R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: UFV. 2001, 122 p.

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

FREVERT, D.R.; HILL, R.W.; BRAATEN, B.C. estimation of FAO evapotranspiration coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage**. ASCE. v.109, p.265-270, 1983.

GOMES, E.M.; GHEYI, H.R.; SILVA, Ê.F. de F. e. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, p.355-361, 2000.

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**. Marcel Dekker: New York, p.203-226, 1994.

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.

HASANEEN, M.N.A.; EL-SAHT, H.M.; BASSYONI, F.M. 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.

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.; van HOORN, J.W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. 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., van HOORN, J.W., HAMDY, A., MASTRORILLI, M.,. Salinity and drought, a comparasion of their effects on the relationship between yield and evapotranspiration. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.36, p.45-54, 1998.

KATERJI, N., van HOORN, J.W., HAMDY, A., MASTRORILLI, M.,. 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., van HOORN, J.W., HAMDY, A., MASTRORILLI, M.,. 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.

KAWASAKI, T.; AKIBA, T.; MORITSUGU, M. Effects of high concentrations of sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants: I. Water culture experiments in a greenhouse. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.75, p.75-85, 1983.

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, 889 p.

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 de Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, 1992.

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 Res. Rehab.** v.6, p.41-52, 1992.

MUNNS, R.; TERMAAT, A. Whole plant responses to salinity. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.13, p.143-160, 1986.

PAPADOPOULOS, I., RENDIG, V.V.. Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. **Plant Soil**, New York, v.73, p.47-57, 1983.

PARIDA, 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.

RADI, A.F.; HEIKAL, M.M.; ABDEL-RAHAMAN, A.M.; EL-DEEP, B.A.A. 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.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **Como a planta de milho se desenvolve**. POTAFOS: Informações agronômicas nº 103, 2003.

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.

RUIZ, H.A.; SAMPAIO, R.A.; OLIVEIRA, M.; VENEGAS, V.H.A. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.39, n.11, p.1119-1126, 2004.

SAMPAIO, R.A.; RUIZ, H.A. Características das soluções drenadas na recuperação de solos salino-sódicos com lixiviações parceladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, p.13-20, 1996.

SANEOKA, H.; NAGASAKA, C.; HAHN, D.T.; YANG, W.J.; PREMACHANDRA, G.S.; JOLY, R.J.; RHODES, D. Salt tolerance of glycinebetaine-deficient and-containing maize lines. **Plant Physiology**, Rockville, v.107, p.631-638, 1995.

SANTOS, D.B. **Efeitos da salinidade sobre características químicas do solo, aspectos nutricionais, fisiológicos e de produção no feijoeiro irrigado**. 2005. 78 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SAUR, E.; LAMBROT, C.; LOUSTAU, D.; ROTIVAL, N.; TRICHET, P. Growth and uptake of mineral elements in response to sodium chloride of three provenances of maritime pine. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, n.2, p.243-256, 1995.

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.

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. 2004. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed., Porto Alegre: Artmed. 719p.

TEDESCHI, A.; DELL'AQUILA, R. Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.77, p.308-322, 2005.

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.

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**. Amsterdam, v.51, p.87-98, 2001.

WILLADINO, L.; CAMARA, T.R.; ANDRADE, A.G.; TABOSA, J.N. Tolerancia de cultivares de maiz a la salinidad en diferentes fases de desarrollo. In: SIMPOSIO NACIONAL SOBRE NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS, 4., Alicante, 1992. **Anais**. Alicant: Universidad de Alicante, p.487-494, 1992.

WILLADINO, L.; CAMARA, T.R.; SANTOS, M.A.; TORNE, J.M. 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.; MARTINS, M.H.B.;CAMARA, T.R.; ANDRADE, G.; ALVES,G.D. resposta de genótipos de milho ao estresse salino em condições hidropônicas. **Sciencia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.1209-1213, 1999.

CAPÍTULO 2 – ALTERAÇÕES QUÍMICAS DE UM ARGISSOLO IRRIGADO COM ÁGUA SALINA

2.1 INTRODUÇÃO

A escolha do método de irrigação a ser implantado na área cultivada deve ser baseado na viabilidade técnica e econômica do projeto, benefícios sociais, tipo de solo, quantidade, qualidade e o custo da água (Bernardo et al., 2005).

Em irrigação, a utilização de águas com elevadas concentrações de sais deve ser seguida de práticas, que impeçam a acumulação excessiva de sais no solo, em níveis prejudiciais ao desenvolvimento das culturas. A lixiviação, passagem de água através do perfil do solo é uma alternativa prática e eficiente para reduzir o excesso de sais solúveis nos solos, a uma taxa que permite manter a salinidade média na zona radicular em valores toleráveis às culturas (Rhoades et al., 1999).

A concentração elevada de sais no solo é um fator de estresse para as plantas, pois, acarreta um gradiente osmótico retendo água além de promover a ação dos íons no protoplasma. Um estresse salino progressivo acarreta a inibição dos mecanismos de crescimento das plantas, afetando o desenvolvimento da gema apical e atrofiando os ramos, bem como as folhas apresentam-se com menor área e amareladas e grandes porções da parte aérea dessecam totalmente (Marschner, 1995).

Dessa forma, concentrações elevadas de sais na água de irrigação pode ser um fator determinante na produtividade e na produção das culturas. Sua ação pode estender-se desde uma simples diminuição no potencial hídrico do solo até uma injúria celular, causada por um estresse oxidativo na planta. Portanto, o aproveitamento de água salina para o uso agrícola implica compatibilizar a produção da cultura com um estresse salino progressivo. O estresse salino, induzido por manejo, é um fator progressivo de distúrbios fisiológicos nas plantas, em última instância, afeta a produção. As possibilidades de atenuação das perdas na agricultura, decorrentes desses estresses são uma dessalinização do solo via lixiviação e emprego de culturas consideradas como resistentes ao sal.

O presente trabalho objetivou avaliar o efeito da irrigação com água salina acrescida de seis frações de lixiviação sobre as características químicas de um Argissolo Vermelho Eutrófico, cultivado com a variedade de milho UFVM 100 em lisímetros de drenagem, dentro de casa de vegetação.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

As características da área experimental, solo utilizado, água de irrigação, tratamentos, delineamento experimental e a condução do experimento são descritas no Capítulo 1.

O estudo das alterações das características químicas do solo decorrentes da irrigação com água salina, acrescida de diferentes frações de lixiviação foi feito após a colheita das plantas de milho, período em que se encerraram as irrigações. Para tal, foram retiradas amostras simples de solo, com o auxílio de um trado tipo holandês, em cada lisímetro nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Com as amostras simples de cada lisímetro foram feitas amostras compostas representando o perfil do solo em cada lisímetro, que, após identificadas foram encaminhadas ao laboratório de análise de solos para a determinação das análises de rotina e matéria orgânica, segundo a metodologia da Embrapa (1997). Foram determinadas, também a razão de adsorção de sódio (RAS) e a condutividade elétrica do extrato da pasta do solo saturado.

A RAS ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)^{1/2} foi determinada pela relação:

$$\text{RAS} = \sqrt{\frac{\text{Na}^+}{\frac{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}{2}}} \quad (2.1)$$

em que as concentrações dos íons de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} são em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$.

O monitoramento da salinidade do solo é descrito no Capítulo 1 deste trabalho.

A análise estatística dos dados foi feita por meio da análise de regressão das características, avaliadas em função das frações de lixiviação e pelo contraste entre médias das características avaliadas, obtidas nos tratamentos irrigados com água doce e água salina.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Salinidade do solo

Os resultados e discussão sobre a salinidade do solo são descritos no Capítulo 1.

2.3.2 Alterações das características químicas decorrentes da aplicação de água salina

A aplicação de água salina afetou, significativamente (Tabelas 18 a 32, em anexo) as características: pH, sódio, cálcio, magnésio, soma de bases, CTC efetiva, CTC total, porcentagem de sódio trocável, matéria orgânica e razão de adsorção de sódio (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Contrastes de médias das características do solo entre a água doce e a água salina, determinados no Argissolo Vermelho Escuro Eutrófico, após o período de cultivo da variedade de milho UFVM 100 em lisímetros de drenagem

Característica	Água doce	Água salina	
pH	5,33 ± 0,09	4,98 ± 0,04	**
Fósforo (mg dm ⁻³)	4,73 ± 0,54	4,34 ± 0,26	ns
Potássio (mg dm ⁻³)	90,67 ± 3,50	90,33 ± 3,62	ns
Sódio (mg dm ⁻³)	2,17 ± 0,03	270,78 ± 10,04	**
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	3,33 ± 0,03	4,34 ± 0,07	**
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	1,23 ± 0,03	0,54 ± 0,02	**
Acidez potencial (H + Al) (cmol _c dm ⁻³)	1,76 ± 0,22	1,79 ± 0,04	ns
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	5,48 ± 0,05	6,29 ± 0,12	*
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	5,49 ± 0,05	6,30 ± 0,12	*
CTC total (cmol _c dm ⁻³)	7,25 ± 0,26	7,93 ± 0,19	°
Saturação por bases (%)	75,67 ± 2,18	77,83 ± 0,53	ns
Porcentagem de sódio trocável (%)	10,34 ± 0,17	18,59 ± 0,41	**

Tabela 2.1 - Continuação

Matéria orgânica (dag kg ⁻¹)	1,29 ± 0,07	1,67 ± 0,06	*
Fósforo remanescente (mg L ⁻¹)	19,90 ± 0,29	19,42 ± 0,25	ns
Razão de adsorção de sódio (cmol _c dm ⁻³) ^{0,5}	6E ⁻³ ± 1E ⁻⁴	0,754 ± 0,0288	**

ns – não significativo; **, * e ° significativo a 1, 5 e 10%, respectivamente

Em geral, a aplicação de água salina aumentou a disponibilidade de sódio e cálcio, bem como os valores da soma de bases, CTC efetiva, CTC total, porcentagem de sódio trocável, razão de adsorção de sódio e o teor de matéria orgânica. Por outro lado, os valores médios do pH e a disponibilidade de magnésio diminuíram, enquanto a disponibilidade de fósforo e potássio, os valores de H + Al, saturação por bases e fósforo remanescente não foram afetados.

Segundo Brady (1989), o decréscimo nos valores do pH do solo, com a aplicação de água salina, pode ser atribuído à adição de CaCl₂ ao solo via água de irrigação, resultando, assim, um aumento na concentração dos íons de H⁺ na solução do solo.

O aumento nos valores da soma de bases, CTC efetiva e CTC total com a aplicação da água salina é devido, em parte, ao aumento na disponibilidade de cálcio, pois, a água salina (Tabela 1.2) possuía elevado teor deste elemento em sua composição. Do mesmo modo, o aumento nos valores da porcentagem de sódio trocável e razão de adsorção de sódio é, também, devido ao aumento da disponibilidade de sódio, pelas mesmas razões.

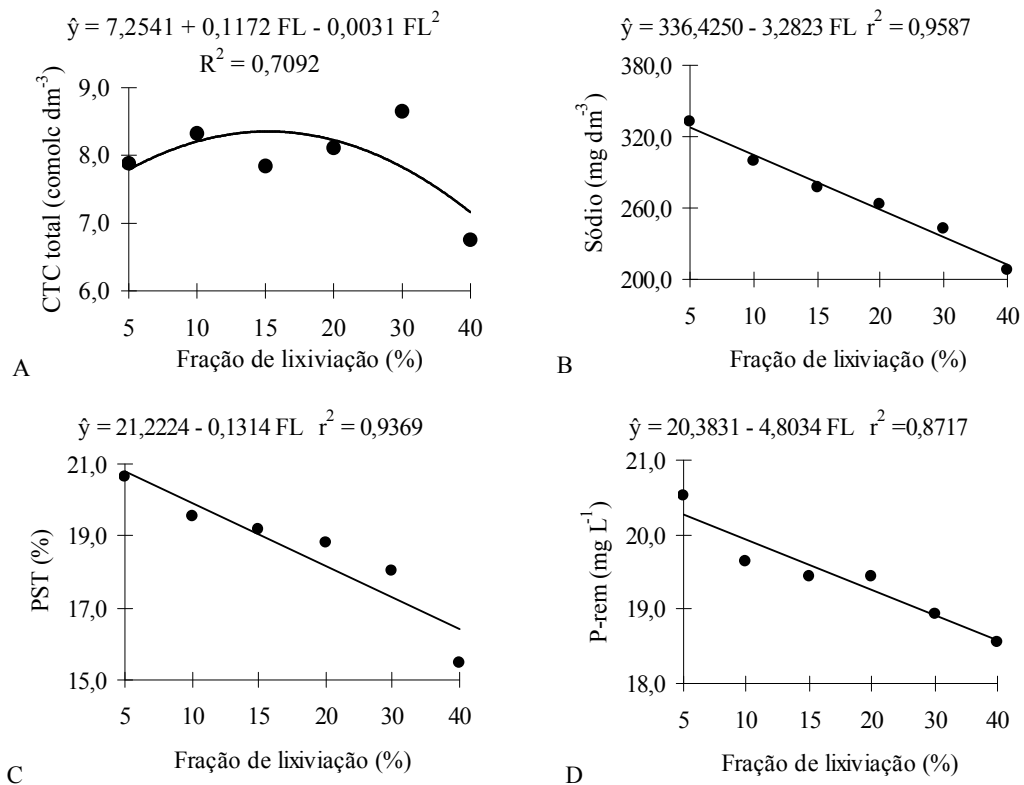
O aumento no teor de matéria orgânica no solo irrigado com água salina pode estar associado à atividade microbiana na mineralização da matéria orgânica, pois, em ambientes salinos, o excesso de sódio reduz ou mesmo paralisa a atividade microbiana, diminuindo, assim, a taxa de mineralização (Medeiros & Gheyi, 1997).

A redução na disponibilidade de magnésio, nos solos dos lisímetros irrigados com água salina, pode ser explicada em função do aumento na disponibilidade de cálcio, pois, ambos possuem a mesma valência, porém, o raio hidratado do cálcio é menor, o que proporciona uma maior energia de adsorção às micelas deslocando, assim, os íons de magnésio dos sítios de adsorção.

2.3.3 Comportamento das características químicas do solo decorrente das frações de lixiviação com água salina

As frações de lixiviação aplicadas às irrigações com água salina afetaram, significativamente, as características: sódio, CTC total, porcentagem de sódio trocável, fósforo remanescente e razão de adsorção de sódio. Por outro lado, não foram afetadas as características: pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, H + Al, soma de bases, CTC efetiva, saturação por bases e matéria orgânica (Tabelas 18 a 32, em anexo).

A Figura 2.1 (A até E) mostra, respectivamente, a relação quadrática da característica CTC total e o decréscimo linear na disponibilidade de sódio, dos valores de porcentagem de sódio trocável, fósforo remanescente e razão de adsorção de sódio com o aumento nas frações de lixiviação. A Figura 2.2 (A até F) mostra, respectivamente, o comportamento destas características em função do aumento das frações de lixiviação aplicadas.



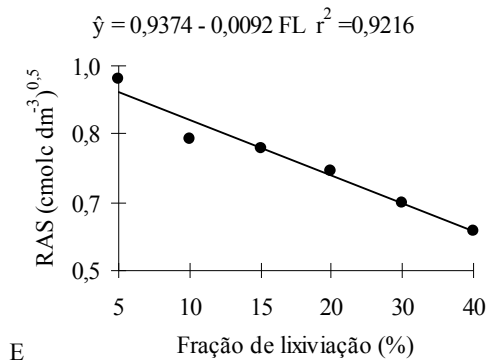
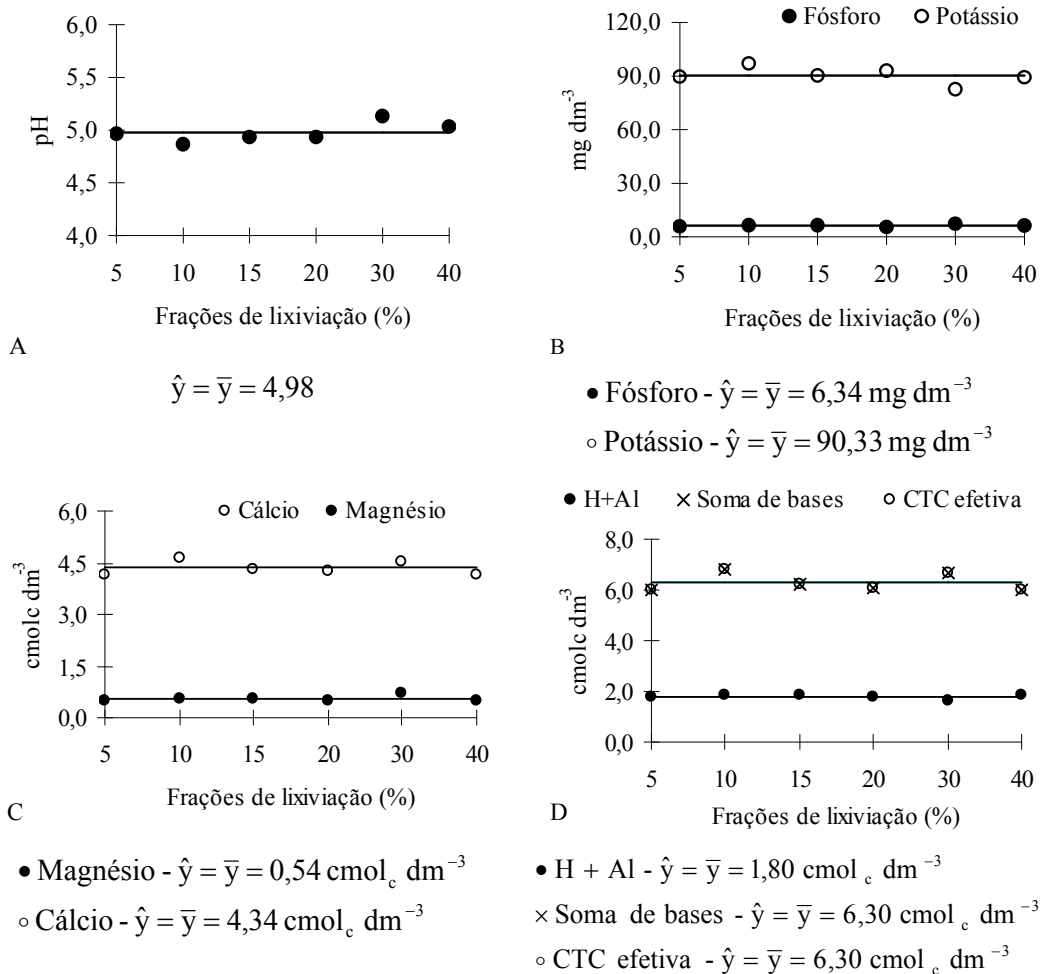


Figura 2.1 – Comportamento do sódio (A), CTC total (B), porcentagem de sódio trocável (C), fósforo remanescente (D) e razão de adsorção de sódio (E) em função das frações de lixiviação com água salina determinados no Argissolo Vermelho Escuro Eutrófico durante o período de cultivo, em lisímetros de drenagem, da variedade de milho UFVM 100.



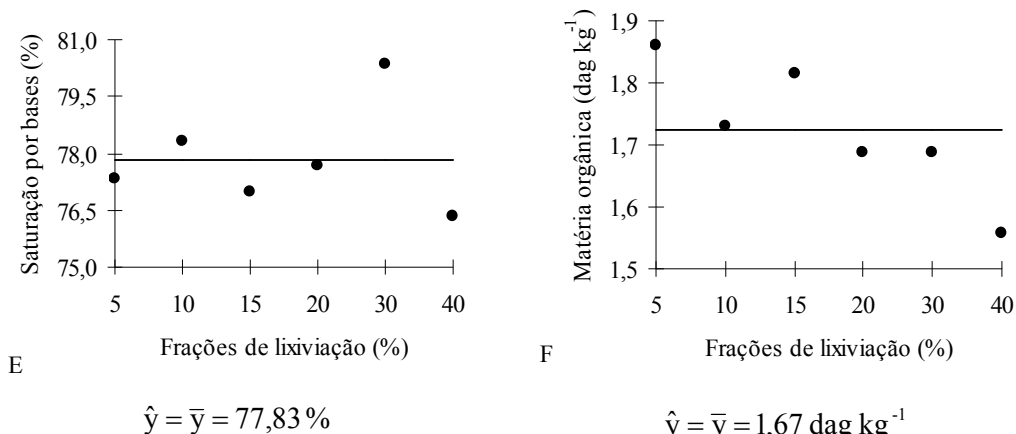


Figura 2.2 - Comportamento do pH (A); fósforo e potássio (B); cálcio e magnésio (C); H + Al, soma de bases e CTC efetiva (D); saturação por bases (E) e matéria orgânica (F) em função das frações de lixiviação com água salina, determinados no Argissolo Vermelho Escuro Eutrófico, durante o período de cultivo, em lisímetros de drenagem, da variedade de milho UFVM 100.

Os valores de CTC total aumentaram com o aumento nas frações de lixiviação até próximo a 20%, a partir do qual seus valores diminuem. Do mesmo modo, a diminuição na disponibilidade de sódio, nos valores de porcentagem de sódio trocável e razão de adsorção de sódio e devido à lixiviação das bases trocáveis, em função do aumento nas frações de lixiviação. Por outro lado, a diminuição dos valores de fósforo remanescente com o aumento das frações de lixiviação está associada às mesmas considerações feitas para o aumento na disponibilidade de fósforo e nos valores de fósforo remanescente (Tabela 4.1) feitas anteriormente.

2.4 CONCLUSÕES

- A aplicação de água salina em comparação a aplicação de água doce, aumentou a disponibilidade de sódio e cálcio, bem como os valores da soma de bases, CTC efetiva, CTC total, porcentagem de sódio trocável, razão de adsorção de sódio e o teor de matéria orgânica, seguindo-se a diminuição nos valores médios do pH e da disponibilidade de magnésio; e,

- O aumento nas frações de lixiviação diminuiu a disponibilidade de sódio, os valores de porcentagem de sódio trocável, fósforo remanescente, razão de adsorção de sódio e CTC total, a partir de 20%.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7ª. ed. Viçosa: UFV, 2005, 611p.

BRADY, N.C. **Natureza das propriedades dos solos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989, 215p.

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, 1997.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2. ed. New York: Academy, 1995, 889 p.

MEDEIROS, J.F.; GHEYI, R.H. Manejo do sistema solo-água-planta em solos afetados por sais. In: Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. In: GHEYI, R.H.; QUEIROZ, MENDEIROS, J.F. **simpósio “manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada”**. Campina Grande: UFPB, 1997.

RHOADES, J.D.; CHANDUVI, F. LESCH, S. **Soil salinity assessment : Méthods and interpretation of electrical conductivity measurements**. Rome: FAO, 1999.

CAPÍTULO 3 - TOLERÂNCIA E PRODUÇÃO RELATIVA DA CULTURA DO MILHO À SALINIDADE AVALIADA POR MEIO DE TRES METODOLOGIAS

3.1 INTRODUÇÃO

O estresse salino representa um dos mais sérios fatores, que limitam o crescimento e a produção das culturas, induzindo modificações morfológicas, estruturais e metabólicas nas plantas superiores. Sendo considerado uma espécie moderadamente tolerante à salinidade, o milho sofre, redução progressiva do crescimento, com o aumento na concentração de sais no meio radicular (Izzo et al., 1991).

Diversas metodologias para classificar a tolerância das culturas à salinidade têm sido apresentadas. Maas e Hoffman (1977) e posteriormente Maas (1984) propuseram a classificação de diversas culturas quanto à tolerância relativa em decorrência da salinidade do solo e da água de irrigação, obtidas sob condições experimentais. Segundo os autores, os valores apresentados devem ser considerados como tolerância relativa entre os diversos grupos de culturas. Por outro lado, os valores correspondentes à tolerância absoluta dependerão das condições climáticas, do solo e práticas culturais adotadas no cultivo.

Stewart et al. (1977) propuseram uma metodologia, que relaciona o decréscimo na produção relativa das culturas com o déficit relativo de evapotranspiração, descrito pela seguinte equação:

$$1 - \frac{Y_0}{Y_m} = k_y \times \left(1 - \frac{ET_0}{ET_m} \right) \quad (3.1)$$

em que: Y_0 é a produtividade atual obtida; Y_m a produtividade máxima da cultura; ET_0 a evapotranspiração atual; ET_m a evapotranspiração máxima da cultura, e; k_y o rendimento em resposta a um coeficiente de sensibilidade à salinidade determinado em condições experimentais no campo.

Doorenbos e Kassam (1979) determinaram o coeficiente de sensibilidade à salinidade para 26 culturas, tomando por base o modelo apresentado por Stewart

et al. (1977), as quais foram classificadas como sendo tolerantes e sensíveis à salinidade.

Embora amplamente utilizada, esta classificação, tem sido criticada em razão do coeficiente de sensibilidade apresentar, para uma mesma cultura, uma grande dispersão, tornando-o sensível, principalmente, às condições climáticas. Stegman (1985) afirma que, para a cultura do milho, o valor desse coeficiente variou de 1,25 a 1,67, em função do decréscimo na umidade relativa do ar. Outra crítica ao coeficiente de sensibilidade à salinidade é feita por Katerji et al., (2000) e relaciona-se à sua dependência em relação ao índice de área foliar. Segundo os autores, os valores do decréscimo relativo da evapotranspiração e o decréscimo na produtividade, em resposta ao déficit hídrico, são maiores em plantas com um maior índice de área foliar. Nota-se que, na Equação 01, não é levado em consideração o índice de área foliar, o que pode conduzir a erros na classificação das culturas.

Recentemente, Katerji et al. (2000) propuseram uma metodologia baseada na hipótese de que a tolerância da cultura à salinidade decorre da disponibilidade de água e que o decréscimo na produtividade é considerando um resultado do déficit de água imposto à cultura durante a estação de crescimento. A relação entre o decréscimo na produção relativa e o déficit de água imposto a cultura é expressa por:

$$1 - \frac{Y_0}{Y_m} = a + b \times \text{WSDI} \quad (3.2)$$

$$\text{WSDI} = \frac{\sum_1^n (\Psi_c - \Psi_s)}{n} \quad (3.3)$$

em que: WSDI é o índice diário de estresse hídrico (bar); Ψ_c o valor do potencial hídrico (MPa) diário na folha correspondente ao tratamento controle, determinado antes do amanhecer, medido desde o início do crescimento até a senescência; Ψ_s o valor do potencial hídrico na folha, correspondente ao tratamento salino utilizado; n o número de dias entre o início do crescimento da folha até a sua senescência; b o porcentagem da perda de rendimento da cultura por aumento unitário no valor do WSDI, e; a o fator de conversão, próximo de 100, devido ao fato de os valores de Ψ serem negativos e os de WSDI serem positivos.

Os autores consideram que o índice diário de estresse hídrico é, suficientemente, eficaz para caracterizar a sensibilidade das culturas quanto à tolerância à salinidade e que, em centros de pesquisa bem equipados, esta determinação é indicada, por que a medição simultânea do potencial hídrico na folha antemanhã, nos tratamentos com diferentes salinidades e naquele não salino, elimina os efeitos das condições meteorológicas, as quais afetam características, como a condutância estomática e temperatura foliar. Dessa forma, o cálculo do WSDI depende, somente, da salinidade do solo, excluindo as dependências da demanda evapotranspirométrica e do regime de irrigação.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção relativa e a tolerância à salinidade de uma variedade de milho UFVM 100, por meio de três metodologias de classificação.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

As características da área experimental, solo utilizado, água de irrigação, tratamentos, delineamento experimental e condução do experimento são descritos no Capítulo 1.

O coeficiente de sensibilidade à salinidade foi determinado, empregando-se a Equação 3.1, conforme a metodologia proposta por Stewart et al. (1977).

O decréscimo na produção relativa da cultura do milho em função da salinidade do solo foi feito empregando-se a metodologia “Response Linear Platô” – LPR, proposta por Maas e Hoffman (1977).

Os valores do índice diário de estresse hídrico (WSDI) foram determinados por meio da Equação 3.3 e o decréscimo na produção relativa da cultura do milho em função dos valores do WSDI foi feito empregando-se a equação 3.2, conforme metodologia proposta por Katerji et al. (2000). O potencial de água na folha antemanhã foi determinado na terceira folha de uma planta de cada unidade experimental, por meio de uma câmara de pressão (Scholander et al., 1965) sendo realizadas duas medições, antes e depois de cada irrigação.

O monitoramento da salinidade do solo e o procedimento da análise estatística dos dados são descritos no Capítulo 1.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Salinidade do solo

Os resultados e a discussão sobre a salinidade do solo são apresentados no Capítulo 1.

3.3.2 Coeficientes de sensibilidade à salinidade da variedade de milho UFVM 100

A salinidade média do solo ao longo do ciclo da cultura afetou significativamente, os valores médios do consumo de água das plantas de milho (Tabela 33 em anexo) diminuindo, linearmente, seus valores com o aumento na salinidade do solo (Figura 3.1)

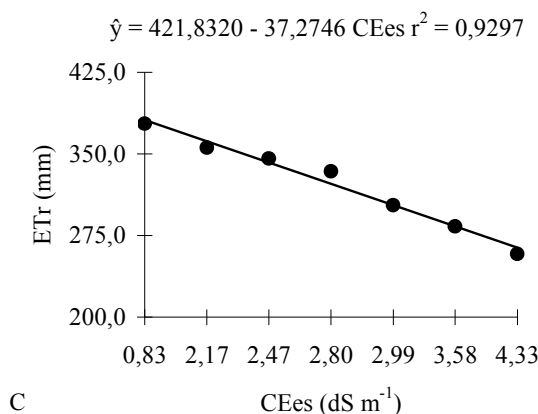


Figura 3.1 – Evapotranspiração real (ETr) durante o ciclo das plantas de milho em função dos níveis médios de salinidade do solo (CEes) ao longo do ciclo da cultura.

Analisando o valor de k_y , ao longo do ciclo da cultura (Figura 3.2), observa-se redução no rendimento relativo do cultivar UFVM 100 com o

incremento da evapotranspiração relativa, refletindo o efeito negativo do aumento nos níveis de salinidade da solução do solo e diminuindo os valores do potencial total de água, devido ao efeito do componente osmótico, tornando a água menos disponível às plantas.

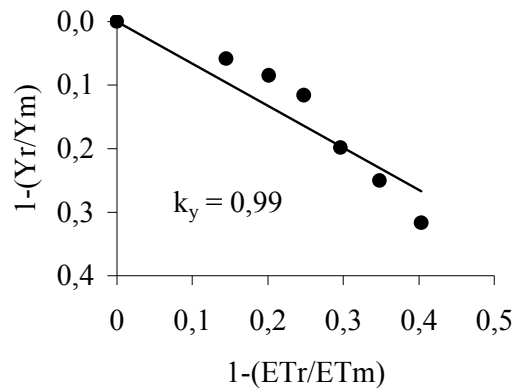


Figura 3.2 - Fator de sensibilidade (k_y) à salinidade e produção relativa em função da evapotranspiração relativa da variedade de milho UFVM 100 cultivada em lisímetros de drenagem.

Comparando os resultados obtidos com aqueles citados por Doorenbos e Kassam (1979) e Katerji et al. (2000) para condições de déficit hídrico e de salinidade do solo, os mesmos apresentaram diferenças apreciáveis, uma vez que esses pesquisadores as obtiveram para o ciclo da cultura do milho, respectivamente, $k_y = 1,25$ e $1,10$. Segundo os autores, por esta metodologia, a cultura do milho é classificada como sendo moderadamente tolerante ao déficit hídrico e a salinidade, em razão de os valores de k_y estarem entre $0,95$ a $1,50$. O mesmo pode-se dizer quanto à variedade de milho UFVM 100.

A diferença nos valores de k_y encontrada pode ter sido influenciada pelas condições ambientais, pela adaptação da cultura a esse ambiente e, também, porque, segundo Doorenbos e Kassam (1979), uma avaliação dos dados experimentais de campo indica certa dispersão nos valores de k_y , que se deve à imperfeição experimental e às variações de clima, nível de evapotranspiração e solo. Além do mais, deve-se ressaltar, conforme os próprios autores citados, que não se dispõe de valores como padrão de referência para comparação; supõe-se,

apenas, que a confiabilidade dos valores de k_y é semelhante à procedente da análise dos resultados experimentais de campo.

3.3.3 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 3.3) verifica-se que a salinidade limiar do cultivar de milho UFVM-100 foi $1,20 \text{ dS m}^{-1}$.

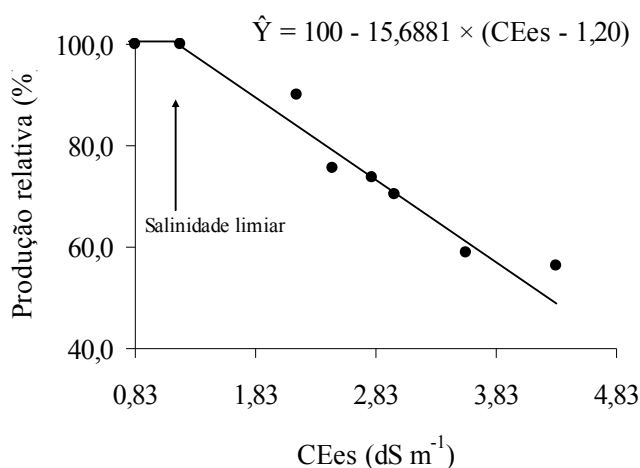


Figura 3.3 – Produção relativa da variedade de milho UFVM-100 em função do aumento dos níveis de salinidade do solo (CEes).

Na Figura 3.3, observou-se que o incremento unitário da CEes acima da salinidade limiar, determinada para a variedade UFVM-100, reduz em 15,68% a sua produção relativa acima da salinidade limiar de $1,20 \text{ dS m}^{-1}$. Ayers e Westcot (1991) encontraram, para a cultura do milho, uma perda de rendimento de 12,05% por aumento unitário acima da salinidade limiar de $1,70 \text{ dS m}^{-1}$. De acordo com esta metodologia, a variedade de milho UFVM 100 é classificada como sensível à salinidade; por outro lado Ayers e Westcot (1991) classificam a mesma cultura como sendo moderadamente tolerante. Esses resultados evidenciam que a resposta da cultura à salinidade varia, consideravelmente, devido às condições ambientais e ao próprio cultivar.

3.3.4 Produção relativa das plantas de milho em função do WDSI

A Figura 3.4 mostra que os valores de potencial de água nas folhas de milho antemanhã reduziram com as frações de lixiviação retratando, assim, menor disponibilidade de água no solo para as menores frações de lixiviação.

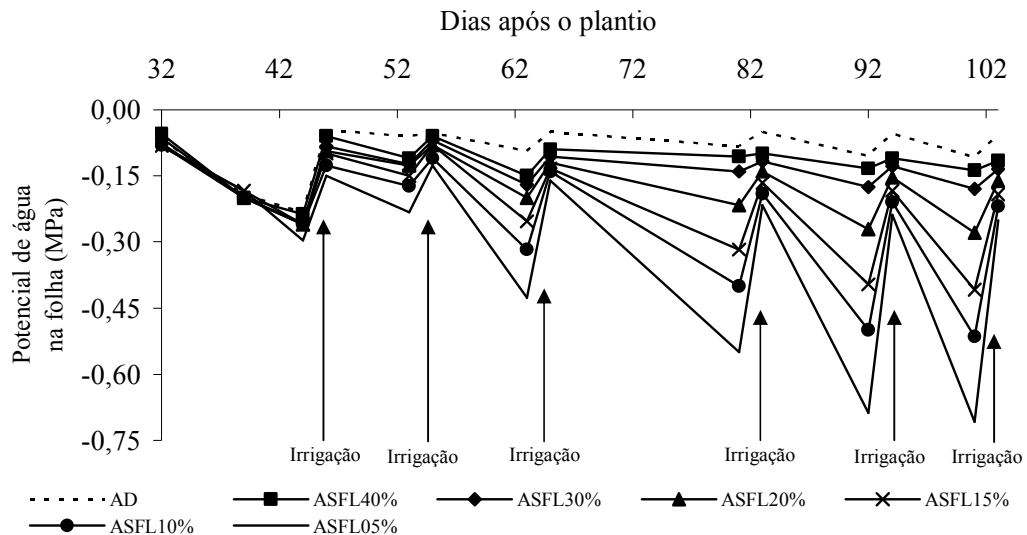


Figura 3.4 – Potencial de água na folha antemanhã nas plantas de milho determinados durante o ciclo fenológico da cultura.

Na Figura 3.4, mostra-se a variação no potencial de água nas folhas de milho, antes e após as irrigações com água doce (sem lixiviação) e salina ($1,2 \text{ dS m}^{-1}$) com frações de lixiviação de 5, 10, 15, 20, 30 e 40% da água de irrigação. Comparando os resultados apresentados na Figura 3.4 com os perfis de salinidade apresentados na Figura 1.3, observa-se que, embora a condutividade elétrica da solução do solo para fração de lixiviação de 20% tenha aumentado de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ (aos 30 dias) para $7,5 \text{ dS m}^{-1}$ (aos 120 dias), o potencial de água na folha do milho aos 120 dias, antes da irrigação, apresenta variação relativamente pequena de $\approx -0,06$ para $-0,30 \text{ MPa}$, exigindo um ajuste osmótico relativamente baixo.

Por outro lado, para a fração de lixiviação de 5%, quando a variação da condutividade elétrica foi de $\approx -1,5$ a $-15,0 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 1.3 A), a variação no potencial da água na folha do milho foi de $\approx -0,06$ a $-0,70 \text{ MPa}$, requerendo

ajuste osmótico alto por parte da cultura. Evidentemente, isto implica em dispêndio elevado de energia por parte da planta para manter, mesmo que em nível crítico, a turgescência e na conseqüente redução de produtividade. Na Figura 3.4, mostra-se, ainda, a enorme diminuição no potencial da água na folha a partir dos 82 dias, entre uma irrigação e outra, em razão da diminuição simultânea nos componentes matricial e osmótico do potencial da água no solo.

Esses resultados de potencial de água na folha nas plantas de milho são semelhantes àqueles obtidos por Katerji et al. (2000) e Katerji et al. (2004) para a cultura do milho quando, também, cultivada sob níveis crescentes de salinidade do solo.

A salinidade média do solo ao longo do ciclo da cultura afetou significativamente os valores médios do potencial de água na folha antemanhã e os valores de WSDI nas plantas de milho (Tabela 33, em anexo). A Figura 3.5 (A e B) mostra, respectivamente, o comportamento destas características em função do aumento dos níveis de salinidade média do solo.

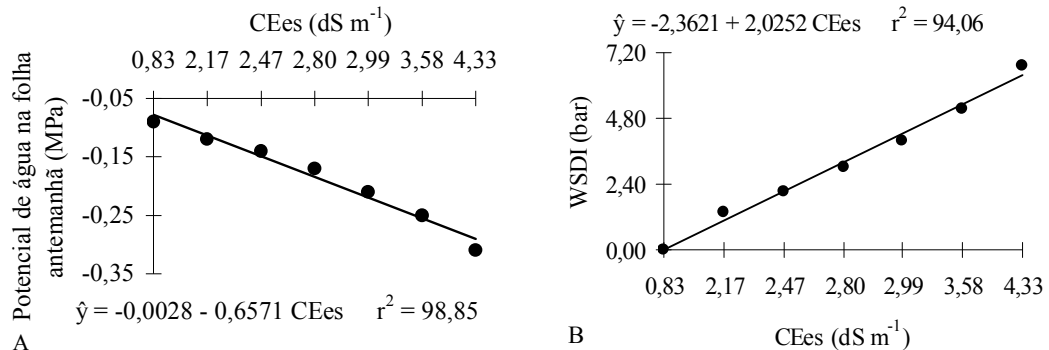


Figura 3.5 – Potencial de água na folha antemanhã (A) e índice diário de estresse hídrico (B) em função dos níveis médios de salinidade do solo (CEes) ao longo do ciclo da cultura das plantas de milho.

O WSDI é um método quantitativo utilizado para determinar o decréscimo de rendimento de uma cultura, imposta pelo estresse salino, durante sua estação de crescimento e desenvolvimento. A Figura 3.6 mostra o decréscimo da produção relativa das plantas de milho em função dos valores médios de WSDI

determinado em função dos valores de potencial de água na folha ao amanhecer nos tratamentos com diferentes níveis de salinidade.

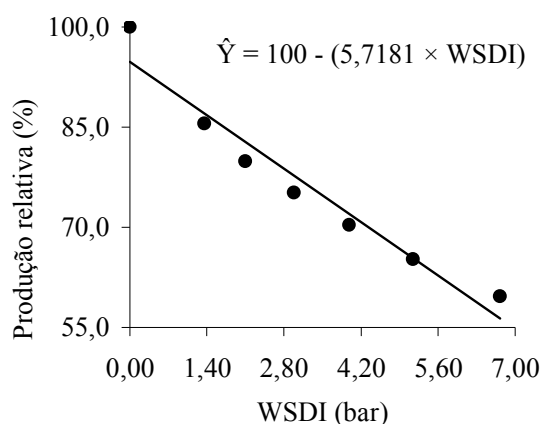


Figura 3.6 – Decréscimo da produção relativa das plantas do cultivar de milho UFVM-100 em função do aumento unitário dos valores de WSDI.

A Figura 3.6 mostra que a produção relativa da variedade de milho UFVM-100 decresce 5,72% com o incremento unitário do WSDI. Katerji et al. (2000) encontraram para o milho cultivado sob níveis crescentes de salinidade, em lisímetros de drenagem, redução de 11,90% da produção relativa com o incremento unitário dos valores do WSDI. Por esta metodologia, a variedade de milho UFVM 100 é classificada como tolerante à salinidade, a mesma conclusão foi obtida por Katerji et al. (2000). Estes resultados evidenciam que a resposta da cultura do milho à salinidade em função dos valores de WSDI depende apenas do tipo de cultivar avaliado.

4.4 CONCLUSÕES

- Os três métodos de classificação de tolerância das culturas à salinidade baseados, respectivamente, na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo, déficit relativo de evapotranspiração e índice diário de estresse hídrico, apresentaram resultados diferentes;
- A metodologia LRP (Maas e Hoffman, 1977) tem como ponto positivo a caracterização da salinidade limiar;

- A metodologia baseada no índice integrado de estresse hídrico (Stewart et al., 1977) é muito vulnerável às condições climáticas, índice de área foliar e ao tipo de solo
- A metodologia do WSDI (Katerji et al. 1997), pelo fato do potencial hídrico das folhas ser medido no antemanhã elimina as variações climáticas diárias, ficando os efeitos da salinidade do solo restritos à espécie vegetal;
- A produção relativa da variedade de milho UFVM 100 decresce 6,85% com o incremento unitário do WSDI e 15,68% com o incremento unitário acima da salinidade limiar de 1,20 dS m⁻¹;
- Os valores de WSDI foram significativamente afetados pelo aumento dos níveis de salinidade do solo mostrando, dessa forma, ser realmente uma metodologia sensível para caracterizar o decréscimo da produção relativa em função da salinidade do solo.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29), 1991.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO. (FAO. Riego y Drenaje, 33), 1979

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.; van HOORN, J.W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. 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., VAN HOORN, J.W., HAMDY, A., MASTRORILLI, M., Salt tolerance classification of crops to soil salinity and to water stress day index. **Agriculture and Water Management**. Amsterdam, v.43, p.99-109. 2000

MAAS, E. V. Salt tolerance of plants. In CRISTIE, B.R. **The handbook of plant science in agriculture**. Boca Raton, Flórida:CRC Press, 1984

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance – current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, v.103, n.IR2, p.115-134, 1977

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; HEMINGSSEN, E.E.; BRADSTREET, E.D. Hydrostatic pressure and osmotic potentials in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of National Academy Science**. New York, v.51, p.119-125, 1965

STEGMAN, E.C. Efficient water scheduling regimes to corn production. In: Perrier, A., Riou, Ch. (Eds.), **Crop Water Requirements, Institute National de la Recherche Agronomique**, Paris, p. 635-648, 1985

STEWART, J.L., DANIELSON, R.E., HANKS, R.J., JACKSON, E.B., HAGON, R.M., PRUIT, W.O., FRANKLIN, W.T., RILEY, J.P., **Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil**. Utah Water Research Lab. PR. 151-1, Logan, Utah, 1977, 191 p.

ANEXO

Tabela 1 – Resumo da análise de variância da característica nitrogênio em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (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
Coefficiente de variação (%)		5,76	10,38	4,88	5,23

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

Tabela 2 – Resumo da análise de variância da característica fósforo em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (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
Coefficiente de variação (%)		18,41	14,48	20,59	8,26

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

Tabela 3 – Resumo da análise de variância da característica enxofre em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (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
Coeficiente de variação (%)		25,89	17,16	24,54	8,06

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

Tabela 4 – Resumo da análise de variância da característica cloro em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (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
Coeficiente de variação (%)		13,93	21,05	26,99	4,65

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

Tabela 5 – Resumo da análise de variância das características relação CI/N, CI/P e CI/S em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (120 DAP)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP
-----Relação CI/N-----					
Tratamentos	6	0,0209 ^{ns}	0,0063 ^{ns}	0,0585 ^{ns}	0,5996*
Resíduo	14	0,0165	0,0036	0,0558	0,0126
Coeficiente de variação (%)		15,32	23,09	26,28	11,74
-----Relação CI/P-----					
Tratamentos	6	214,7286 ^{ns}	17,7348*	9,7394 ^{ns}	103,9550*
Resíduo	14	197,5787	5,1874	7,0872	1,9871
Coeficiente de variação (%)		18,66	23,78	23,52	13,85
-----Relação CI/S-----					
Tratamentos	6	32,0438 ^{ns}	145,5293*	7,4002*	69,2131*
Resíduo	14	35,7569	6,5541	1,5647	4,1774
Coeficiente de variação (%)		25,97	16,03	22,58	21,94

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

Tabela 6 – Resumo da análise de variância da característica cálcio em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (120 DAP)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP
Tratamentos	6	0,1028 ^{ns}	0,0115 ^{ns}	0,0575 ^{ns}	0,0209*
Resíduo	14	0,1022	0,0091	0,0542	0,0005
Coeficiente de variação (%)		21,33	21,79	29,28	2,99

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

Tabela 7 – Resumo da análise de variância da característica magnésio em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (120 DAP)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP
Tratamentos	6	0,0015 ^{ns}	0,0107*	0,0103*	0,0030*
Resíduo	14	0,0011	0,0022	0,0031	0,0001
Coeficiente de variação (%)		18,82	29,89	28,09	5,20

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

Tabela 8 – Resumo da análise de variância da característica potássio em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (120 DAP)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP
Tratamentos	6	0,1269 ^{ns}	0,0071 ^{ns}	0,0858 ^{ns}	0,1737*
Resíduo	14	0,1659	0,0193	0,0586	0,0054
Coeficiente de variação (%)		14,07	10,43	18,03	6,52

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

Tabela 9 – Resumo da análise de variância da característica sódio em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (120 DAP)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP
Tratamentos	6	0,0005*	0,6334*	0,4499*	0,6630*
Resíduo	14	0,0002	0,1009	0,0253	0,0028
Coeficiente de variação (%)		17,20	27,95	12,04	3,88

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

Tabela 10 – Resumo da análise de variância das características relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$, $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$ e Na^+/K^+ em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (120 DAP)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP
-----Relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ -----					
Tratamentos	6	0,0038*	2,1074*	8,4383 ^{ns}	1,6769*
Resíduo	14	0,0004	0,2011	4,5136	0,0105
Coeficiente de variação (%)		14,42	20,79	28,90	5,55
-----Relação $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$ -----					
Tratamentos	6	0,0262*	79,7457*	60,5315*	107,8518*
Resíduo	14	0,0058	5,4349	26,1641	0,9704
Coeficiente de variação (%)		14,84	28,82	29,89	8,41
-----Relação Na^+/K^+ -----					
Tratamentos	6	0,0002*	0,6057*	0,4223*	1,4041*
Resíduo	14	0,0001	0,0175	0,0716	0,5167
Coeficiente de variação (%)		25,95	16,32	25,51	16,75

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

Tabela 11 – Resumo da análise de variância das características taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (E), condutância estomática (g_s) em função da salinidade do solo na fase fenológica da formação da colheita

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		A	E	g_s
Tratamentos	6	70,1159**	0,5340**	0,0043**
Resíduo	14	2,8837	0,0154	9,524E ⁻⁰⁴
Coeficiente de variação (%)		9,75	7,24	13,57

ns – não significativo, ** significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 12 – Resumo da análise de variância das características matéria seca da parte aérea e das raízes em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (120 DAP)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP
-----Matéria seca da parte aérea-----					
Tratamentos	6	0,1601 ^{ns}	5346,281*	6249,2190*	7700,675*
Resíduo	14	0,1769	178,8912	40,8312	18,9280
Coeficiente de variação (%)		6,51	20,13	4,45	2,65
-----Matéria seca das raízes-----					
Tratamentos	6	0,0010 ^{ns}	543,8644*	487,6450*	562,0045*
Resíduo	14	0,0029	3,4958	4,1673	6,6914
Coeficiente de variação (%)		6,39	9,42	6,61	7,66

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

Tabela 13 – Resumo da análise de variância da característica eficiência do uso da água na produtividade em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (120 DAP)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP
Tratamentos	6	0,8875E ⁻⁰⁴ ns	0,7387**	0,0838**	2,5928**
Resíduo	14	0,8326E ⁻⁰⁴	0,0157	0,0262	0,0898
Coeficiente de variação (%)		6,15	18,17	20,41	19,38

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 14 – Resumo da análise de variância das características taxa de crescimento absoluto e taxa de crescimento relativo em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (120 DAP)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP
-----Taxa de crescimento absoluto-----					
Tratamentos	6	0,0002 ^{ns}	24,3241*	54,7740*	30,2492*
Resíduo	14	0,0001	0,2046	0,4064	0,2159
Coeficiente de variação (%)		5,27	15,99	11,08	10,80
-----Taxa de crescimento relativo-----					
Tratamentos	6	0,0002 ^{ns}	0,0009*	0,0022*	0,0001*
Resíduo	14	0,0001	0,0003	0,0001	0,0004
Coeficiente de variação (%)		18,98	21,92	13,47	26,09

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

Tabela 15 – Resumo da análise de variância das características área foliar total, útil e morta em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (120 DAP)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP
-----Área foliar total-----					
Tratamentos	6	24638,61 ^{ns}	659052,2*	1235723,0*	1255574,0*
Resíduo	14	24706,33	156951,1	217316,6	220807,6
Coeficiente de variação (%)		3,05	9,99	5,98	5,98
-----Área foliar útil-----					
Tratamentos	6	24638,61 ^{ns}	1225505,0*	2797378,0*	914120,4*
Resíduo	14	24706,33	120166,9	114527,3	1497,7
Coeficiente de variação (%)		3,05	10,71	6,07	9,23
-----Área foliar morta-----					
Tratamentos	6	-	103177,1*	328275,9*	79848,02 ^{ns}
Resíduo	14	-	2851,353	17118,2	19386,30
Coeficiente de variação (%)		-	7,312	5,88	3,86

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

Tabela 16 – Resumo da análise de variância das características razão de área foliar e taxa de assimilação líquida em função da salinidade do solo nas fases fenológicas do período vegetativo (30 DAP), floração (60 DAP), formação da colheita (90 DAP) e maturação fisiológica (120 DAP)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP
-----Razão de área foliar-----					
Tratamentos	6	731,1980 ^{ns}	2534,953*	93,4109*	15,1513*
Resíduo	14	611,1275	62,8885	4,3232	0,1681
Coeficiente de variação (%)		7,07	13,28	8,02	3,86
-----Taxa de assimilação líquida-----					
Tratamentos	6	0,377E ⁻¹¹ ^{ns}	0,183E ⁻⁰⁵ *	0,138E ⁻⁰⁵ *	0,126E ⁻⁰⁵ *
Resíduo	14	0,223E ⁻¹⁰	0,501E ⁻⁰⁷	0,936E ⁻⁰⁷	0,845E ⁻⁰⁷
Coeficiente de variação (%)		6,67	29,89	29,25	29,25

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

Tabela 17 – Resumo da análise de variância das características: peso de grãos por lisímetro (PSL), peso médio das espigas (PME) e de grãos por planta (PSE) em função da salinidade média do solo ao longo do ciclo da cultura

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		PSL	PME	PSP
Tratamentos	6	41760,12**	1439,182**	802,3591**
Resíduo	14	10,2098	0,7446	14,9394
Coeficiente de variação (%)		3,46	3,74	4,43

** significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 18 - Resumo da análise de variância da característica pH em água pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	0,3251**
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	0,0432 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	0,0309 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	0,0193 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	0,0188 ^{ns}
Resíduo	14	0,0233
Coeficiente de variação (%)		3,04

Tabela 19 - Resumo da análise de variância da característica fósforo pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	6,6746 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	0,7251 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	0,0098 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	0,3489 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	2,5736 ^{ns}
Resíduo	14	1,1300
Coeficiente de variação (%)		17,38

Tabela 20 - Resumo da análise de variância da característica potássio pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	631,1429 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	61,1863 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	51,4919 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	101,0921 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	607815 ^{ns}
Resíduo	14	366,8095
Coeficiente de variação (%)		21,74

Tabela 21 - Resumo da análise de variância da característica sódio pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	185533,50**
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	27473,29**
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	568,2402°
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	609,8418°
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	1,5390 ^{ns}
Resíduo	14	157,1931
Coeficiente de variação (%)		5,39

Tabela 22 - Resumo da análise de variância da característica cálcio pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	2,6289**
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	0,0016 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	0,1672 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	0,0755 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	0,1701 ^{ns}
Resíduo	14	0,0733
Coeficiente de variação (%)		6,44

Tabela 23 - Resumo da análise de variância da característica magnésio pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	1,2203**
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	0,0079 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	0,0018 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	0,0036 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	0,0455 ^{ns}
Resíduo	14	0,0076
Coeficiente de variação (%)		13,57

Tabela 24 - Resumo da análise de variância da característica H+Al pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	0,0034 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	0,0011 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	0,0030 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	0,0670 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	0,0249 ^{ns}
Resíduo	14	0,0622
Coeficiente de variação (%)		13,92

Tabela 25 - Resumo da análise de variância da característica soma de bases pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	1,6894*
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	0,0003 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	0,3919 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	0,6050 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	0,3961 ^{ns}
Resíduo	14	0,2117
Coeficiente de variação (%)		7,44

Tabela 26 - Resumo da análise de variância da característica CTC efetiva pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	1,7127*
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	0,0034 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	0,3751 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	0,1977 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	0,5876 ^{ns}
Resíduo	14	0,2051
Coeficiente de variação (%)		7,32

Tabela 27 - Resumo da análise de variância da característica CTC total pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	1,1909 °
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	1,2921°
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	2,4828 *
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	1,5209 °
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	0,5016 ^{ns}
Resíduo	14	0,3379
Coeficiente de variação (%)		7,42

Tabela 28 - Resumo da análise de variância da característica saturação por bases pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	12,0714 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	0,1569 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	1,4684 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	2,1015 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	12,7100 ^{ns}
Resíduo	14	6,2857
Coeficiente de variação		3,23

Tabela 29 - Resumo da análise de variância da característica porcentagem de sódio trocável pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	175,2772 **
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	43,9704 **
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	0,8287 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	2,0804 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	0,2206 ^{ns}
Resíduo	14	0,3086 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)		3,19

Tabela 30 - Resumo da análise de variância da característica matéria orgânica pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	0,3768 *
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	0,1208 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	0,0102 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	0,0215 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	0,0106 ^{ns}
Resíduo	14	0,0684
Coeficiente de variação (%)		16,16

Tabela 31 - Resumo da análise de variância da característica fósforo remanescente pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	16,3584 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	5,8848 *
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	0,3208 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	0,2793 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	0,1331 ^{ns}
Resíduo	14	0,9657
Coeficiente de variação (%)		5,15

Tabela 32 - Resumo da análise de variância da característica razão de adsorção de sódio pelo contraste entre médias e pela regressão em função das frações de lixiviação

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Contraste (água doce vs água salina)	1	1,4392 **
Fração de lixiviação (regressão - modelo linear)	1	0,2135 **
Fração de lixiviação (regressão - modelo quadrático)	1	0,0103 *
Fração de lixiviação (regressão - modelo cúbico)	1	0,0037 ^{ns}
Fração de lixiviação (regressão - 4º e 5º grau)	2	0,0002 ^{ns}
Resíduo	14	0,0016
Coeficiente de variação (%)		6,25

Tabela 33 – Resumo da análise de variância das características evapotranspiração real (ETr), potencial de água na folha antemanhã (ψ folha) e índice diário de estresse hídrico (WSDI) das plantas de milho em função da salinidade média do solo

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		ETr	Ψ folha	WSDI
Tratamentos	6	5438,9220**	1,7481**	15,8401**
Resíduo	14	37,6756	0,0168	0,1432
Coeficiente de variação (%)		1,91	7,09	11,88

**significativo a 1% de probabilidade.