

**DELFRAN BATISTA DOS SANTOS**

**EFEITOS DA SALINIDADE SOBRE CARACTERÍSTICAS  
QUÍMICAS DO SOLO, ASPECTOS NUTRICIONAIS,  
FISIOLÓGICOS E DE PRODUÇÃO NO FEJJOEIRO IRRIGADO**

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  
2005**

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

T

S237e Santos, Delfran Batista dos, 1975-  
2005 Efeitos da salinidade sobre características químicas do  
solo, aspectos nutricionais, fisiológicos e de produção no  
feijoeiro irrigado / Delfran Batista dos Santos. – Viçosa :  
UFV, 2005.

xv, 78f. : il. ; 29cm.

Orientador: Paulo Afonso Ferreira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

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

II. Título.

CDD 22.ed. 631.587

**DELFRAN BATISTA DOS SANTOS**

**EFEITOS DA SALINIDADE SOBRE CARACTERÍSTICAS  
QUÍMICAS DO SOLO, ASPECTOS NUTRICIONAIS,  
FISIOLÓGICOS E DE PRODUÇÃO NO FEIJOEIRO IRRIGADO**

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: 10 de junho de 2005.

---

**Prof. Marco Antônio Oliva Cano**  
(Conselheiro)

---

**Prof. José Eustáquio de S. Carneiro**  
(Conselheiro)

---

**Prof. Júlio César Lima Neves**

---

**Dr. Camilo de Lelis T. de Andrade**

---

**Prof. Paulo Afonso Ferreira**  
(Orientador)

À minha família,

*Domingos Bispo dos Santos, Ester Batista dos Santos, Maria José, Darlan, Diene,  
Dayse, Delclânio, Carmelito, Euclânia, Renata, Maria Clara, Moisés, Luciano e Rute*

Pela união, amor e amizade

DEDICO.

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, o criador.

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

Ao professor Paulo Afonso Ferreira, pela orientação, aprendizado, confiança e apoio durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores Marco Oliva, José Eustáquio e Julio César, pelas valiosas críticas e sugestões.

À CAPES e ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À equipe do Laboratório de Unidade de Crescimento de Plantas (UCP) da UFV, pela disponibilidade dos equipamentos durante a realização das análises fisiológicas, e, em especial, ao laboratorista Rogério e ao estudante de doutorado Alan.

Ao amigo Flávio “Carrego”, pela amizade, apoio e incentivo nas horas difíceis.

À Claudionara e família, pelo vínculo de amizade criado durante minha permanência em Viçosa.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Ambientais, pelo convívio e amizade.

A todas as pessoas que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

DELFRAN BATISTA DOS SANTOS, filho de Ester Batista dos Santos e Domingos Bispo dos Santos, nasceu em 1 de junho de 1975 na cidade de Alagoinhas, Bahia.

Em agosto de 1999, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, Bahia.

Em março de 2000, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado, área de concentração em Irrigação e Drenagem, na Universidade Federal de Campina Grande, concluindo o curso em março de 2002.

Em abril de 2002, ingressou no Programa de Doutorado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da tese em junho de 2005.

## ÍNDICE

RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiv
CAPITULO I.....	1
EFEITOS DA LIXIVIAÇÃO SOBRE UM ARGISSOLO E FEJOEIRO IRRIGADO COM ÁGUA DOCE E SALINA SOB AMBIENTE PROTEGIDO	2
1. INTRODUÇÃO.....	2
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	4
2.1. Caracterização do local.....	4
2.2. Preenchimento dos lisímetros e caracterizações física e química do solo ..	5
2.3 Caracterização das águas utilizadas nas irrigações .....	6
2.4. Tratamentos e delineamento experimental .....	7
2.5. Condução do experimento .....	9
2.6. Caracterização química do solo e da folha do feijoeiro .....	10
2.7. Determinação da curva de potencial matricial-osmótico .....	12
2.8. Produtividade de grãos .....	12
2.9. Análise estatística .....	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	13
3.1. Observações meteorológicas .....	13

3.2. Caracterização das águas utilizadas nas irrigações .....	15
3.3. Alterações químicas das características do solo .....	16
3.4. Comportamento das características do solo em resposta às frações de lixiviação com água salina.....	21
3.5. Alterações do estado nutricional do feijoeiro.....	30
3.6. Comportamento dos nutrientes nas folhas do feijoeiro em resposta às frações de lixiviação com água salina .....	33
3.7. Efeito da salinidade sobre as relações Na/Mg, Na/Ca, Na/N e Na/K nas folhas de feijoeiro .....	36
3.8. Determinação da salinidade limiar do feijoeiro.....	37
3.9. Planta vs. qualidade da água de irrigação.....	38
3.10. Determinação da curva de potencial matricial-osmótico .....	40
4. CONCLUSÕES.....	42
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
CAPITULO II.....	49
EFEITO DA SALINIDADE DA SOLUÇÃO DO SOLO SOBRE ALGUNS PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E FENOLÓGICOS DA CULTURA DO FEIJOEIRO .....	50
1. INTRODUÇÃO.....	50
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	52
2.1. Material vegetal e condução do experimento.....	52
2.2. Medições fisiológicas .....	53
2.3. Medições fenológicas .....	55
2.4. Análise estatística .....	55
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	55
3.1. Observações meteorológicas .....	55
3.2. Salinidade do solo.....	56
3.3. Medições fisiológicas .....	57

3.3.1. Potencial osmótico da folha ( $\Psi_s$ ).....	57
3.3.2. Teor de clorofila (índice SPAD).....	58
3.3.3. Condutância estomática ( $g_s$ ) .....	60
3.3.4. Taxa de transpiração ( $E$ ) .....	62
3.3.5. Temperatura da superfície foliar (TF) .....	63
3.3.6. Taxa fotossintética ( $A$ ) .....	64
3.4. Medições fenológicas .....	65
3.4.1. Área foliar (AF) .....	65
3.4.2. Massa seca total da parte aérea (Wt) .....	68
3.5. Relação entre o estresse salino e produtividade .....	69
3.6. Monitoramento da salinidade por meio de parâmetros fisiológicos.....	70
4. CONCLUSÕES.....	71
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Visão geral da área experimental, mostrando, à esquerda, os lisímetros e a estação agrometeorológica automática e, à direita, a estação de coleta de efluente sob ambiente protegido..... 5
- Figura 2 – Condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes) em função da condutividade elétrica da solução sobrenadante (CE 1:5). .. 8
- Figura 3 – Curva de retenção de água do solo. .... 9
- Figura 4 – Temperatura registrada a cada 12 minutos, no período de 23 de março a 30 de junho de 2004. .... 14
- Figura 5 – Umidade relativa do ar registrada a cada 12 minutos, no período de 23 de março a 30 de julho de 2004. .... 14
- Figura 6 – Radiação solar incidente, no período de 23 de março a 30 de junho de 2004..... 14
- Figura 7 – Detalhe da germinação e emergência das plantas de feijoeiro aos 10 dias após a semeadura. .... 15
- Figura 8 – Comportamento das características do solo (SB, CTCe, CTCt, V, pH, MO, P, K, Na, Ca, Mg, H+Al, P-rem, Zn, Mn, Fe, Cu, CEes, ISNA, PST e RAS), em resposta às frações de lixiviação (14, 16, 23, 25, 31 e 40%) com o uso de água salina de 2 dS m<sup>-1</sup>, avaliado nas duas camadas. Os valores observados são provenientes da média de três repetições. \*\*, \* e ° são modelos significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente..... 28

Figura 9 – Concentração dos nutrientes N, K, Mg, S, Zn, B, P, Ca, Na, Fe, Mn e Cu nas folhas do feijoeiro, em resposta às frações de lixiviação (14, 16, 23, 25, 31 e 40%) com o uso de água salina de 2 dS m <sup>-1</sup> . Os valores observados são provenientes da média de três repetições. ** e * representam modelos significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.....	35
Figura 10 – Efeito da salinidade da solução do solo sobre as relações Na/Mg, Na/Ca, Na/N e Na/K em folhas de feijoeiro. **, * e <sup>0</sup> significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente.....	37
Figura 11 – Produção relativa do feijoeiro, cultivado em lisímetros com solos de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes).....	38
Figura 12 – Variação da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes) em função das seis frações de lixiviação com água de 2 dS m <sup>-1</sup> . ** significativo a 1% de probabilidade. ....	39
Figura 13 – Variação da produção de grãos em função da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes) nos seis tratamentos salinos. * significativo a 5% de probabilidade.....	40
Figura 14 – Curvas de retenção de água do solo sob três níveis de salinidade (0,8; 4,5; e 5,8 dS m <sup>-1</sup> ).....	41
Figura 2.1 – Detalhes do analisador de gases no infravermelho portátil, utilizado para medir as taxas fotossintéticas, a transpiração e a condutância estomática das folhas.....	54
Figura 2.2 – Variação da CEes (dS m <sup>-1</sup> ) em função das frações de lixiviação com água salina de 2 dS m <sup>-1</sup> . *Fração de lixiviação com água doce de 0,07 dS m <sup>-1</sup> .....	57
Figura 2.3 – Potencial osmótico (MPa) das folhas de plantas de feijoeiro cultivadas em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes). ***Nível de significância p>0,001. ....	58
Figura 2.4 – Teor de clorofila total pelo medidor de clorofilas SPAD, em plantas de feijoeiro, cultivadas em lisímetros com solo de diferente condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes). **Nível de significância p>0,01. ....	59

Figura 2.5 – Detalhe de folhas do feijoeiro necrosadas devido à redução do pigmento clorofila em função do aumento da salinidade do solo, 59 dias após o plantio da cultura.....	60
Figura 2.6 – Condutância estomática ( $g_s$ ) em folhas de feijoeiro, cultivadas em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes). ***Nível de significância $p>0,001$ .....	61
Figura 2.7 – Taxa de transpiração ( $E$ ) em folhas de feijoeiro, cultivadas em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes). ***Nível de significância $p>0,001$ .....	62
Figura 2.8 – Temperatura foliar do feijoeiro, cultivado em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes). **Nível de significância $p>0,01$ .....	63
Figura 2.9 – Taxa fotossintética ( $A$ ) em folhas de feijoeiro, cultivadas em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes). ***Nível de significância $p>0,001$ .....	64
Figura 2.10 – Área foliar (AF) das plantas de feijoeiro, cultivadas em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes). **Nível de significância $p>0,01$ .....	66
Figura 2.11 – Detalhe da parte aérea do feijoeiro em cada tratamento, aos 72 dias após o plantio da cultura.....	67
Figura 2.12 – Produção relativa da matéria seca total da parte aérea (Wt) das plantas de feijoeiro, cultivadas em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes). .....	68

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características físicas do solo .....	6
Quadro 2 – Características químicas das águas utilizadas nas irrigações.....	6
Quadro 3 – Valores médios das concentrações das características químicas do Argissolo Vermelho Eutrófico, em função da profundidade do solo (PROF), da qualidade da água de irrigação (QA) e das frações de lixiviação (FL) .....	17
Quadro 4 – Diferenças médias entre a água salina (AS) e água doce (AD) nas características do solo em duas camadas.....	18
Quadro 5 – Valores médios das concentrações dos nutrientes nas folhas do feijoeiro, em função das frações de lixiviação (FL) e da qualidade da água de irrigação (QA).....	30
Quadro 6 – Valores adequados de nutrientes em tecidos de plantas de feijoeiro	30
Quadro 7 – Valores das diferenças entre as médias (AS–AD) das concentrações de nutrientes encontrados nos tecidos foliares do feijoeiro.....	31
Quadro 2.1 – Condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes) em função das frações de lixiviação (FL) e da condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) .....	56
Quadro 2.2 – Correlação dos parâmetros fisiológicos com a produção de matéria seca total .....	70

## RESUMO

SANTOS, Delfran Batista dos, D.S., Universidade Federal de Viçosa, Junho de 2005.  
**Efeitos da salinidade sobre características químicas do solo, aspectos nutricionais, fisiológicos e de produção no feijoeiro irrigado.** Orientador: Paulo Afonso Ferreira. Conselheiros: Marco Antônio Oliva Cano e José Eustáquio de Souza Carneiro.

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é, tradicionalmente, cultivado sob condições de sequeiro e irrigado, ficando, assim, exposto às variações edafoclimáticas e aos efeitos dos estresses ambientais, dentre os quais destaca-se o estresse salino. Os objetivos deste estudo foram: (a) avaliar os efeitos da lixiviação com água doce e com água salina sobre as características químicas e hídricas de um Argissolo Vermelho Eutrófico, cultivado com feijoeiro em lisímetros de drenagem sob ambiente protegido; (b) avaliar os efeitos da salinidade da solução do solo sobre os parâmetros fisiológicos e de produtividade da cultura do feijoeiro, cultivado em ambiente protegido. O experimento foi conduzido na estação lisimétrica da área experimental de Irrigação e Drenagem, campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada a 20<sup>o</sup> 45' S e 42<sup>o</sup> 45' W, no Estado de Minas Gerais. Antes do plantio, o solo contido nos lisímetros que iriam receber irrigações com água salina foram previamente, salinizados até atingirem, cerca de 3,6 dS m<sup>-1</sup>, no extrato da pasta saturada, empregando-se água preparada com adição de NaCl e CaCl<sub>2</sub> nas proporções 3:2, exceto aqueles que foram irrigados com água doce (testemunha) os quais permaneceram com salinidade de 0,4 dS m<sup>-1</sup>. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram de sete frações de lixiviação, equivalentes a 3,

14, 16, 23, 25, 31 e 40% da lâmina de água de irrigação, sendo que, para a fração de lixiviação de 3% usou-se água doce ( $0,07 \text{ dS m}^{-1}$ ) e, para as demais frações, água salina ( $2 \text{ dS m}^{-1}$ ). Nas caracterizações químicas do solo e da folha do feijoeiro, foram utilizadas amostras do solo e das folhas, as quais foram coletadas no período de enchimento de grãos do feijoeiro. A taxa fotossintética, a condutância estomática e a taxa de transpiração foram medidas no período da floração e enchimento de grãos, utilizando-se um analisador de gases no infravermelho, portátil, modelo LI-6400. De acordo com os resultados, concluiu-se que: a fração de lixiviação de 25% aumenta a concentração de nutrientes na solução do solo (P, Na, Ca, Mg e Mn); os teores de N, K, Mg, S, Zn e B nas folhas do feijoeiro foram afetados pelas frações de lixiviação com a água salina; incrementos na fração de lixiviação reduziu a CEes e aumenta a produção de grãos do feijoeiro cv. Talismã; e a salinidade do solo reduziu, significativamente, os parâmetros fisiológicos (condutância estomática, transpiração e fotossíntese) da cultura do feijoeiro.

## ABSTRACT

SANTOS, Delfran Batista dos, D.S., Universidade Federal de Viçosa, June 2005.  
**Effects of salinity on the soil chemical characteristics and the nutritional, physiologic and production aspects in the irrigated bean plant.** Adviser: Paulo Afonso Ferreira. Committee members: Marco Antônio Oliva Cano and José Eustáquio de Souza Carneiro.

The bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) is traditionally cropped under upland and irrigation conditions, therefore being exposed to either edaphoclimatic changes and the effects of the environmental stresses, such as the saline stress. The objectives of this study were as follows: (a) to evaluate the effects of leaching with fresh water and saline water on the chemical and hydric characteristics of an Eutrophic Red Argisol cropped with bean plant in drainage lysimeters, under protected environment; (b) to evaluate the effects of the soil solution salinity, as well as the physiologic and productivity parameters of the bean plant, cropped under protected environment. The experiment was carried out in the lysimeter station at the Irrigation and Drainage experimental area, in campus of the Universidade Federal de Viçosa (UFV), located at 20° 45' S and 42° 45' W in Minas Gerais State. Before planting, the lysimeter soil that would be irrigated with saline water was previously salified until reaching 3.6 dS m<sup>-1</sup> approximately in the saturated paste extract, by using the water with the addition of NaCl and CaCl<sub>2</sub> at proportions 3:2, except for those soils irrigated with fresh water (control) which stayed with 0.4 dS m<sup>-1</sup> salinity. The experiment was set up on an entirely randomized design, with seven treatments and three replicates. The treatments consisted of seven leaching fractions corresponding to 3, 14, 16, 23, 25, 31 and 40% of the irrigation water depth;

for the leaching fraction of 3%, the fresh water was used ( $0.07 \text{ dS m}^{-1}$ ), whereas the saline water was used for the other fractions ( $2 \text{ dS m}^{-1}$ ). When chemically characterizing the soil and bean leaves, both soil and leaf samples were used. These samples were collected during the bean fulfillment period. The photosynthetic rate, stoma conductance, and the transpiration rate were measured, in the bean flowering and fulfillment periods, by using a portable, infrared gas analyzer, I LI-6400 model. According to the results, the following conclusions may be drawn: the leaching fraction of 25% increases the nutrient concentration in the soil solution (P, Na, Ca, Mg and Mn); the contents of N, K, Mg, S, Zn and B in the leaves of the bean plant were affected by the leaching fractions with saline water; increments in the leaching fraction reduce CEes and increases the production of the bean plant Talisman cv.; the soil salinity significantly reduced the physiologic parameters (stomatic conductance, respiration and photosynthesis) of the bean plant crop.

## **CAPITULO I**

### **EFEITOS DA LIXIVIAÇÃO SOBRE UM ARGISSOLO E FEIJOEIRO IRRIGADO COM ÁGUA DOCE E SALINA SOB AMBIENTE PROTEGIDO**

# EFEITOS DA LIXIVIAÇÃO SOBRE UM ARGISSOLO E FEIJOEIRO IRRIGADO COM ÁGUA DOCE E SALINA SOB AMBIENTE PROTEGIDO

**RESUMO:** O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da lixiviação com água doce e com água salina sobre as características químicas e hídricas de um Argissolo Vermelho Eutrófico, cultivado com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em lisímetros de drenagem sob ambiente protegido, na estação lisimétrica da área experimental de Irrigação e Drenagem, no campus da UFV. Os tratamentos consistiram de sete frações de lixiviação, equivalentes a 3, 40, 31, 25, 23, 16 e 14% da lâmina de água de irrigação, sendo que, para a fração de lixiviação de 3%, usou-se água doce ( $0,07 \text{ dS m}^{-1}$ ), e para as demais frações, água salina ( $2 \text{ dS m}^{-1}$ ). A caracterização química do solo e da folha do feijoeiro foi realizada em amostras do solo e das folhas, coletadas no período de enchimento de grãos do feijoeiro. De acordo com os resultados concluiu-se que a fração de lixiviação de 25% aumenta a concentração de nutrientes na solução do solo (P, Na, Ca, Mg e Mn) e que os teores de N, K, Mg, S, Zn, B nas folhas do feijoeiro, foram influenciados pelas frações de lixiviação com água salina.

**Palavras-chave:** salinização, fração de lixiviação, *Phaseolus vulgaris* L.

## 1. INTRODUÇÃO

Historicamente, a cultura do feijoeiro tem apresentado baixas produtividades médias no Brasil. Muitas razões têm sido atribuídas para esta ocorrência, tais como os sistemas de produção em consórcio, efeitos climáticos, sanidade e manejo da cultura quando explorada em sistemas irrigados.

No Estado de Minas Gerais, como fruto da parceria entre a Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e Embrapa Arroz e Feijão no melhoramento genético do feijoeiro, foi desenvolvida a linhagem de feijão CII-102, que vem sendo

recomendada com o nome fantasia de BRSMG Talismã, sendo uma nova opção de cultivar de feijão com grãos do tipo carioca para o Estado (RAMALHO et al., 2002).

Além de possuir grãos do tipo carioca, que atendem as exigências do mercado, o cultivar BRSMG Talismã, destacou-se durante as avaliações, realizadas em experimentos de campo, apresentando uma produtividade média de grãos de 2.418 kg ha<sup>-1</sup>, e um ciclo da sementeira à maturação fisiológica variando de 75 a 85 dias, dependendo das condições ambientais (RAMALHO et al., 2002).

De acordo com Doorenbos e Kassam (1979) a cultura do feijoeiro é sensível à salinidade, com diminuição do rendimento em 0, 10, 25, 50 e 100%, para valores de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) de 1,0; 1,5; 2,3; 3,6 e 6,5 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente.

Com a instalação de perímetros irrigados e agrovilas ao longo do rio São Francisco, a cultura do feijão, fruteiras e olerícolas tem sido intensificada. Entretanto, há poucas informações técnico-científicas capazes de sustentar a exploração do cultivar BRSMG Talismã, sob condições de irrigação-salinidade.

O uso de água salina e de água de drenagem na agricultura é um procedimento interessante, considerando-se o aumento da demanda de água tanto pela atividade agrícola quanto pelo abastecimento urbano e industrial. Solos e água afetados por sais são encontrados, extensivamente, sob condições naturais. No entanto, os maiores problemas de salinidade na agricultura são resultantes das atividades agrícolas em áreas irrigadas, tornando salinizados os solos previamente produtivos (RHOADES et al., 1999).

Estima-se que, aproximadamente, um terço da área irrigada no mundo encontra-se degradada em razão do processo de salinização e, ou sodicidade (GHASSEMI et al., 1995). De acordo com Matallo (1999), no Brasil as áreas irrigadas apresentando problemas de salinização são da ordem de 30 mil hectares, sendo necessários cerca de US\$ 2.000,00 ha<sup>-1</sup> para recupera-las, ou seja, um custo total de recuperação em torno de US\$ 60 milhões.

Segundo Rhoades et al. (1999), um modo prático e eficaz para reduzir o excesso de sais solúveis nos solos é a lixiviação através da passagem de água no perfil do solo, a uma taxa que permita manter a salinidade média na zona radicular em níveis que não prejudiquem, economicamente, a produtividade das culturas.

O excesso de alguns íons na solução do solo pode diminuir a produção das culturas, devido ao aumento do teor de minerais nas folhas das plantas (MALAVOLTA et al., 1989). A adição de alguns íons ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) ao solo, via água de irrigação, pode restringir a disponibilidade de alguns nutrientes no solo devido a alterações em seu pH (BRADY, 1989; FERREIRA, 2002), podendo, dessa forma, ocasionar estresse nutricional na planta.

Os efeitos do excesso de sais sobre a nutrição mineral das plantas são decorrentes, sobretudo, da toxicidade de íons provenientes da absorção excessiva de Na e Cl, desencadeando, assim, o desequilíbrio nutricional (YAHYA, 1998). Alterações nas relações iônicas (Na/K, Na/Ca, Na/Mg) nos tecidos vegetais, motivadas por aumento da salinidade, são indicativos da sensibilidade da cultura ao estresse salino (FERNANDES et al., 2002).

Grandes esforços vêm sendo realizados por profissionais de várias áreas do conhecimento, no sentido de avaliar, monitorar e manejar o efeito dos sais no sistema água-solo-planta, principalmente em regiões de clima árido e semi-árido, onde são comuns os problemas de salinidade dos solos e da água.

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de sete frações de lixiviação, sendo que, para seis delas usou-se água salina e para uma, água doce, sobre as características químicas e hídricas de um Argissolo Vermelho Eutrófico, cultivado com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em lisímetros de drenagem sob ambiente protegido.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Caracterização do local**

O experimento foi conduzido na estação lisimétrica da área experimental de Irrigação e Drenagem, no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada a  $20^{\circ} 45' \text{ S}$  e  $42^{\circ} 45' \text{ W}$ , no Estado de Minas Gerais, durante o período de 20 de março a 30 de junho de 2004.

A estação lisimétrica é constituída de 21 lisímetros de drenagem sob ambiente protegido e um abrigo de coleta de efluente (Fig. 1). A área experimental possui 9,5 m de largura por 23 m de comprimento, totalizando 218,5 m<sup>2</sup>. Cada lisímetro tem capacidade para 1,12 m<sup>3</sup> de solo, cujas dimensões são 1,0 m de largura por 1,4 m de comprimento e 0,8 m de profundidade.



Figura 1 – Visão geral da área experimental, mostrando, à esquerda, os lisímetros e a estação agrometeorológica automática e, à direita, a estação de coleta de efluente sob ambiente protegido.

## 2.2. Preenchimento dos lisímetros e caracterizações física e química do solo

Os lisímetros foram preenchidos com amostra de solo, retirada até à profundidade de 0,8 m do perfil de um Argissolo Vermelho Eutrófico, cujas características físicas estão apresentadas no Quadro 1. Afim de construir um perfil homogêneo, o preenchimento dos lisímetros foi realizado em camadas de 20 cm aproximadamente, misturando-se sempre a camada anterior com a subsequente, sendo o solo acomodado de modo a obter uma densidade semelhante em todos os lisímetros, isto é, 1,2 kg dm<sup>-3</sup>.

Com o intuito de aumentar o teor de matéria orgânica e melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo na superfície dos lisímetros, foram acrescentados 4% em peso, de solo retirado sob vegetação arbórea na camada de 0-2,5 cm.

**Quadro 1 – Características físicas do solo**

Característica	Resultado
Classe textural	Argilosa
Areia grossa (%)	18,4
Areia fina (%)	9,8
Silte (%)	17,0
Argila (%)	54,8
Densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ )	1,2
Densidade das partículas ( $\text{kg dm}^{-3}$ )	2,63
Porosidade total ( $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$ )	0,54

### 2.3 Caracterização das águas utilizadas nas irrigações

No Quadro 2 estão apresentadas as características químicas das águas utilizadas nas irrigações.

**Quadro 2 – Características químicas das águas utilizadas nas irrigações**

Água doce (AD)		Água salina (AS)	
Característica	Resultado	Característica	Resultado
$\text{Na}^+$ ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,008	$\text{Na}^+$ ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,707
$\text{K}^+$ ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,005	$\text{K}^+$ ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,005
$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,007	$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,268
$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,004	$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,005
$\text{Cu}^{3+}$ ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,000	$\text{Cu}^{3+}$ ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,000
Mn ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,000	Mn ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,000
Fe ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,000	Fe ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,000
Zn ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,000	Zn ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,000
pH	6,4	pH	6,8
RAS ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	0,111	RAS ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	1,914
CE ( $\text{dS m}^{-1}$ )	0,07	CE ( $\text{dS m}^{-1}$ )	2,0
		$\text{Cl}^-$ ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	1,21*

\* Valor estimado por cálculo.

A água doce (AD) usada no experimento foi proveniente da estação de tratamento de água da UFV, enquanto que a água salina (AS) foi preparada mediante a adição de NaCl e CaCl<sub>2</sub> na proporção 3:2, a qual é predominante nas águas com alta salinidade, utilizadas para irrigação na Região Nordeste do Brasil, conforme Medeiros (1992).

#### **2.4. Tratamentos e delineamento experimental**

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram de sete frações de lixiviação, sendo que, para a primeira, utilizou-se água doce e, para as seis restantes, água salina, conforme apresentado a seguir.

- 1- Fração de lixiviação de 3% (AD = 0,07 dS m<sup>-1</sup>)
- 2- Fração de lixiviação de 40% (AS = 2 dS m<sup>-1</sup>)
- 3- Fração de lixiviação de 31% (AS = 2 dS m<sup>-1</sup>)
- 4- Fração de lixiviação de 25% (AS = 2 dS m<sup>-1</sup>)
- 5- Fração de lixiviação de 23% (AS = 2 dS m<sup>-1</sup>)
- 6- Fração de lixiviação de 16% (AS = 2 dS m<sup>-1</sup>)
- 7- Fração de lixiviação de 14% (AS = 2 dS m<sup>-1</sup>)

A fração de lixiviação (FL) é definida como o excedente da água de irrigação, que atravessa e percola abaixo da zona radicular da cultura.

Antes do plantio, o solo nos lisímetros, que iriam receber irrigações com água salina, foi, salinizado até atingir, aproximadamente, 3,6 dS m<sup>-1</sup> no extrato de saturação, utilizando-se água preparada com adição de NaCl e CaCl<sub>2</sub>, à proporção 3:2.

Com o propósito de expressar todos os valores da salinidade do solo, em termos de condutividade elétrica do extrato da pasta saturada (CEes), esses valores foram posteriormente correlacionados com a condutividade elétrica da solução sobrenadante da pasta 1:5 (CE 1:5). A calibração foi realizada, usando-se oito amostras do solo, preparadas com diferentes níveis de salinidade dentro do intervalo de 0 a 25 dS m<sup>-1</sup>.

O procedimento usado para correlacionar a CEes com a CE 1:5 foi o descrito por Loveday, citado por Slavich e Peterson (1993). Em um béquer, foram colocados 10 g do solo seco ao ar e 50 mL de água destilada, agitando-se em seguida. A solução foi deixada em repouso, durante um período de 24 horas, para decantação das partículas do solo, sendo feitas, em seguida, as leituras da condutividade elétrica e da temperatura,

com a célula do condutivímetro colocada na solução sobrenadante. Os valores de CE foram corrigidos para 25 °C.

A pasta do solo saturado foi preparada, conforme o método-padrão proposto por Richards (1954), ou seja, para 400g de solo seco ao ar adicionava-se água destilada até atingir o ponto de saturação. Essa pasta foi mantida em repouso por 24 horas e, após esse período, a solução foi extraída por filtração, sob sucção, sendo, em seguida, realizada a leitura da CE da solução à temperatura ambiente e, posteriormente, os valores foram corrigidos para 25 °C.

A condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo foi estimada, aplicando-se o modelo linear

$$y = 7,2812x + 0,0405 \quad (1)$$

$$r^2 = 0,999***$$

em que

y = condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes), dS m<sup>-1</sup>; e

x = condutividade elétrica da solução sobrenadante (CE 1:5), dS m<sup>-1</sup>.

Na Figura 2, observa-se a relação entre a condutividade elétrica do extrato 1:5 e do extrato da pasta de saturação.

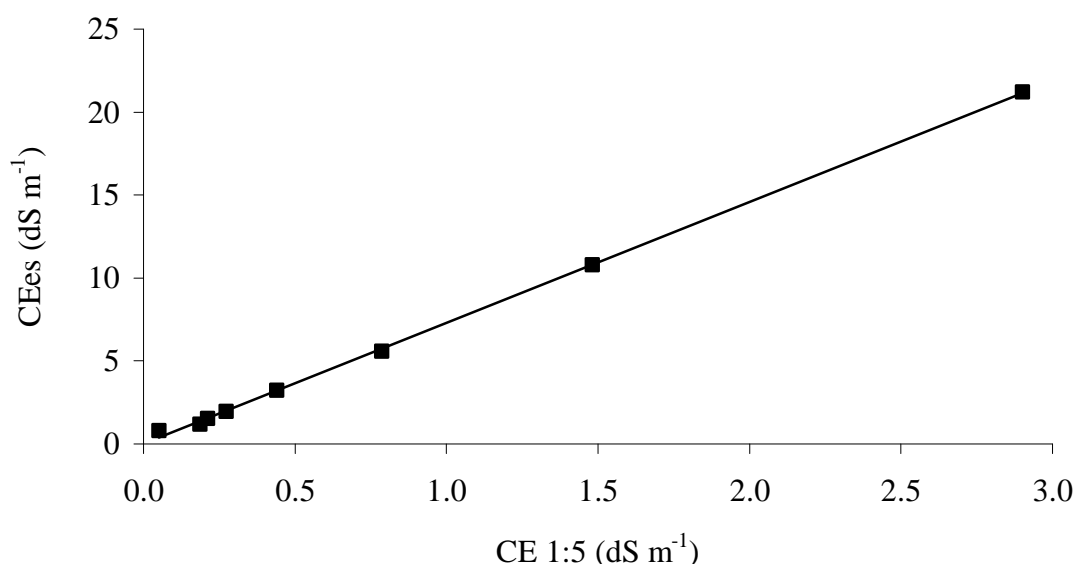


Figura 2 – Condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes) em função da condutividade elétrica da solução sobrenadante (CE 1:5).

## 2.5. Condução do experimento

A semeadura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* cv. Talismã) foi realizada em 23 de março de 2004, no espaçamento de 0,5 m entre fileiras e 15 sementes por metro, resultando numa população equivalente a 300.000 plantas por hectare.

Foi realizada uma adubação de pré-plantio em sulco, usando como fontes de nutrientes o super simples, cloreto de potássio e sulfato de amônio nas doses de 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 20 kg ha<sup>-1</sup> de N respectivamente. E uma adubação em cobertura, realizada 20 dias após a emergência das plantas com 20 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Medições diárias de temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar incidente foram realizadas por meio de uma estação agrometeorológica automática instalada junto aos lisímetros.

A Figura 3 apresenta a curva de retenção de água no solo em equilíbrio com as pressões de 10, 30, 100, 300, 1.000 e 1.500 kPa, ajustada conforme o modelo proposto por van Genuchten (1980).

em que

$r$  = umidade volumétrica residual;

$s$  = umidade volumétrica na saturação;

$m, n$ , = são parâmetros de ajuste da equação.

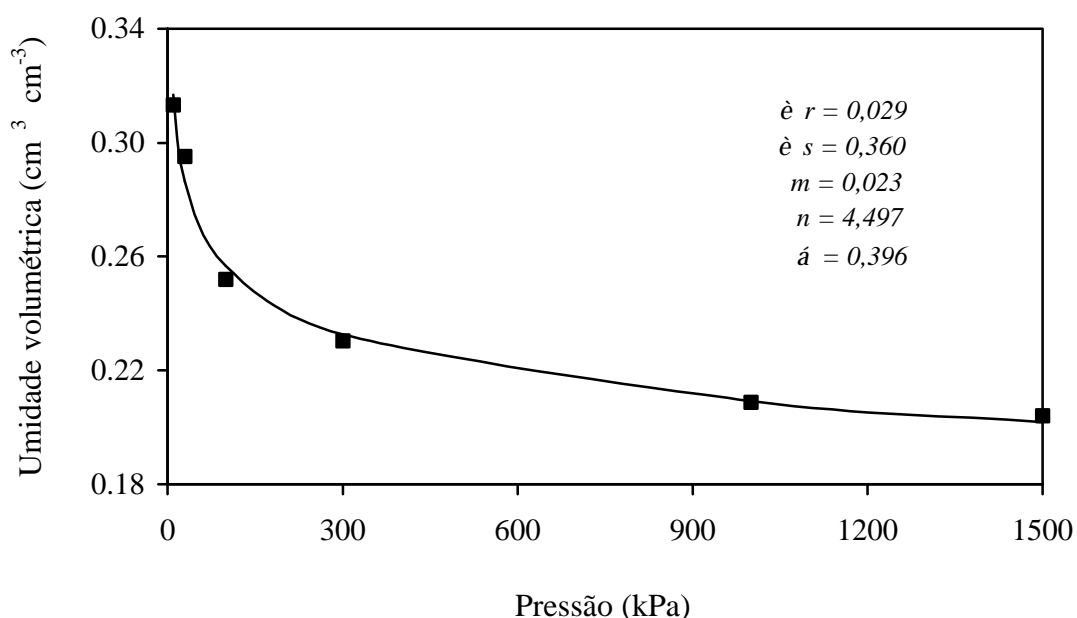


Figura 3 – Curva de retenção de água do solo.

As lâminas de água de cada irrigação foram calculadas com base na ETc e na fração de lixiviação correspondente a cada tratamento empregando a Equação 2. O intervalo entre irrigações foi determinado, em função do fator de disponibilidade de água no solo para a cultura do feijoeiro ( $f = 0,5$ ) de acordo com Bernardo et al. (2005).

$$Lai = \frac{ETc}{1 - FL} \quad (2)$$

em que

Lai = lâmina de irrigação aplicada, mm;

ETc = evapotranspiração da cultura, mm; e

FL = fração de lixiviação.

No decorrer do experimento, foram coletadas amostras de solo para a determinação da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada (CEes). A amostragem foi realizada em três camadas, 0-20, 20-40 e 40-60 cm, utilizando-se um tubo de cobre com diâmetro interno de 2,2 cm e comprimento de 80 cm; o volume da amostra coletada foi suficiente para determinar a condutividade elétrica do extrato 1:5.

## **2.6. Caracterização química do solo e da folha do feijoeiro**

As amostras de solo foram coletadas, no período de enchimento de grãos do feijoeiro, com o auxílio de um trado tipo holandês, no centro de cada lisímetro, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, no dia 05.06.2004. Essas amostras foram devidamente identificadas e enviadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da UFV, sendo, então, analisadas segundo metodologias descritas pela Embrapa (1997), conforme apresentado a seguir:

a) o pH foi determinado em água, usando-se 10 cm<sup>3</sup> de terra fina seca ao ar (TFSA) e 25 mL de água destilada, na relação solo:solução 1:2,5.

b) o carbono orgânico foi obtido pelo Método Walkley e Black, em que se utiliza o dicromato (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-2</sup>) em meio ácido, como oxidante dos compostos orgânicos contidos em amostra de 1,0 g de TFSA triturada em almofariz. Para dosagem do carbono orgânico "facilmente oxidável" (CO<sub>fo</sub>), procedeu-se à titulação do dicromato de potássio (1/6 mol L<sup>-1</sup>) remanescente da oxidação com solução de sulfato ferroso amoniacal, usando-se a difenilamina como indicador. O conteúdo de carbono orgânico total foi

estimado, multiplicando o conteúdo de  $\text{CO}_{\text{fo}}$  por um fator de 1,3, considerando-se que, em média, 77% dos compostos orgânicos foram oxidados. O conteúdo de matéria orgânica foi estimado, multiplicando-se o valor do conteúdo de carbono orgânico total pelo fator 1,724 (fator de Van Bemmelen).

c) na determinação de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, a extração desses íons foi feita com  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$ , na relação de  $5 \text{ cm}^3$  de TFSA para 50 mL de extrator, com 5 min de agitação da mistura, seguida por decantação, pelo tempo de 16 horas. As concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), com adição de cloreto de estrôncio ( $1.600 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Sr}^{2+}$  na solução de leitura), para prevenir a interferência do íon fosfato nas determinações. As concentrações de  $\text{Al}^{3+}$  foram obtidas por titulometria, por meio da solução de  $\text{NaOH}$  diluído ( $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ) como titulante, na presença de azul-de-bromotimol como indicador.

d) os teores de fósforo, potássio, sódio, zinco, manganês, ferro e cobre foram determinados, usando-se a solução Mehlich-1 ( $\text{HCl}$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ ) como solução extratora, com 5 min de agitação da mistura, seguidos de decantação durante 16 horas. O fósforo foi determinado por espectrofotometria de absorção molecular e o potássio e sódio por fotometria de emissão de chama. As concentrações de Zn, Mn, Fe e Cu foram determinadas em espectrofotômetro de absorção atômica.

As amostras para análise foliar foram coletadas, retirando-se folhas do terço mediano da planta, sendo o material vegetal acondicionado em sacos de papel identificados e enviados ao Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Solos da UFV, na mesma data de amostragem do solo. As amostras foram analisadas segundo a metodologia proposta pela Embrapa (1999a). Após secagem e moagem das folhas, foram retiradas subamostras, para análise química. Nos extratos da mineralização sulfúrica, determinou-se o nitrogênio, enquanto nos extratos de mineralização nítrico-perclórico, foi determinado o fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, cobre e zinco. Os teores de Cu, Fe, Mn, Zn, Ca e Mg foram determinados, diretamente nos extratos da digestão nítrico-perclóricas das folhas do feijoeiro, por espectrofotometria de absorção atômica, visto que, para a determinação de Ca e Mg, adicionou-se cloreto de estrôncio à solução a fim de evitar a interferência de fosfatos e alumínio, possivelmente, presentes.

Os teores de potássio foram determinados diretamente em extratos de mineralização nítrico-perclórica, por fotometria de emissão de chama, enquanto o enxofre e fósforo foram determinados por espectrofotometria de absorção molecular e o nitrogênio pelo método Kjeldhal. Para a determinação de boro procedeu-se a calcinação do material vegetal moído e a dosagem por espectrofotometria de absorção molecular, com o emprego de azometina (EMBRAPA, 1999b).

## 2.7. Determinação da curva de potencial matricial-osmótico

O potencial total da água no solo foi determinado, adicionando-se o componente osmótico ao componente matricial da água no solo, obtendo-se, assim, a curva de potencial matricial-osmótico. Os valores do componente osmótico foram acrescidos ao componente matricial, em cada ponto sobre a curva característica de água no solo.

Para determinação do componente osmótico do potencial, em cada ponto da curva, foram utilizadas as seguintes expressões:

$$\psi_{os} = 36 * CE_{\theta} \quad (3)$$

$$CE_{\theta} = \frac{CE_{es} \times \varepsilon}{\theta} \quad (4)$$

em que

$\psi_{os}$  = potencial osmótico, kPa;

CE = condutividade elétrica da solução do solo a determinado teor de água, dS m<sup>-1</sup>;

CE<sub>es</sub> = condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo, dS m<sup>-1</sup>;

$\varepsilon$  = Porosidade total do solo, %; e

$\theta$  = teor atual de água do solo, %.

## 2.8. Produtividade de grãos

Por ocasião da maturação das vagens, as plantas das parcelas foram colhidas e a produção de grãos determinada. Os grãos colhidos foram pesados e a produção transformada em g m<sup>-2</sup>.

## **2.9. Análise estatística**

O experimento foi instalado no esquema inteiramente casualizado, com três repetições. Os resultados das características do solo foram submetidos a análise da variância, no esquema de parcelas subdivididas “no tempo” em que os tratamentos (irrigações com água doce ou com água salina, conforme as frações de lixiviação estudadas) constituíram as parcelas e as camadas de solo as subparcelas.

Os resultados relativos à planta foram submetidos a análise de variância, em que os tratamentos (irrigações com água doce ou com água salina, conforme as frações de lixiviação estudadas) constituíram as parcelas.

Procedeu-se ao desdobramento de interação entre tratamentos e camadas do solo, independentemente de sua significância, de modo a analisar (dentro de cada camada) o contraste entre água doce (AD) e água salina (AS); analisou-se também o efeito das frações de lixiviação de água salina mediante equações de regressão. Este procedimento foi também adotado para os resultados referentes à planta.

Na análise da significância do contraste AD vs AS, adotou-se o teste “F” até o nível de 10% de probabilidade. A escolha das equações de regressão foi baseada na significância dos coeficientes das equações, com base no teste “t” até 10% de probabilidade, e nos coeficientes de determinação  $r^2$ . As análises estatísticas foram realizadas, empregando-se o software SAEG 5.0 (RIBEIRO JÚNIOR, 2001).

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1. Observações meteorológicas**

A condição climática durante o período experimental reveste-se de importância ao analisar os resultados, pois, as respostas morfofisiológicas das culturas dependem das condições ambientais. Os dados diários de temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar incidente foram registrados durante o ciclo da cultura, no período compreendido entre a semeadura e a colheita da testemunha (Figs. 4, 5 e 6).

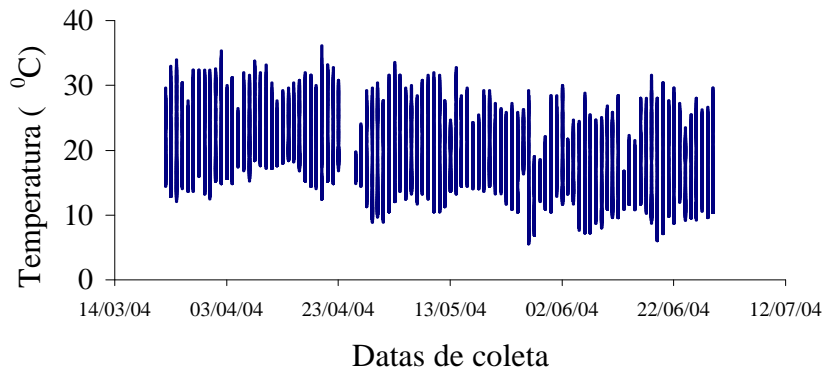


Figura 4 – Temperatura registrada a cada 12 minutos, no período de 23 de março a 30 de junho de 2004.

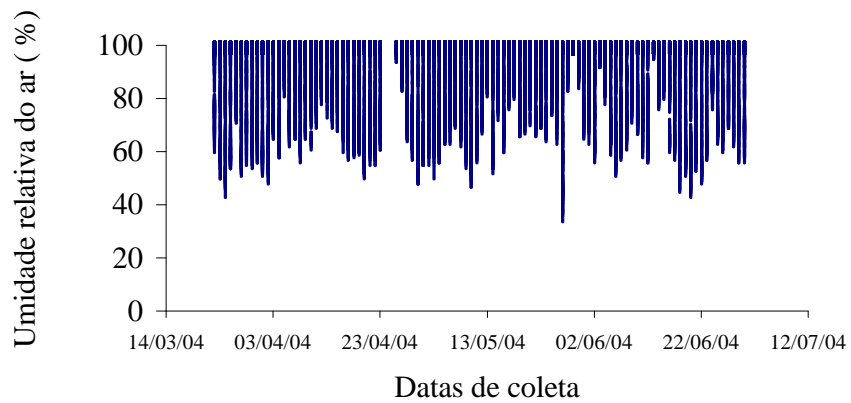


Figura 5 – Umidade relativa do ar registrada a cada 12 minutos, no período de 23 de março a 30 de junho de 2004.

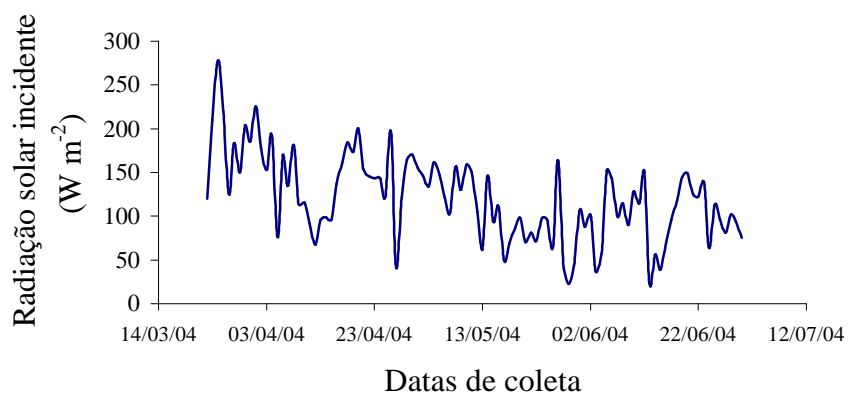


Figura 6 – Radiação solar incidente, no período de 23 de março a 30 de junho de 2004.

Quanto aos valores de temperatura (Fig. 4), observa-se que, durante o período de condução do experimento, o regime térmico apresentou oscilação com os valores variando de 7 a 35 °C. Nesta figura, observa-se ainda, uma elevação passageira da temperatura no início do ciclo da cultura, o que pode ter favorecido a germinação e emergência do feijoeiro, conforme apresentado, detalhadamente, na Figura 7.

A umidade relativa diária (Fig. 5) oscilou entre 36 e 99%. O estado fitossanitário das plantas foi bom, pois, apesar de elevadas umidades relativas do ar, não houve condições propícias para o desenvolvimento de doenças, visto que, a partir de 30 dias após o plantio, as temperaturas médias foram relativamente baixas.

A radiação solar incidente (Fig. 6) também apresentou grandes oscilações, durante o ciclo da cultura, com valores variando de 22 a 278 W m<sup>-2</sup>, sendo 121 W m<sup>-2</sup> a média geral no período de cultivo. Os valores de radiação solar mostram uma tendência à redução durante o experimento, disponibilizando, assim, quantidade menor de energia luminosa para o desenvolvimento das plantas.



Figura 7 – Detalhe da germinação e emergência das plantas de feijoeiro aos 10 dias após a semeadura.

### 3.2. Caracterização das águas utilizadas nas irrigações

Observou-se (Quadro 2) que os teores de Na<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup> na água salina aumentaram, em relação à água doce, visto que a água salina utilizada nas irrigações foi preparada mediante a adição de NaCl e CaCl<sub>2</sub> à água doce. Não se verificou diferença nos teores de K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Mn, Fe e Zn nas águas utilizadas.

O aumento do pH, RAS e CE (Quadro 2) da água salina em relação à água doce, era esperado, pois, foram acrescentados sais à água doce, causando, assim, o aumento na concentração de bases disponíveis na água, elevando o pH. A RAS elevou-se por que a quantidade de  $\text{Na}^+$  aumentou em maior proporção que o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  na água salina. Por fim, a CE da água salina aumentou, em relação à água doce, devido a maior concentração iônica.

Pode-se inferir que a água doce com CE igual a  $0,07 \text{ dS m}^{-1}$  e RAS de  $0,111 \text{ cmol}_c \text{ L}^{-1}$  (Quadro 2) não oferece risco de salinização ao solo. Entretanto, do ponto de vista da dispersão de argilas, ou seja, com base em problemas de infiltração de água no solo, essa água é classificada como de severo grau de restrição de uso (AYERS & WESTCOT, 1985).

A água salina (Quadro 2) apresentou CE igual a  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$  e RAS de  $1,914 \text{ cmol}_c \text{ dm}^3$ . Assim, esta água classifica-se como moderada, quanto ao grau de restrição de uso e quanto à salinidade; quanto ao problema de sodicidade, ela não oferece problema de restrição ao uso (AYERS & WESTCOT, 1985).

### **3.3. Alterações químicas das características do solo**

No Quadro 3, são apresentados os valores médios das concentrações das características químicas do Argissolo Vermelho Eutrófico, em função da profundidade do solo, da qualidade da água de irrigação e das frações de lixiviação. Em geral, os valores das características SB, CTCe, CTCt, MO, P, K, Ca, H+Al, P-rem, Mn, CEes, ISNA, PST e RAS aumentaram mediante a aplicação de água salina ao solo, enquanto os valores de pH, Mg, Zn, Fe e Cu no solo reduziram com a aplicação de água salina.

Quadro 3 – Valores médios das concentrações das características químicas do Argissolo Vermelho Eutrófico, em função da profundidade do solo (PROF), da qualidade da água de irrigação (QA) e das frações de lixiviação (FL)

PROF	QA	FL	pH	K	Na	Ca	Mg	H+Al	SB <sup>1</sup>	CTCe <sup>2</sup>	CTCt <sup>3</sup>	V <sup>4</sup>	ISNA <sup>5</sup>	MO <sup>6</sup>	P-rem	P	Zn	Fe	Mn	Cu	CEes	RAS <sup>7</sup>	PST <sup>8</sup>	
cm		%		-- mg dm <sup>-3</sup> --	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				-----%-----	dag kg <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	-----mg dm <sup>-3</sup> -----				dS m <sup>-1</sup>	-----%-----							
0-20	AD	3	5,9	77,3	50,1	3,0	1,11	2,0	4,5	4,5	6,5	69,3	4,8	1,6	28,1	4,2	6,0	30,5	25,9	0,96	0,3	0,15	3,3	
0-20	AS	40	5,1	104,7	196,9	5,1	0,08	2,8	6,3	6,3	9,1	69,6	13,5	2,2	31,4	15,3	4,0	26,6	36,9	0,74	2,8	0,53	9,4	
0-20	AS	31	5,1	115,3	223,9	5,6	0,12	3,0	7,0	7,0	10,0	70,0	14,0	2,1	34,6	34,7	3,0	27,0	39,6	0,76	3,5	0,58	9,8	
0-20	AS	25	4,9	123,0	236,0	5,8	0,15	3,2	7,3	7,3	10,5	69,5	13,9	1,9	37,3	25,2	2,5	22,3	36,4	0,68	3,6	0,59	9,7	
0-20	AS	23	5,0	146,3	279,8	6,4	0,25	3,4	8,3	8,3	11,6	71,1	14,8	2,2	38,0	30,1	1,5	26,7	34,4	0,61	3,3	0,67	10,5	
0-20	AS	16	5,1	132,7	255,9	6,0	0,29	2,8	7,7	7,7	10,5	73,5	14,6	2,2	38,4	26,9	3,0	23,5	35,0	0,72	4,6	0,63	10,7	
0-20	AS	14	5,1	126,0	182,8	4,7	0,18	2,4	6,1	6,1	8,5	71,4	12,6	2,0	32,7	16,8	1,9	14,9	21,2	0,57	4,5	0,50	9,1	
20-40	AD	3	5,9	36,0	24,2	2,5	0,9	1,9	3,6	3,6	5,5	65,9	2,9	1,4	27,5	2,3	5,4	29,2	16,7	0,97	0,1	0,08	1,9	
20-40	AS	40	5,2	110,0	190,7	3,3	0,43	2,2	4,9	4,9	7,1	69,1	16,9	1,3	29,4	5,6	2,7	24,1	24,2	0,56	3,3	0,60	11,7	
20-40	AS	31	5,3	63,3	163,1	3,4	0,65	1,9	4,9	4,9	6,8	71,6	14,6	1,2	28,3	5,1	2,8	25,4	17,9	0,55	3,7	0,50	10,4	
20-40	AS	25	5,2	82,3	179,6	3,1	0,73	2,1	4,8	4,8	6,9	69,9	16,3	1,1	28,3	4,0	1,4	24,8	29,4	0,77	4,0	0,57	11,4	
20-40	AS	23	5,2	87,7	195,5	3,6	0,64	1,9	5,3	5,3	7,2	74,0	15,9	1,3	29,6	5,9	1,5	29,6	35,2	0,86	3,9	0,58	11,8	
20-40	AS	16	5,2	67,3	178,4	3,3	0,71	1,8	5,0	5,0	6,8	73,0	15,7	1,2	30,4	4,1	1,5	18,9	15,8	0,58	4,9	0,55	11,5	
20-40	AS	14	5,3	66,0	147,0	3,3	0,63	1,9	4,7	4,7	6,6	71,5	12,9	1,5	28,9	3,6	0,9	11,9	10,5	0,47	4,9	0,45	9,3	

<sup>1</sup>SB – soma de bases trocáveis no solo.

<sup>2</sup>CTCe – capacidade de troca de cátions efetiva do solo.

<sup>3</sup>CTCt – capacidade de troca de cátions potencial do solo em pH 7.

<sup>4</sup>V – percentagem de saturação por bases.

<sup>5</sup>ISNA – índice de saturação por sódio.

<sup>6</sup>MO – matéria orgânica.

<sup>7</sup>RAS – razão de adsorção de sódio.

<sup>8</sup>PST – percentagem de sódio trocável.

O Quadro 4 apresenta os contrastes entre as médias de cada característica do solo, nos lisímetros irrigados com água salina (AS) e as médias dessas características do solo nos lisímetros irrigados com água doce (AD), nas camadas de 0-20 e 20-40 cm.

Observa-se que SB, CTCe e CTCt do solo aumentaram, com a aplicação de AS, nas duas camadas. Esse aumento é devido, em parte, à característica da água salina que possuía elevado teor de  $\text{Ca}^{2+}$  em sua constituição (Quadro 2), fazendo com que o teor desse elemento aumentasse no solo. O outro motivo pode estar associado ao aumento na disponibilidade de  $\text{K}^+$  e no teor de matéria orgânica no solo, com aplicação de água salina (Quadro 4).

Quadro 4 – Diferenças médias entre a água salina (AS) e água doce (AD) nas características do solo em duas camadas

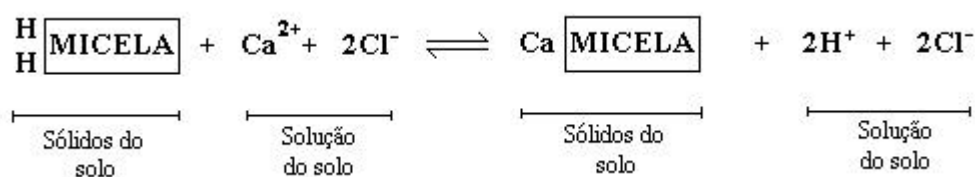
Característica	Unidade	Camadas (cm)			
		0 – 20		20 – 40	
SB	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	2,57	**	1,32	**
CTCe	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	2,57	**	1,32	**
CTCt	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	3,50	**	1,41	*
V	%	1,53	ns	5,58	**
H+Al	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,93	**	0,09	ns
pH		-0,88	**	-0,72	**
MO	$\text{dag kg}^{-1}$	0,54	*	-0,18	ns
P	$\text{mg dm}^{-3}$	20,66	*	2,41	ns
P-rem	$\text{mg L}^{-1}$	7,25	**	1,61	ns
K	$\text{mg dm}^{-3}$	47,33	*	43,44	*
Na	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	179,09	**	151,49	**
Ca	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	2,60	**	0,81	*
Mg	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	-0,93	**	-0,27	**
Zn	$\text{mg dm}^{-3}$	-3,36	ns	-3,63	°
Fe	$\text{mg dm}^{-3}$	-6,97	ns	-6,76	ns
Mn	$\text{mg dm}^{-3}$	7,98	ns	5,46	ns
Cu	$\text{mg dm}^{-3}$	-0,28	ns	-0,34	ns
CEes	$\text{dS m}^{-1}$	3,40	**	3,98	**
ISNA	%	9,09	**	12,47	**
PST	%	6,536	**	9,085	**
RAS	$(\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3})^{0,5}$	0,431	**	0,461	**

\*\* , \* e ° significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente.

ns – não significativo.

A aplicação de AS aumentou a saturação por bases (V); entretanto, esse aumento foi significativo somente na camada de 20 – 40 cm, podendo ser atribuído à redução proporcional da CTCt em relação a SB nessa camada.

Conforme o Quadro 4, houve aumento na acidez potencial do solo (H+Al), na camada de 0 – 20 cm, bem como redução no pH do solo com aplicação de AS em relação à aplicação de AD, nas duas camadas avaliadas. Segundo Brady (1989), esse aumento da acidez e a redução do pH podem ser atribuídos à adição de CaCl<sub>2</sub> ao solo ligeiramente ácido (Quadro 3), via água de irrigação, aumentando, assim, a concentração de íons H<sup>+</sup> na solução do solo, conforme a seguinte reação:



Analisando a diferença média do teor de matéria orgânica (MO) no solo irrigado com AS e AD (Quadro 4), percebe-se que o teor de MO na camada 0 – 20 cm com aplicação de AS foi maior em relação a AD. Este fato pode estar associado à atividade microbiana na mineralização da MO no solo irrigado com AD, pois, no ambiente salino, o excesso de sódio (Quadro 3) pode ter reduzido e, ou paralisado a atividade microbiana (Gheyi et al., 1997), diminuindo, assim, a taxa de mineralização da MO e, dessa forma, ficando uma maior quantidade de MO no solo irrigado com AS.

Com relação à concentração de P disponível, a aplicação de AS aumentou o teor deste nutriente apenas na camada 0 – 20 cm. O incremento da concentração de P, nesta camada, pode ser atribuído a dois fatores: o primeiro seria a adubação fosfatada, realizada no pré-plantio à profundidade de 10 cm, enquanto o segundo fator pode estar relacionado ao aumento do teor de MO nesta camada, aumentando, assim, a disponibilidade deste nutriente (CFSEMG, 1999; CANELLAS et al., 2003; NASCIMENTO et al., 2004).

O aumento de P-rem no solo, com a aplicação de AS, na camada de 0 – 20 cm (Quadro 4) pode estar associado ao aumento do teor de MO nesta camada.

A concentração de K<sup>+</sup> trocável no solo aumentou, em resposta à aplicação da AS, nas duas camadas avaliadas (Quadro 4). O incremento na concentração de K<sup>+</sup>, na camada 0 – 20 cm, pode ser atribuído ao aumento no teor de MO na camada superficial do solo. Entretanto, devido à alta mobilidade do K<sup>+</sup> no solo e ao fato de as irrigações

serem realizadas com frações de lixiviação elevadas, é possível que tenha ocorrido combinação do  $K^+$  com o  $Cl^-$  na solução do solo, formando um composto de carga neutra, sendo o  $K^+$  lixiviado para camadas inferiores do solo, elevando, assim, a concentração desse nutriente na camada de 20 – 40 cm.

No que se refere às concentrações de  $Na^+$  e  $Ca^{2+}$  trocáveis no solo, a irrigação com AS elevou-as nas duas camadas avaliadas (Quadro 4). Esse aumento pode ser atribuído à característica da água salina, utilizada na irrigação, que possuía elevada concentração de  $Na^+$  e  $Ca^{2+}$  em sua constituição (Quadro 2), fazendo com que o teor desses elementos aumentassem no perfil do solo.

A irrigação com AS reduziu a concentração de  $Mg^{2+}$  trocável no solo nas duas camadas avaliadas (Quadro 4). Esta redução pode ser atribuída ao fato de o  $Mg^{2+}$  ter-se ligado, ionicamente, ao  $Cl^-$  na solução do solo, sendo, então lixiviado via água de irrigação. A outra suposição para redução do  $Mg^{2+}$  pode ser explicada em função do aumento na concentração de  $Ca^{2+}$  no solo, pois, os dois íons possuem a mesma valência, porém o raio hidratado do  $Ca^{2+}$  é menor que do  $Mg^{2+}$ , fazendo com que ele seja adsorvido com mais força nas micelas, deslocando o  $Mg^{2+}$  dos sítios de adsorção.

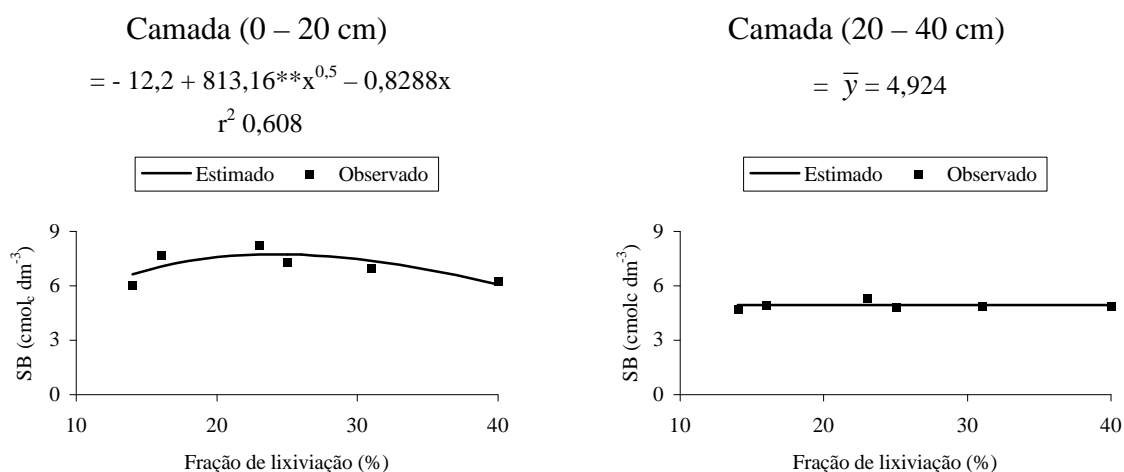
O teor de Zn diminuiu com aplicação de AS nas duas camadas (Quadro 4). No entanto, a redução foi significativa, somente, na camada 20 – 40 cm, sendo que a diminuição do Zn no perfil do solo pode estar associada à absorção deste micronutriente pela planta que foi favorecida com a aplicação de água salina, conforme pode se observar no Quadro 7. Para os teores dos micronutrientes Fe, Mn e Cu, não houve efeito significativo da AS em relação a AD, nas duas camadas avaliadas (Quadro 4).

A CEes do solo aumentou com a aplicação de AS, sendo que o maior incremento ocorreu na faixa de profundidade 20 – 40 cm (Quadro 4). O aumento da salinidade no perfil do solo, com a aplicação de água salina, vem sendo estudado por vários pesquisadores (AYERS & WESTCOT, 1985; FERREIRA, 2002; BASSIL & KAFFKA, 2002) e o maior incremento da salinidade com a profundidade do solo tem sido atribuído ao transporte dos sais para as camadas mais profundas, devido ao processo de lixiviação.

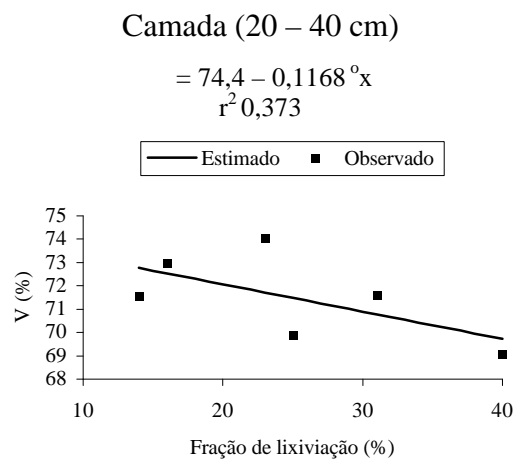
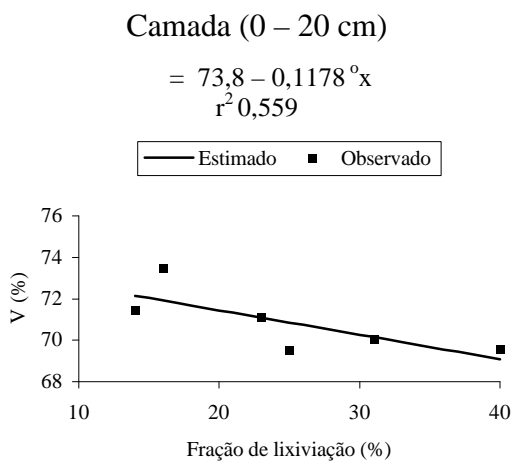
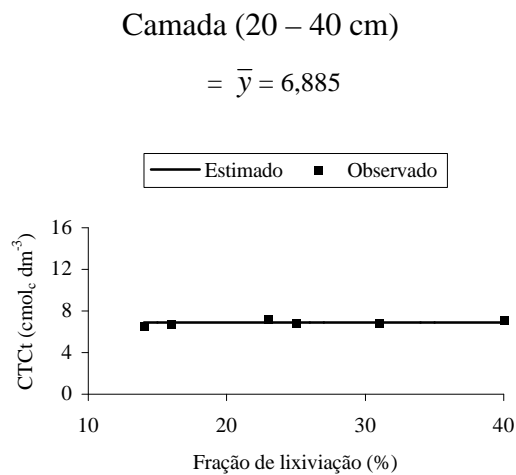
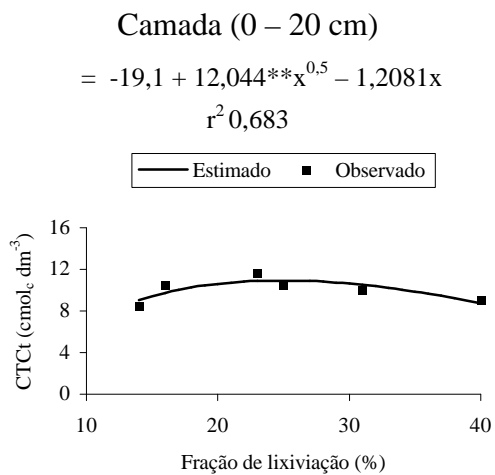
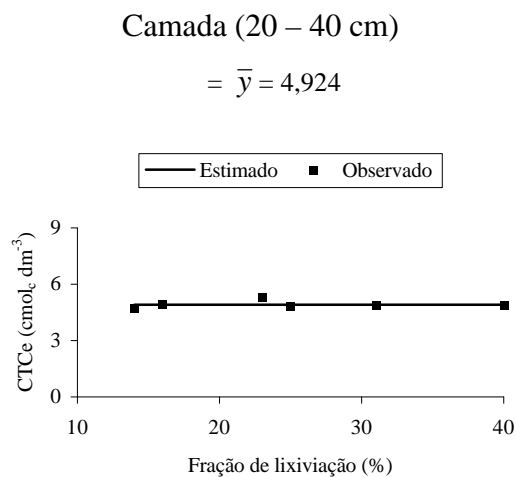
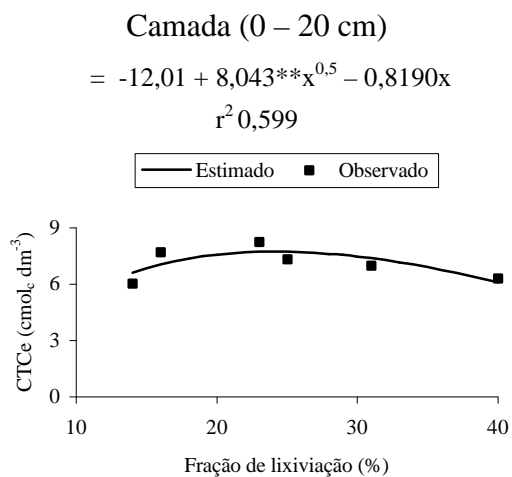
O ISNA, a PST e a RAS do solo aumentaram com a aplicação de AS nas duas camadas avaliadas (Quadro 4); este incremento é devido ao aumento na concentração do íon Na no perfil do solo. Essas características estão, diretamente, relacionadas aos problemas de infiltração de água no solo, ou seja, à medida que os valores dessas características aumentam, o risco de dispersão dos colóides do solo também aumentam, com conseqüente redução na taxa de infiltração de água no solo. Entretanto, de acordo Ferreira (2002), o excesso de cálcio no solo pode contrapor o efeito adverso causado pelo íon sódio (dispersão dos colóides do solo), pelo fato de o  $\text{Ca}^{2+}$  possuir maior energia de adsorção, fazendo com que a dupla camada difusa comprima, evitando a dispersão dos colóides do solo.

### 3.4. Comportamento das características do solo em resposta às frações de lixiviação com água salina

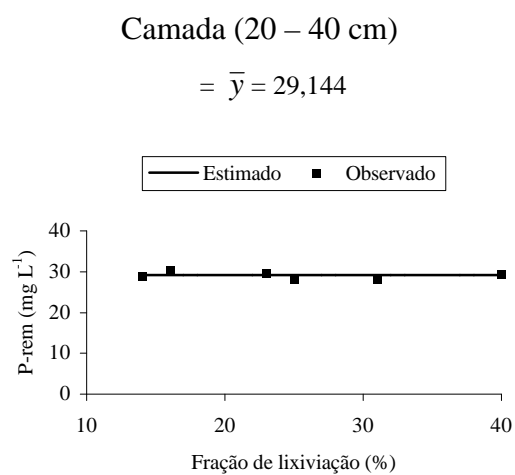
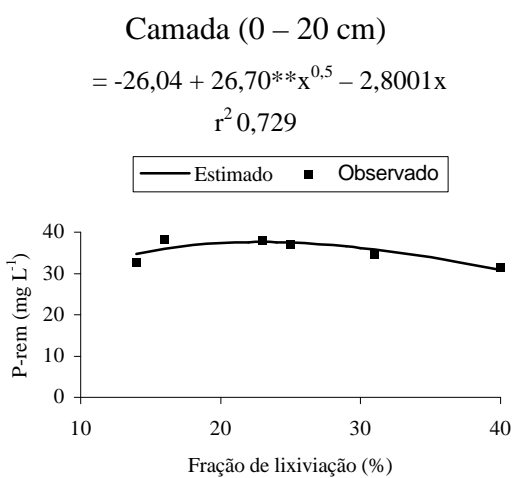
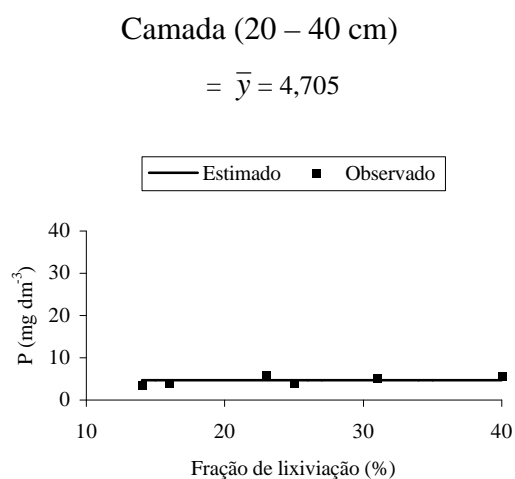
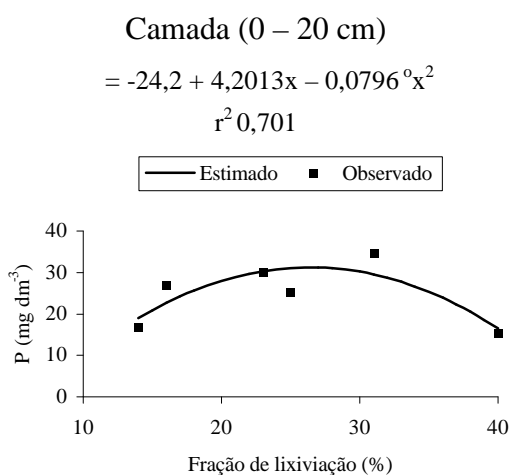
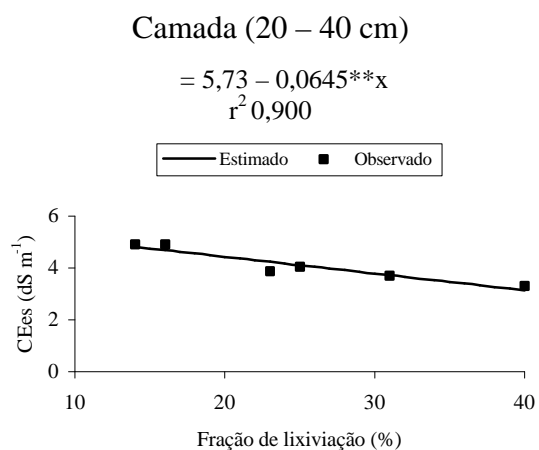
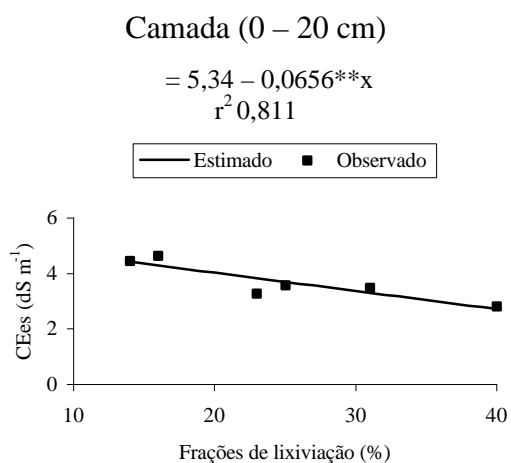
A Figura 8 apresenta os modelos de regressão, ajustados aos dados observados, possibilitando visualizar o comportamento das características do solo SB, CTCe, CTCt, V, pH, MO, P, K, Na, Ca, Mg, H+Al, P-rem, Zn, Mn, Fe, Cu, CEes, ISNA, PST e RAS, aos 72 dias após o plantio, em resposta às frações de lixiviação (14, 16, 23, 25, 31 e 40%), com o uso de água salina de  $2 \text{ dS m}^{-1}$ .



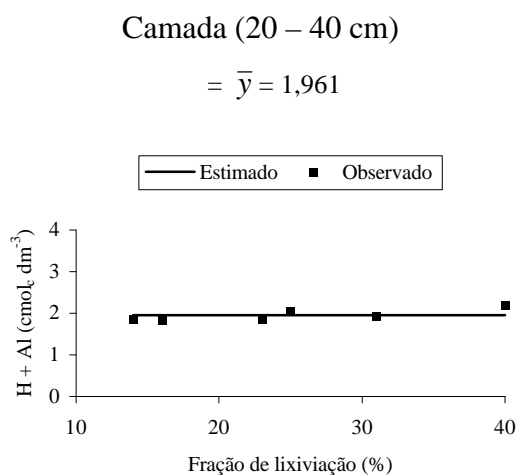
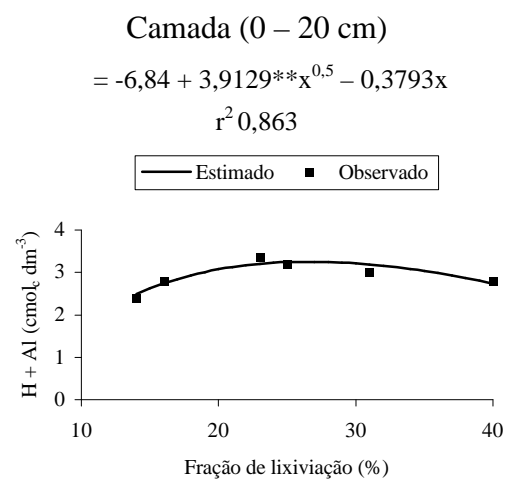
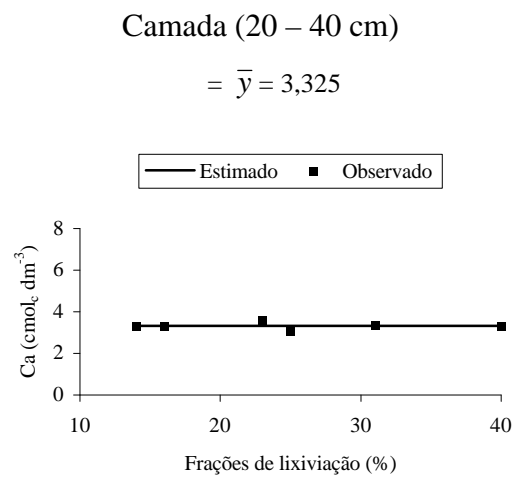
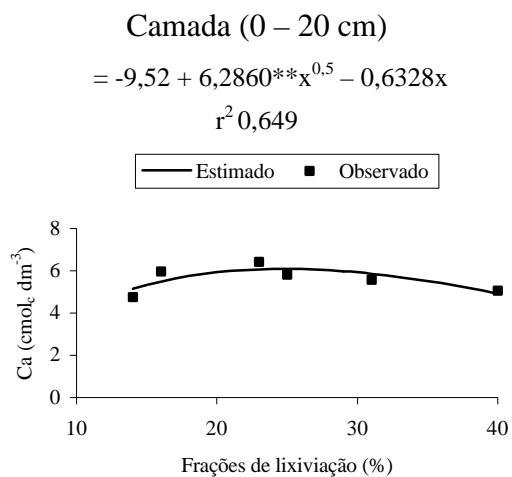
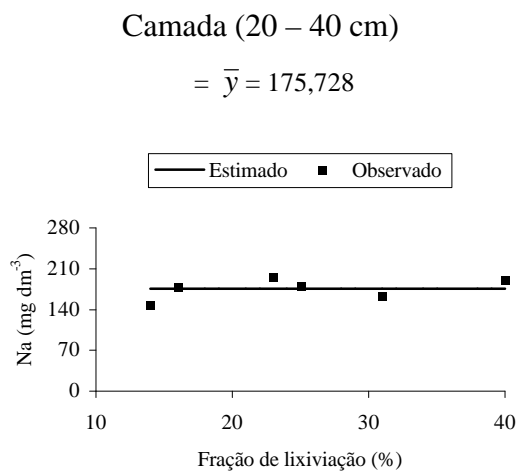
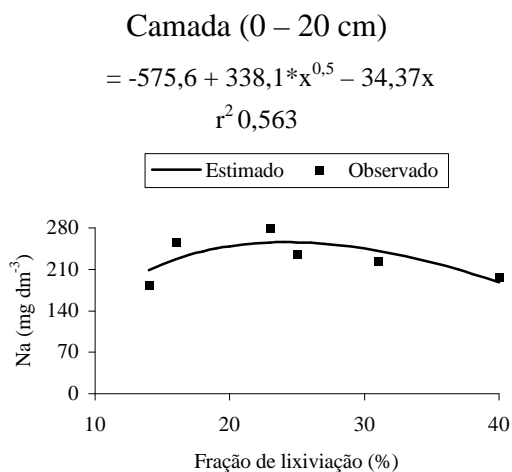
Continuação da Figura 8



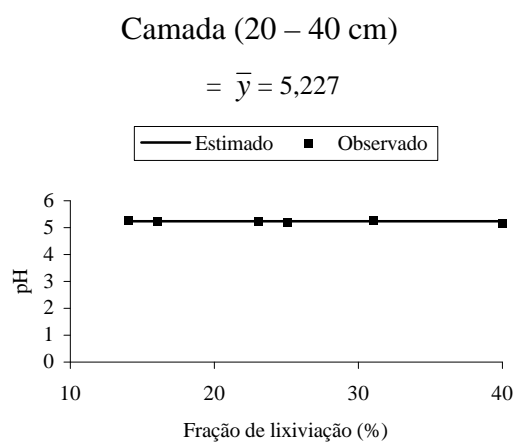
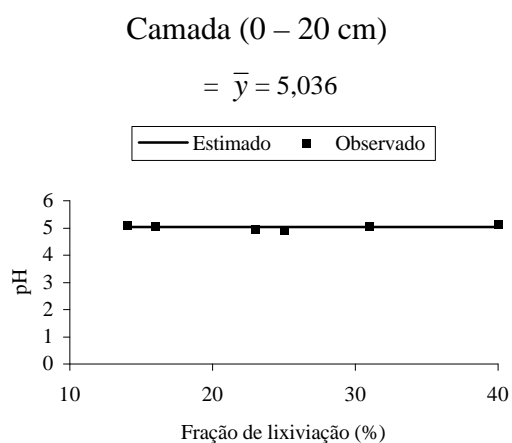
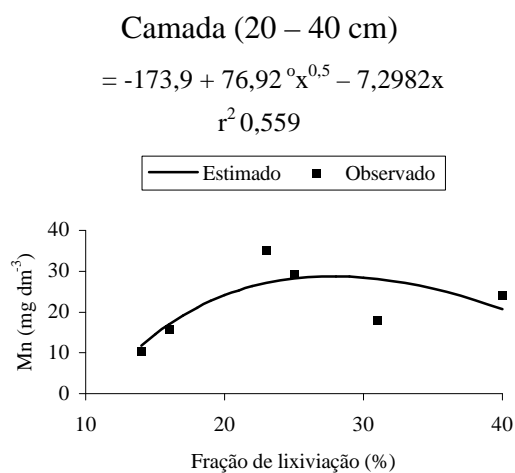
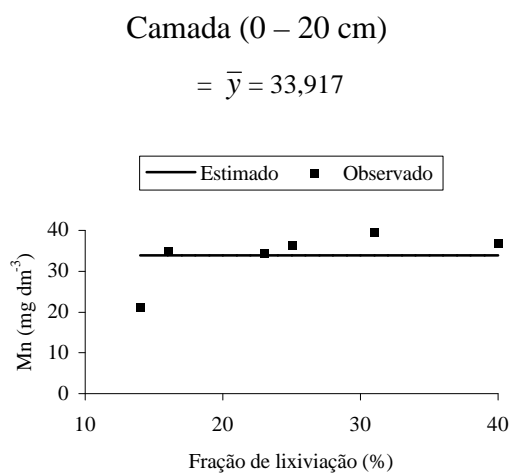
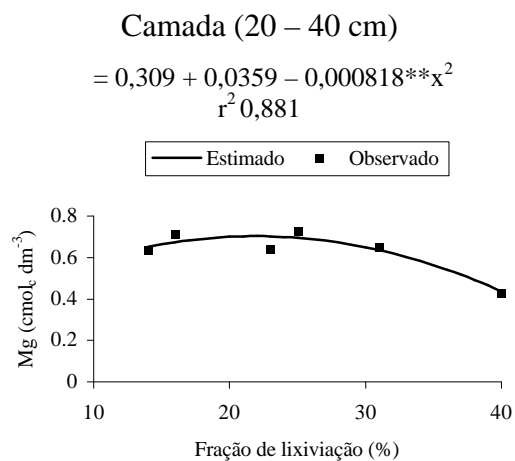
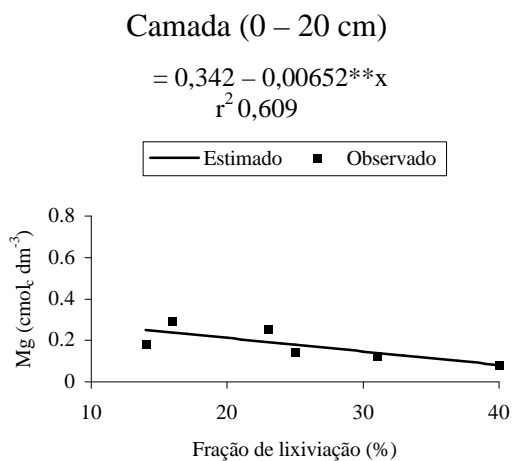
Continuação da Figura 8



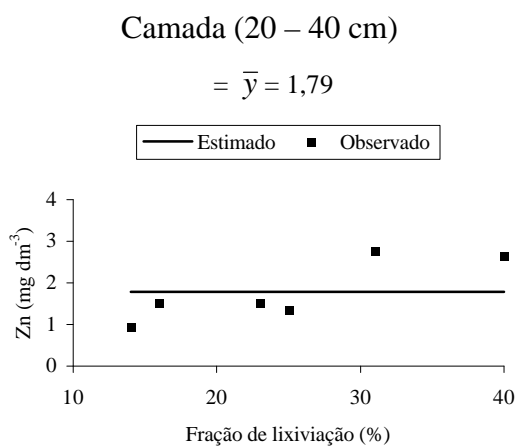
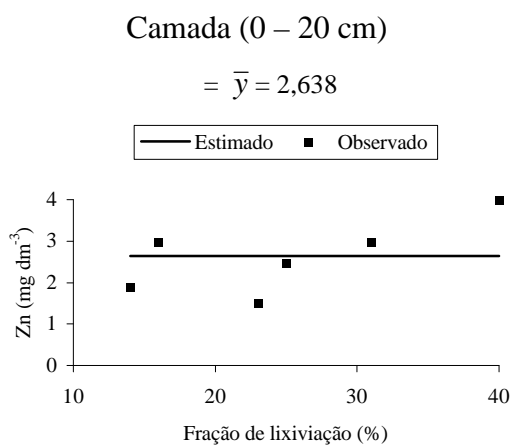
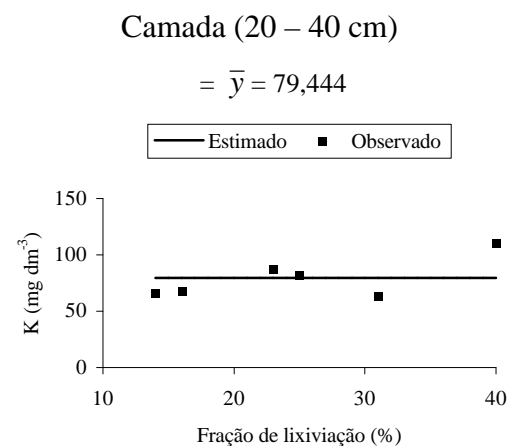
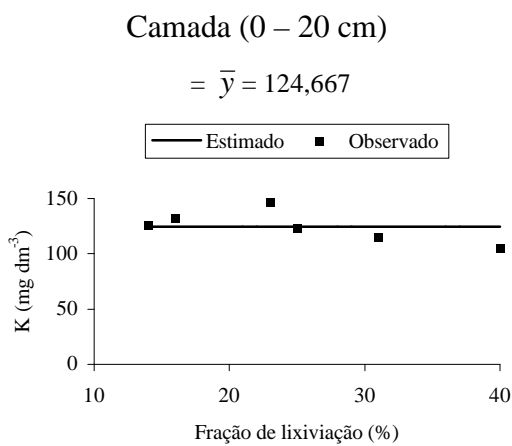
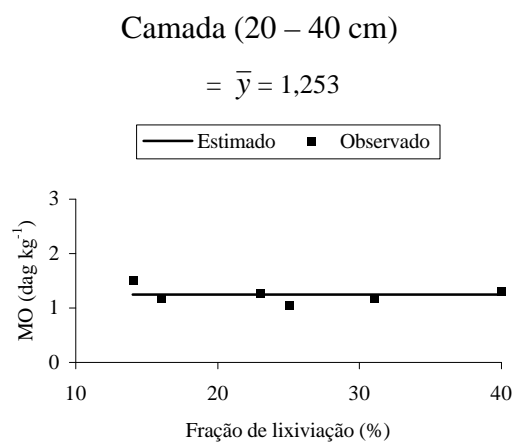
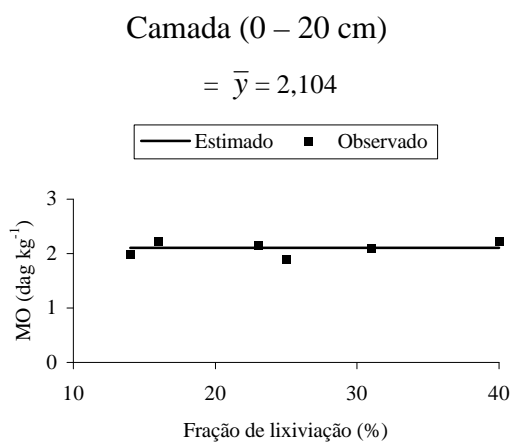
Continuação da Figura 8



Continuação da Figura 8



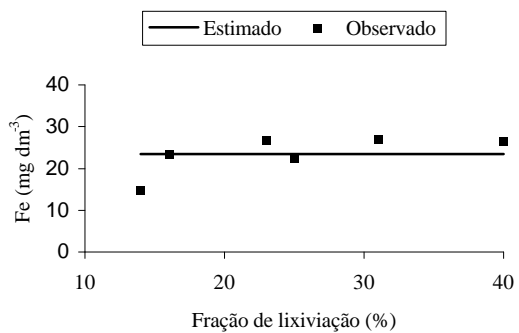
Continuação da Figura 8



Continuação da Figura 8

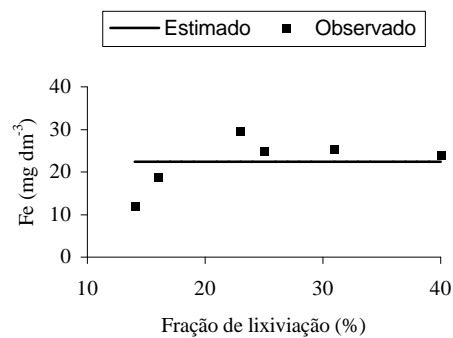
Camada (0 – 20 cm)

$$= \bar{y} = 23,494$$



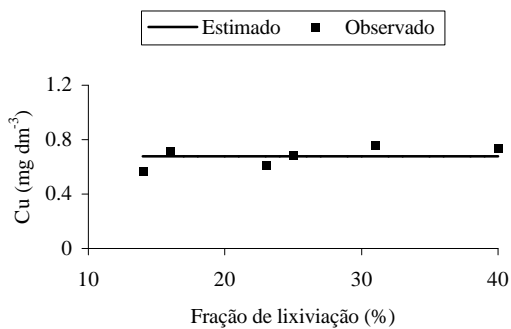
Camada (20 – 40 cm)

$$= \bar{y} = 22,444$$



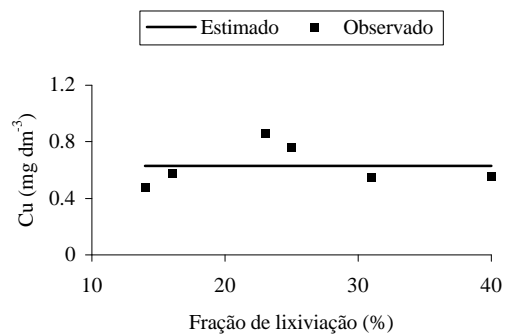
Camada (0 – 20 cm)

$$= \bar{y} = 0,679$$



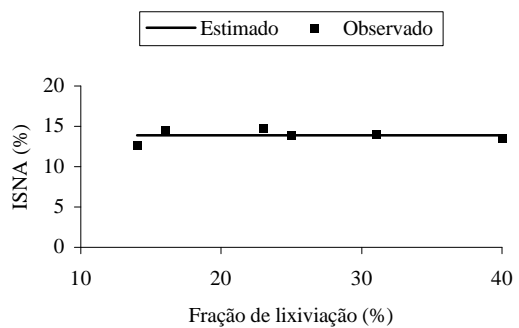
Camada (20 – 40 cm)

$$= \bar{y} = 0,632$$



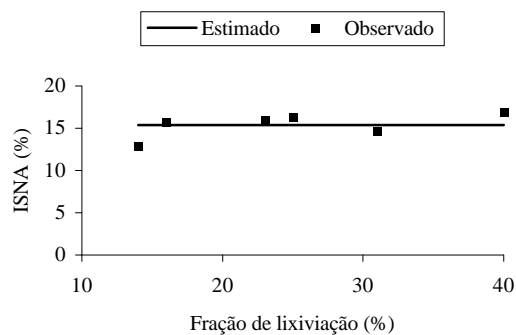
Camada (0 – 20 cm)

$$= \bar{y} = 13,877$$



Camada (20 – 40 cm)

$$= \bar{y} = 15,388$$



Continuação da Figura 8

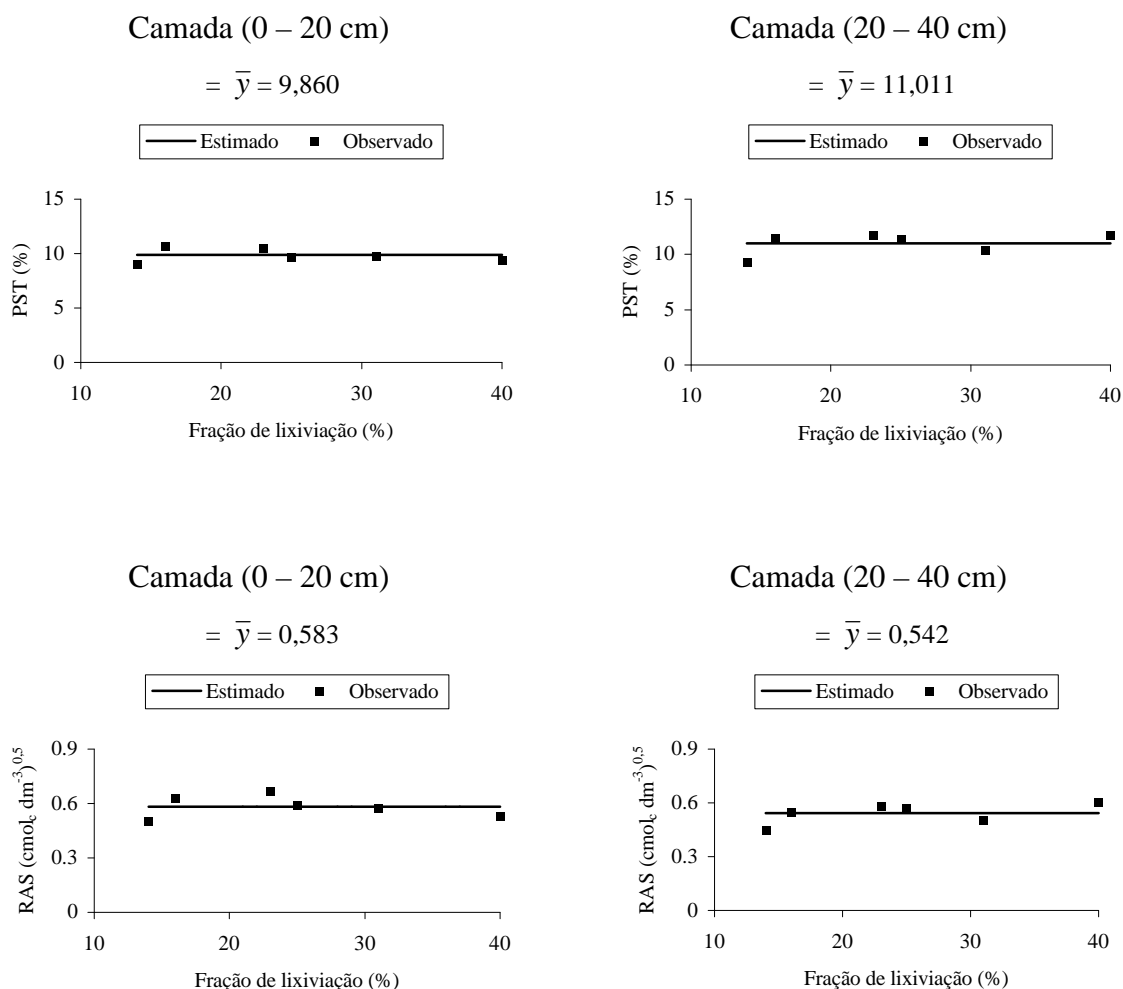


Figura 8 – Comportamento das características do solo (SB, CTCe, CTCt, V, pH, MO, P, K, Na, Ca, Mg, H+Al, P-rem, Zn, Mn, Fe, Cu, CEes, ISNA, PST e RAS), em resposta às frações de lixiviação (14, 16, 23, 25, 31 e 40%) com o uso de água salina de 2 dS m<sup>-1</sup>, avaliado nas duas camadas. Os valores observados são provenientes da média de três repetições. \*\*, \* e ° são modelos significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente.

Conforme a Figura 8, na camada 0 – 20 cm, as características SB, CTCe e CTCt apresentaram comportamento de modelo do tipo raiz quadrada, ou seja à medida que aumentam as frações de lixiviação, os valores das características aumentam até atingir um máximo em torno de 25%, a partir do qual SB, CTCe e CTCt começam a diminuir. Entretanto, na camada de 20 – 40 cm, estas características não variaram significativamente, em função da variação das frações de lixiviação com água salina.

A saturação por bases (V) e a CEEs decresceram significativamente e de forma linear, com magnitude semelhante, com o aumento das frações de lixiviação nas duas camadas do solo. Portanto, pode-se, inferir que, em geral, o aumento das frações de lixiviação com água salina tende a aumentar a disponibilidade de  $H^+$  no solo, fazendo com que a saturação por bases diminua. O decréscimo na CEEs do solo, conseqüente ao incremento nas frações de lixiviação, mostra que a lixiviação é uma prática eficaz para diminuir o excesso de sais solúveis na zona radicular das culturas.

As concentrações de P e P-rem apresentaram comportamento de modelo do tipo quadrático e raiz quadrada, respectivamente, na faixa de profundidade 0 – 20 cm. Entretanto, na faixa de 20 – 40 cm não houve efeito significativo das concentrações de P e P-rem em função da variação nas frações de lixiviação com água salina.

Na faixa de profundidade 0 – 20 cm do perfil do solo, as concentrações das características Na, Ca e H+Al apresentaram comportamento de modelo do tipo raiz quadrada. Portanto de acordo com este modelo, à medida que aumentam as frações de lixiviação, os valores das características também aumentam até atingir um ponto máximo, a partir do qual as concentrações de Na, Ca e H+Al começam a diminuir. A variação da concentração do íon Na no perfil do solo não apresenta riscos elevados de dispersão dos colóides do solo, visto que as concentrações de Ca e H+Al variaram, seguindo a mesma tendência. Desse modo, como esses íons têm caráter floculante, a concentração desses elementos anula o efeito dispersante do Na. Na camada 20 – 40 cm, entretanto, não houve efeito significativo das concentrações dessas características, em relação à variação das frações de lixiviação com água salina.

As concentrações de Mg e Mn não variaram, significativamente, em função da variação das frações de lixiviação com água salina, na camada 0 – 20 cm. Entretanto, na camada 20 – 40 cm, as concentrações de Mg e Mn apresentaram comportamento de modelo do tipo quadrático e raiz quadrada, respectivamente. Esses modelos descrevem o aumento nas concentrações dos nutrientes, em função do aumento das frações de lixiviação, até atingir um ponto máximo a partir do qual as concentrações de Mg e Mn começam a diminuir.

O comportamento das características do solo pH, MO, K, Zn, Fe, Cu, ISNA, PST e RAS não apresentaram efeito significativo nas duas camadas do solo, avaliadas em função da variação das frações de lixiviação com água salina.

Em geral, percebe-se que os modelos ajustados aos dados observados apresentam valores máximos em torno da fração de lixiviação de 25%, para as características avaliadas. Portanto, pode-se afirmar que nas condições experimentais e para as características SB, CTCe, CTCt, P, P-rem, Na, Ca, Mg, H+Al e Mn, que seguem os modelos quadrático e raiz quadrada, a fração de lixiviação de 25% aumentou a concentração de nutrientes na solução do solo.

### 3.5. Alterações do estado nutricional do feijoeiro

O Quadro 5 apresenta os valores médios das concentrações dos nutrientes nas folhas do feijoeiro, em função das frações de lixiviação e da qualidade da água de irrigação.

Quadro 5 – Valores médios das concentrações dos nutrientes nas folhas do feijoeiro, em função das frações de lixiviação (FL) e da qualidade da água de irrigação (QA)

QA	FL	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Na
	%	-----dag kg <sup>-1</sup> -----						-----mg kg <sup>-1</sup> -----					
AD	3	3,47	0,19	1,62	2,24	0,32	0,17	19,7	283,1	174,8	5,1	24,0	90
AS	40	3,40	0,20	1,49	3,26	0,46	0,15	23,2	136,6	152,2	5,1	13,6	90
AS	31	3,27	0,19	1,57	3,15	0,45	0,24	21,7	195,0	140,8	4,8	15,4	90
AS	25	3,28	0,19	1,54	3,14	0,46	0,23	21,5	225,0	161,5	4,3	20,6	80
AS	23	3,30	0,18	1,49	3,25	0,53	0,22	21,9	129,3	157,7	4,8	19,6	100
AS	16	3,26	0,20	1,67	3,39	0,54	0,08	22,8	146,1	159,3	4,8	18,7	100
AS	14	3,14	0,19	1,72	3,40	0,52	0,08	24,1	166,3	142,2	4,9	25,2	90

O Quadro 6 apresenta a faixa de valores de referência das concentrações dos nutrientes, para interpretação de resultados da análise de tecidos em plantas de feijoeiro.

Quadro 6 – Valores adequados de nutrientes em tecidos de plantas de feijoeiro

N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
-----dag kg <sup>-1</sup> -----					-----mg kg <sup>-1</sup> -----					
3-5	0,25-0,4	2-2,5	1-2,5	0,25-0,5	0,2-0,3	20-100	100-450	30-300	10-20	30-60

Fonte: Sousa e Lobato (2002).

Conforme se pode observar nos quadros 5 e 6, as concentrações de alguns nutrientes como P, K, B e Cu estão abaixo da faixa de suficiência nutricional em folhas de feijoeiro, entretanto os demais (N, Ca, Mg, S, Zn, Fe e Mn) encontram-se dentro ou acima da faixa de suficiência nutricional, exceto o S (FL = 16 e 14%), que apresentou valores abaixo da faixa de suficiência nutricional para o feijoeiro. Assim, fica caracterizado que o feijoeiro apresentava deficiência nutricional de alguns elementos essenciais (P, K, B e Cu). Entretanto, através da diagnose visual durante o ciclo da cultura (testemunha), observa-se à ausência de sintomas de deficiência nutricional, o que pode ser atribuído ao período em que foi realizada a análise foliar (enchimento de grãos), visto que, nessa fase, a cultura teria translocado os nutrientes das folhas para os grãos, obtendo assim, teores de alguns nutrientes abaixo da faixa de suficiência nutricional.

No Quadro 7, encontram-se os resultados dos contrastes entre as médias das concentrações de nutrientes nas folhas de feijoeiro, cultivado em lisímetros irrigados com água salina (AS), bem como as médias das concentrações de nutrientes nas folhas de feijoeiro, cultivado em lisímetros irrigados com água doce (AD), nas duas camadas.

Quadro 7 – Valores das diferenças entre as médias (AS–AD) das concentrações de nutrientes encontrados nos tecidos foliares do feijoeiro

Variáveis	Unidades	Diferença (AS–AD)	
N	dag kg <sup>-1</sup>	-0,19	*
P	dag kg <sup>-1</sup>	0,00006	ns
K	dag kg <sup>-1</sup>	-0,04	ns
Ca	dag kg <sup>-1</sup>	1,02	**
Mg	dag kg <sup>-1</sup>	0,179	**
S	dag kg <sup>-1</sup>	-0,002	ns
Na	mg kg <sup>-1</sup>	0,005	ns
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	2,81	*
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	-116,7	*
Mn	mg kg <sup>-1</sup>	-22,5	ns
Cu	mg kg <sup>-1</sup>	-0,35	ns
B	mg kg <sup>-1</sup>	-5,1	ns

\*\* e \* significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

ns – não significativo.

Verificou-se que a concentração de N na folha reduziu, significativamente, com a aplicação de AS, em relação a AD. Resultados indicando decréscimo no teor de N com o aumento da salinidade foram, também, encontrados por Viégas et al. (2004) em trabalho com algarobeira, cultivada em solução nutritiva de NaCl às concentrações 25, 50, 75 e 100 mmol.L<sup>-1</sup>. De acordo com Gheyi et al. (1997), a redução do teor de N nas

folhas pode ser atribuída à inibição do processo de nitrificação, que se torna absoluto a uma PST > 7,0 no solo (Quadro 3).

O teor de P na folha não foi afetado com aplicação de AS, em relação a AD, mesmo com o aumento significativo deste nutriente no solo (Quadro 4). Tal fato pode estar associado à baixa atividade do  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  na solução do solo, devido ao aumento na concentração do NaCl (AL-KARAKI, 1997).

A irrigação com AS, em relação a AD, não afetou a concentração de K nas folhas de feijão, mesmo com o aumento significativo desse nutriente no solo (Quadro 4). A não-detecção da diferença no teor de K entre a aplicação de AS e AD nas folhas de feijoeiro pode estar relacionada ao fato de o K ser o soluto inorgânico mais proeminente na planta, tendo uma contribuição fundamental em baixar o potencial osmótico das células das raízes, significando, assim, que este nutriente pode ter sido acumulado nas raízes e não ter sido detectado na análise foliar (FERNANDES et al., 2002).

O teor de Ca nas folhas aumentou, significativamente (Quadro 7), podendo este comportamento estar associado ao aumento na disponibilidade deste nutriente no solo (Quadro 4), devido à elevada concentração do íon Ca na AS utilizada na irrigação (Quadro 2).

O aumento da absorção e transporte do Mg para as folhas do feijoeiro (Quadro 7) pode estar relacionado à redução significativa na concentração de Mg no solo, com a aplicação de AS em relação ao tratamento com AD (Quadro 4).

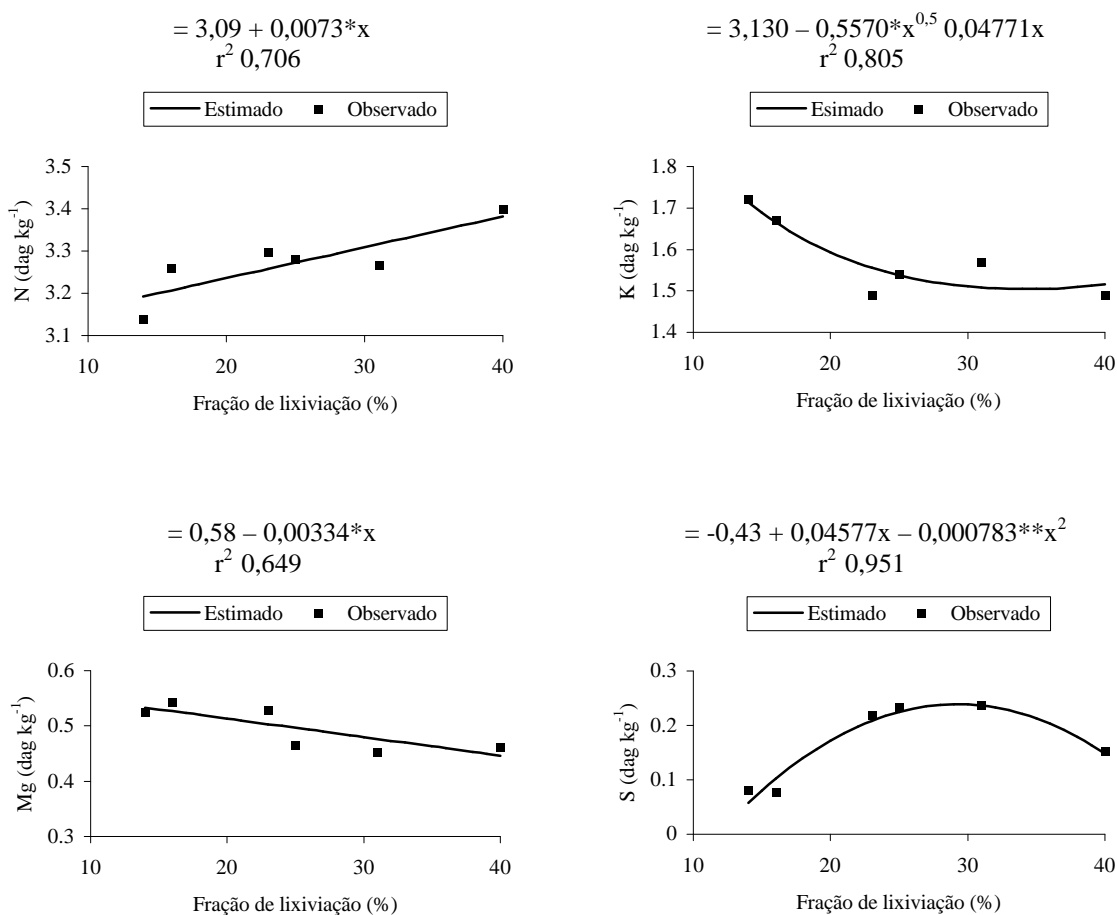
Observou-se que a aplicação de AS, em relação ao tratamento com AD, não afetou o teor de sódio na folha, mesmo com o aumento na disponibilidade deste elemento no solo (Quadro 4). Isso pode ser atribuído ao fato que de alguma forma, a planta tenha impedido que excessivas quantidades de Na, provenientes da solução do solo, alcançassem o protoplasma celular, evitando, assim, os efeitos tóxicos e osmóticos associados ao aumento na concentração deste íon (LARCHER, 2000).

Com o aumento da salinidade do solo, decorrente da aplicação de AS, o teor de Fe na folha reduziu, significativamente (Quadro 7). Resultados semelhantes foram encontrados por Al-Harbi (1995), trabalhando com tomate e pepino, sob diferentes concentrações de solução salina. Tal fato pode ser atribuído ao aumento na disponibilidade de potássio na solução do solo (Quadro 4), causando a redução da absorção de Fe pela planta (FURTINI NETO et al., 2001).

O teor de Zn nas folhas do feijoeiro aumentou, significativamente, sob efeito da salinidade, enquanto os teores de S, B, Cu e Mn não foram afetados com aplicação de AS, em relação ao tratamento com AD (Quadro 7).

### 3.6. Comportamento dos nutrientes nas folhas do feijoeiro em resposta às frações de lixiviação com água salina

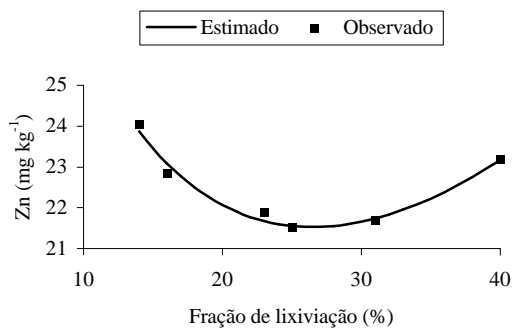
Na Figura 9, encontram-se os modelos de regressão ajustados aos dados observados, os quais descrevem o comportamento das concentrações de nutrientes N, K, Mg, S, Zn, B, P, Ca, Na, Fe, Mn e Cu nas folhas de feijoeiro, em resposta às frações de lixiviação (14, 16, 23, 25, 31 e 40%) com o uso de água salina de 2 dS m<sup>-1</sup>, aos 72 dias após o plantio.



Continuação da Figura 9

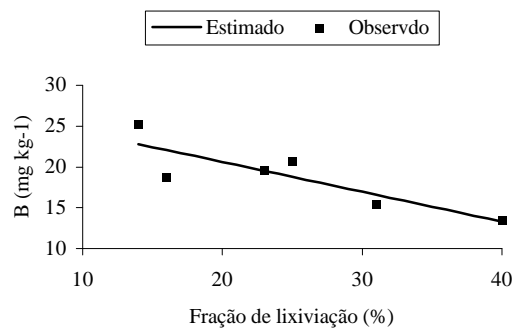
$$= 52,9 - 12,19 x^{0,5} + 1,1841x$$

$$r^2 0,969$$

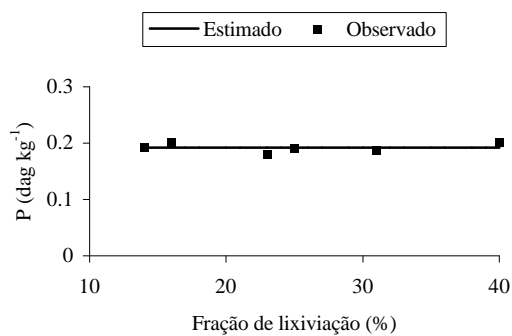


$$= 27,9 - 0,3648*x$$

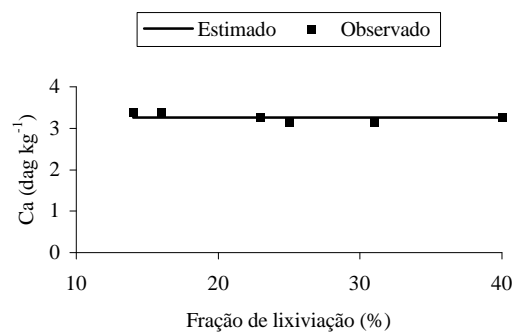
$$r^2 0,740$$



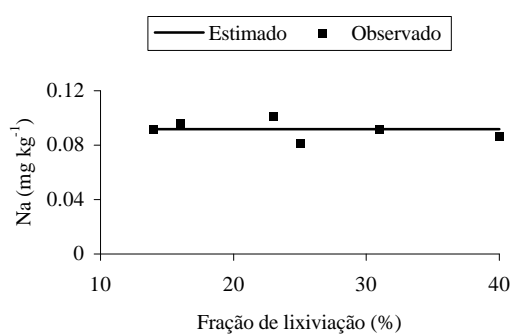
$$= \bar{y} = 0,193$$



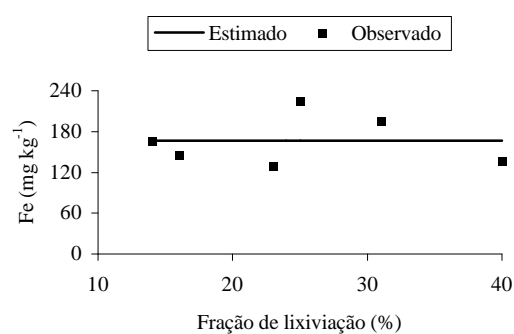
$$= \bar{y} = 3,264$$



$$= \bar{y} = 0,092$$



$$= \bar{y} = 166,367$$



Continuação da Figura 9

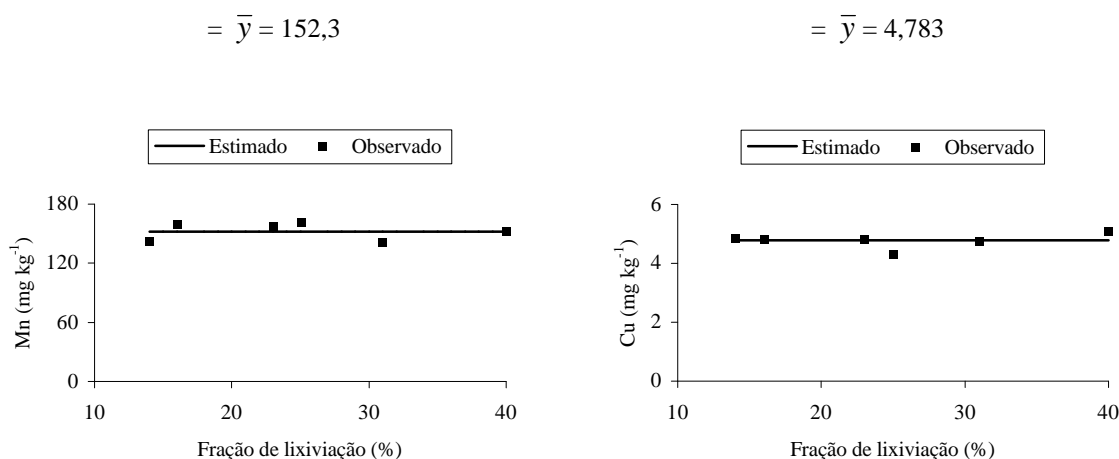


Figura 9 – Concentração dos nutrientes N, K, Mg, S, Zn, B, P, Ca, Na, Fe, Mn e Cu nas folhas do feijoeiro, em resposta às frações de lixiviação (14, 16, 23, 25, 31 e 40%) com o uso de água salina de 2 dS m<sup>-1</sup>. Os valores observados são provenientes da média de três repetições. \*\* e \* representam modelos significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

O incremento de forma linear nas concentrações de N nas folhas de feijoeiro, em função das frações de lixiviação, pode ser atribuído à redução da salinidade do solo com o aumento das frações de lixiviação (Fig. 8), visto que a salinidade elevada faz com que a disponibilidade de N diminua para as plantas (GHEYI et al., 1997; VIÉGAS et al., 2004).

Observou-se que, em razão do aumento das frações de lixiviação com água salina, a concentração de K nas folhas de feijoeiro diminuiu, significativamente, apresentando comportamento de modelo do tipo raiz quadrada. Possivelmente, o aumento das concentrações de K nos tecidos foliares, em função da redução das frações de lixiviação, seja devido ao aumento da CEes (Fig. 8). Este comportamento pode ser atribuído ao fato que o K é requerido em grande quantidade, pela planta, para ajustar-se osmoticamente (MARSCHNER, 1995).

Notou-se que o aumento das frações de lixiviação proporcionou redução linear nas concentrações de Mg nas folhas de feijoeiro (Fig. 9). Esta redução de Mg nas folhas pode ser atribuída à redução na disponibilidade deste nutriente no solo (Fig. 8).

Verificou-se que, aumentando as frações de lixiviação com água salina, a concentração de S nas folhas de feijoeiro tende a aumentar, apresentando comportamento quadrático. Segundo Fernandes et al. (2002), o aumento nas concentrações de S nos tecidos foliares pode ser atribuído à redução na salinidade da solução, pois, aumentando-se as frações de lixiviação, a CEes diminui (Fig. 8).

Na Figura 9, observa-se que a concentração de Zn nas folhas de feijoeiro apresentou comportamento de modelo do tipo raiz quadrada, em função das frações de lixiviação com água salina. Este modelo mostra que à medida que aumentam-se as frações de lixiviação, as concentrações de Zn diminuem até atingir um ponto mínimo, a partir do qual as concentrações do nutriente começam a aumentar.

As concentrações de B nos tecidos foliares do feijoeiro reduziram, linearmente, em função do aumento das frações de lixiviação (Fig. 9). De acordo com Faquin (2001), a redução do teor de B nas folhas pode estar vinculada ao aumento na concentração de N, visto que o N exerce efeito interiônico sobre o B, inibindo sua absorção.

Os teores de P, Ca, Na, Fe, Mn e Cu não sofreram efeito significativo, em relação à variação nas frações de lixiviação (Fig. 9).

### **3.7. Efeito da salinidade sobre as relações Na/Mg, Na/Ca, Na/N e Na/K nas folhas de feijoeiro**

Conforme a Figura 10, as relações Na/Mg e Na/Ca nas folhas do feijoeiro reduziram significativamente de forma linear com o aumento na salinidade do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Al-Harbi (1995) para a relação Na/Ca, trabalhando com as culturas do pepino e tomate irrigados com água salina. Este desequilíbrio nutricional pode ser atribuído à sensibilidade da cultura à salinidade (FERNANDES et al., 2002).

O comportamento da relação Na/N em função do aumento na salinidade do solo seguiu o modelo quadrático, passando por um ponto de mínimo em  $2,7 \text{ dS m}^{-1}$ . Entretanto, a relação Na/K não teve efeito significativo com a salinidade, obtendo-se um valor médio de 0,057.

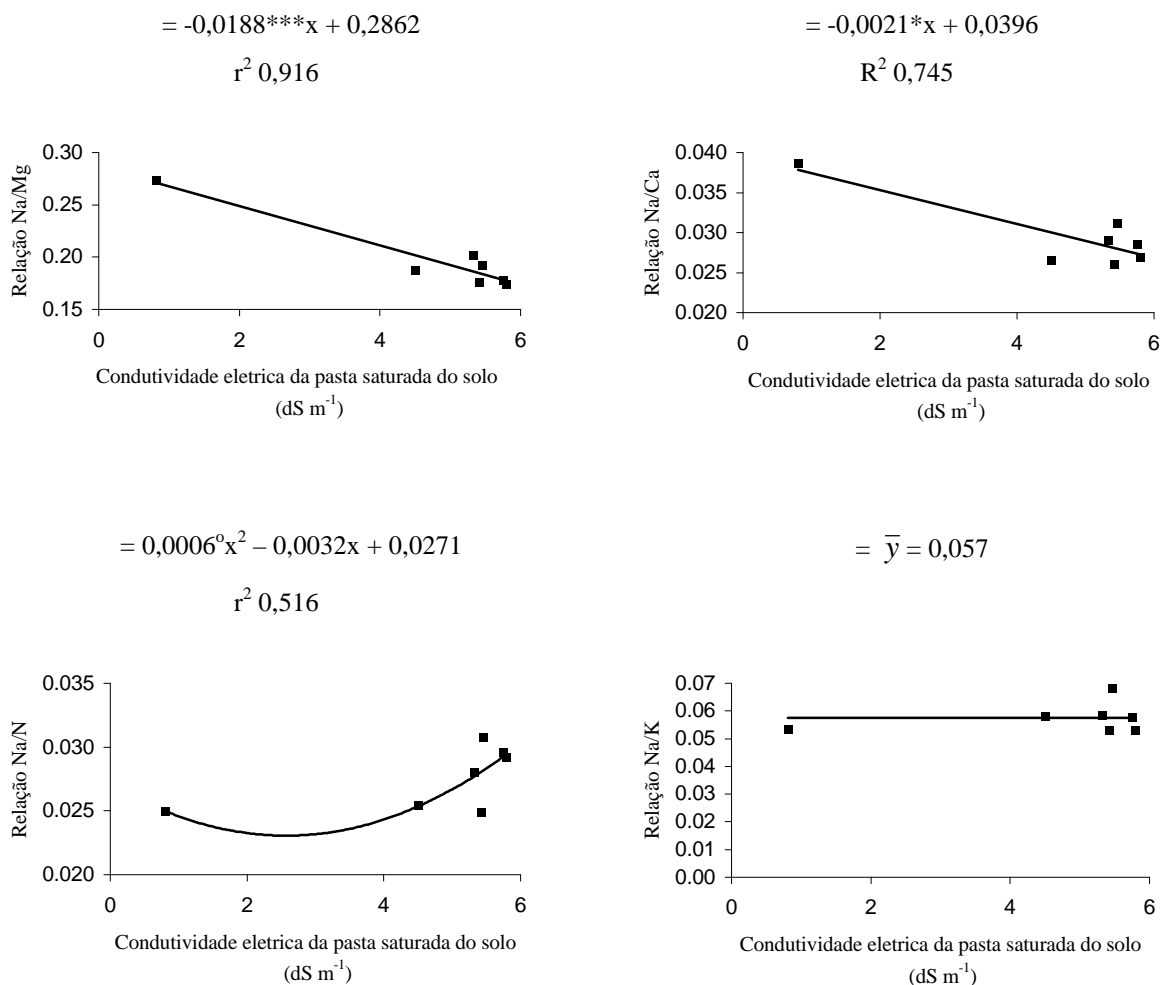


Figura 10 – Efeito da salinidade da solução do solo sobre as relações Na/Mg, Na/Ca, Na/N e Na/K em folhas de feijoeiro. \*\*, \* e <sup>0</sup> significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente.

### 3.8. Determinação da salinidade limiar do feijoeiro

A produção máxima do feijoeiro correspondente a 100% da produção relativa foi de 3.449 kg ha<sup>-1</sup>. Por meio do estudo de regressão segmentada (modelo platô), aplicada aos dados de produção relativa (Fig. 11), verificou-se que a salinidade limiar do feijoeiro cv. Talismã foi 1,67 dS m<sup>-1</sup>, ou seja, o limite de CEes a partir do qual ocorreu decréscimo da produção. Para valores de CEes acima deste ponto, a produção relativa decresce 15,06% por aumento unitário da CEes. Ayers e Westcot (1985) encontraram valores de salinidade limiar de 1,2 dS m<sup>-1</sup> para cultura do feijoeiro, evidenciando que, conforme o cultivar e as condições ambientais, a resposta da cultura à salinidade pode variar consideravelmente.

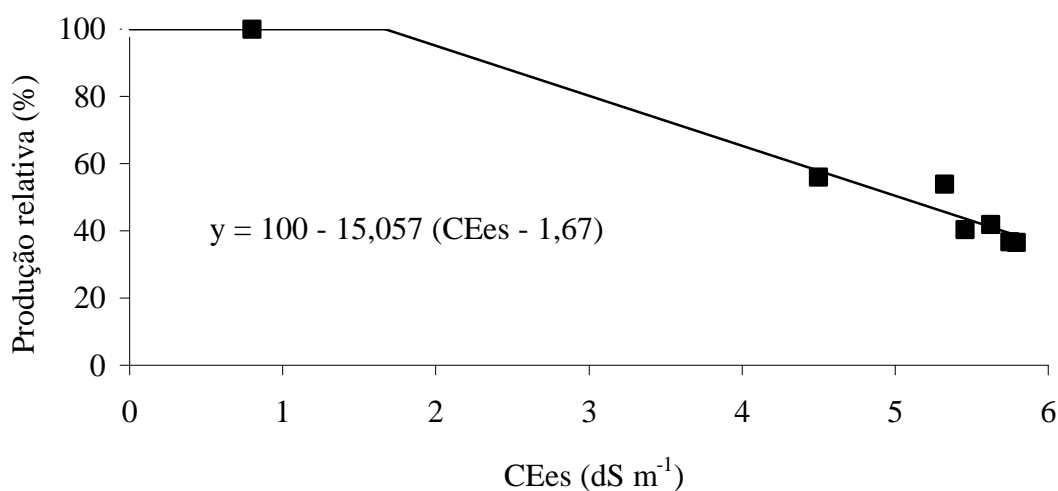


Figura 11 – Produção relativa do feijoeiro, cultivado em lisímetros com solos de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes).

O aumento no valor da salinidade limiar desta cultivar pode estar associado a vários fatores, entre os quais encontram-se o tipo de sal e solo ao qual a planta foi exposta (FERREIRA, 2002), a constituição genética do cultivar (KARTEJI et al., 1998; DANTAS et al., 2002), as práticas culturais e as condições climáticas do local e no período em que foi desenvolvido o experimento, visto que, quando o plantio é realizado em época mais fria, as plantas toleram mais o estresse salino devido à baixa demanda de evapotranspiração (KARTEJI et al., 2000).

### 3.9. Planta vs. qualidade da água de irrigação

A Figura 12 mostra a variação na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo em função das seis frações de lixiviação com água de teor salino de 2 dS m<sup>-1</sup>. Observa-se que à medida que a fração de lixiviação aumenta, a CEes reduz significativamente. Resultados semelhantes foram observados por alguns pesquisadores (GARCIA-SANCHEZ et al., 2003; MIRANDA & PIRES, 2001; AYERS & WESTCOT, 1985).

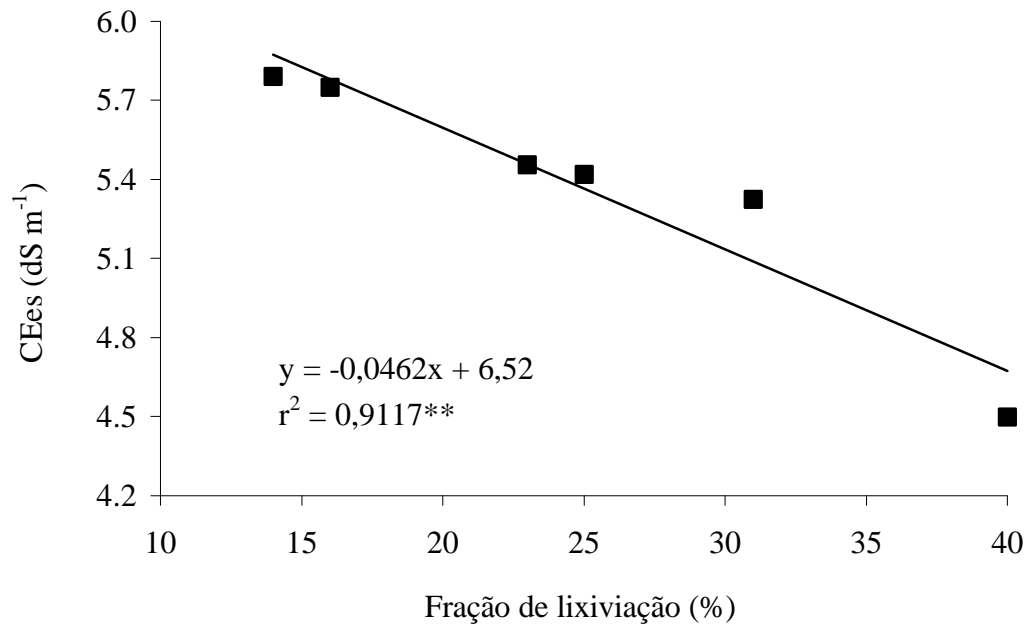


Figura 12 – Variação da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEEs) em função das seis frações de lixiviação com água de 2 dS m<sup>-1</sup>. \*\* significativo a 1% de probabilidade.

Na Figura 13, observa-se a variação na produção de grãos, em função da CEEs, nos seis tratamentos com água salina. Observa-se que a produção total de grãos reduziu, linearmente, com o aumento da CEEs, fato este observado por pesquisadores de várias partes do mundo, trabalhando com diferentes culturas (MAAS & HOFFMAN, 1977; KATERJI et al., 1996; LIMA, 1998; DANTAS et al., 2002).

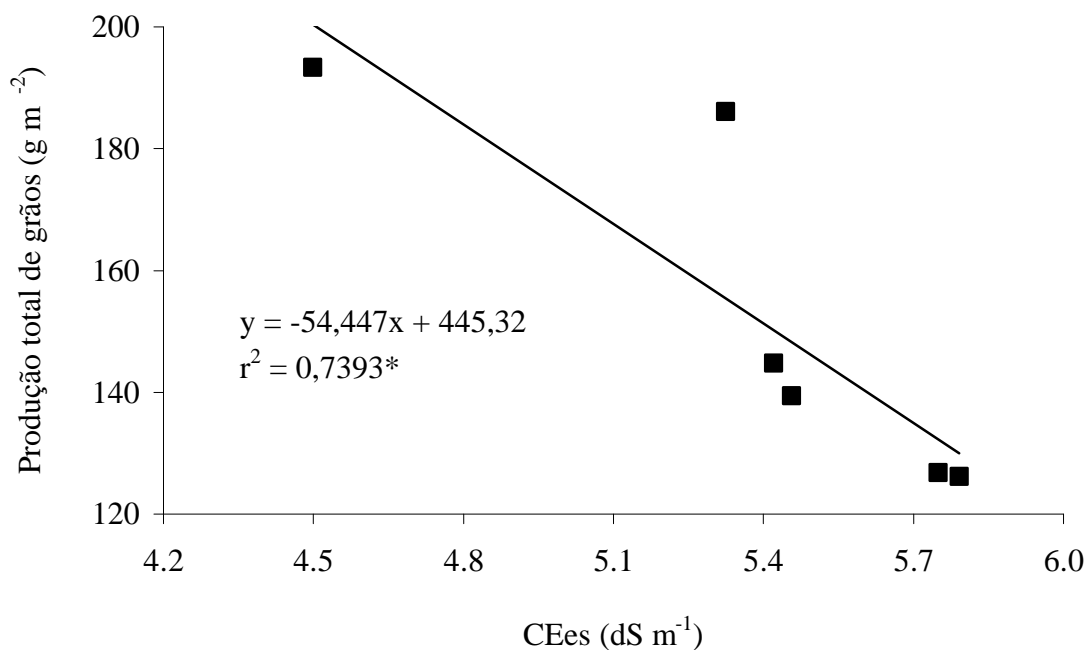


Figura 13 – Variação da produção de grãos em função da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes) nos seis tratamentos salinos. \* significativo a 5% de probabilidade.

Como pode ser observado nas figuras 12 e 13, a aplicação da água salina de 2 dS m<sup>-1</sup> associada à redução das frações de lixiviação resultou no aumento da CEes e, conseqüentemente, na redução da produção de grãos do feijoeiro. Portanto, a planta responde à condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes) e não à condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), como é relatado em alguns trabalhos (BEZZERA et al., 2002; GURGEL et al., 2003; MARINHO et al., 1998; CARNEIRO et al., 2002), visto que a salinidade da água foi a mesma nos seis tratamentos (2 dS m<sup>-1</sup>), variando somente as frações de lixiviação.

### 3.10. Determinação da curva de potencial matricial-osmótico

Na Figura 14, é apresentada a variação do potencial da água no solo em função do teor de água e do correspondente componente osmótico da solução do solo. Observa-se que à medida que aumenta a salinidade do solo, para um mesmo valor de umidade há um decréscimo no potencial total da água no solo.

O efeito cumulativo do componente osmótico adicionado ao matricial, ilustrado na Figura 14, faz com que a disponibilidade de água para a cultura diminua à medida que a condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo aumenta.

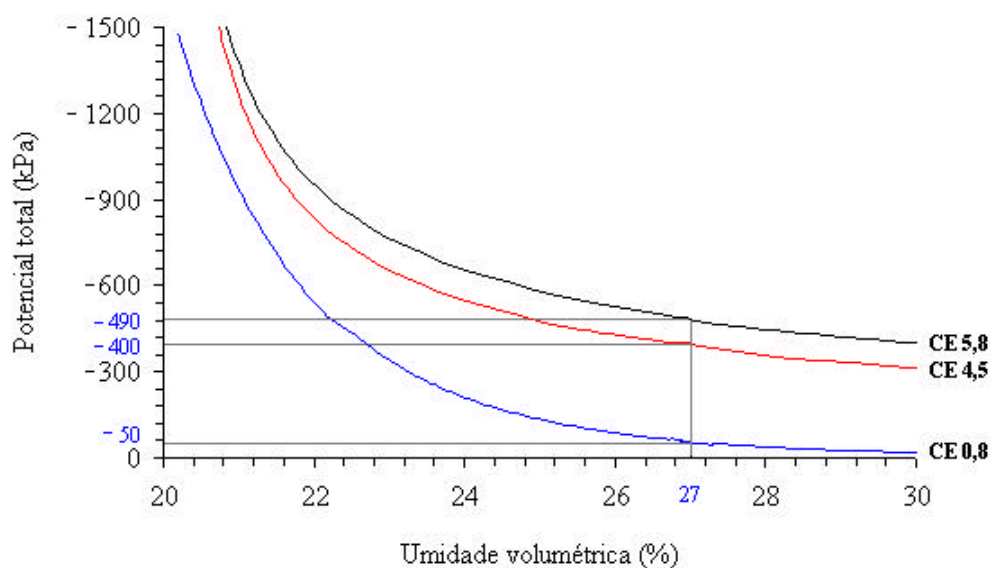


Figura 14 – Curvas de retenção de água do solo sob três níveis de salinidade (0,8; 4,5; e 5,8  $\text{dS m}^{-1}$ ).

Caso o manejo da irrigação tivesse sido realizado com tensiômetro, quando a leitura do potencial da água no solo na curva (CE 0,8) atingisse valores em torno de -50 kPa (valor estabelecido como limite máximo para o bom desenvolvimento da cultura do feijoeiro), a irrigação seria aplicada a fim de elevar o teor de água do solo à capacidade de campo, quando realmente o potencial de água no solo estaria em torno de -400 e -490 kPa nas curvas, em que os níveis de salinidade são 4,5 e 5,8  $\text{dS m}^{-1}$ , respectivamente. Assim percebe-se claramente que a cultura teria que despende uma quantidade adicional de energia para absorver a água do solo nesses potenciais. Portanto, com o objetivo de aumentar o potencial total da água no solo e facilitar a absorção de água pela planta, torna-se necessário reduzir a salinidade da solução do solo, aplicando-se uma adequada lâmina de lixiviação.

Estes resultados alertam para o fato que, em culturas irrigadas com água salina, o controle apenas do potencial matricial não é suficiente, havendo necessidade do acompanhamento do estado salino do solo.

#### 4. CONCLUSÕES

- 1 - As características do solo pH, MO, K, Zn, Fe, Cu, ISNA, PST e RAS não foram afetadas pelas frações de lixiviação com água salina.
- 2 - A fração de lixiviação de 25% aumentou a concentração de nutrientes na solução do solo (P, Na, Ca, Mg e Mn).
- 3 - Os teores de N, K, Mg, S, Zn e B nas folhas do feijoeiro foram afetados pelas frações de lixiviação com a água salina.
- 4 - Os teores de P, Ca, Na, Fe, Mn e Cu nas folhas do feijoeiro não foram afetados pelas frações de lixiviação com a água salina.
- 5 - A produção relativa decresce 15,06%, por aumento unitário da CEes acima da salinidade limiar.
- 6 - Incrementos na fração de lixiviação reduz a CEes e aumenta a produção de grãos do feijoeiro cv. Talismã.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-HARBI, A.R. Growth and nutrient composition of tomato and cucumber seedlings as affected by sodium chloride salinity and supplemental calcium. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, n.7, p.1403-1416, 1995.

AL-KARAKI, G.N. Barley response to salt stress at varied levels of phosphorus. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.20, n.11, p.1635-1643, 1997.

AYERS, R.S.; WESTCOT D.W. **Water Quality for Agriculture**. Rome: FAO, 1985. (Irrigation and drainage) 174p. Paper n.29.

BASSIL, E.S.; KAFFKA ,S.R. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation I. Consumptive water use. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.54, p. 67-80, 2002.

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

BEZERRA, I.L.; GHEYI, H.R.; FERNANDES, P.D.; SANTOS, F.J. de S.; GURGEL, M.T.; NOBRE, R.G. Germinação, formação de porta-enxertos e enxertia de cajueiro anão precoce, sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.420-424, 2002.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.898 p.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhiço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.935-944, 2003.

CARNEIRO, P.T.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; SOARES, F.A.L. Germinação e crescimento inicial de genótipos de cajueiro anão-precoce em condições de salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.199-206, 2002.

CFSEMG – **Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. 359 p.

DANTAS, J.P.; MARINHO, F.J.L.; FERREIRA, M.M.M.; AMORIM, M. do S.N.; ANDRADE, S.I. de O.; SALES, A.L. de. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.425-430, 2002.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. (Irrigation and drainage) 193p. Paper n.33.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 247p, 1997.

\_\_\_\_\_. Embrapa Informática Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 370p, 1999b.

\_\_\_\_\_. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 412p, 1999a.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras-MG: UFLA/FAEPE, 2001. 182 p. (Curso de Pós-graduação “Lato Sensu” a distância).

FERNANDES, A.R.; CARVALHO, J.G. de; CURI, N.; PINTO, J.E.B.P.; GUIMARÃES, P. de T.G. Nutrição mineral de mudas de pupunheira sob diferentes níveis de salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.11, p.1613-1619, 2002.

FERREIRA, P.A. **Qualidade de água e manejo água-plantas em solos salinos**. Brasília, DF: ABEAS, Viçosa, MG: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 2002. 141 p. (ABEAS. Curso de engenharia e manejo de irrigação. Módulo, 10).

FURTINI NETO, A.D.; VALE, F.R. do; RESENDE, A.V. de; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A. de A. **Fertilidade do solo**. Lavras-MG: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p. (Curso de Pós-graduação “Lato Sensu” a distância).

GARCIA-SANCHEZ, F.; CARVAJAL, M.; PORRAS, I.; BOTIA, P.; MARTINEZ, V. Effects of salinity and rate of irrigation on yield, fruit quality and mineral composition of ‘Fino 49’ lemon. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.19, n.3, p.427-437, 2003.

GENUCHTEN, M.T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madson, v.44, p.892-898, 1980.

GHASSEMI, F.; JAKEMAN, A.J.; NIX, H.A. **Salinization of Land and Water Resources: Human Causes, Extent, Management and Case Studies**, CAB International, 1995. 526 p.

GHEYI, R.H.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. Manejo e controle da salinidade na agricultura. **In: MANEJO E CONTROLE DA SALINIDADE NA AGRICULTURA IRRIGADA**. Campina Grande: UFPB, 1997. 383 p.

GURGEL, M.T.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; SANTOS, F.J. de S.; BEZERRA, I.L.; NOBRE, R.G. Estresse salino na germinação e formação de porta-enxerto de aceroleira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.31-36, 2003.

KATERJI, N.; van HOORN, J.W.; HAMDY, A.; KARAM, F.; MASTRORILLI, M. effect of salinity on water stress, growth, and yield of maize and sunflower. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.30, n.3, p.237-249, 1996.

KATERJI, N.; van HOORN, J. W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M.; KARAM, F. Salinity and drought, a comparison of their effects on the relationship between yield and evapotranspiration. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.36, n.1, p.45-54, 1998.

KATERJI, N.; van HORN, J.W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Salt tolerance classification of crops according to soil and to water stress day index. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.43, n.1, p.99-109, 2000.

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

LIMA, V.L.A. **Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem.** Viçosa, MG: DEA/UFV, 1998. 87p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MARINHO, F.J.L.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R. Desenvolvimento inicial do abacaxizeiro, cv. smooth cayenne, sob diferentes condições de salinidade da água. R. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.1, p.1-5, 1998.

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

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance – Current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, ASCE 103: p.115-134, 1977.

MATALLO, H. Jr. Desertificação e sustentabilidade. Recife – PE. **Jornal do Comércio**, 1999. Disponível em: <http://www2.uol.com.br/JC/1999/2604/cm2504a.htm>. 18 de maio de 2003.

MEDEIROS, J.F. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo ‘GAT’ nos estados de RN, PB e CE.** Campina Grande, PB: DEAg/UFPB, 1992. 173p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

MIRANDA, J.H; PIRES, R.C. de M. **Irrigação.** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, v.1, 2001. 410 p.

NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C.; OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.385-392. 2004.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, Â. de F.B.; CARNEIRO, J.E. de S.; GONÇALVES, F.M.A.; SANTOS, J.B.; PELOSO, M.J.D.; FARIA, L.C.; CARNEIRO, G.E. de S.; PEREIRA FILHO, I.A. **O ‘Talismã’ de sua Lavoura de Feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 4p. (Comunicado Técnico, 36).

RHOADES, J. D.; CHANDUVI, F.; LESCH, S. **Soil Salinity Assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements**. Rome: FAO, 1999. (Irrigation and drainage) 150p. Paper n. 57.

RIBEIRO JÚNIOR, J.I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: UFV, 2001. 301p.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C.: US Department of agriculture, 1954. 160p.

SLAVICH, P.G; PETERSON, G.H. Estimating a electrical conductivity of saturated paste extracts from 1:5 soil: water suspensions and texture. **Australian Journal Soil Research**, Collingwood, v.31, n.1, p.73-81, 1993.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **CERRADO: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416p.

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

VIÉGAS, R.A.; FAUSTO, M.J.M.; QUEIROZ, J.E.; ROCHA, I.M.A.; SILVEIRA, J.A.G.; VIÉGAS, P.R.A. Growth and total-N content of *Prosopis juliflora* (SW) D. C. are stimulated by low NaCl levels. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v.16, n.1, p.65-68, 2004.

YAHYA, A. Salinity effects on growth and on uptake and distribution of sodium and some essential mineral nutrients in sesame. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.21, n.7, p.1439-1451, 1998.

## **CAPITULO II**

### **EFEITO DA SALINIDADE DA SOLUÇÃO DO SOLO SOBRE ALGUNS PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E FENOLÓGICOS DA CULTURA DO FEIJOEIRO**

# **EFEITO DA SALINIDADE DA SOLUÇÃO DO SOLO SOBRE ALGUNS PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E FENOLÓGICOS DA CULTURA DO FEIJOEIRO**

**RESUMO:** O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da salinidade da solução do solo sobre os parâmetros fisiológicos e de produtividade da cultura do feijoeiro, cultivado em ambiente protegido, utilizando-se lisímetros de drenagem. O experimento foi conduzido na estação lisimétrica da área experimental de Irrigação e Drenagem, campus da UFV, durante o período de 20 de março a 30 de junho de 2004. Os tratamentos consistiram de sete frações de lixiviação, equivalentes a 3, 40, 31, 25, 23, 16 e 14% da lâmina de água de irrigação, sendo que para a fração de lixiviação de 3% usou-se água doce ( $0,07 \text{ dS m}^{-1}$ ) e para as demais usou-se água salina ( $2 \text{ dS m}^{-1}$ ). A taxa fotossintética, condutância estomática e a taxa de transpiração foram medidas, no período da floração e enchimento de grãos, utilizando-se um analisador de gases no infravermelho, portátil, modelo LI-6400. De acordo com os resultados, conclui-se que a salinidade do solo reduziu, significativamente, os parâmetros fisiológicos (condutância estomática, transpiração e fotossíntese) da cultura do feijoeiro, enquanto a área foliar e a massa seca total da parte aérea decresceram, linearmente, com aumento da CEes.

**PALAVRAS-CHAVE:** condutividade elétrica, fisiologia, potencial osmótico

## **1. INTRODUÇÃO**

A cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é tradicionalmente cultivada sob condições de sequeiro e irrigada, ficando, assim, exposta às variações edafoclimáticas e aos efeitos dos estresses ambientais, tais como o estresse salino.

A concentração elevada de sais na solução do solo e, ou na água de irrigação constitui um dos mais graves problemas da agricultura irrigada, nas regiões do globo terrestre onde o clima é árido ou semi-árido (MUNNS, 2002). Em termos mundiais, estima-se que, cerca de 23 % das terras cultivadas são salinas e 37 % são sódicas,

apresentando baixa produtividade agrícola ou, então encontram-se fora do sistema produtivo (TANJI, 1990).

Vale ressaltar que grande parte dos problemas causados pela salinidade, nas regiões áridas e semi-áridas, decorre do fato de estas apresentarem baixos índices pluviiais e altas taxas de evapotranspiração. Os prejuízos causados pela salinidade podem, ainda, ser seriamente agravados pelo manejo inadequado da irrigação e pela drenagem insuficiente (CORDEIRO, 2001).

Muitas pesquisas desenvolvidas sobre salinidade (DE PASCALE & BARBIERI, 1995; MENDEIROS et al., 2002; ALENCAR et al., 2003; ZUAZO et al., 2004) visam determinar os parâmetros de entrada do modelo proposto por Maas e Hoffman (1977) cujo objetivo é gerar informações sobre a produtividade da cultura em função da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo. Entretanto, os modelos ajustados são restritos às condições (solo, práticas culturais e clima) locais, onde foram realizadas as pesquisas (KATERJI et al., 2000). Apesar destas limitações, vários trabalhos são encontrados na literatura, relacionando a produtividade das culturas com águas de qualidade inferior e solos afetados por sais (HUSSAIN et al. 1997; PATEL et al., 2001). Na maioria dos casos, os autores limitam-se a discutir os resultados apenas sob o ponto de vista estatístico, gerando modelos para aquelas condições experimentais, restringindo as discussões sobre os impactos fisiológicos na planta a divagações breves, ou mesmo omissas.

Os efeitos deletérios do estresse salino nas culturas podem estar, diretamente, associados ao crescimento e desenvolvimento da planta (ROMERO-ARANDA et al., 2001), à redução do potencial osmótico da solução do solo (KATERJI et al., 1997), ao desequilíbrio nutricional (FERREIRA et al., 2001) e ao efeito tóxico ao íon específico (LACERDA et al., 2003), ou mesmo da combinação de todos estes fatores.

A relação entre a variação dos parâmetros fisiológicos e os diferentes níveis de salinidade (água, solo e solução nutritiva) tem sido objeto de estudo, em várias partes do mundo (BRUGNOLI & LAUTERI, 1991; KATERJI et al., 1997; CHEN et al., 1999; FERREIRA, 2002; BAYUELO-JIMÉNEZ et al., 2003; LACERDA et al., 2003; AZEVEDO NETO et al., 2004).

Assim a utilização da planta como indicadora do estresse salino pode ser uma alternativa confiável, pois, ela manifestará o efeito do estresse através da mudança de seu comportamento morfofisiológico (HESTER et al., 2001), sendo que essa mudança é uma resposta à integração de todos os estresses ambientais aos quais ela encontra-se exposta.

A utilização de equipamentos que permitem leituras instantâneas, de modo a não destruir as folhas, constitui uma opção para indicação das mudanças no comportamento fisiológico das plantas. Entre esses equipamentos, destacam-se o clorofilômetro portátil, que mede o teor de clorofila presente na folha e o IRGA que mede, dentre outras, as taxas fotossintéticas, transpiração e condutância estomática nas folhas.

Em razão do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da salinidade da solução do solo sobre os parâmetros fisiológicos e de produtividade da cultura do feijoeiro, cultivado em ambiente protegido, utilizando-se lisímetros de drenagem.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material vegetal e condução do experimento

A semeadura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* cv. Talismã) foi realizada no espaçamento de 0,5 m entre fileiras e 15 sementes por metro, em 23 de março de 2004, resultando uma população equivalente a 300.000 plantas por hectare.

O experimento foi conduzido no período de 20 de março a 30 de junho de 2004, na estação lisimétrica da área experimental de Irrigação e Drenagem, campus da Universidade Federal de Viçosa, localizada a 20° 45' S e 42° 45' W, no Estado de Minas Gerais.

Afim de deixar o solo com salinidade semelhante àquela de áreas com problemas de salinidade, o solo foi salinizado antes do plantio ficando todos lisímetros em condições iniciais de salinidade de 3,6 dS m<sup>-1</sup>, exceto aqueles que foram usados como testemunha, os quais permaneceram com salinidade de 0,4 dS m<sup>-1</sup>.

Realizou-se uma adubação de pré-plantio em sulco, usando, como fontes de nutrientes, o super simples, cloreto de potássio e sulfato de amônio nas doses de 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Também uma adubação em cobertura foi realizada com 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, aos 20 dias após a emergência das plantas.

O experimento foi montado em um delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram de sete frações de lixiviação, equivalentes a 3, 14, 16, 23, 25, 31 e 40% da lâmina de água de irrigação de 2 dS m<sup>-1</sup>, exceto a fração de lixiviação de 3% da água de irrigação de 0,07 dS m<sup>-1</sup>, usada como testemunha.

A água salina, utilizada nas irrigações, foi preparada mediante adição de NaCl e CaCl<sub>2</sub> em quantidades de modo a obter uma condutividade elétrica de 2 dS m<sup>-1</sup>, na proporção iônica Na:Ca equivalentes a 3:2, relação esta predominante nas águas com alta salinidade utilizadas em irrigação na região Nordeste, conforme Medeiros (1992). O intervalo entre irrigações foi determinado, em função do fator de disponibilidade de água no solo, sendo aplicado um volume de água estimado em função da evapotranspiração real da cultura para o período.

A condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo, ao longo do experimento, foi estimada empregando-se o modelo linear

$$y = 7,2812x + 0,0405 \quad (1)$$
$$r^2 = 0,9994 ***$$

em que

y – condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo, dS m<sup>-1</sup>; e

x – condutividade elétrica da solução sobrenadante, dS m<sup>-1</sup>.

Foram realizadas medições diárias de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente, por meio de uma estação agrometeorológica automática instalada junto aos lisímetros.

## 2.2. Medições fisiológicas

A taxa fotossintética (*A*), a condutância estomática (*g<sub>s</sub>*) e a taxa de transpiração (*E*) foram medidas na terceira folha, totalmente expandida, no período da floração e enchimento de grãos, no horário entre 08:00 e 12:00 horas, sob uma intensidade luminosa de 1000 μmoles m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, utilizando-se um analisador de gases no

infravermelho, portátil (Fig. 2.1), modelo LI-6400 (LiCor, Nebraska, EUA).

O teor de clorofila (índice SPAD) foi medido, usando-se um aparelho portátil SPAD (SPAD-502, da Minolta Chlorophyll Meter), no período de enchimento de grãos.



Figura 2.1 – Detalhes do analisador de gases no infravermelho portátil, utilizado para medir as taxas fotossintéticas, a transpiração e a condutância estomática das folhas.

A determinação do potencial osmótico da folha foi realizada, no período de floração e enchimento de grãos. Amostras de folhas das plantas do feijoeiro foram coletadas e acondicionadas em sacos plásticos que, em seguida, foram armazenados em freezer. O material foi descongelado e prensado. A seiva coletada no esmagamento das folhas foi centrifugada a 3.000 RPM, durante 15 minutos. O potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) foi determinado no líquido sobrenadante, mediante a utilização de um microsmômetro (Precision Osmette, modelo 2007).

A temperatura da superfície foliar foi medida com termômetro a infravermelho, modelo MCA-150P, no período de enchimento de grãos, no horário de 13:00 às 14:00 horas.

### **2.3. Medições fenológicas**

Por ocasião da maturação das vagens, as plantas das parcelas foram colhidas e a produção de massa seca da parte aérea foi determinada; os grãos foram pesados e a produção transformada em  $\text{g m}^{-2}$ .

Na determinação da massa seca da parte aérea, o material vegetal foi acondicionado em saco de papel e, a seguir, colocado em estufa de circulação de ar forçada à temperatura de 65 °C, durante 72 horas aproximadamente, até atingir massa constante.

Para determinação da área foliar, coletaram-se quatro folhas por parcela em cada tratamento. Utilizou-se um integrador de área foliar ( $\Delta T$  Area Mater MK2) e, posteriormente, as folhas foram levadas para a estufa à temperatura de 65 °C, onde permaneceram por cerca de 72 horas até atingir massa constante. Na colheita, determinou-se a relação entre a área foliar e a matéria seca da parte aérea, a fim de obter a área foliar final.

### **2.4. Análise estatística**

Os dados foram analisados por meio de análise de regressão. A escolha dos modelos baseou-se na significância dos coeficientes de regressão, utilizando o teste “t” e adotando-se  $\alpha$  de até 5% de probabilidade.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1. Observações meteorológicas**

A condição climática no ambiente protegido, durante o período experimental, reveste-se de importância ao analisar os resultados, pois, as respostas morfofisiológicas das culturas dependem das condições ambientais. Os dados diários de temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar incidente foram registrados, durante o ciclo da cultura, no período compreendido entre a semeadura e a colheita da testemunha. Em razão de a cultura desenvolver-se em ambiente protegido, as precipitações e a velocidade do vento não foram consideradas.

Quanto aos valores de temperatura, observou-se que, durante o período de condução do experimento, o regime térmico apresentou oscilação com valores variando de 7 a 35 °C, enquanto a umidade relativa diária oscilou entre 36 e 99% e a radiação solar incidente também apresentou grandes oscilações, durante o ciclo da cultura, com valores variando de 22 a 278 W m<sup>-2</sup>, sendo 121 W m<sup>-2</sup> a média geral no período de cultivo.

### 3.2. Salinidade do solo

Os resultados da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes), em função das frações de lixiviação (FL) e da condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), são apresentados no Quadro 2.1. Observa-se que, para os tratamentos irrigados com água salina (2 dS m<sup>-1</sup>), a salinidade média do solo, aumentou à medida que as frações de lixiviação diminuíram.

Quadro 2.1 – Condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes) em função das frações de lixiviação (FL) e da condutividade elétrica da água de irrigação (CEai)

FL (%)	CEai (dS m <sup>-1</sup> )	CEes <sup>a</sup> (dS m <sup>-1</sup> )
40	2	4,5
31	2	5,3
25	2	5,4
23	2	5,5
16	2	5,7
14	2	5,8
3 <sup>b</sup>	0,07	0,8

<sup>a</sup>Média de 4 períodos de amostragem do solo, durante o ciclo da cultura.

<sup>b</sup>Fração de lixiviação aplicada com água doce de 0,07 dS m<sup>-1</sup>.

Na Figura 2.2, são apresentados os valores da variação na CEes, entre o início e o final do experimento, em função das frações de lixiviação. Constatou-se uma tendência à redução na variação da CEes irrigado com água salina, à medida que as frações de lixiviação aumentaram. A Figura 2.2 mostra, também, que a fração de lixiviação de 3%, aplicada com água de irrigação de 0,07 dS m<sup>-1</sup> proporcionou uma variação da CEes em torno de 0,5 dS m<sup>-1</sup>, possivelmente, em razão das adubações.

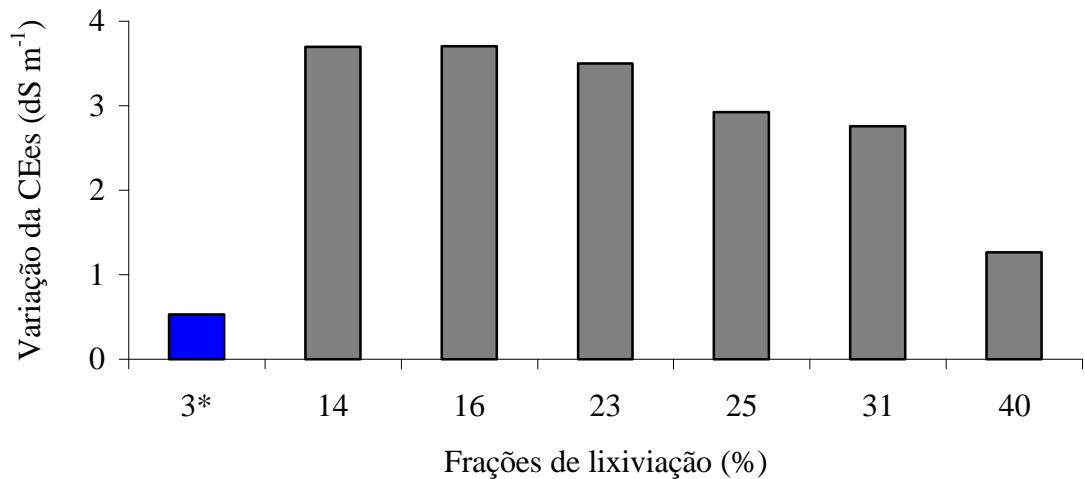


Figura 2.2 – Variação da CEes (dS m<sup>-1</sup>) em função das frações de lixiviação com água salina de 2 dS m<sup>-1</sup>. \*Fração de lixiviação com água doce de 0,07 dS m<sup>-1</sup>.

Estes resultados comprovam a eficiência da lixiviação na redução do excesso de sais solúveis na zona radicular das culturas e estão de acordo com estudos realizados por alguns autores (GHEYI et al., 1997; LIMA, 1998; RHOADES et al., 1999; MOURA, 2000; FERREIRA, 2002). Vale ressaltar que as plantas reagem a salinidade média do perfil do solo, expressa pela salinidade do extrato da pasta saturada (CEes), mas não à condutividade elétrica da água de irrigação (CEai).

### 3.3. Medições fisiológicas

#### 3.3.1. Potencial osmótico da folha ( $\Psi_s$ )

O potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) das folhas diminuiu, significativamente, com o aumento na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (Fig. 2.3). O modelo linear ajustado aos dados, apresenta uma redução de 0,08 MPa no valor no ( $\Psi_s$ ) das folhas, por acréscimo unitário da condutividade elétrica da pasta saturada do solo, no intervalo em estudo.

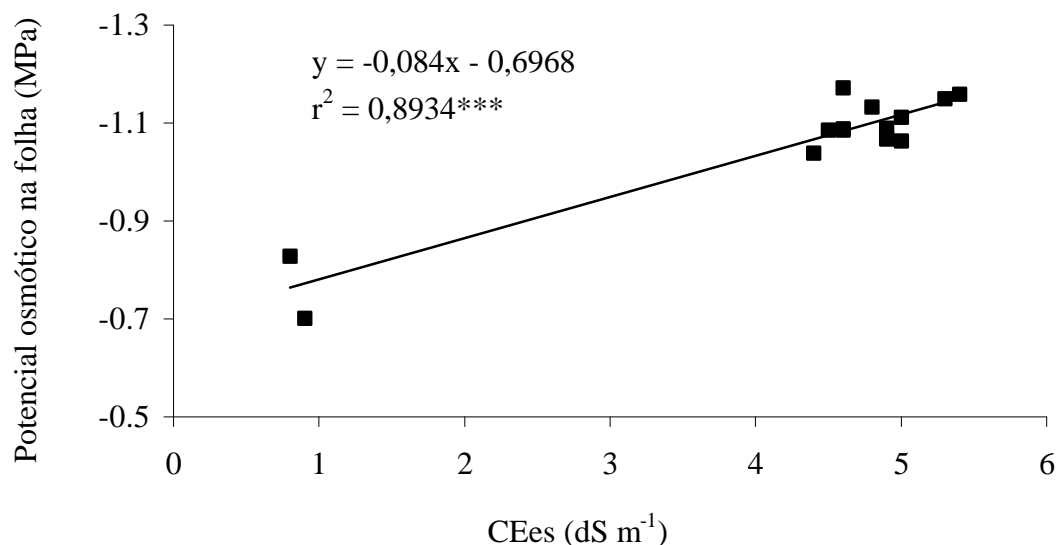


Figura 2.3 – Potencial osmótico (MPa) das folhas de plantas de feijoeiro cultivadas em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEEs). \*\*\*Nível de significância  $p > 0,001$ .

Esta variação do  $\Psi_s$  das folhas sugere um ajustamento osmótico da parte aérea da planta de feijoeiro, a fim de absorver água de uma solução com elevada concentração salina. Este comportamento pode ser considerado uma estratégia adaptativa da espécie, em relação ao aumento da concentração salina na solução do solo, possibilitando maior taxa de absorção de água do solo pela cultura, resultando em hidratação dos tecidos vegetais e, assim, retardando os processos deletérios causados pelo déficit hídrico decorrente do aumento na pressão osmótica da solução do solo.

Segundo Cachorro et al. (1993), o ajustamento osmótico em folhas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ocorre, principalmente, devido ao acúmulo de solutos inorgânicos nas folhas, embora uma pequena parcela possa ser atribuída ao acúmulo de solutos orgânicos.

### 3.3.2. Teor de clorofila (índice SPAD)

O teor de clorofila foi alterado, significativamente, com o aumento na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (Fig. 2.4). De acordo o modelo ajustado, o teor total de clorofila nas folhas variou de 49,7, no tratamento com nível mais baixo de salinidade, até 28,4 no tratamento com salinidade mais elevada,

reduzindo cerca de 1,75 vezes. Vale ressaltar, também, a taxa elevadíssima de redução no teor total de clorofila no intervalo de valores de condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo entre 4,5 e 5,8 dS m<sup>-1</sup>.

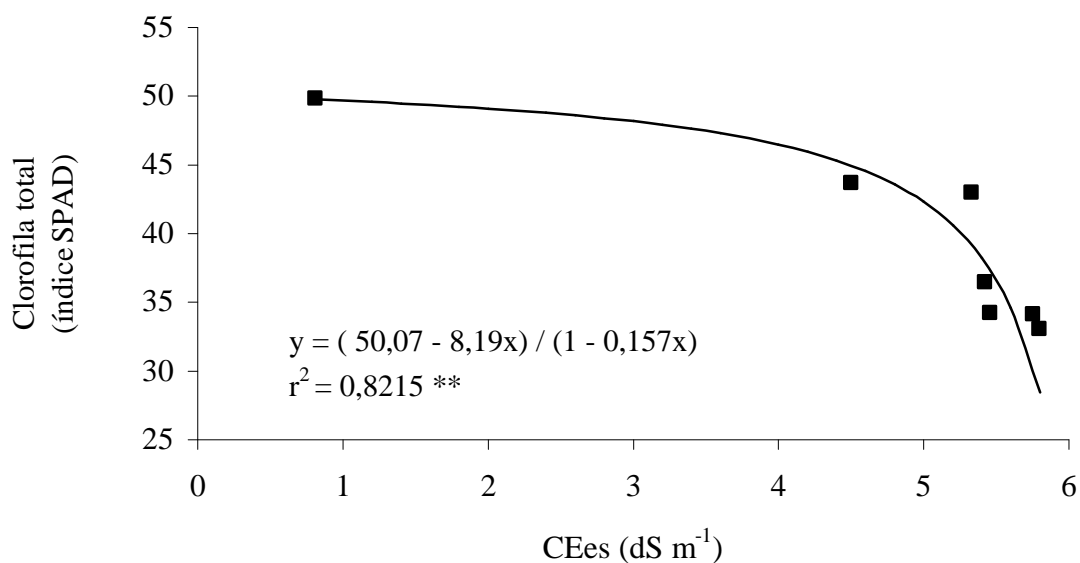


Figura 2.4 – Teor de clorofila total pelo medidor de clorofilas SPAD, em plantas de feijoeiro, cultivadas em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes). \*\*Nível de significância  $p > 0,01$ .

A redução no teor de clorofila, em função do aumento na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo, demonstra o efeito do estresse salino sobre este pigmento conforme apresentado na Figura 2.5. A redução do teor de clorofila em função da salinidade foi reportada por vários pesquisadores (LUTTS et al., 1996; HERRALDE et al., 1998; CHEN et al., 1999; SOUZA, 2003; GARG & SINGLA, 2004). A explicação para a redução no teor de clorofila das plantas em ambiente salino, possivelmente esteja associada à degradação deste pigmento, em função da atividade da enzima clorofilase ou da diminuição de sua síntese, em virtude do deslocamento do nitrogênio para outros compostos, como a síntese de prolina (RAO & RAO, 1981; IBARRA & MAITI, 1995).

Segundo Larcher (2000), a degradação da clorofila pode ocasionar uma considerável redução na intensidade fotossintética e, conseqüentemente, redução no crescimento e produtividade da cultura.

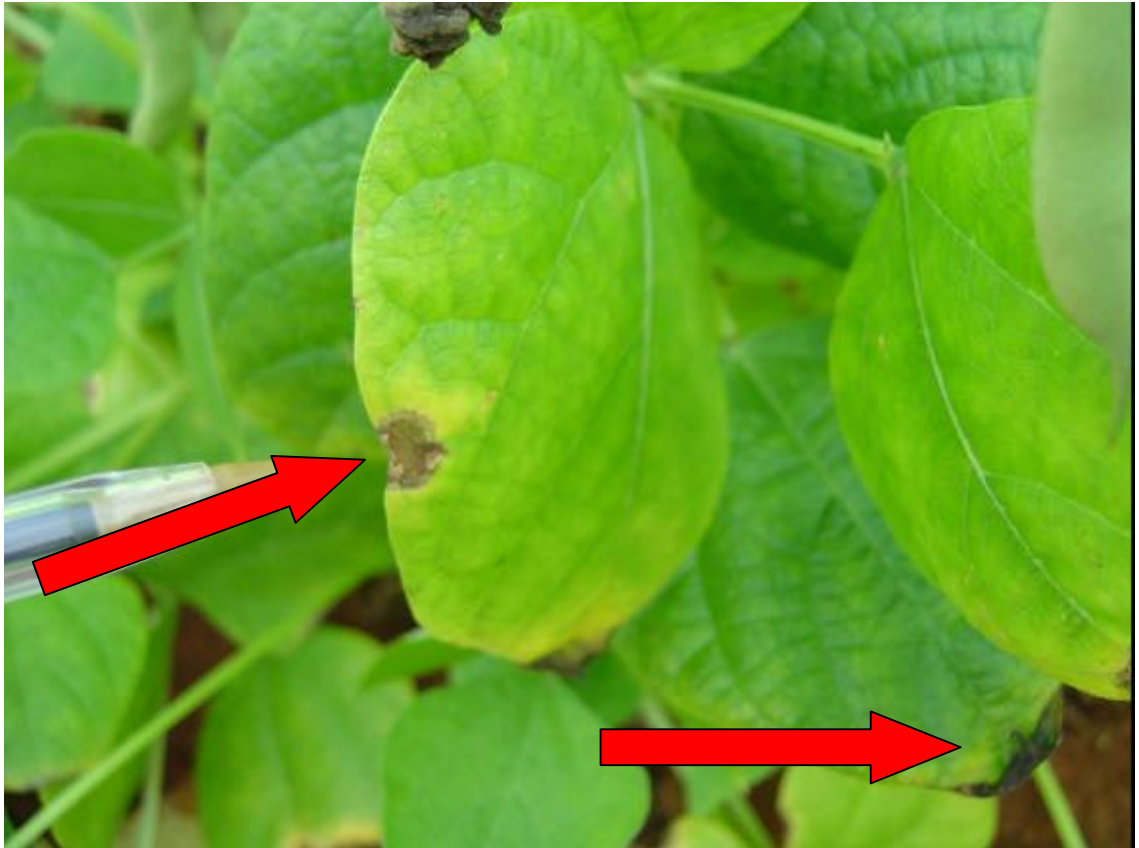


Figura 2.5 – Detalhe de folhas do feijoeiro necrosadas devido à redução do pigmento clorofila em função do aumento da salinidade do solo, 59 dias após o plantio da cultura.

### 3.3.3. Condutância estomática ( $g_s$ )

Na Figura 2.6, observa-se que a condutância estomática ( $g_s$ ) nas folhas do feijoeiro diminuiu, significativamente, com o aumento na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo. De acordo com o modelo ajustado, o valor da ( $g_s$ ) das folhas variou de  $0,63 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , no tratamento com nível mais baixo de salinidade, a  $0,09 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para o tratamento com salinidade mais elevada, ou seja, reduzindo cerca de sete vezes. Vale ressaltar, também, a elevadíssima taxa de redução da condutância estomática no intervalo de valores de condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo entre  $4,5$  e  $5,3 \text{ dS m}^{-1}$ .

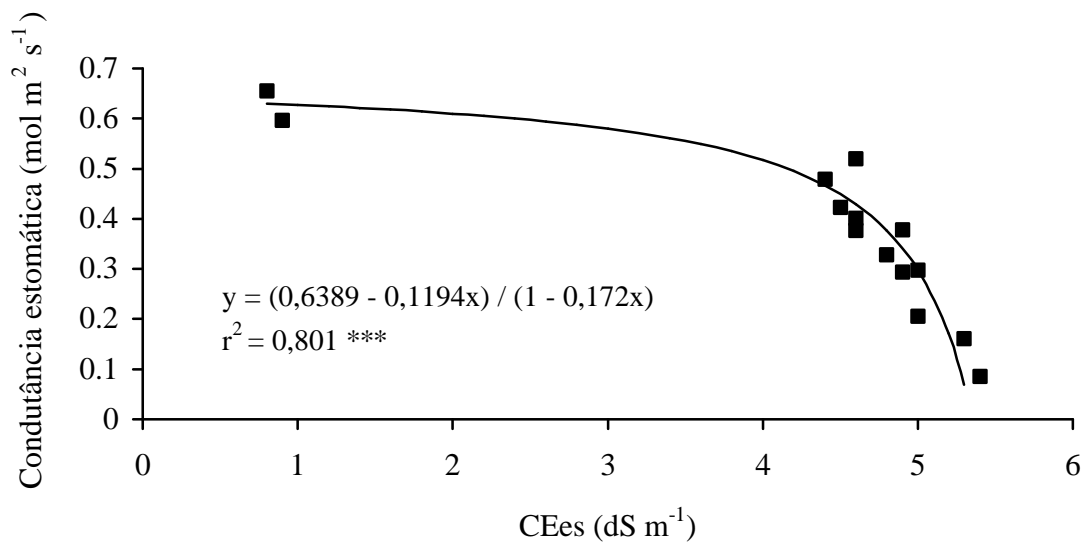


Figura 2.6 – Condutância estomática ( $g_s$ ) em folhas de feijoeiro, cultivadas em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes). \*\*\*Nível de significância  $p > 0,001$ .

Resultados semelhantes foram encontrados por Brugnoli e Lauteri (1991), em estudos realizados com culturas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) e de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na Itália, utilizando, como substrato, uma solução nutritiva contendo concentrações de 0, 50 e 250 mM de NaCl, e 0, 50 e 150 mM de NaCl para o algodão e o feijão, respectivamente. Os autores concluíram que os valores de condutância estomática reduzem, significativamente, com o aumento da salinidade em ambas as espécies.

Com o aumento da concentração de sais na solução do solo, o potencial total da água torna-se mais baixo (negativo), 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.

A redução da condutância foliar verificada nas plantas sob estresse salino, provavelmente, está relacionada ao estresse hídrico ao qual estão sujeitas (SULTANA et al., 1999) devido, principalmente, à redução na condutividade hidráulica das raízes (SYVERTSEN & YELENOSKY, 1988). Vale ressaltar que o fechamento estomático e

a conseqüente redução no fluxo normal de CO<sub>2</sub>, em direção ao sítio de carboxilação, constituem um dos principais responsáveis pela redução da fotossíntese, em plantas cultivadas em condições de salinidade elevada (XU et al., 1994).

### 3.3.4. Taxa de transpiração (*E*)

A taxa de transpiração (*E*) nas folhas do feijoeiro diminuiu, significativamente, com o aumento na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (Fig. 2.7). De acordo o modelo ajustado, o valor da (*E*) das folhas variou de 3,9 mol<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, no tratamento com nível mais baixo de salinidade, até 1,5 mol<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> no tratamento com salinidade mais elevada, reduzindo cerca de 2,6 vezes.

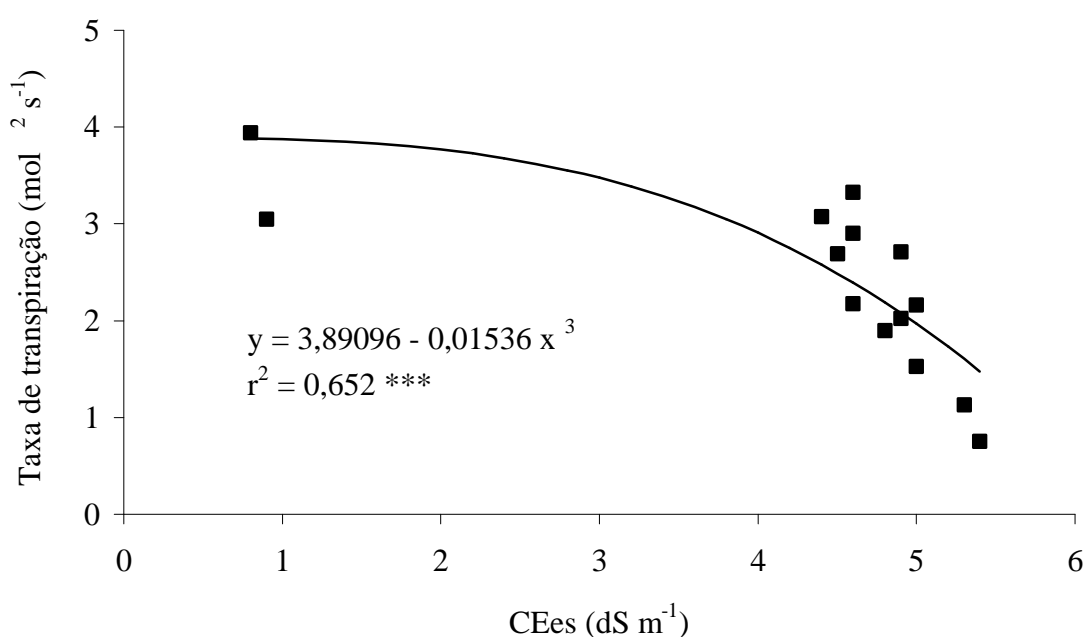


Figura 2.7 – Taxa de transpiração (*E*) em folhas de feijoeiro, cultivadas em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes). \*\*\*Nível de significância  $p > 0,001$ .

Com a redução da condutância estomática devido ao fechamento dos estômatos, a transpiração da planta foi conseqüentemente, reduzida. Estes resultados assemelham-se àqueles encontrados por Silva et al. (2003), em experimento conduzido na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil. Esses autores utilizaram plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. cv. Walp) cultivadas em solução nutritiva, submetidas a quatro tratamentos: solução nutritiva, solução nutritiva contendo NaCl a 75 mmol L<sup>-1</sup> e solução nutritiva contendo CaCl<sub>2</sub> a 5 e 10 mmol L<sup>-1</sup>. Os pesquisadores constataram reduções na

taxa de transpiração, em função do estresse salino.

Com a redução da taxa de transpiração, possivelmente a planta absorverá menos nutrientes via solução do solo, além de reduzir a troca de CO<sub>2</sub> com o meio ambiente, reduzindo conseqüentemente o seu potencial fotossintético.

### 3.3.5. Temperatura da superfície foliar (TF)

De acordo com a Figura 2.8, a temperatura foliar (TF) do feijoeiro aumentou, linearmente, com o aumento na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo. A temperatura foliar aumentou 4,5 °C, aproximadamente quando se compara o tratamento menos salino com o de salinidade mais elevada. Este resultado evidencia que a salinidade, pelo efeito osmótico, pode restringir o fluxo de água no sentido solo-planta-atmosfera e, conseqüentemente, a transpiração, resultando em elevação da TF, o que pode afetar o crescimento das plantas.

O aumento da temperatura foliar pode ser um forte indicativo do déficit de água no solo, uma vez que sinaliza o fechamento dos estômatos, sendo assim, uma tentativa da planta evitar maiores perdas de água por transpiração (CAIRO, 1995; STEPPUHN, 2001).

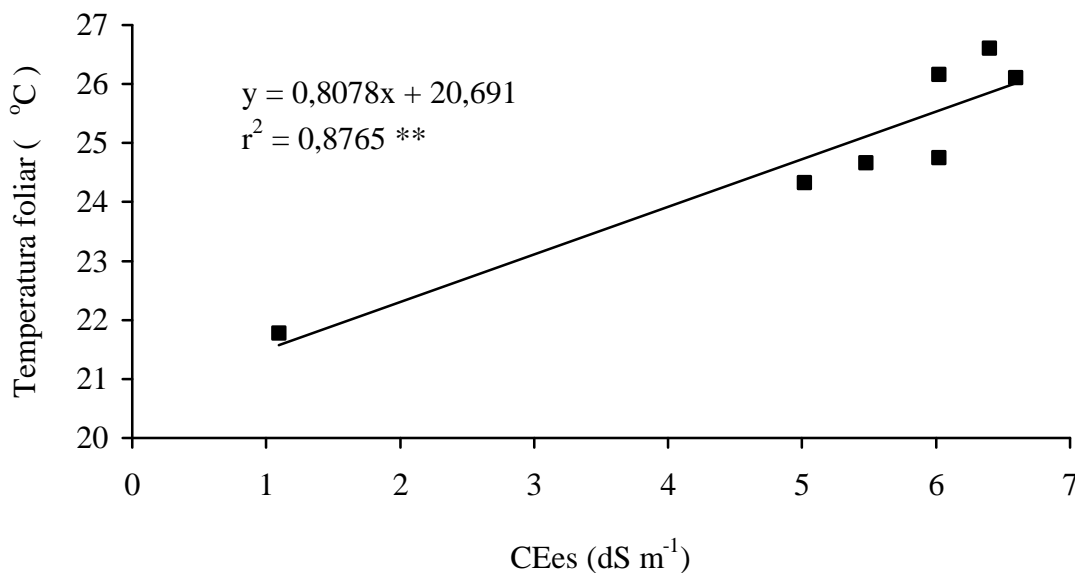


Figura 2.8 – Temperatura foliar do feijoeiro, cultivado em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes).  
\*\*Nível de significância  $p > 0,01$ .

A estabilidade da membrana celular pode ser comprometida, diante de um estresse à alta temperatura, pois, a excessiva fluidez de lipídeos da membrana a altas temperaturas está relacionada à perda de função (proteção, transporte e sinalização), podendo modificar a composição e estrutura da membrana e, dessa forma, resultar em perda de íons. A ruptura de membranas também causa inibição de processos, como a fotossíntese e respiração, que dependem da atividade de transportadores de elétrons e enzimas associadas às membranas (TAIZ & ZEIGER, 2004).

### 3.3.6. Taxa fotossintética (A)

A taxa fotossintética (A) nas folhas do feijoeiro diminuiu, significativamente, com o aumento na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo, conforme apresentado na Figura 2.9. De acordo o modelo ajustado, o valor da (A) das folhas, no tratamento com nível salino mais baixo, foi 4 vezes maior que no tratamento com salinidade mais elevada.

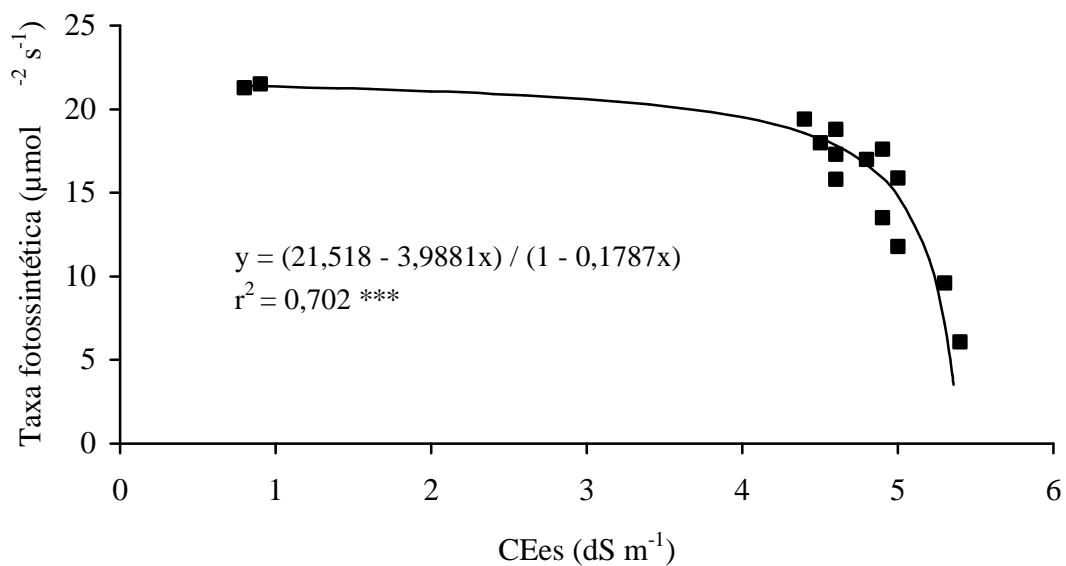


Figura 2.9 – Taxa fotossintética (A) em folhas de feijoeiro, cultivadas em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes). \*\*\*Nível de significância  $p > 0,001$ .

A exemplo da condutância estomática (Fig. 2.6) a taxa fotossintética decresceu vertiginosamente no intervalo de variação da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo entre 4,5 e 5,3 dS m<sup>-1</sup>. Este decréscimo pode ser atribuído ao efeito da salinidade sob a redução da eficiência do aceptor de CO<sub>2</sub> (ribulose-1,5-bifosfato) no estágio de carboxilação do ciclo de Calvin (SEEMANN & SHARKEY, 1986; GARG & SINGLA, 2004).

Resultados com tendência semelhante foram encontrados por Bayuelo-Jiménez et al. (2003), em experimento com seis genótipos do gênero *Phaseolus*, conduzido em casa de vegetação, na Universidade do Estado da Pennsylvania, PA, USA, utilizando, como substrato para o desenvolvimento da cultura, uma solução nutritiva contendo as concentrações de 0, 40 e 80 mM de NaCl.

Ainda com a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), um trabalho foi conduzido por Seemann e Critchley (1985), na Austrália, usando solução nutritiva com concentrações variando de 0 a 150 mM de NaCl. Os autores verificaram que à medida que a concentração foliar interna do íon Cl<sup>-</sup> aumentou, a taxa fotossintética reduziu linearmente.

Parida e Bandhu (2005), em uma revisão dos os mecanismos de tolerância e efeito da salinidade sobre as plantas, relataram que, sob altas concentrações salinas, a eficiência fotossintética das culturas pode ser afetada.

### **3.4. Medições fenológicas**

#### **3.4.1. Área foliar (AF)**

A área foliar (AF) decresceu, linearmente, com o aumento na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo, conforme apresentado na Figura 2.10. O modelo, ajustado aos dados observados, apresenta uma redução no valor da AF de 0,09 m<sup>2</sup> por acréscimo unitário da condutividade elétrica da pasta saturada do solo para o intervalo de dados em estudo. A redução da AF pode ser visualizada, também, na Figura 2.11, com destaque para diferença visual entre a testemunha (T1) e demais tratamentos.

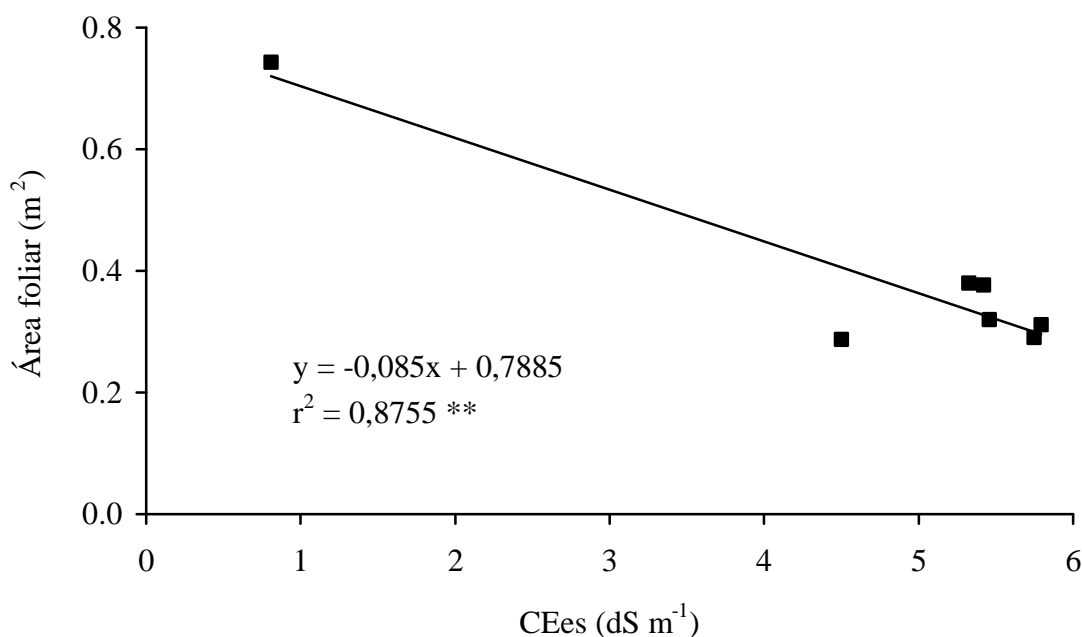


Figura 2.10 – Área foliar (AF) das plantas de feijoeiro, cultivadas em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes). \*\*Nível de significância  $p > 0,01$ .

Estes resultados são consistentes com as observações feitas por Lima (1998), em estudos sobre o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem, em Viçosa, Estado de Minas Gerais, Brasil. A autora verificou que o aumento na salinidade da solução do solo promoveu diminuição na massa seca, altura e área foliar das plantas. Este comportamento foi, também, observado por Neves et al. (2002) em estudos sobre o crescimento, trocas gasosas e potencial osmótico da bananeira ‘Prata’ (*Musa* spp.), submetida a diferentes doses de sódio e cálcio em solução nutritiva.

Em consequência da redução da área foliar, ocorreu diminuição na área de captação de energia luminosa, bem como na fixação de CO<sub>2</sub> por unidade de área. Tais reduções da área foliar demonstram que a atividade fotossintética das plantas pode ser, altamente, afetada com o aumento da salinidade no solo, reduzindo consequentemente, a produtividade.



Figura 2.11 – Detalhe da parte aérea do feijoeiro em cada tratamento, aos 72 dias após o plantio da cultura.

### 3.4.2. Massa seca total da parte aérea (Wt)

A produção máxima da matéria seca total (Wt) do feijoeiro, correspondente a 100% da produção relativa, atingiu  $784 \text{ g m}^{-2}$ . Pelo estudo de regressão segmentada (modelo platô) aplicada aos dados de produção relativa (Fig. 2.12), verificou-se que a salinidade limiar do feijoeiro cv. Talismã para Wt foi  $0,9 \text{ dS m}^{-1}$ , ou seja, o limite de CEes a partir do qual ocorreu decréscimo da produtividade. Para valores de CEes acima deste ponto, a produção relativa decresce 13,55% por aumento unitário da CEes.

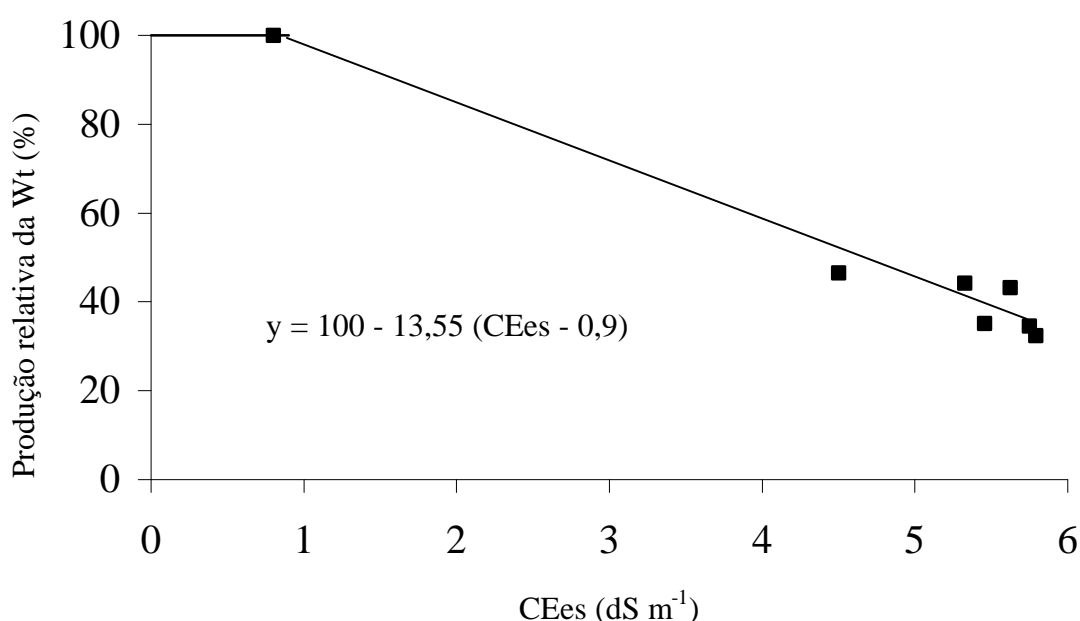


Figura 2.12 – Produção relativa da matéria seca total da parte aérea (Wt) das plantas de feijoeiro, cultivadas em lisímetros com solo de diferentes condutividades elétricas do extrato da pasta saturada (CEes).

Esses resultados estão de acordo com aqueles encontrados por Dantas et al. (2002), que avaliaram 50 genótipos de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. cv. Walp), cultivados em vasos sob condições de casa de vegetação, no município de Lagoa Seca, Paraíba, Brasil. Os autores constataram que todos os genótipos apresentaram reduções, estatisticamente, significativas na produção de matéria seca, em função do aumento da salinidade do solo sendo que 39 deles apresentaram decréscimo linear em função do aumento da salinidade.

A redução da produtividade das culturas em função do aumento da salinidade é fato observado por outros pesquisadores, trabalhando com diferentes culturas e em diferentes regiões do globo terrestre. Katerji et al. (2003) realizaram estudos de tolerância à salinidade de um grupo de culturas (beterraba açucareira, trigo, soja, milho, batata, feijão, grão de bico, lentilha, girassol e tomate) em Bari, Itália. Observaram que todas as culturas tiveram a produtividade reduzida com o aumento da salinidade do solo, porém algumas eram mais tolerantes que outras. Rodrigues et al. (2002) trabalhando com arroz (*Oryza sativa* L) cv. Formosa em casa de vegetação, em Campina Grande, Paraíba, Brasil, verificaram que a matéria seca reduziu com o aumento da salinidade. Azevedo Neto et al. (2004) trabalhando com oito genótipos de milho (*Zea mays* L.) em solução nutritiva contendo 100 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, em Recife, Pernambuco, Brasil, verificaram também que o estresse salino reduziu a produção de matéria seca em todos os genótipos.

Várias pesquisas (LIMA, 1998; MEDEIROS et al., 1998; NÓBREGA NETO, et al., 1999; MOURA, 2000, VIANA et al., 2004) têm mostrado que o efeito mais comum da salinidade sobre as plantas é a redução do crescimento. A salinidade limita a fotossíntese, a absorção de água e nutrientes e, portanto, a produção de matéria seca e a produção final da planta (DOWNTON et al., 1985; DREW et al., 1990).

### **3.5. Relação entre o estresse salino e produtividade**

Os resultados mostram que o estresse salino desencadeou outras formas de estresses, destacando-se o osmótico, hídrico e térmico. Percebe-se que, com o aumento na concentração de sais na solução do solo, o potencial total da água tornou-se mais baixo devido ao efeito do componente osmótico. Conseqüentemente, a água tornou-se menos disponível para a planta, o que possibilita inferir que o primeiro efeito do aumento da concentração de sais na solução do solo é o déficit hídrico.

Por esta razão, as plantas de feijoeiro sob déficit hídrico fecharam seus estômatos como estratégia de defesa, a fim de não perder água para o meio e manter-se túrgidas. Entretanto, como conseqüência, a taxa de transpiração foliar reduziu, aumentando a temperatura foliar. Associado a esses fatores houve diminuição no teor de clorofila, o que pode ocasionar uma considerável redução na intensidade fotossintética e, conseqüentemente, na produtividade.

A salinidade do solo reduziu o ciclo da cultura do feijoeiro de 99 para 87 dias, o que parece ter sido uma estratégia de sobrevivência da cultura, sob condições de estresse salino.

Em resumo, o estresse salino desencadeou uma série de mudanças no comportamento fisiológico e morfológico da cultura do feijoeiro.

### 3.6. Monitoramento da salinidade por meio de parâmetros fisiológicos

O Quadro 2.2 apresenta as correlações de alguns parâmetros fisiológicos com a produção de matéria seca total. A melhor correlação é aquela em que o  $r^2$  e o nível de significância são mais elevados.

Quadro 2.2 – Correlação dos parâmetros fisiológicos com a produção de matéria seca total

Correlação	Equação	$r^2$
Produção de Wt x Potencial osmótico	$y = 179,15x + 237,08$	0,952 ***
Produção de Wt x Teor de clorofila	$y = 3,1815x - 76,805$	0,738 *
Produção de Wt x Taxa fotossintética	$y = 5,3571x - 37,515$	0,662 *

\* , \*\*\* significativos do nível de 5 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Conforme se observa no Quadro 2.2, a melhor correlação ocorreu entre a produção de Wt e o potencial osmótico da folha, seguindo-se o teor de clorofila e taxa fotossintética. Verifica-se que as correlações da produção da Wt foram significativas, ao nível de 0,1% de probabilidade, com o potencial osmótico da folha e a 5% de probabilidade, com os parâmetros clorofila e fotossíntese.

A utilização de parâmetros fisiológicos e metodologias não-destrutivas, no monitoramento do feijoeiro sob estresse salino, pode ser uma alternativa viável e confiável no manejo da cultura submetida a essas condições de exploração.

Informações sobre os parâmetros fisiológicos podem tornar-se ferramenta importante na tomada de decisão quanto à época mais propícia para realizar a lixiviação de sais do solo, a fim de reduzir a salinidade em níveis que não prejudiquem a produtividade da cultura, a patamares antieconômicos, em condições de campo.

Além disto, medições fisiológicas são importantes como parâmetros de entrada em modelos de previsão de safras para culturas explorada em condições de salinidade.

#### 4. CONCLUSÕES

- 1 - A salinidade do solo reduziu, significativamente, os parâmetros fisiológicos (condutância estomática, transpiração e fotossíntese) da cultura do feijoeiro.
- 2 - O potencial osmótico decresceu, linearmente, com acréscimo na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo, enquanto a temperatura, também, linearmente, aumentou.
- 3 - O teor de clorofila total, a condutância estomática e a taxa fotossintética decresceram a taxas crescentes, com o acréscimo na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo. O efeito da salinidade na redução destes parâmetros foi, especialmente, evidente para valores de condutividade elétrica no intervalo de 4,5 a 5,3 dS m<sup>-1</sup>.
- 4 - A taxa de transpiração decresceu, significativamente, com acréscimo na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo.
- 5 - A área foliar e a massa seca total da parte aérea também decresceram, linearmente, com o aumento na condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo.
- 6 - O potencial osmótico apresentou a melhor correlação com a produção de matéria seca total, seguido do teor de clorofila e taxa fotossintética.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, R.D.; PORTO FILHO, F.Q.; MEDEIROS, J.F.; HOLANDA, J. S.; PORTO, V. C. N.; FERREIRA NETO, M. Crescimento de cultivares de melão amarelo irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.221-226, 2003.

AZEVEDO NETO, A.D. de; PRISCO, J.T.; ENEAS-FILHO, J. Lacerda, C.F. de; SILVA, J.V.; COSTA, P.H.A. da; GOMES FILHO, E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v.16, n.1, p.31-38. 2004.

BAYUELO-JIMÉNEZ, J.S.; DEBOUCK, D.G.; LYNCH, J.P. Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of Phaseolus species grown under saline conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.80, n.3, p.207-222, 2003.

BRUGNOLI, E.; LAUTERI, M. Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt-tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt-sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C<sub>3</sub> non-halophytes. **Plant Physiology**, Bethesda, v.95, p.628-635, 1991.

CACHORRO, P.; ORTIZ, A.; CERDFI, A. Growth, water relations and solute composition of Phaseolus vulgaris L. under saline conditions. **Plant Science**, v.95, n.1, p.23-29, 1993.

CAIRO, P.A.R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista, BA, UESB, 1995. 32p.

CHEN, K.; HU, G.; KEUTGEN, N.; JANSSENS, M.J.J.; LENZ, F. Effects of NaCl salinity and CO<sub>2</sub> enrichment on pepino (*Solanum muricatum* Ait.) II. Leaf photosynthetic properties and gas exchange. **Scientia Horticulturae**, v.81, n.1, p.43-56, 1999.

CORDEIRO, G. Salinidade em áreas irrigadas. Petrolina – PE. Embrapa Semi-Árido, 2001. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/artigos/salinidade.html>. 18 de maio de 2003.

DANTAS, J.P.; MARINHO, F.J.L.; FERREIRA, M.M.M. AMORIM, M. do S.N.; ANDRADE, S.I. de O.; SALES, A.L. de. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.425-430, 2002.

DE PASCALE, S.; BARBIERI, G. Effects of soil salinity from long-term irrigation with saline-sodic water on yield and quality of winter vegetable crops. **Scientia Horticulturae**, v.64, n.3, p.145-157, 1995.

DOWNTON, W.J.S.; GRANT, W.J.; ROBINSON, S.P. Photosynthesis and stomatal responses of spinach leaves to salt stress. **Plant Physiology**, Bethesda, v.78, n.1, p.85-88, 1985.

DREW, M.C.; HOLE, P.S.; PICCHIONI, G.A. Inhibition by NaCl of net CO<sub>2</sub> fixation and yield of cucumber. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.115, n.3, p.472-477, 1990.

FERREIRA, P. A. **Qualidade de água e manejo água-plantas em solos salinos**. Brasília, DF: ABEAS, Viçosa, MG: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 2002. 141 p. (ABEAS. Curso de engenharia e manejo de irrigação. Módulo, 10).

FERREIRA, R.G.; TÁVORA, F.F.J.A.; HERNANDEZ, F.F.F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.79-88, 2001.

GARG, N.; SINGLA, R. Growth, photosynthesis, nodule nitrogen and carbon fixation in the chickpea cultivars under salt stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v.16, n.3, p.137-146, 2004.

GHEYI, R.H.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. Manejo e controle da salinidade na agricultura. **In: MANEJO E CONTROLE DA SALINIDADE NA AGRICULTURA IRRIGADA**. Campina Grande: UFPB, 1997. 383 p.

HERRALDE, F.; BIEL, C.; SAVE, R.; MORALES, M.A.; TORRECILLAS, A.; ALARCÓN, J.J., SÁNCHEZ-BLANCO, M.J. Effect of water and salt stresses on the growth, gas exchange and water relations in *Argyranthemum coronopifolium* plants. **Plant Science**, v.139, n.1, p.9-17, 1998.

HESTER, M.W.; MENDELSSOHN, I.A.; MCKEE, K.L. Species and population variation to salinity stress in *Panicum hemitomon*, *Spartina patens*, and *Spartina alterniflora*: morphological and physiological constraints. **Environmental and Experimental Botany**, Kidlington, v.46, n.3, p.277-297, 2001.

HUSSAIN, G.; AL-JALOUD, A.A.; AL-SHAMMARY, S.A.; KARIMULLA, S.; AL-ASWAD, S.O. Effect of saline irrigation of germination and growth parameters of barley (*Hordeum vulgare* L.) in a pot experiment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.34, n.2, p.125-135, 1997.

IBARRA, M.; MAITI, R.K. Biochemical mechanism in Glossy Sorghum lines for resistance to salinity stress. **Journal Plant Physiology**, v.146, p.515-519, 1995.

KATERJI, N.; Van HOORN, J.W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.62, n.1, p.37-66, 2003.

KATERJI, N.; van HOORN, J.W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.43, n.1, p.99-109, 2000.

KATERJI, N.; van HOORN, J.W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M.; MOUKARZEL, E. Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.34, n.1, p.57-69, 1997.

LACERDA, C.F. de; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M.A.; RUIZ, H.A.; PRISCO, J.T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, Kidlington, v.49, n.2, p.107-120, 2003.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução de Carlos Henrique B. A. Prado. São Carlos, RiMa, 2000. 531p.

LIMA, V.L.A. **Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem.** Viçosa, MG: DEA/UFV, 1998. 87p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LUTTS, S.; KINET, J.M.; BOUHARMONT, J. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. **Annals of Botany**, v.78, n.3, p.389-398, 1996.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance – Current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, ASCE 103: p.115-134, 1977.

MEDEIROS, J.F. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo ‘GAT’ nos estados de RN, PB e CE.** Campina Grande: DEAg/UFPB, 1992. 173p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

MEDEIROS, J.F.; MEDEIROS, D.S.; PORTO FILHO, F.Q.; NOGUEIRA, I.C.C. Efeitos da qualidade e quantidade da água de irrigação sobre o coentro cultivado em substrato inicialmente salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.1, p.22-26, 1998.

MENDEIROS, J.F.; CRUCIANE, D.E.; FOLEGATTI, N.O.M. Tolerância do pimentão a salinidade sob condições de cultivo protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22, n.2, p.200-210, 2002.

MOURA, R. F de. **Efeitos das lâminas de lixiviação de recuperação do solo e da salinidade da água de irrigação sobre os componentes de produção e coeficiente de cultivo da beterraba.** Viçosa, MG: DEA/UFV, 2000. 119p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant Cell and Environment**, v.25, p.239-250. 2002.

NEVES, L.L. de M.; SIQUEIRA, D.L. de; CECON, P.R.; MARTINEZ, C.A.; SALOMÃO, L.C.C. Crescimento, trocas gasosas e potencial osmótico da bananeira 'Prata', submetida a diferentes doses de sódio e cálcio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.524-529, 2002.

NÓBREGA NETO, G.M. da; QUEIROZ, J.E.; SILVA, L.M. de M.; SANTOS, R.V. dos. Efeito da salinidade na germinação e desenvolvimento inicial da leucena. (NOTA PRÉVIA). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.257-260, 1999.

PARIDA, A.K.; BANDHU das, A. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.60, n.3, p.324-349, 2005.

PATEL, R.M.; PRASHER, S.O.; DONNELLY, D. and BONNELL, R.B. Effect of initial soil salinity and subirrigation water salinity on potato tuber yield and size. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.46, n.3, p.231-239, 2001.

RAO, G.G.; RAO, G.R. Pigment composition and chlorophyllase activity in pigeon pea (*Cajanus indicus*, S.) and gingelly (*Sesamum indicum* L.) under NaCl salinity. **Indian Journal of Experimental Botany**, v.19, p.768-770, 1981.

RHOADES, J.D.; CHANDUVI, F.; LESCH, S. **Soil Salinity Assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements**. Rome: FAO, 1999. (Irrigation and drainage) 150p. Paper n. 57.

RODRIGUES, L.N.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; VIANA S.B. A. Germinação e formação de mudas de arroz irrigado sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.397-403, 2002.

ROMERO-ARANDA, R.; SORIA, T.; CUARTERO, J. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. **Plant Science**, v.160, n.2, p.265-272, 2001.

SEEMANN, J.R.; CRITCHLEY, C. Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species, *Phaseolus vulgaris* L. **Planta**, v.164, p. 151-162, 1985.

SEEMANN, J.R.; SHARKEY, T.D. Salinity and nitrogen effects on photosynthesis, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and metabolite pool sizes in *Phaseolus vulgaris* L. **Plant Physiology**, Bethesda, v.82, p.555-560, 1986.

SILVA, J.V.; LACERDA, C.F. de; COSTA, P.H.A. da; ENÉAS FILHO, J.; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J.T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl<sub>2</sub>. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v.15, n.2, p.99-105, 2003.

SOUZA, C.L de L.V. **Metodologias não-invasivas e bioquímicas usadas na detecção dos efeitos fisiológicos causados por salinidade, cádmio e flúor em tomateiro**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 93p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

STEPPUHN, H. Pré-irrigation of a severely-saline soil with in-situ water to establish dryland forages. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.44, n.6, p.1543-1551, 2001.

SULTANA, N.; IKEDA, T.; ITOH, R. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. **Environmental and Experimental Botany**, Kidlington, v.42, n.3, p.211-220, 1999.

SYVERTSEN, J.P.; YELENOSKY, G. Salinity can enhance freeze tolerance of citrus rootstock seedlings by modifying growth, water relations, and mineral nutrition. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.113, p.889-893, 1988.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ª edição. Porto Alegre: Artmed. 2004, 719p.

TANJI, K.K. Nature and extend of agricultural salinity in: Agricultural salinity assessment and management. Ed. K. K. Tanji. ASAE. Manual and reports on engineering practice n.71, p.1-17. 1990.

VIANA, S.B.A.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; SOARES, F.A.L.; CARNEIRO, P.T. Índices morfofisiológicos e produção de alface sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.23-30, 2004.

XU, H.L.; GAUTHIER, L.; GOSSELIN, A. Photosynthetic responses of greenhouse tomato plants to high solution electrical conductivity and low soil water content. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.69, p.821-832, 1994.

ZUAZO, V.H.D.; RAYA, A.M.; RUIZ, J.A. Impact of salinity on the fruit yield of mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Osteen'). **European Journal of Agronomy**, v.21, n.3, p.323-334, 2004.