

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

ANTONIA LEILA ROCHA NEVES

**IRRIGAÇÃO DO FEIJÃO-DE-CORDA COM ÁGUA SALINA EM DIFERENTES
ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO E SEUS EFEITOS NA PLANTA E NO SOLO**

FORTALEZA / CEARÁ

2008

ANTONIA LEILA ROCHA NEVES

**IRRIGAÇÃO DO FEIJÃO-DE-CORDA COM ÁGUA SALINA EM DIFERENTES
ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO E SEUS EFEITOS NA PLANTA E NO SOLO**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Claudivan Feitosa de Lacerda,
Dr.

FORTALEZA / CEARÁ

2008

ANTONIA LEILA ROCHA NEVES

IRRIGAÇÃO DO FEIJÃO-DE-CORDA COM ÁGUA SALINA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO E SEUS EFEITOS NA PLANTA E NO SOLO.

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Claudivan Feitosa de Lacerda, Dr. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Francisco Valderez Augusto Guimarães, Dr. (Co-orientador)
Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME

Prof. José Tarquínio Prisco, Ph.D. (Conselheiro).
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Hans Raj Gheyi, Ph.D. (Conselheiro).
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

À minha família: pais, irmãos,
sobrinhos. Tia Nelça e família, Tia
Deuzanir, meu namorado Valcélvio,
pelo apoio nesta caminhada.

OFEREÇO

Aos meus pais, José Luciano Rocha
Neves e Maria Ivani Rocha Neves,
pelo amor e dedicação.

DEDICO

“Quero, um dia, dizer às pessoas que nada foi em vão...
Que o amor existe, que vale a pena se doar às
amizades e às pessoas, que a vida é bela sim e que eu
sempre dei o melhor de mim...
e que valeu a pena.”

Mário Quintana

AGRADECIMENTOS

A Deus todo poderoso que está presente em todos os momentos de minha vida me concedendo coragem, força e graça para tudo eu vencer com sabedoria e discernimento.

Aos meus pais, José Luciano Rocha Neves e Maria Ivani Rocha Neves, pelo amor, confiança, dedicação. Presentes divinos.

A Universidade Federal do Ceará, através do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade oferecida à realização deste curso.

Ao Professor Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda, exemplo de orientador, pela amizade, compreensão, carinho e dedicação a mim oferecida durante todas as etapas do curso.

Ao José Valcélvio de Vasconcelos pelo carinho, companheirismo, atenção, paciência e ajuda.

Aos meus irmãos: Luiza (Lu), Lucivânia (Vaninha), Klever, Klebiano, Luciana e Luana pelo apoio.

Aos meus sobrinhos que tanto amo: Wellington Junior, Wiarley, Lorena, Vanessa, Luciano, Luís Eduardo e Douglas, onde a força de seus olhinhos inocentes me guiam no caminho da perseverança, do respeito ao próximo e do amor.

A minha tia Deuzanir (tia Nenê) e família que foram muito importantes no apoio de minha estadia em Fortaleza.

Ao Flávio Batista, Leandro Barbosa, Daniel Rodrigues e Valéria, bolsistas da graduação pelo apoio na montagem e condução do experimento de campo e também pela amizade.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC, em especial aos Professores Omar, Eunice e Nonato, pela atenção, amizade e ensinamentos transmitidos.

Ao Professor Dr. Enéas Gomes Filho, do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular - UFC, pela concessão do Laboratório de Fisiologia Vegetal para realização das análises.

Aos bolsistas do Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular - UFC, em especial Juan, Aiala e Elton.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola - UFC, Maurício, Aninha, Toinha, Ivan, Dr. Almiro, Willa pela ajuda e amizade.

Ao Dr. Francisco Valderéz Augusto Guimarães, que tanto me ajudou nas análises dos elementos minerais, pela participação na banca e também pela amizade, toda minha admiração.

Aos Professores Hans Raj Gheyi e José Tarquínio Prisco pela participação na banca e pelas valiosas contribuições.

Ao Professor Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, pelo apoio e ajuda.

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo - UFC: Maria Geórgia Brandão de Oliveira, Antonio José Duarte Menezes, Maria Vilalba Silva do Nascimento, pelo apoio.

Ao David, Maia, Régis, Wilber do Departamento de Ciências do Solo, pelo apoio durante o preparo das amostras;

Aos amigos e colegas: Fabilla, Marcos Mesquita, Deodato, Regina, Abelardo, Dimas, Bruna, Fernando Bezerra, Danielle, Alexandre Costa, Andréia Freitas, Edivam José, Olienai de Ribeiro, Ciro de Miranda, Albanise, Nílvia Nara, Eveline, Beatriz, Carmem, Felipe, Karine, Fabrício, Flávio, Clênio, Cley Anderson, Denise, Jefferson, Crisóstomo, Diego, Tony Tiago, Eduardo Jr., Levi, Mauro Régis, Luiz Guerreiro, Sildemberny, Evami, que dividimos tantas dúvidas, mas que acima de tudo nos ajudamos muito durante nessa caminhada.

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

Ao Fundo Setorial dos Recursos Hídricos - CT-Hidro pelo apoio financeiro.

Muito obrigada!

IRRIGAÇÃO DO FEIJÃO-DE-CORDA COM ÁGUA SALINA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO E SEUS EFEITOS NA PLANTA E NO SOLO

RESUMO

A sensibilidade à salinidade varia com o estágio de desenvolvimento da cultura. O feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] constitui uma das principais culturas, em diversas regiões semi-áridas do mundo. Avaliou-se o efeito da irrigação com água salina, aplicada em diferentes estádios de desenvolvimento de plantas de feijão-de-corda. O experimento foi conduzido no campo, e obedeceu ao delineamento em blocos ao acaso, com cinco tratamentos (T1, T2, T3, T4 e T5) e cinco repetições. O feijão-de-corda foi cultivado no espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,3 m entre plantas, com duas plantas por cova. Os tratamentos utilizados foram: T1 - plantas irrigadas com água do poço (CEa de 0,8 dS m⁻¹) durante todo o ciclo; T2 - Água salina com CEa de 5,0 dS m⁻¹, com aplicação iniciada após a germinação e permanecendo até o final do ciclo; T3 - Água salina com CEa de 5,0 dS m⁻¹, da sementeira até 22 dias após o plantio (DAP), correspondendo às fases de germinação e crescimento inicial, e água do poço no restante do ciclo; T4 - Água salina com CEa de 5,0 dS m⁻¹, aplicada de 23 a 42 DAP (fase de intenso crescimento vegetativo até a pré-floração), e água do poço nas demais fases do ciclo; T5 - Água do poço da sementeira até 42 DAP e água salina (CEa de 5,0 dS m⁻¹) aplicada a partir dos 43 DAP (floração e frutificação). Foram avaliadas a cobertura vegetal do solo, crescimento vegetativo, fotossíntese, transpiração, condutância estomática, produtividade, partição de matéria seca, os teores, os totais extraídos e a distribuição dos nutrientes na planta, a eficiência nutricional, eficiência no uso da água e o acúmulo de sais no solo. A irrigação com a combinação de água do poço com água salina reduziu o acúmulo de sais no solo, em relação ao T2. O T2 reduziu as taxas de fotossíntese e transpiração, em relação ao T1. O T3 provocou redução das trocas gasosas somente na primeira medição, enquanto, que similar aplicação nos outros estádios (T4 e T5) não provocou reduções significativas nas trocas gasosas das plantas. O T2 inibiu o crescimento vegetativo da planta, enquanto o T3 provocou retardo no desenvolvimento da planta. Os tratamentos T2 e T3 provocaram reduções significativas no número de vagens e na produção de sementes por planta, em relação aos demais tratamentos. Por outro lado, os tratamentos T4 e T5 não afetaram o crescimento e a produtividade da cultura, sendo que o T4 causou aceleração no ciclo reprodutivo da cultura. Os minerais foram extraídos pelo feijão-de-corda na seguinte ordem decrescente: N > K > Cl > Ca > Na > P > Fe > Zn > Mn > Cu, no entanto, o T2 reduziu a extração da maioria dos elementos analisados, com exceção do Na e Cl. Os minerais Na, Cl, K, Ca, Fe e Mn permaneceram preferencialmente nas partes vegetativas enquanto N e P foram exportados em maiores proporções pelos frutos. O T3 reduziu a eficiência de utilização da maioria dos nutrientes. O T2 reduziu a eficiência agrônômica de utilização de N, P e K, entretanto não afetou a eficiência de utilização dos nutrientes extraídos pelas plantas.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, crescimento, produtividade, extração de minerais do solo, eficiência nutricional, eficiência no uso da água, tolerância à salinidade

IRRIGATION OF COWPEA WITH SALINE WATER AT DIFFERENT GROWTH STAGES AND THEIR EFFECTS ON THE PLANT AND SOIL

ABSTRACT

The sensitivity of crops to salinity often changes from one growth stage to another. Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] is an important crop species cultivated in different semi-arid regions of the world. The objective of this work was to evaluate the effect of the irrigation with saline water, applied at different growth development stages of cowpea. The experiment was set up in the field, during the dry season. A completely randomized block design, with five treatments (T1, T2, T3, T4 and T5) and five repetitions, was adopted. The distance between lines and plants were 0.8 m and 0.3 m, respectively, with two plants per hole. The treatments studied were: T1 - Groundwater with electrical conductivity (EC_w) of 0.8 dS m⁻¹ during the whole crop cycle; T2 - Saline water (EC_w = 5.0 dS m⁻¹) during the whole crop cycle, starting after germination; T3 - Saline water (EC_w = 5.0 dS m⁻¹) from sowing until the 22th day after sowing (germination and initial growth) and groundwater in remaining stages of the crop cycle; T4 - Saline water (EC_w = 5.0 dS m⁻¹) from the 23th to the 42nd day after germination (intense growth and pre-flowering), and groundwater irrigation for the remaining growth stages. T5 - Groundwater from sowing to the 42nd day after sowing and saline water (EC_w = 5.0 dS m⁻¹) during flowering and pod-filling stages. Soil coverage, gas exchange, vegetative growth and crop yield were measured. The mineral concentration and quantity of nutrient removed from the soil, as well as the nutrient use efficiency and salt accumulation in soil were also determined. The irrigation with combination of groundwater and saline water reduced the salt accumulation in soil, in relation to continuous use of saline water. The continuous application of water with EC_w of 5.0 dS m⁻¹ (T2) reduced the rates of photosynthesis and transpiration, in relation to the well water (T1). Plants of the treatment 3 showed reduction in gas exchanges only in the first measurement, while the saline water application in other growth stages (T 4 and T5) did not provoke significant reductions in leaf in the gas exchanges of the plants. It was found that the continuous use of saline water inhibits plant growth, while the irrigation with saline water during germination and initial growth causes retardation in plant development. For treatments 2 and 3, reduction in the number of pods and in seed production was verified. Irrigation with saline water from the 23rd to the 42nd day (T4) and from the 43rd to the 63rd (T5) day after sowing did not affect reproductive and vegetative growth, but the saline water application in the pre-flowering (T4) caused anticipation of reproductive cycle. Cowpea plants removed the minerals analyzed in the following decreasing sequence: N > K > Cl > Ca > Na > P > Fe > Zn > Mn > Cu, but the continuous use of saline water (T2) reduced the total extracted for the most nutrients, except for Na e Cl. The minerals Na, Cl, K, Ca, Fe and Mn were distributed preferentially to vegetative plant parts, while the most of N and P were exported in the pods. The irrigation with saline water during germination and initial growth stage (T3) reduced the mineral use efficiency of most of analyzed nutrients. The continuous application of saline water (T2) reduced the agronomic efficiency of the fertilizer application (N, P and K), but it did not affect the nutrient use efficiency by the plants.

Keywords: *Vigna unguiculata*, plant growth, plant yield, mineral removal, nutrient use efficiency, salt tolerance

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- FIGURA 1 - Cobertura vegetal do solo pelo feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento (a) imagem no campo; (b) imagem trabalhada por editor de imagens; (c) e pelo método da máxima verossimilhança no ENVI.41
- FIGURA 2 - Evolução da cobertura vegetal de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.....45
- FIGURA 3 - Matéria seca das partes reprodutivas (vagens) e vegetativas (hastes e folhas) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.....48
- FIGURA 4 - Número de vagens em relação aos dias após o plantio (DAP), em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.49
- FIGURA 5 – (A) Condutância estomática (g_s); (B) transpiração (E) e (C) Taxa de fotossíntese líquida (A), em folhas maduras de plantas de feijão-de-corda em função dos tratamentos (T1 a T5) e da época de medição (dias após o plantio).....55

CAPÍTULO 2

- FIGURA 1 - Matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento...71
- FIGURA 2 - Distribuição percentual da matéria seca foliar (MSFO) e matéria seca das hastes (MSHA) de plantas de feijão-de-corda, irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.73
- FIGURA 3 - Teores de Na e Cl, em folhas (A e C) e hastes (B e D) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.....76
- FIGURA 4 - Teores de Ca e K, em folhas (A e C) e hastes (B e D) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.....78
- FIGURA 5 - Teores de N e P em folhas (A e C) e hastes (B e D) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.....81
- FIGURA 6 - Teores de Fe e Mn, em folhas (A e C) e hastes (B e D) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.....83

FIGURA 7 - Teores de Cu e Zn, em folhas (A e C) e hastes (B e D) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.....85

FIGURA 8 - Percentagem de proteína nos grãos de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.89

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

- TABELA 1 - Média de temperatura (T), umidade relativa (UR), velocidade do vento (V), insolação, precipitação (PPT) e evapotranspiração potencial (ETP) obtidos durante a estação seca (cultivo do feijão-de-corda) e durante a estação chuvosa subsequente37
- TABELA 2 - Características da água do poço e da água salina utilizadas na irrigação de plantas de feijão-de-corda em diferentes estádios de desenvolvimento38
- TABELA 3 - Dias após plantio para os valores limites da mudança de estádios de desenvolvimento de plantas de feijão-de-corda, irrigadas com água salina, segundo ALLEN et al. (1998) a partir de regressão simples do tipo polinomial45
- TABELA 4 - Resumo da análise de variância para a matéria seca de vagens (MSVAG), matéria seca de hastes e folhas (MSVEG), matéria seca da parte aérea (MSPA), órgãos reprodutivos (PREPR), vegetativos (PVEG) e índice de colheita (IC) em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento47
- TABELA 5 - Partição de matéria seca entre as partes vegetativas e reprodutivas e índice de colheita de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.....48
- TABELA 6 – Resumo da análise de variância para o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), tamanho da vagem (TV), peso de 1000 grãos (P1000G), e total de matéria seca de grãos por planta (MSGR) em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.....51
- TABELA 7 - Número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), tamanho da vagem (TV), peso de 1000 grãos (P1000G), e total de matéria seca de grãos por planta (MSGR) em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento...51
- TABELA 8 - Resumo da análise de variância para a distribuição percentual de sementes em peneiras de malhas 16 (P16), 17 (P17), 18 (P18), 19 (P19) e 20 (P20), obtidas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento52
- TABELA 9 - Distribuição percentual de sementes em peneiras de malhas 16 (P16), 17 (P17), 18 (P18), 19 (P19) e 20 (P20), obtidas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.....53
- TABELA 10 - Resumo da análise de variância para a taxa de fotossíntese líquida (A), taxa de transpiração (E) e condutância estomática (gs) obtidas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento53

| | |
|--|----|
| TABELA 11 - Taxa de fotossíntese líquida (A), taxa de transpiração (E) e condutância estomática (gs) em folhas maduras de plantas de feijão-de-corda em função da época de medição (dias após o plantio, DAP) | 56 |
| TABELA 12 - Contribuição das fontes de água (água do poço e salina) para a lâmina de irrigação dos diferentes tratamentos de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento ... | 57 |
| TABELA 13 - Matéria seca total (MST), matéria seca de grãos (MSGR) e eficiência no uso da água considerando a produção de matéria seca total (EUAP) e a produção de grãos (EUAGR) ao final do ciclo de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento..... | 58 |
| TABELA 14 - Eficiência do uso da água considerando a produção primária (EUAP) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento | 59 |

CAPÍTULO 2

| | |
|---|----|
| TABELA 1- Condutividade elétrica do extrato de saturação solo/água ($CE_{1:1}$) e percentagem de sódio trocável (PST) em amostras de diferentes camadas de um Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico coletadas antes e após o cultivo do feijão-de-corda (estação seca) e no final da estação chuvosa subsequente | 69 |
| TABELA 2 - Resumo da análise de variância da matéria seca da parte aérea (MSPA), percentagem de folhas (PFO) e percentagem de hastes (PHA), em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios do seu desenvolvimento..... | 70 |
| TABELA 3 - Resumo da análise de variância para a taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) em plantas de feijão-de-corda irrigada com água salina em diferentes estádios do seu desenvolvimento | 72 |
| TABELA 4 - Taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento..... | 72 |
| TABELA 5 - Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes em folhas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento | 74 |
| TABELA 6 - Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes em hastes de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento | 74 |
| TABELA 7 - Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes em grãos e pericarpos de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento..... | 86 |

| | |
|--|-----|
| TABELA 8 - Teores de macronutrientes em grãos e pericarpos de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento..... | 87 |
| TABELA 9 - Teores de micronutrientes em grãos e pericarpos de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento..... | 88 |
| TABELA 10 - Resumo da análise de variância para os teores de proteínas em grãos de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento | 89 |
| TABELA 11 - Resumo da análise de variância para o conteúdo de nutrientes, em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento | 90 |
| TABELA 12 – Quantidades extraídas de K e Ca, em kg ha ⁻¹ , em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento..... | 91 |
| TABELA 13 – Quantidades extraídas de P e N, em kg ha ⁻¹ , em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento..... | 92 |
| TABELA 14 - Quantidades extraídas de Na e Cl, em kg ha ⁻¹ , em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento..... | 93 |
| TABELA 15 - Quantidades extraídas de micronutrientes, em kg ha ⁻¹ , em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento..... | 94 |
| TABELA 16 - Resumo da análise de variância para a distribuição de nutrientes nas partes vegetativas e reprodutivas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento..... | 95 |
| TABELA 17- Distribuição (Kg ha ⁻¹) e percentagem de Na, Cl, K, Ca, N e P nas partes vegetativas e reprodutivas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento | 96 |
| TABELA 18 – Distribuição (g ha ⁻¹) e percentagem de Fe, Mn, Cu e Zn nas partes vegetativas e reprodutivas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento | 97 |
| TABELA 19 - Resumo da análise de variância para a eficiência de utilização de nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento..... | 98 |
| TABELA 20 - Eficiência de utilização de nutrientes, kg de grãos produzidos/kg de nutriente extraído, em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento | 99 |
| TABELA 21 - Eficiência nutricional, kg de grãos produzidos/kg nutriente aplicado, em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento | 100 |
| TABELA 22 - Eficiência de utilização de macronutrientes considerando a produção de matéria seca total (EUN _P) e matéria seca de grãos (EUN _{GR}) em plantas | |

| | |
|--|-----|
| de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de crescimento | 101 |
| TABELA 23 - Eficiência de utilização de micronutrientes considerando a produção de matéria seca total (EUN_P) e de grãos (EUN_{GR}) em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento..... | 102 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| LISTA DE FIGURAS | 10 |
| LISTA DE TABELAS | 12 |
| 1. INTRODUÇÃO | 17 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA..... | 20 |
| 2.1. O Feijão-de-corda e o Estresse Salino | 20 |
| 2.1.1. Efeitos Sobre o Crescimento e a Produtividade..... | 20 |
| 2.1.2. Nutrição Mineral..... | 24 |
| 2.1.3. Trocas Gasosas..... | 27 |
| 2.2. Efeitos da Salinidade nos Diferentes Estádios de Desenvolvimento das Culturas..... | 28 |
| CAPÍTULO 1: COBERTURA DO SOLO, TROCAS GASOSAS E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO-DE-CORDA IRRIGADO COM ÁGUA SALINA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO | 32 |
| 1. INTRODUÇÃO | 34 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 36 |
| 2.1. Material Vegetal, Local do Experimento e Condições Agroclimáticas | 36 |
| 2.2. Preparo da Área..... | 37 |
| 2.3. Tratamentos e Delineamento Experimental..... | 37 |
| 2.4. Manejo da Irrigação | 39 |
| 2.5. Adubação e Outros Tratos Culturais..... | 40 |
| 2.6. Determinação da Cobertura Vegetal do Solo..... | 40 |
| 2.7. Fotossíntese, Transpiração e Condutância Estomática..... | 41 |
| 2.8. Coleta das Plantas, Crescimento e Produtividade | 42 |
| 2.9. Eficiência no uso da água | 42 |
| 2.10. Análises Estatísticas | 43 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 44 |
| 3.1. Cobertura do Solo..... | 44 |
| 3.2. Crescimento e Produtividade..... | 46 |
| 3.3. Fotossíntese (A), Transpiração (E) e Condutância Estomática (gs) | 53 |
| 3.4. Eficiência no Uso da Água | 56 |
| 4. CONCLUSÕES..... | 60 |

| | | |
|---|---|-----|
| CAPÍTULO 2: CRESCIMENTO E EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES MINERAIS EM PLANTAS DE FEIJÃO-DE-CORDA IRRIGADAS COM ÁGUA SALINA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO | | 61 |
| 1. | INTRODUÇÃO | 63 |
| 2. | MATERIAL E MÉTODOS..... | 65 |
| 2.6. | Coleta das Plantas e Análises Minerais | 65 |
| 2.7. | Análises de solo..... | 67 |
| 2.8. | Análises estatísticas | 67 |
| 3. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 68 |
| 3.1. | Acúmulo de Sais no Solo | 68 |
| 3.2. | Crescimento Vegetativo e Partição de Matéria Seca..... | 70 |
| 3.3. | Teores de Minerais nas Plantas..... | 73 |
| 3.4. | Extração de Minerais do Solo | 90 |
| 3.5. | Distribuição e Eficiência de Utilização de Nutrientes | 95 |
| 4. | CONCLUSÕES..... | 103 |
| 5. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 104 |
| APÊNDICE | | 113 |

1. INTRODUÇÃO

O feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é originário da África, porém se desenvolve numa ampla faixa ambiental, desde a latitude 40°N até 30°S, adaptando-se tanto às terras altas como às baixas, no Oeste da África, na Ásia, na América Latina e na América do Norte (CARDOSO et al., 2005; DADSON et al., 2005). Constitui uma importante cultura em vários países da América Central e do Sul, principalmente em regiões semi-áridas do Brasil, Venezuela, Peru, Panamá, El Salvador, Haiti, Equador, Guiana e Suriname. O feijão-de-corda é muito utilizado em sistema de monocultivo, entretanto, áreas cultivadas em consórcio com outras culturas são freqüentes, sendo o milho (*Zea mays* L.) o consórcio mais utilizado (CARDOSO et al., 2005).

A introdução do feijão-de-corda ao Brasil ocorreu no século 16, pelos colonizadores portugueses no estado da Bahia, e daí para o resto do país. Devido às condições de adaptabilidade e do hábito alimentar da população, as regiões Norte e Nordeste abrangem 95 a 100% do total de áreas plantadas com feijão-de-corda, principalmente nos estados do Ceará, Maranhão, Piauí, Bahia e Rio Grande do Norte. Nessas regiões, a cultura tem participação importante na dieta alimentar, especialmente no Sertão Nordestino, pois fornece um alimento de alto valor nutritivo, gerando emprego e renda, na zona rural e na zona urbana.

A espécie *Vigna unguiculata* apresenta vários nomes vulgares, sendo conhecido como feijão-de-corda, feijão-macassar ou feijão-caupi na região Nordeste; feijão-da-colônia e feijão-de-praia na região Norte; e feijão-miúdo na região Sul. É também conhecido por feijão-catador e feijão-gurutuba em algumas regiões da Bahia e Norte de Minas Gerais e de feijão-fradinho nos estados da Bahia e Rio de Janeiro (FREIRE FILHO et al., 2005).

A área colhida, a produção e a produtividade do feijão-de-corda variam muito de ano para ano, em virtude, principalmente, das variações nas condições climáticas. Entre 1993 e 2001, a média anual da área colhida foi de 1.355,184 ha, a produção foi de 429.375 t e a produtividade de 317 Kg/ha. As baixas produtividades dessa cultura se devem, em grande parte, ao baixo nível tecnológico empregado na maioria dos cultivos. No entanto, nos últimos anos a cultura vem adquirindo maior expressão econômica, e seu cultivo tem sido realizado em áreas irrigadas, onde se emprega tecnologias mais adequadas na produção (FREIRE FILHO et al., 2005).

A irrigação é uma das tecnologias aplicadas na agricultura que mais tem contribuído para o aumento na produção de alimentos. No entanto, o uso inadequado dessa técnica vem causando problemas de degradação de solos, sendo a salinização um dos principais problemas encontrados atualmente nas áreas irrigadas, notadamente nas regiões áridas e semi-áridas (GHEYI, 2000; MURTAZA et al., 2006). O uso da irrigação no semi-árido brasileiro é necessário em função das condições climáticas (altas temperaturas, distribuição de chuvas irregulares, no tempo e no espaço e intensa evaporação), porém têm causado problemas de salinidade em função dos elevados teores de sais de parte de suas fontes de água, associados ao manejo inadequado da irrigação e de drenagem. Isso tem ocasionado redução no crescimento e na produtividade das culturas, além do abandono de lotes de terra nos perímetros de irrigação da região (GHEYI, 2000; DANTAS et al., 2002).

De acordo com Ayers e Westcot (1999), o feijão-de-corda é considerado moderadamente tolerante à salinidade, embora existam muitos estudos relacionados com a tolerância à salinidade dessa espécie, sob condições de laboratório e casa de vegetação (PRISCO, 1987; MAAS; POSS, 1989; DANTAS et al., 2002; COSTA et al., 2003; LACERDA et al., 2006), poucas são as informações sobre os efeitos da salinidade na produtividade dessa cultura, sob condições de campo. Alguns estudos realizados nessas condições demonstraram que o uso de águas salinas na irrigação do feijão-de-corda provocou acúmulo de sais no solo e reduziu o crescimento vegetativo e a produção de grãos (WILSON et al., 2006a; ASSIS JÚNIOR et al., 2007), sugerindo que a utilização de fontes de água salina na irrigação dependem de estratégias de longo prazo que garantam a sustentabilidade sócio-econômica e ambiental dos sistemas agrícolas (SHARMA; RAO, 1998). Dentre essas estratégias podem ser considerados: o cultivo de espécies ou cultivares tolerantes (OSTER et al., 1984; GLENN et al., 1998; SHARMA; RAO, 1998), utilização de práticas de manejo de solo, a rotação de culturas, misturas de águas de diferentes qualidades e o uso de diferentes fontes de água em diferentes estádios de desenvolvimento da planta (SHANNON et al., 1994; RHOADES et al., 2000). Para esse último caso, parece fundamental a identificação dos estádios mais tolerantes ao estresse salino, o que permitirá o uso de água com diferentes qualidades ao longo do ciclo, promovendo seu uso racional e sustentável.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da irrigação com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento do feijão-de-

corda, mediante o acompanhamento das seguintes variáveis: cobertura do solo; crescimento vegetativo; produtividade; partição de matéria seca; trocas gasosas; teores, totais extraídos, distribuição dos nutrientes na planta e a eficiência nutricional; acúmulo de sais no perfil do solo e eficiência no uso da água e dos nutrientes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O Feijão-de-corda e o Estresse Salino

2.1.1. Efeitos Sobre o Crescimento e a Produtividade

O estresse salino inibe o crescimento das plantas, por reduzir o potencial osmótico da solução do solo, restringindo a disponibilidade de água, além de provocar acumulação excessiva de íons nos tecidos vegetais, podendo causar toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional, ou ambos. No entanto, o grau de severidade com que cada um desses componentes influencia o crescimento e o desenvolvimento das plantas é dependente de muitos fatores, dentre eles, pode-se citar: a espécie ou cultivar vegetal, o estágio fenológico, a composição salina do meio, a intensidade e duração do estresse, bem como, das condições edafoclimáticas e o manejo da irrigação (YEO, 1999; SILVA et al., 2003; GHEYI et al., 2005). De acordo com Larcher (2000), a taxa de crescimento e a produção de biomassa são bons critérios para avaliar o grau de estresse e a capacidade da planta em superar o estresse salino, pois os processos de crescimento são particularmente sensíveis à salinidade.

De acordo com Maas e Hoffman (1977), o feijão-de-corda é uma espécie considerada moderadamente sensível ao estresse salino. No entanto, a literatura tem mostrado que essa espécie tolera água salina com condutividade elétrica de até $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ e salinidade limiar do solo (CEes) em torno de $4,9 \text{ dS m}^{-1}$, sendo classificada como moderadamente tolerante (AYERS; WESTCOT, 1999). Essa discrepância nas classificações apresentadas acima pode estar associada a diversos fatores, incluindo o cultivar utilizado no estudo, as condições climáticas, o método de irrigação empregado, os parâmetros utilizados para quantificar a tolerância, dentre outros. Vale salientar que os resultados obtidos por Assis Júnior et al. (2007), parecem concordar com a classificação apresentada por Ayers e Westcot (1999), principalmente no que se refere à produção de grãos, indicando que essa cultura pode se constituir em alternativa para cultivos em solos salinos ou irrigados com água salina.

Diversos autores têm estudado os efeitos da salinidade sobre o crescimento do feijão-de-corda, em diferentes condições de cultivo (PRISCO, 1987; LACERDA, 1995. DANTAS et al., 2002; COSTA et al., 2003; GUIMARÃES, 2005; FREITAS, 2006; PRAXEDES, 2008). Lacerda (1995) avaliou os efeitos da salinidade no crescimento do feijão-de-corda, cv. Pitiúba, utilizando cultivo hidropônico, em condições de casa de vegetação. Os resultados obtidos demonstraram que os efeitos da salinidade no crescimento vegetativo e reprodutivo são dependentes das condições do ambiente, sendo os efeitos da salinidade mais intensos nas plantas cultivadas durante a estação seca (alta demanda evaporativa do ar) do que na estação úmida (baixa demanda evaporativa do ar). A menor inibição do crescimento em condições de baixa demanda evaporativa deveu-se, principalmente, a manutenção de baixos teores de sódio e de cloreto no limbo foliar, aliada, provavelmente, ao menor efeito osmótico exercido pela salinidade nas plantas cultivadas nessas condições. Esse mesmo autor também verificou, nas duas condições de cultivo, que a salinidade afetou mais o crescimento da parte aérea do que o da raiz. A menor inibição do crescimento radicular tem sido observada em outros estudos com essa espécie (COSTA et al., 2003) e parece ser uma resposta comum em plantas sob estresse salino (SHANNON et al., 1994). No entanto, outros trabalhos têm mostrado maior inibição do crescimento da parte aérea (SOUSA et al., 2007; LIMA et al., 2007), sugerindo que essa resposta pode variar com as condições de cultivo e com os genótipos avaliados.

Dantas et al. (2002), trabalhando com 50 genótipos de feijão-de-corda, submetidos a níveis de salinidade no solo (extrato de saturação) de 0,3; 3,0; 6,0; 9,0 e 12 dS m⁻¹, em condições de casa de vegetação, mostraram que os genótipos Parambu, IPA 201 e EPACE 10 foram os que desenvolveram mecanismos de tolerância aos níveis crescentes de salinidade do solo. Por outro lado, os genótipos TE 97-367 G1, TE 97-309 G14 e TE 97-432 G5 se mostraram mais sensíveis á salinidade do meio. Os autores também observaram que o nível de salinidade de 6,0 dS m⁻¹ mostrou-se o mais apropriado para se fazer avaliação de genótipos de feijão-de-corda para tolerância ao estresse salino, visto que provocou reduções de 10,43%, 20,03% e 17,76% para os genótipos Parambu, IPA 201 e EPACE 10, respectivamente. Nos genótipos mais sensíveis (TE 97-367 G1, TE 97-309 G14 e TE 97-432 G5), as reduções foram de 62,30%, 62,82% e 63,67% respectivamente.

Outro trabalho comparando as respostas de cultivares de feijão-de-corda à salinidade, porém realizado em meio hidropônico, foi desenvolvido por Costa et al. (2003). Esses autores analisaram os efeitos da salinidade sobre o crescimento dos cultivares BR 10 Piauí, CE 670, EPACE 10, Pitiúba, TVU, Vita 3 e Vita 5, sob condições de casa de vegetação. A salinidade (NaCl a 75 mM) reduziu a matéria seca de todos os cultivares, sendo as maiores reduções observadas nos cultivares TVU (82%) e CE 670 (76%), e as menores, nos cultivares Pitiúba (42,3%), Vita 5 (47%), EPACE 10 (50,2%) e BR 10 Piauí (52%). A partir dos dados de crescimento da parte aérea, os cultivares foram agrupados em dois grupos, sendo que os cultivares Pitiúba, Vita 5, EPACE 10 e BR 10 Piauí ficaram entre os mais tolerantes, enquanto os cultivares CE 670 e TVU foram os mais sensíveis à salinidade.

As concentrações de sais que restringem o crescimento do feijão-de-corda variam entre os cultivares e parecem depender da composição iônica do meio (LACERDA, 1995). De modo geral, a salinidade provocada pelo NaCl reduz significativamente o crescimento dessa cultura (PRISCO, 1987; MURILLO-AMADOR et al., 2005), sendo que esses efeitos podem ser parcialmente revertidos pelo aumento na concentração de cálcio no meio nutritivo (LACERDA, 1995; GUIMARÃES, 2005). Entretanto, os efeitos da diminuição da relação Na/Ca em meio salino variam em função das condições ambientais (LACERDA, 1995; YEO, 1999) e alguns efeitos negativos do aumento da concentração de CaCl_2 têm sido observados em estudos com feijão-de-corda (SILVA et al., 2003). Por outro lado, Sousa et al. (2007), trabalhando em condições de casa de vegetação, concluíram que a salinidade provocou redução linear no crescimento vegetativo, sendo que as reduções na produção de matéria seca total atingiram valores superiores a 40%, no nível mais elevado de sal, ou seja, $4,5 \text{ dS m}^{-1}$. Esses autores observaram, no entanto, que a composição iônica da água de irrigação não influenciou na resposta à salinidade, sendo as respostas de crescimento similares em plantas irrigadas com soluções de NaCl ou com uma mistura de sais.

Como pode ser observado nos trabalhos descritos acima, os estudos com os cultivares de feijão-de-corda, sob condições de salinidade, têm sido realizados, em sua quase totalidade, em condições de laboratório ou em casa de vegetação, buscando-se entender os efeitos da salinidade durante as etapas de germinação, estabelecimento da plântula e crescimento vegetativo (PRISCO, 1987; LACERDA, 1995; SUDÉRIO, 2001; DANTAS et al., 2002; COSTA et al., 2003; SILVA et al.,

2003; SOUSA et al., 2003). Esses estudos têm contribuído para esclarecer, pelo menos, em parte, os mecanismos fisiológicos de tolerância ao estresse nessa espécie e na identificação de cultivares com tolerância diferencial à salinidade (DANTAS et al., 2002; COSTA et al. 2003). Um dos poucos trabalhos em condições de campo foi realizado por Assis Junior et al. (2007). Esses autores estudaram o acúmulo de sais no solo e a produtividade do feijão-de-corda, em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. Comparando-se as médias dos tratamentos salinos (água com CEa de 5 dS m^{-1}) com as médias do tratamento com água do poço (CEa $0,8 \text{ dS m}^{-1}$), os autores verificaram que os efeitos da salinidade no crescimento vegetativo (hastes e folhas) foram maiores do que os observados para o crescimento reprodutivo (vagens e sementes), sendo as reduções médias de 48 e 36%, respectivamente. A redução na produtividade do feijão-de-corda ocorreu, principalmente, pela redução no número de vagens, não sendo observados efeitos sobre o tamanho médio dos frutos e das sementes. Esses efeitos estão associados aos efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais do estresse salino, que afetam a assimilação líquida de CO_2 , inibem a expansão foliar e aceleram a senescência de folhas maduras, reduzindo, conseqüentemente, a área destinada ao processo fotossintético e a produção total de fotoassimilados (MUNNS; TERMAAT, 1986; MUNNS, 2002).

Estudo conduzido por Wilson et al. (2006a), com os doze cultivares de regiões produtoras dos Estados Unidos da América, demonstrou que a salinidade variando de $2,6$ a $20,5 \text{ dS m}^{-1}$ provocou redução na área foliar e na produção de matéria seca da parte aérea e das raízes de todos os genótipos, medidas durante a fase de floração. Os resultados também demonstraram que houve diferença significativa para a interação sal x cultivar para o crescimento foliar (área e matéria seca), indicando que existem diferenças no grau de tolerância entre os cultivares avaliados. A existência de variabilidade genética em relação à tolerância à salinidade foi também obtida por Dantas et al. (2002) e Costa et al. (2003) com cultivares de regiões produtoras do Brasil. É importante destacar que o principal objetivo do trabalho desenvolvido por Wilson et al. (2006a) era a produção de massa verde na floração para incorporação ao solo, enquanto os trabalhos desenvolvidos no Brasil têm como principal interesse a produção de grãos (ASSIS JÚNIOR et al., 2007).

2.1.2. Nutrição Mineral

O excesso de sais solúveis no ambiente radicular causa estresse osmótico, que pode resultar em distúrbios das relações hídricas da planta, alterações na absorção e utilização de nutrientes essenciais e acúmulo de íons tóxicos. Os resultados mais prováveis dos efeitos da salinidade na nutrição mineral podem incluir reduções no crescimento, alterações na morfofisiologia da planta (LACERDA et al., 2006) e alterações na qualidade do produto vegetal (CUARTERO; MUNOZ, 1999; BOTÍA et al., 2005), como aumento no grau brix de frutos, acúmulo excessivo de sais em plantas forrageiras, acúmulo de nitrato (redução na assimilação do N) e de outros nutrientes, alterações na forma e no tamanho de frutos e redução na concentração de K (GRATTAN; GRIEVE, 1999; LACERDA, 2005).

Em muitos solos salinos Na e Cl são os íons dominantes, sendo que frequentemente as quantidades desses íons na solução do solo excedem as necessidades das plantas. O excesso de Na e de Cl no protoplasma ocasiona distúrbios metabólicos, afetando a fosforilação, a cadeia respiratória, a assimilação de nitrogênio e o metabolismo das proteínas (LARCHER, 2000). Além disso, o excesso de determinado íon no solo inibe a absorção de outros íons, afetando o metabolismo mineral e o crescimento das plantas. Por exemplo, elevadas concentrações de Na no solo reduzem a absorção de K e Ca, elevada concentração de Cl reduz a absorção do NO_3^- e o excesso de Ca inibe a absorção de K e Mg (MARSCHNER, 1995; GRATTAN; GRIEVE, 1999). Como resultado destas mudanças, as atividades de várias enzimas são afetadas, alterando o metabolismo das plantas como um todo.

A redução no crescimento de plantas de feijão-de-corda tem sido associada, em grande parte, ao acúmulo de íons potencialmente tóxicos, particularmente Na e Cl (LACERDA, 1995; SILVA et al., 2003; ASSIS JÚNIOR et al., 2007; SOUSA, 2007). Lacerda (1995), observou que o transporte de sódio e cloreto para a parte aérea de plantas de feijão-de-corda estressadas com NaCl foi maior em alta do que em baixa demanda evaporativa do ar, e isso contribui para a maior inibição do crescimento das plantas no experimento realizado durante a estação seca. De modo geral, o acúmulo de Cl é maior que o de Na nessa cultura, particularmente nos limbos foliares (ASSIS JÚNIOR et al., 2007), e isso parece

contribuir para o aumento no grau de suculência de suas folhas (COSTA et al., 2003; LACERDA et al., 2006). De acordo com alguns autores, no entanto, o elevado acúmulo de Cl nas folhas, associado possivelmente à falta de outros mecanismos eficientes de proteção, contribuiu, pelo menos em parte, para a maior sensibilidade do feijão-de-corda ao estresse salino em comparação com espécies como algodão e sorgo (TRINDADE et al., 2006; SOUSA, 2007).

O K é essencial em todos os estádios de desenvolvimento das culturas, devido ao seu envolvimento no balanço de cargas no citoplasma, contrabalançando as cargas negativas de proteínas e ácidos nucléicos. É ativador de reações enzimáticas vitais, contribui significativamente para a manutenção do potencial osmótico e da turgescência celular e é essencial na síntese de proteínas (FERREIRA, 2005). Além disso, é o nutriente extraído e exportado em maior quantidade pelo feijão-de-corda. (OLIVEIRA; DANTAS, 1984; MELO et al., 2005). Costa et al. (2003), trabalhando com estresse salino com NaCl, em sete cultivares, encontrou que em relação aos teores de K, a resposta ao estresse foi variada para os diversos genótipos analisados, tendo os genótipos Vita 3 e Pitiúba apresentado reduções (34,6% e 19,7%, respectivamente) e o restante não apresentou alterações significativas em relação às plantas controle. Assis Júnior et al. (2007), trabalhando com o cultivar EPACE 10 em condições de campo não encontrou nenhum efeito da salinidade sobre os teores foliares de K e Ca durante as fases de floração e frutificação. Segundo Lacerda et al. (2006), no entanto, os teores de K nas folhas de plantas estressadas podem aumentar ou diminuir, em função do tempo de estresse e da idade da folha analisada.

A salinidade afeta a atividade dos íons em solução e os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta, sendo que as interações entre salinidade e nutrição mineral são complexas. Essa complexidade é explicada pelas diferenças na concentração e na composição iônica dos meios salinos aos quais as plantas são submetidas, pelo número de nutrientes essenciais envolvidos e pelas diferentes respostas das plantas tanto em relação à salinidade como em relação à eficiência na aquisição de minerais do solo (LACERDA, 2005). Em plantas de feijão-de-corda cultivadas em meio hidropônico, Guimarães (2005) verificou que a salinidade provocada pelo NaCl aumentou os teores de Na, K, Cl, N, P, Fe, Cu, Zn e Mn e reduziu os teores de S, Ca e Mg. O aumento na concentração de cálcio na solução nutritiva reduziu os teores de Na e Mg e aumentou os teores de

Ca, K, P e Cl. As reduções nos teores dos íons Na, concomitante com o aumento nos teores de Ca e de K, indicam que o aumento no cálcio externo proporciona melhor balanceamento iônico das plantas sob estresse salino, embora a melhoria no crescimento não se verifique na mesma proporção.

Sousa et al. (2007), trabalhando com o efeito da concentração e da composição iônica da água de irrigação observaram que a absorção dos micronutrientes Cu, Fe e Mn foi afetada pela maior presença de sais de cálcio na água de irrigação e pela elevação do pH. Por outro lado, a elevação na concentração total de sais provocou aumento nas concentrações de Na, Cl, P e Ca, não sendo observados efeitos sobre os teores de K. De acordo com Grattan e Grieve (1999), em solos salinos e sódicos a solubilidade de micronutrientes (por exemplo: Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) é particularmente baixa, porém as respostas das plantas são bastante variadas, podendo ocorrer aumento, redução ou nenhum efeito na concentração desses micronutrientes. Essas diferenças podem ser atribuídas ao tipo de planta, ao nível de salinidade, à concentração do micronutriente, às condições de crescimento e à duração do estudo.

Murillo-Amador et al. (2005), trabalhando com plantas de feijão-de-corda, em condições de casa de vegetação, mostraram que plantas sob estresse salino com NaCl apresentaram redução na produção de matéria seca das raízes e da parte aérea, aumento nas concentrações de Na e Cl e redução nas de Ca, Mg e K. Entretanto, nenhuma diferença significativa foi observada na condutância estomática, transpiração, fotossíntese e concentração intercelular de CO₂.

O nitrogênio é um dos nutrientes mais extraídos pelo feijão-de-corda (OLIVEIRA; DANTAS, 1984; MELO et al, 2005), sendo que grande parte desse nutriente é obtida pela fixação simbiótica entre suas raízes e as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (VASCONCELOS et al., 1987; RUMJANEK et al., 2005). Embora alguns estudos tenham mostrado redução no número de nódulos radiculares (VASCONCELOS et al., 1987; LIMA et al., 2007), os teores de N nas folhas nem sempre são afetados pela salinidade (GUIMARÃES, 2005), principalmente quando as plantas são bem supridas com esse nutriente. Isso ocorre por que a redução no crescimento pode ser proporcional à redução na aquisição desse nutriente (SILVEIRA et al., 2001). Esses últimos autores observaram redução na absorção de nitrato, porém essa redução acompanha a redução no crescimento da planta.

2.1.3. Trocas Gasosas

O estresse osmótico, associado ao acúmulo total de sais no solo, reduz a disponibilidade de água para os vegetais e pode conseqüentemente, afetar as trocas gasosas e o crescimento das plantas (BEZERRA et al., 2003). Além disso, nas espécies sensíveis, o acúmulo de sódio e de cloreto pode produzir necrose dos tecidos foliares e pode se observar, também, aceleração da senescência de folhas maduras, fatores que reduzem a área destinada à fotossíntese (MUNNS; TERMAAT, 1986; MUNNS, 2002; BEZERRA et al., 2005). Desse modo, se os efeitos osmóticos e iônicos específicos da salinidade, ultrapassam o limite de tolerância da planta, ocorrem distúrbios funcionais e injúrias, sendo que a fotossíntese é limitada não somente pelo fechamento estomático, mas, também, pelo efeito do sal sobre os cloroplastos (MUNNS; TERMAAT, 1986).

Guimarães (2005), avaliando as respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba submetidas ao estresse com NaCl em diferentes concentrações de CaCl_2 e CaSO_4 , encontrou que a salinidade reduziu a taxa fotossintética líquida em relação às plantas-controle. De acordo com o autor, estas reduções nos valores podem estar associadas às causas estomáticas e não estomáticas devidas aos efeitos osmóticos e tóxicos, sendo essas últimas, decorrentes do acúmulo dos íons Na e Cl nos limbos foliares.

Assis Júnior et al. (2007), observaram que a salinidade provocou diminuição na condutância estomática, na taxa de transpiração e na taxa de fotossíntese líquida, durante as fases de floração e frutificação do feijão-de-corda cv. EPACE 10. E que a redução na produtividade das plantas de feijão-de-corda deveu-se, em parte, à limitação na assimilação líquida de carbono pelos tecidos foliares durante essas fases. A condutância estomática foi a variável que apresentou maior diferença do tratamento com água do poço ($0,8 \text{ dS m}^{-1}$) para os outros que utilizaram água salina ($5,0 \text{ dS.m}^{-1}$). Também é possível sugerir que as reduções nas taxas de fotossíntese foram devidas ao fechamento parcial dos estômatos nas plantas irrigadas com águas salinas.

Estudo conduzido por Wilson et al. (2006b), com os quatro principais cultivares de regiões produtoras dos Estados Unidos da América, demonstrou que a salinidade variando de $2,6$ a $20,5 \text{ dS m}^{-1}$ provocou redução na fotossíntese líquida por unidade de massa, na fotossíntese líquida por unidade de área foliar e na

condutância estomática. A fotossíntese foi limitada pelo fechamento estomático, porém a fotossíntese líquida por unidade de massa foi mais sensível que a fotossíntese por unidade de área foliar, resultado semelhante ao obtido por Praxedes (2008) trabalhando com dois genótipos cultivados no Brasil (os cultivares TVU e Pitiúba). Os resultados obtidos por Wilson et al. (2006b) também demonstraram que não houve diferença significativa para a interação sal x cultivar para a fotossíntese líquida e a condutância estomática, indicando que os quatro cultivares de feijão-de-corda apresentaram a mesma resposta em relação às trocas gasosas e à salinidade.

Um estudo de fisiologia comparada de dois cultivares de feijão-de-corda, Pitiúba e TVU (PRAXEDES, 2008), demonstrou que as plantas do primeiro cultivar apresentaram relações hídricas mais favoráveis, apesar do comportamento estomático e a taxa de transpiração dos dois cultivares terem sido afetadas similarmente pelo excesso de sais. O estresse salino provocou maior inibição na assimilação líquida de CO₂, principalmente quando expressa pela massa seca das folhas, no cultivar TVU, indicando que parte da inibição na produção de biomassa das plantas estressadas pode ter sido provocada pela inibição da fotossíntese. Esses efeitos nas trocas gasosas devem-se, em parte, ao estresse osmótico, sendo que as reduções na assimilação de CO₂, nessa espécie, também parecem estar associadas ao acúmulo de Na e Cl nos limbos foliares (PLAUT et al., 1990; GUIMARÃES, 2005).

2.2. Efeitos da Salinidade nos Diferentes Estádios de Desenvolvimento das Culturas

Em regiões semi-áridas pode-se obter produção de forragem ou de grãos o ano inteiro, utilizando águas salinas na estação seca e água de chuva na estação úmida, sem alterar significativamente o ambiente (RHOADES et al., 2000; VIEIRA, 2006; MURTAZA et al., 2006). O acúmulo de sais durante a irrigação de culturas na estação seca pode ser revertido, total ou parcialmente, durante o período chuvoso, sendo que esse processo de lavagem dependerá do total de precipitação anual, da intensidade das precipitações e das características físicas do solo (SHARMA; RAO, 1998; ASSIS JÚNIOR et al., 2007).

Em função da estabilidade de produção no semi-árido, o feijão-de-corda pode oferecer grande contribuição para minimizar os problemas decorrentes da estacionalidade da produção de alimentos (FREIRE FILHO et al., 2005), além de ser uma cultura que apresenta grau moderado de tolerância tanto à salinidade quanto ao déficit hídrico (AYRES; WESTCOT, 1999; DADSON et al., 2005). A irrigação dessa cultura com água salina com CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, no entanto, reduz o crescimento vegetativo e a produção de grãos de feijão-de-corda, além de aumentar a salinidade do solo e colocar em risco a sua produtividade (ASSIS JÚNIOR et al., 2007). Isso demonstra que a utilização de fontes de água salina, bem como o reúso de águas de drenagem na irrigação, depende de estratégias de longo prazo que garantam a sustentabilidade sócio-econômica e ambiental dos sistemas agrícolas (DATTA et al., 1998; SHARMA; RAO, 1998). Dentre essas estratégias podemos destacar a utilização de práticas de manejo de solo, como aplicação de gesso, cobertura do solo e incorporação de restos culturais (OSTER et al., 1984; GLENN et al., 1998), a rotação de culturas (SHARMA; RAO, 1998; MURTAZA et al., 2006) e o uso de diferentes fontes de água em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura (SHANNON et al. 1994; RHOADES et al, 2000). Para esse último caso, parece fundamental a identificação dos estádios mais tolerantes ao estresse salino, o que permitirá o uso de fontes de água com diferentes qualidades, promovendo seu uso racional e sustentável.

Existe grande variabilidade de comportamento entre as culturas com relação aos limites de tolerância a salinidade. Além disso, genótipos de uma mesma espécie podem responder de modo diferente aos efeitos salinos, nas várias fases de seu desenvolvimento (MAAS; HOFFMANN, 1977; MAAS, 1986; MAAS; GRIEVE, 1990). No entanto, a maioria das espécies cultivadas de importância econômica é relativamente sensível à salinidade na germinação e quase todas as culturas não toleram condições permanentes de salinidade no solo.

O estresse pode se manifestar em vários graus de severidade, com duração variável, de modo contínuo ou alternado. Em relação às plantas, a intensidade do estresse vai depender do órgão ou do tecido alvo, do estágio de desenvolvimento da planta e do genótipo em questão (CAMBRAIA, 2005). O comportamento de muitas espécies vegetais em relação à salinidade pode variar de acordo com o seu estágio de desenvolvimento (MAAS; HOFFMAN, 1977). No entanto, as informações sobre os estádios mais sensíveis e mais tolerantes são

desconhecidas para a maioria das culturas, principalmente em condições de campo (SHANNON; GRIEVE, 1999). Além disso, não está claro se os efeitos observados se devem à sensibilidade da cultura à salinidade em um determinado estágio ou à duração do estágio em que a planta ficou exposta ao substrato salino, ou ainda se isso se deve a combinação destes fatores (LACERDA, 1995; BOTÍA et al., 2005; GHEYI et al. 2005).

Nos estudos dos efeitos da salinidade durante o ciclo da planta são reconhecidas basicamente três etapas: a germinação e o estabelecimento da plântula, o crescimento vegetativo, e finalmente, o crescimento reprodutivo (PRISCO, 1987; LACERDA, 1995). PRISCO (1987), estudando o estresse salino na germinação (emersão da radícula) e o estabelecimento da plântula em feijão-de-corda, (Cowpea cv. Califórnia blackeye), semeadas em vermiculita umedecidas com soluções de diferentes concentrações de NaCl na faixa de 0 a 16 g L⁻¹, concluiu que o estabelecimento da plântula é mais afetado que a germinação. Resultados semelhantes foram encontrados por Lacerda (1995), trabalhando com o feijão-de-corda, cv. Pitiúba. Prisco (1987) e Sousa et al. (2003) também verificaram que o estresse salino provoca inibição do crescimento e retardo no desenvolvimento das plântulas.

De acordo com alguns autores (MAAS; HOFFMAN, 1977; FAGERIA; GHEYI, 1997), a sensibilidade das culturas é maior nos estádios iniciais de crescimento, sendo que a tolerância torna-se maior durante as fases de floração e frutificação. Resultados de experimentos conduzidos em casa de vegetação mostram que o sorgo, o trigo e o feijão-de-corda são mais sensíveis durante o estágio de crescimento vegetativo e no início da fase reprodutiva, menos sensíveis no estágio de floração e insensíveis durante o enchimento de grãos (SHALHEVET et al., 1995). Outros trabalhos têm mostrado que os efeitos da salinidade sobre a produção de trigo e de algodão podem ser sensivelmente reduzidos, quando a irrigação com águas salinas é iniciada após o estabelecimento da plântula (MURTAZA et al., 2006; CHAUHAN et al., 2008). Desse modo, é possível irrigar muitas culturas anuais, incluindo o feijão-de-corda, com água salina durante os estádios menos sensível e usar água de baixa salinidade no estágio de maior sensibilidade (AYERS; WESTCOT, 1999).

Diversos trabalhos têm mostrado que a tolerância à salinidade em plantas de melão varia de acordo com o estágio de desenvolvimento (BOTÍA et al., 1998;

BOTÍA et al., 2005, PORTO FILHO et al., 2006), sendo que a aplicação de águas salinas na fase de frutificação pode melhorar a qualidade dos frutos (BOTÍA et al., 2005). Os resultados obtidos por esses últimos autores demonstraram que a aplicação de água salina durante a frutificação não afeta a produção comercial da cultura, sendo observadas melhorias na qualidade dos frutos com incremento no teor de sólidos solúveis totais.

Maas e Poss (1989) avaliaram o estresse salino imposto em plantas de feijão-de-corda, (Cowpea cv. Califórnia Blackeye n°5), em casa de vegetação, irrigando com solução salina com potenciais osmóticos variando de -0,05 a -1,05 MPa. Os autores aplicaram o estresse por um período de 20 dias, iniciando aos 7, 27 ou 52 dias após a semeadura, correspondendo às fases de crescimento vegetativo, florescimento e frutificação, respectivamente. O feijão-de-corda foi mais sensível à salinidade durante o estágio vegetativo e tornou-se menos sensível nos estádios posteriores. Segundo esses autores, a produtividade dos grãos foi reduzida em 50% quando os potenciais osmóticos das soluções aplicadas eram de -0,45, -0,76 e -0,88 MPa, para plantas salinizadas durante o estágio vegetativo, de florescimento e de frutificação, respectivamente. Ainda de acordo com Maas e Poss (1989), a salinidade reduziu a produtividade por reduzir o número de grãos, mas mostrou pouco efeito sobre o peso dos mesmos. O crescimento vegetativo foi significativamente reduzido pelo estresse salino durante os três estádios, mas o efeito foi bem menor quando o estresse foi imposto nos dois últimos estádios.

CAPÍTULO 1: COBERTURA DO SOLO, TROCAS GASOSAS E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO-DE-CORDA IRRIGADO COM ÁGUA SALINA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da irrigação com água salina, aplicada nos diferentes estádios de desenvolvimento do feijão-de-corda, mediante a quantificação das trocas gasosas, da evolução do crescimento vegetativo (cobertura do solo) e da produtividade dessa cultura. O experimento foi conduzido no campo, e obedeceu ao delineamento em blocos ao acaso, com cinco tratamentos (T1, T2, T3, T4 e T5) e cinco repetições. O feijão-de-corda foi cultivado no espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,3 m entre plantas, com duas plantas por cova. Os tratamentos utilizados foram: T1 - plantas irrigadas com água do poço (CEa de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$) durante todo o ciclo; T2 - água salina com CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, com aplicação iniciada após a germinação e permanecendo até o final do ciclo; T3 - água salina com CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, da sementeira até 22 dias após o plantio (DAP), correspondendo às fases de germinação e crescimento inicial, e água do poço no restante do ciclo; T4 - água salina com CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, aplicada de 23 a 42 DAP (fase de intenso crescimento vegetativo até a pré-floração), e água do poço nas demais fases do ciclo; T5 - água do poço da sementeira até 42 dias após o plantio e água salina (CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$) aplicada de 43 – 63 DAP (floração e frutificação). Foram avaliadas as seguintes características: cobertura vegetal do solo, crescimento vegetativo, fotossíntese, transpiração e condutância estomática, produtividade e partição de matéria seca e eficiência no uso da água. O T2 reduziu as taxas de fotossíntese e transpiração, em relação ao T1. O T3 provocou redução das trocas gasosas somente na primeira medição, enquanto, que aplicação similar nos outros estádios (T4 e T5) não provocou reduções significativas nas trocas gasosas das plantas. O T2 inibiu o crescimento vegetativo da planta, enquanto que o T3 provocou retardo no desenvolvimento da cultura. Nesse último caso, no entanto, verificou-se recuperação no crescimento vegetativo na fase final do ciclo. Os tratamentos T2 e T3 provocaram reduções significativas no número de vagens e na produção de sementes por planta, em relação aos demais tratamentos. Por outro lado, os tratamentos T4 e T5 não afetaram o crescimento e a produtividade da cultura, sendo que o T4 causou aceleração no ciclo reprodutivo da cultura.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, cobertura do solo, produtividade, trocas gasosas, tolerância à salinidade, eficiência no uso da água.

CHAPTER 1: SOIL COVERAGE, LEAF GAS EXCHANGE AND YIELD OF COWPEA IRRIGATED WITH SALINE WATER AT DIFFERENT GROWTH STAGES

ABSTRACT

The objective of this paper was to evaluate the effect of the irrigation with saline water, applied at different development stages, on leaf gas exchange, soil coverage and yield of cowpea. The experiment was set up in the field, during the dry season. A completely randomized block design, with five treatments (T1, T2, T3, T4 and T5) and five repetitions, was adopted. The distance between lines and plants were 0.8 m and 0.3 m, respectively, with two plants per hole. The treatments studied were: T1 - Groundwater with electrical conductivity (EC_w) of 0.8 dS m⁻¹ during the whole crop cycle; T2 - Saline water (EC_w = 5.0 dS m⁻¹) during the whole crop cycle, starting after germination; T3 - Saline water (EC_w = 5.0 dS m⁻¹) until 22th days after sowing (germination and initial growth) and groundwater in remaining stages of the crop cycle; T4 - Saline water (EC_w = 5.0 dS m⁻¹) from the 23rd to the 42nd day after sowing (intense growth and pre-flowering), and irrigation with groundwater for the remaining growth stages. T5 - Groundwater until 42nd days after sowing and saline water (EC_w = 5.0 dS m⁻¹) during flowering and pod-filling stages. Soil coverage, leaf gas exchange, vegetative growth and crop yield, water use efficiency and dry mass partitioning were measured. The continuous application of water with EC_w of 5 dS m⁻¹ (T2) reduced the rates of photosynthesis and transpiration, in relation to the well water (T1). Plants of the treatment 3 showed reduction gas exchanges in leaf only in the first measurement, while the saline water application in other growth stages (T 4 and T5) did not provoke significant reductions of the gas exchanges of the plants. It was found that the continuous use of saline water (T2) inhibits plant growth, while the irrigation with saline water during germination and initial growth (T3) causes retardation in plant development, but in the last case a recovery was observed in the final part of the experimental period. For treatments 2 and 3, reduction was verified in the number of pods and in seed production, as compared with the other treatments. Irrigation with saline water from the 23rd to the 42nd (T4) day and from the 43rd to the 63rd (T5) day after sowing did not affect reproductive and vegetative growth, but the saline water application in the pre-flowering (T4) caused anticipation of the reproductive cycle.

Keywords: *Vigna unguiculata*, soil coverage, plant yield, gas exchange, salt tolerance.

1. INTRODUÇÃO

O uso da irrigação tem contribuído significativamente para o aumento da produção agrícola e incorporação ao sistema produtivo de áreas cujo potencial para exploração da agricultura é limitado em função de seus regimes pluviométricos (RHOADES et al., 2000). No entanto, existem algumas áreas do mundo em que a competição pelas fontes de água já existe, causando decréscimo na alocação de águas de boa qualidade para a agricultura (MURTAZA et al., 2006). Em adição, grande parte das fontes de água dessas regiões, incluindo a Região Nordeste do Brasil, apresenta elevados teores de sais, afetando a produtividade das culturas e causando a degradação dos solos. Entretanto, o uso de espécies tolerantes e de estratégias de manejo do sistema solo-água-planta tem apresentado resultados economicamente viáveis em diferentes regiões do mundo (MURTAZA et al., 2006).

A utilização de fontes de águas salinas bem como o reúso de águas de drenagem na irrigação dependem de estratégias de longo prazo que garantam a sustentabilidade sócio-econômica e ambiental dos sistemas agrícolas, permitindo a obtenção de colheitas rentáveis sem que ocorra degradação do solo. Dentre essas estratégias podemos citar: o cultivo de espécies tolerantes, utilização de práticas de manejo do solo, a rotação de culturas, misturas de águas de diferentes qualidades e o uso de água de diferentes qualidades em diferentes estágios de desenvolvimento da planta. A escolha de uma determinada estratégia irá depender da qualidade da água, do tipo de solo, das culturas a serem irrigadas e das condições agroclimáticas (OSTER et al., 1984; GLENN et al., 1998; SHARMA; RAO, 1998; MALASH et al., 2005; MURTAZA et al., 2006).

A sensibilidade à salinidade varia com o estágio de desenvolvimento da cultura (FAGERIA; GHEYI, 1997). Neste sentido, algumas pesquisas têm sido realizadas com diferentes culturas visando desenvolver estratégias de manejo em áreas irrigadas com água salina. Dentre essas estratégias destaca-se o uso de águas salinas em determinadas fases de desenvolvimento da cultura, a qual reduz a acumulação de sais no solo e os efeitos da salinidade na produção agrícola (BOTÍA et al., 2005). Esses estudos também permitem identificar os estágios de desenvolvimento de plantas mais sensíveis e os mais tolerantes à salinidade, sendo uma informação importante para os produtores e que também contribui para reduzir

o consumo de água de boa qualidade. (CHARTZOULAKIS; KLAPAKI, 2000; ZENG et al., 2001).

O feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*) (L.) Walp. apresenta uma tolerância moderada à salinidade (AYERS; WESTCOT, 1999), com tolerância maior que a do milho, todavia menor do que a do trigo, cevada, beterraba açucareira e algodão (MURILLO-AMADOR et al., 2006). Embora existam muitos estudos relacionados com a tolerância do feijão-de-corda à salinidade sob condições de laboratório e casa de vegetação (MAAS; POSS, 1989; DANTAS et al., 2002; COSTA et al., 2003; LACERDA et al., 2006), poucas são as informações sobre os efeitos da salinidade em diferentes estádios de desenvolvimento, especialmente sob condições de campo.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da irrigação com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento do feijão-de-corda, mediante a quantificação das trocas gasosas, da evolução do crescimento vegetativo (cobertura do solo), da produtividade dessa cultura e a eficiência no uso da água.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material Vegetal, Local do Experimento e Condições Agroclimáticas

No experimento foram utilizadas sementes de feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L) Walp.], cultivar Epace 10. Esse cultivar apresenta porte semi-enramador, ciclo de 65-75 dias, e produtividade de 1000 Kg ha⁻¹ sob condições de sequeiro e de 1500 a 2000 Kg ha⁻¹ sob condições de irrigação, na região Nordeste (FREIRE FILHO et al., 2005). As sementes foram obtidas do Laboratório de Tecnologia de Sementes da Universidade Federal do Ceará. O experimento foi conduzido no campo, em uma área de ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico (SILVA et al., 1999), localizada no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, em Fortaleza, Ceará, Brasil (3°45'S; 38° 33'W e altitude de 19 m em relação ao nível do mar). De acordo com a classificação de Köppen, a área do experimento está localizada numa região de clima Aw', que se caracteriza por possuir um clima chuvoso, com precipitações de outono a verão e temperatura média maior de 18°C durante o ano inteiro. As informações meteorológicas obtidas durante o cultivo (outubro a dezembro de 2006) e durante a estação chuvosa subsequente (janeiro a abril de 2007) são apresentadas na Tabela 1. O período escolhido para a realização do experimento foi o segundo semestre pelo fato de praticamente não ocorrer precipitação nessa época do ano, o que contribui para uma maior eficiência na análise dos resultados.

TABELA 1 - Média de temperatura (T), umidade relativa (UR), velocidade do vento (V), insolação, precipitação (PPT) e evapotranspiração potencial (ETP) obtidos durante a estação seca (cultivo do feijão-de-corda) e durante a estação chuvosa subsequente

| Meses | T (°C) | UR (%) | v (m.s ⁻¹) | Insolação (horas) | PPT (mm) | ETP (mm) |
|------------|--------|--------|------------------------|-------------------|----------|----------|
| Out/2006 | 27,7 | 68 | 4,5 | 327 | 3,2 | 196,3 |
| Nov/2006 | 27,5 | 70 | 4,3 | 297 | 2,7 | 183,4 |
| Dez/2006 | 28,1 | 72 | 3,7 | 341 | 11,7 | 164,7 |
| Jan/2007 | 28,3 | 73 | 3,7 | 259 | 36,5 | 159,5 |
| Fev/2007 | 27,1 | 81 | 2,8 | 148 | 279,8 | 83,2 |
| Mar/2007 | 27,2 | 80 | 2,7 | 179 | 340,0 | 115,7 |
| Abril/2007 | 27,4 | 79 | 2,5 | 168 | 236,9 | 113,7 |

Fonte: Estação meteorológica da Universidade Federal do Ceará-UFC.

2.2. Preparo da Área

No início da estação chuvosa do ano de 2006 foi realizada aplicação de gesso agrícola na área, sendo a dose equivalente a 2,0 Mg ha⁻¹, incorporados com uma gradagem. Dias antes do plantio foram realizadas aração e gradagem, passando-se em seguida um sulcador. Com o auxílio de enxada e um nível de pedreiro os sulcos foram nivelados e feitas parcelas com quatro sulcos fechados de 5 m de comprimentos e espaçados entre si de 0,80 m, gerando uma área de 16 m² por parcela.

2.3. Tratamentos e Delineamento Experimental

O plantio foi feito, colocando-se três sementes por cova e oito dias após o plantio (DAP) foi feito o desbaste, deixando-se duas plantas por cova. As plantas foram cultivadas em espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,3 m entre plantas. Os tratamentos utilizados no experimento receberam as seguintes simbologias: T1 (tratamento 1); T2 (tratamento 2); T3 (tratamento 3); T4 (tratamento 4) e T5 (tratamento 5).

T1 - plantas irrigadas com água do poço (CEa em torno de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$) durante todo o ciclo;

T2 - água salina com CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, com aplicação iniciada após a germinação e permanecendo até o final do ciclo;

T3 - água salina com CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, da sementeira até 22 dias após o plantio (DAP), correspondendo às fases de germinação e crescimento inicial, e água do poço no restante do ciclo;

T4 - água salina com CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, aplicada de 23 a 42 DAP (fase de intenso crescimento vegetativo até a pré-floração), e água do poço nas demais fases do ciclo;

T5 - água do poço da sementeira até 42 dias após o plantio e água salina (CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$) aplicada a partir de 43 DAP (floração e frutificação).

As irrigações foram realizadas até 62 DAP, em todos os tratamentos. Para o preparo das soluções salinas, foram utilizados os sais de NaCl, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, na proporção de 7:2:1, obedecendo-se à relação entre CEa e sua concentração ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1} = \text{CE} \times 10$), conforme Rhoades et al. (2000). As principais características da água do poço e da água salina utilizadas na irrigação são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2 - Características da água do poço e da água salina utilizadas na irrigação de plantas de feijão-de-corda em diferentes estádios de desenvolvimento

| Características | Água do Poço | Água Salina |
|---|--|---|
| CE | $0,8 \text{ (dS m}^{-1}\text{)}$ | $5,0 \text{ (dS m}^{-1}\text{)}$ |
| pH | 7,1 | 7,0 |
| Ca | $1,0 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1}\text{)}$ | $10,0 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1}\text{)}$ |
| Mg | $1,0 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1}\text{)}$ | $5,0 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1}\text{)}$ |
| Na | $3,9 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1}\text{)}$ | $35,0 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1}\text{)}$ |
| HCO_3^- | $2,8 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1}\text{)}$ | $2,8 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1}\text{)}$ |
| Cl | $3,6 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1}\text{)}$ | $65,0 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1}\text{)}$ |
| RAS | $3,9 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1}\text{)}^{1/2}$ | $12,8 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1}\text{)}^{1/2}$ |
| Classe segundo Richards (1954) ¹ | C3S1 | C4S2 |
| Classe Segundo UCCC ^{1,2} | C2S1 | C4S1 |

¹ Citadas por Holanda e Amorim (1997).

² Condutividade elétrica segundo University of Califórnia Committee of Consultants e sociedade segundo Ayers e Westcot (1999).

O delineamento experimental utilizado foi o em blocos ao acaso com cinco tratamentos e cinco repetições, gerando, assim uma área com 25 parcelas, sendo que cada parcela tinha o comprimento de 5,0 m e 3,2 m de largura, com quatro linhas de plantio. A parcela útil consistiu de 56 plantas localizadas nas duas fileiras centrais.

2.4. Manejo da Irrigação

A água foi aplicada em sulcos nivelados e fechados e sua quantidade foi calculada para atender às necessidades da cultura, utilizando-se de dados de uma estação meteorológica localizada a cerca de 40 m do local do experimento, adicionando-se a fração de lixiviação de 13% calculada de acordo com Ayers e Westcot (1999).

As lâminas de irrigação foram definidas com base nos valores de evapotranspiração (ET_o) obtidas através do Tanque Classe A e dos coeficientes da cultura (K_c) recomendados por Souza et al., (2005). De acordo com esses autores os coeficientes de cultivo para essa cultura na região do estudo são os seguintes: 0,70 (até 12 dias após o plantio, DAP), 0,81 (de 13 até 33 DAP), 1,2 (de 34 até 54 DAP) e 0,77 (de 55 até 62 DAP).

A lâmina de irrigação aplicada foi calculada para atender as necessidades da cultura, de acordo com a fórmula:

$$L = K_p * ECA * K_c * A * FL, \text{ onde:}$$

L = lâmina de irrigação, em mm;

K_p = coeficiente do Tanque “Classe A” (0,70);

ECA = evaporação do Tanque “Classe A”, em mm, medida todos os dias na estação;

K_c = Coeficiente da cultura por fase de desenvolvimento;

A = área irrigada em cada sulco, 4 m²;

FL = fração de lixiviação, 13%.

O turno de rega utilizado foi de três dias, sendo que as plantas de todos os tratamentos foram irrigadas até 62 dias após o plantio (DAP). A lâmina total de água aplicada em todos os tratamentos ao longo do ciclo foi de 353 mm. Em cada irrigação, a água era armazenada em caixas com capacidade para 1.000 L, e o volume necessário era aplicado em cada sulco, sendo medido e

controlado por meio de um hidrômetro instalado nas mangueiras conectadas aos reservatórios.

Antes do início de cada irrigação com água salina, de acordo com o volume de água a ser aplicado, era adicionado, em caixas d'água de 1000L, 1.811,64 g de NaCl, 661,5 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e 406,0 g de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Os sais eram pesados em balança de precisão, dissolvido em baldes de 20 litros e, logo após, adicionados nas três caixas d'águas, sendo bem misturados de modo a garantir uma boa homogeneização na água de irrigação. A condutividade elétrica da água foi acompanhada com um condutivímetro portátil.

2.5. Adubação e Outros Tratos Culturais

Na adubação das plantas, utilizaram-se 1,1 g de uréia, 8 g de superfosfato simples e 1,5 g de cloreto de potássio por cova (FERNANDES, 1993). As doses de uréia e superfosfato simples foram aplicadas por ocasião do plantio, enquanto a dose de potássio foi aplicada metade no plantio e metade aos 30 dias após o plantio. Os adubos foram aplicados em sulcos de 5 cm de profundidade e distanciados de 5 cm das plantas.

O controle fitossanitário foi realizado com pulverizações através de uma bomba costal de 20 L com bico tipo cone cheio, utilizando o inseticida Vertimec (1 mL/L), para o controle do pulgão e da larva minadora e o acaricida/fungicida Kumulus S (3 g/L) para o controle do ácaro. Durante o ciclo da cultura foram realizadas duas capinas manuais.

2.6. Determinação da Cobertura Vegetal do Solo

A determinação da cobertura vegetal do feijão-de-corda foi realizada a partir de imagens digitais, utilizando-se uma câmera digital de 6.0 megapixels. Para a avaliação da área da projeção da copa, utilizou-se área com presença de folhas, sendo as observações ao meio dia, horário ideal para aquisição de imagens devido à projeção da sombra das folhas no solo aproximadamente perpendicular. Fez-se uso de uma quadrícula de madeira de 0,80 m x 0,80 m, de acordo com o espaçamento da cultura, para delimitar a área a ser fotografada. As fotografias foram

tomadas a uma altura de 2 m em relação à superfície do solo, com auxílio de uma estrutura de madeira. Utilizando-se um editor de imagens, realizou-se o corte das imagens deixando somente a área representativa de 0,64 m² (Figura 1). O acompanhamento da evolução da cobertura do solo foi realizado através do processamento de imagens, regularmente registradas no programa de tratamento de imagens PHOTOSHOP ADOBE, a fim de proporcionar na área do canteiro estudado, contraste entre as áreas coberta e desnuda do solo para então, utilizando o software para classificação de imagens ENVI 4.3 (Environment for Visualizing Images), quantificar a área de cobertura da cultura. Para a quantificação da cobertura do solo, realizou-se a classificação supervisionada pelo método da Máxima Verossimilhança no software ENVI 4.3. O MAXVER é o método de classificação supervisionado mais comum. Esse método considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes e o pixel, utilizando parâmetros estatísticos, isto é, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe.

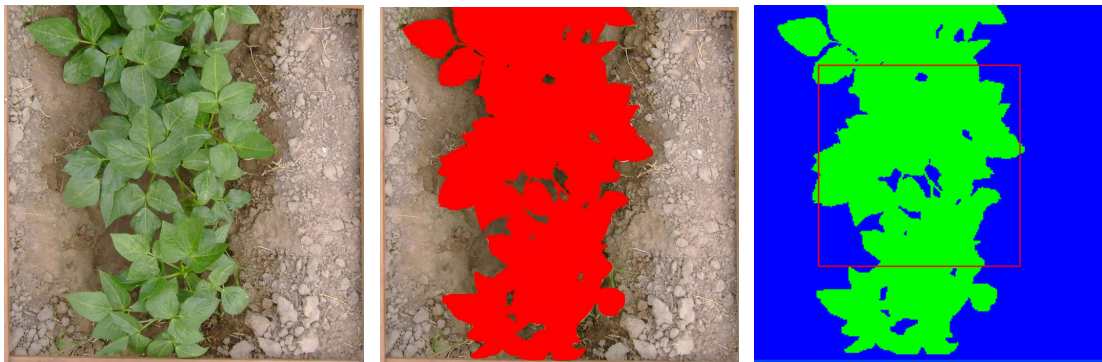


FIGURA 1 - Cobertura vegetal do solo pelo feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento (a) imagem no campo; (b) imagem trabalhada por editor de imagens; (c) e pelo método da máxima verossimilhança no ENVI.

2.7. Fotossíntese, Transpiração e Condutância Estomática

Ao final dos diferentes estádios de desenvolvimento (germinação e crescimento inicial, floração e frutificação) foram efetuadas medições de fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática. Essas medidas foram feitas aos 22, 42 e 61 dias após o plantio, em folhas completamente maduras, por meio de um

analisador de trocas gasosas de plantas (IRGA, ADC System), sendo as leituras realizadas entre 9:00 e 11:00 horas considerando-se umidade relativa do ar, temperatura e radiação do ambiente.

2.8. Coleta das Plantas, Crescimento e Produtividade

Ao final do ciclo, oito plantas de cada parcela foram coletadas, sendo separadas as folhas (limbos foliares) e hastes (ramos e pecíolos). Após a obtenção da massa fresca, amostras homogêneas de aproximadamente 200 g de folhas e hastes foram acondicionadas em sacos de papel e, após secas em estufa a 60°C, foram pesadas para obtenção do teor de matéria seca. A produção de matéria seca foi obtida multiplicando-se a produção de massa fresca pelo teor de matéria seca das diferentes partes da planta. O Índice de Colheita foi obtido dividindo-se a produção de grãos pela produção de matéria seca total da parte aérea.

A colheita foi iniciada após a maturação das primeiras vagens e se estendeu até aos 71 DAP, sendo realizadas colheitas aos 58, 62, 67 e 71 DAP, em cerca de 40 plantas das duas fileiras centrais. O material colhido foi acondicionado em sacos de papel previamente identificados e levados para secagem à temperatura ambiente na casa de vegetação do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará. Neste material foram realizadas medições dos seguintes parâmetros agrônômicos: produção de grãos por planta, número de vagens por planta, tamanho médio da vagem (obtido de duas sub-amostras de 20 vagens por parcela), número de grãos por vagem (obtido de duas sub-amostras de 20 vagens por parcela), peso de 1000 sementes (obtido de duas sub-amostras de cada parcela) e classificação dos grãos por tamanho (utilizando o total de grãos por parcela), mediante o uso de peneiras.

Com os dados de produção de matéria seca das partes vegetativas e reprodutivas calculou-se a partição de carbono na planta.

2.9. Eficiência no uso da água

As eficiências de uso de água foram calculadas, relacionando a produção primária (matéria seca total) e a lâmina total aplicada (EUAP) e a produção de grãos

e a lâmina total de água (EUAGR), sendo expressas em kg de matéria seca produzido/mm de água aplicado. Também foi calculada a eficiência de uso de água com base na produção primária (EUAP) nos diferentes estádios, considerando a matéria seca produzida e a lâmina de água aplicada, em cada estádio.

2.10. Análises Estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância, tendo sido realizada a comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, através do programa SAEG/UFV (RIBEIRO JÚNIOR et al., 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Cobertura do Solo

Os coeficientes de cultivo são definidos tomando-se como base os estádios de desenvolvimento da cultura, podendo esses estádios serem assim classificados: estágio inicial – até 10% de cobertura; estágio de intenso crescimento vegetativo – aproximadamente 70-80% de cobertura; estágio intermediário – cobertura total até o início da maturação e estágio final – início da maturação até total senescência (ALLEN et al., 1998). A Tabela 3 apresenta a estimativa da evolução do crescimento do feijão-de-corda, cultivar EPACE 10, com 10% e 80% de cobertura do solo submetido à irrigação com água salina em diferentes fases do ciclo. A aplicação de água salina durante todo o ciclo (T2) reduziu a cobertura vegetal (Figura 2), sendo que as plantas desse tratamento não atingiram 80% da cobertura do solo (Tabela 3). As plantas irrigadas com água salina entre a semeadura e os primeiros 20 dias de crescimento (T3) apresentaram um ligeiro retardo no seu crescimento em relação ao T1, não se diferenciando das plantas do T2, em termos de cobertura do solo, até cerca de 45 dias após a semeadura. As plantas do T3, no entanto, apresentaram forte crescimento após os 45 dias, apresentando valores de cobertura do solo semelhantes às plantas dos demais tratamentos (Figura 2) e atingindo 80% da cobertura do solo por volta dos 57 dias após o plantio (Tabela 3). Por outro lado, as plantas dos tratamentos T1 (água do poço), T4 e T5, apresentaram crescimento similar, porém superior às plantas dos demais tratamentos, indicando que a aplicação de água salina ($5,0 \text{ dS m}^{-1}$) antes da floração e nas fases de floração e frutificação não interferiu no crescimento da cultura. As plantas dos tratamentos T1 e T4 atingiram 80% da cobertura aos 40 dias após o plantio, sendo que as plantas do T4 apresentaram tendência de estabilização após os quarenta dias de cultivo, sendo indicativo da aceleração da senescência das plantas.

TABELA 3 - Dias após plantio para os valores limites da mudança de estádios de desenvolvimento de plantas de feijão-de-corda, irrigadas com água salina, segundo ALLEN et al. (1998) a partir de regressão simples do tipo polinomial

| Tratamentos | Cobertura do solo | |
|---|-------------------|-------------|
| | 10% | 80% |
| T1 Água do Poço (CEa em torno de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$), durante todo ciclo; | 19-20 | 39-40 |
| T2 Água salina (CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$) durante todo ciclo; | 22-23 | não atingiu |
| T3 Água salina (CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$) de 0 – 22 DAP; | 23-24 | 56-57 |
| T4 Água salina (CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$) de 23 – 42 DAP; | 16-17 | 39-40 |
| T5 Água salina (CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$) de 43 – 62 DAP; | 20-21 | 43-44 |

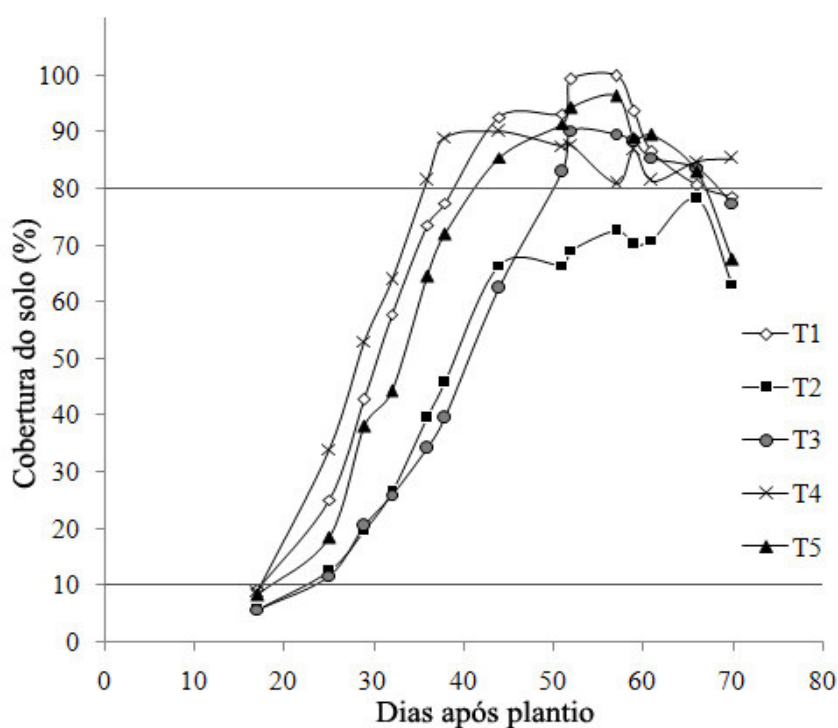


FIGURA 2 - Evolução da cobertura vegetal de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.

3.2. Crescimento e Produtividade

As medições realizadas ao final do ciclo mostraram que os tratamentos influenciaram significativamente todas as variáveis de produção e partição de matéria seca nas plantas de feijão-de-corda (Tabela 4).

A aplicação contínua de água salina (T2) reduziu a produção de matéria seca da parte aérea, sendo que as reduções, em relação às plantas irrigadas com água do poço (T1), atingiram 40 e 46%, respectivamente, para hastes + folhas e para vagens (Figura 3). De acordo com Ayers e Westcot (1999) a irrigação do feijão-de-corda com água salina com CEa de $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ pode provocar redução de 50% no rendimento da cultura, resultado compatível com o encontrado no presente estudo. Esses resultados estão associados aos efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais decorrentes da disponibilidade e acúmulo de sais na zona radicular da planta que afetam a assimilação líquida de CO_2 , inibem a expansão foliar e aceleram a senescência de folhas maduras, reduzindo conseqüentemente a área destinada ao processo fotossintético e a produção total de fotoassimilados (MUNNS, 2002; LACERDA et al., 2006; WILSON et al., 2006b). É importante destacar que os resultados do presente estudo divergem dos obtidos por Assis Júnior et al. (2007), visto que esses autores verificaram que a irrigação com água salina (CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$) provocou maior redução no crescimento vegetativo do que reprodutivo, com conseqüente aumento no índice de colheita. Vale salientar, que os referidos autores trabalharam com menor espaçamento entre fileiras de plantas, fato que pode alterar o padrão de crescimento da cultura.

TABELA 4 - Resumo da análise de variância para a matéria seca de vagens (MSVAG), matéria seca de hastes e folhas (MSVEG), matéria seca da parte aérea (MSPA), órgãos reprodutivos (PREPR), vegetativos (PVEG) e índice de colheita (IC) em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Variáveis | Quadrados médios | | | |
|-----------|------------------|----------|---------|------|
| | Trat | Bloco | Resíduo | CV |
| MSVEG | 135,21** | 48,75 ns | 36,53 | 24,0 |
| MSVAG | 192,13** | 10,09 ns | 9,51 | 13,1 |
| MSPA | 546,24** | 73,29 ns | 62,10 | 16,2 |
| PREPR | 0,86** | 0,12 ns | 0,14 | 5,34 |
| PVEG | 0,70** | 0,12 ns | 0,14 | 5,14 |
| IC | 0,83** | 0,73 ns | 0,99 | 5,14 |

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo

As plantas irrigadas com água salina durante os processos de germinação e crescimento inicial (T3), quando comparado aos tratamentos T1, T4 e T5, apresentaram redução de 33% no crescimento reprodutivo, porém não foram afetadas a produção da matéria seca de hastes + folhas (Figura 3). Tal fato pode ser explicado pela recuperação do desenvolvimento vegetativo da planta, conforme demonstrado na medição da cobertura do solo (Figura 2 e Tabela 3). Esses resultados indicam que a salinidade aplicada na fase inicial do cultivo, retardou o desenvolvimento da planta, sendo que esse processo de retardamento já foi observado em estudo com essa espécie durante a fase de plântula (SOUSA et al., 2003). Além disso, observou-se nesse tratamento alteração no padrão de desenvolvimento da cultura e na partição de fotoassimilados, ocorrendo redução na produção de frutos em detrimento do crescimento vegetativo, com conseqüente redução no índice de colheita (Tabela 5). Alterações na morfofisiologia de plantas de feijão-de-corda induzidas pela salinidade, também têm sido observadas em outros estudos (LACERDA et al., 2006; WILSON et al., 2006a).

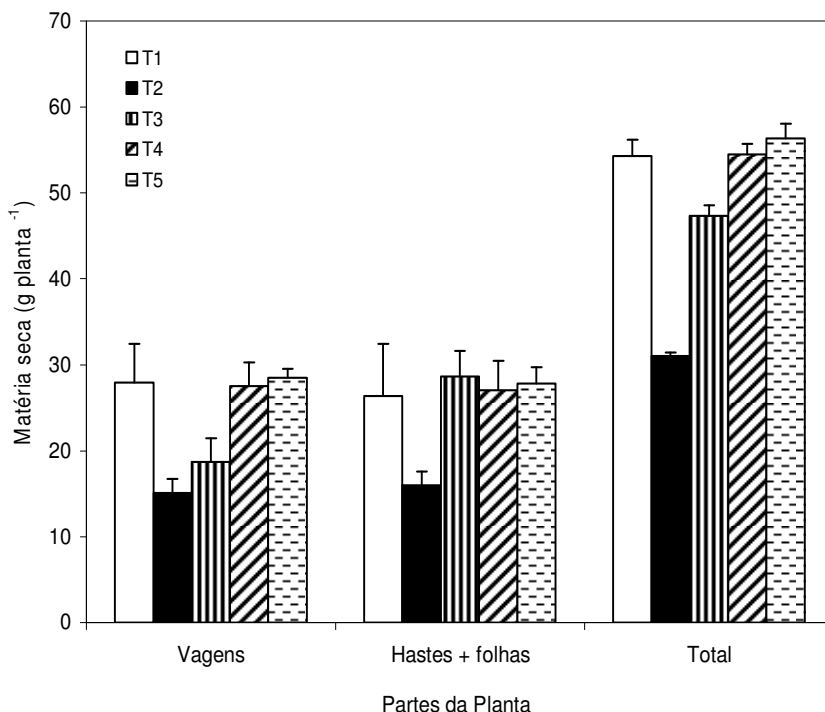


FIGURA 3 - Matéria seca das partes reprodutivas (vagens) e vegetativas (hastes e folhas) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.

[*As barras representam o erro padrão da média (n = 5)]

TABELA 5 - Partição de matéria seca entre as partes vegetativas e reprodutivas e índice de colheita de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Tratamentos | Parte Vegetativa (%) | Parte Reprodutiva (%) | Índice de Colheita |
|-------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
| T1 | 47,2 b | 52,8 a | 40,53 a |
| T2 | 51,0 b | 49,0 a | 39,95 a |
| T3 | 60,0 a | 40,0 b | 29,50 b |
| T4 | 49,0 b | 51,0 a | 40,61 a |
| T5 | 49,5 b | 50,5 a | 39,88 a |

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). n = 5

A aplicação de água salina nos períodos de intenso crescimento (T4) e nas fases de floração e frutificação (T5) não afetou o crescimento vegetativo e a produção de vagens pelas plantas (Figura 3). Já os estádios de germinação e estabelecimento da cultura são mais sensíveis à salinidade, provavelmente devido

ao acúmulo de sais na zona radicular do feijão-de-corda (MURILLO-AMADOR et al., 2006). Maas e Poss (1989) observaram redução no crescimento vegetativo tanto quando o estresse foi aplicado durante o crescimento como durante os estádios de floração e enchimento da vagem, embora as maiores reduções tenham sido verificadas quando a cultura foi irrigada durante o primeiro estágio. De acordo com Maas (1993), muitas culturas são susceptíveis à injúria durante a emergência do solo e durante o crescimento inicial da semente. Uma vez estabelecidas, as plantas aumentam a tolerância durante os estádios de crescimento seguintes. Por outro lado, a aplicação de água salina (CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$) na fase de pré-floração acelerou o desenvolvimento reprodutivo, enquanto a aplicação de água na fase inicial retardou a produção de frutos. Aos 58 dias após a germinação, quando foi realizada a primeira colheita, verificou-se que as plantas do T4 tinham em média, cerca de 3 vagens maduras, ao passo que praticamente nenhuma vagem madura era observada nas plantas do T3 (Figura 4). Observa-se, também, que o pico de produção do T4 ocorreu aos 62 dias da germinação, enquanto nos demais tratamentos esse pico ocorreu somente aos 67 dias.

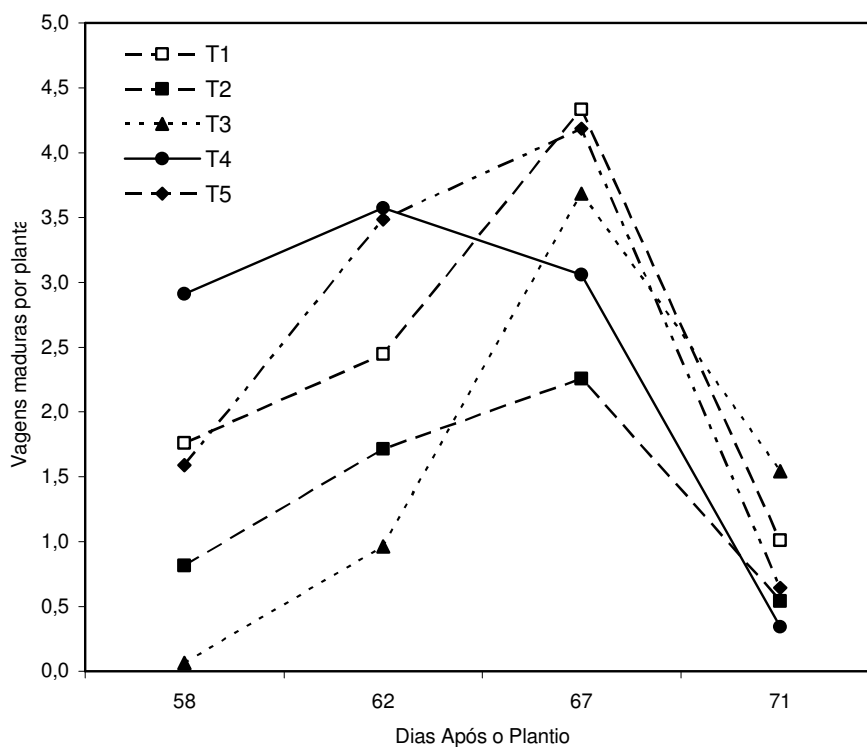


FIGURA 4 - Número de vagens em relação aos dias após o plantio (DAP), em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.

De acordo com Cardoso et al., (2005), a produtividade dos grãos do feijão-de-corda resulta do número de vagens (NV) por unidade de área, do número de grãos por vagens (NGV) e do peso de 1000 grãos (P1000G em g). No presente trabalho verificou-se que a aplicação contínua de água salina (T2) e na fase inicial do ciclo (T3) reduziu a produção de frutos e a matéria seca total de grãos, sendo que não se verificou redução nem no tamanho de vagens nem no peso médio dos grãos (Tabelas 6 e 7). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Maas e Poss (1989) e Assis Júnior et al. (2007). No entanto, verificou-se redução no número de vagens por planta e também no número de sementes por vagem, demonstrando que a salinidade afetou a emissão de ramos reprodutivos, sendo esse componente determinante para a redução na produtividade (LACERDA et al., 2006; ASSIS JÚNIOR et al., 2007). Por outro lado, a produtividade dos tratamentos T1, T4 e T5 foram similares. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Maas e Poss (1989) sob condições de casa de vegetação, os quais mostraram que a sensibilidade à salinidade do feijão-de-corda diminui ao longo do ciclo da cultura.

As produtividades estimadas com base na produção por planta e com base na densidade de plantio foram de 1867, 983, 1242, 1825 e 1875 kg ha⁻¹, respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. As produtividades obtidas com água do poço estão de acordo com os resultados de estudos realizados no Brasil (FREIRE FILHO et al., 2005) e na África (ADEKALU; OKUNADE, 2006), sob condições de irrigação. Porém são inferiores aos obtidos nas regiões produtoras dos Estados Unidos (DADSON et al., 2005). Por exemplo, em algumas regiões do estado da Califórnia é comum a obtenção de produtividades em torno de 7.000 Kg ha⁻¹ (SANDEN, 1993 apud DADSON et al., 2005). As elevadas produtividades nessas regiões devem-se, em parte, as menores temperaturas noturnas, visto que as temperaturas nas noites durante a floração aumentam a abscisão de flores, sendo esse o principal fator para a redução no número de vagens por planta (NIELSEN; HALL, 1984).

É importante destacar que o feijão-de-corda apresenta ampla variabilidade genética, podendo-se encontrar, nas diferentes regiões do mundo, grandes diferenças nas produtividades dos cultivares em função dos seus potenciais genéticos, das condições edafoclimáticas e das condições de cultivo (DADSON et al., 2005; FREIRE FILHO et al., 2005; AJEIGBE et al., 2006). Vale salientar que os cultivares da região Nordeste do Brasil foram selecionadas em cultivo de sequeiro

com emprego de pouca tecnologia. Portanto, maiores produtividades poderiam ser obtidas mediante a seleção de cultivares com o emprego de um nível tecnológico mais avançado (FREIRE FILHO et al., 2005).

TABELA 6 – Resumo da análise de variância para o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), tamanho da vagem (TV), peso de 1000 grãos (P1000G), e total de matéria seca de grãos por planta (MSGR) em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Variáveis | Quadrados médios | | | |
|-----------|------------------|----------|---------|------|
| | Trat | Bloco | Resíduo | CV |
| NVP | 20,21** | 1,14 ns | 1,17 | 14,1 |
| NGV | 2,415* | 3,021* | 0,768 | 6,2 |
| TV | 1,143 ns | 1,312 ns | 0,584 | 3,9 |
| P1000G | 278,1 ns | 187,8 ns | 295,8 | 8,7 |
| MSGR | 125,51** | 6,44 ns | 6,60 | 13,8 |

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo

TABELA 7 - Número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), tamanho da vagem (TV), peso de 1000 grãos (P1000G), e total de matéria seca de grãos por planta (MSGR) em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Tratamentos | NVP | NGV | TV (cm) | P1000G (g) | MSGR (g planta ⁻¹) |
|-------------|-------|---------|---------|------------|--------------------------------|
| T1 | 8,7 a | 14,3 ab | 19,7 a | 184,1 a | 22,4 a |
| T2 | 5,1 b | 12,8 b | 18,8 a | 198,3 a | 11,8 b |
| T3 | 5,9 b | 14,3 ab | 19,2 a | 198,7 a | 14,9 b |
| T4 | 9,3 a | 14,2 ab | 19,6 a | 203,9 a | 21,9 a |
| T5 | 9,2 a | 14,7 a | 20,1 a | 198,8 a | 22,5 a |

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$); n = 5.

Na Tabela 8 tem-se os valores do quadrado médio e significância estatística da distribuição percentual de sementes em peneiras de malhas 16 (P16), 17 (P17), 18 (P18), 19 (P19) e 20 (P20). Analisando a significância e os valores dos quadrados médios, percebe-se que os tratamentos não influenciaram o tamanho dos

grãos, verificando-se apenas diferenças entre as quantidades coletadas nas peneiras utilizadas no processo de separação. A inexistência de efeitos da salinidade sobre o peso de 1000 sementes (Tabela 7) e sobre o diâmetro médio das sementes (Tabela 9) sugere que a salinidade tem pouca influência sobre a qualidade visual das sementes. Resultados semelhantes foram obtidos por Assis Júnior (2007).

TABELA 8 - Resumo da análise de variância para a distribuição percentual de sementes em peneiras de malhas 16 (P16), 17 (P17), 18 (P18), 19 (P19) e 20 (P20), obtidas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |
|--------------------|----------------|
| Tratamento | 0,35 ns |
| Peneira | 4705,76** |
| Trat * Peneira | 27,11ns |
| Bloco | 0,46 ns |
| Resíduo | 16,96 |
| C.V. (%) | 24,7 |

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo

TABELA 9 - Distribuição percentual de sementes em peneiras de malhas 16 (P16), 17 (P17), 18 (P18), 19 (P19) e 20 (P20), obtidas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento¹

| Tratamentos | Porcentagem ² | | | | | |
|-------------|--------------------------|--------|--------|---------|-------|--------|
| | P16 | P17 | P18 | P19 | P20 | Resto |
| T1 | 13,4 b | 33,6 a | 35,4 a | 11,9 bc | 1,2 d | 4,5 cd |
| T2 | 14,3 b | 36,8 a | 33,9 a | 9,2 bc | 0,9 d | 4,9 cd |
| T3 | 15,9 b | 33,1 a | 31,1 a | 11,3 bc | 1,9 d | 6,7 cd |
| T4 | 17,0 b | 37,7 a | 30,5 a | 8,7 c | 1,0 d | 5,1 cd |
| T5 | 16,3 b | 33,4 a | 26,8 a | 12,4 b | 0,8 c | 10,3 b |

¹Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). $n = 5$.

² A porcentagem foi obtida dividindo-se a matéria seca das sementes retidas na peneira pela matéria seca total das sementes selecionadas nas quatro peneiras; o resto corresponde às sementes trituradas do total colhido em cada tratamento.

3.3. Fotossíntese (A), Transpiração (E) e Condutância Estomática (gs)

As taxas de fotossíntese líquida (A), transpiração (E) e condutância estomática (gs), foram influenciadas pelos tratamentos e pela época de medição ao longo do ciclo da cultura (Tabela 10). Foram observados efeitos significativos da interação tratamento x época, indicando que as respostas dos tratamentos diferiram nas medições realizadas ao longo do ciclo da cultura.

TABELA 10 - Resumo da análise de variância para a taxa de fotossíntese líquida (A), taxa de transpiração (E) e condutância estomática (gs) obtidas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Fontes de Variação | Quadrado Médio | | |
|--------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | A | E | gs |
| Tratamento | 78,07 ** | 6,64 ** | 1,45 ** |
| Época | 509,45 ** | 49,28 ** | 4,55 ** |
| Trat. x Época | 47,06 ** | 1,85 * | 0,55 ** |
| Bloco | 14,89 ** | 0,14 ^{ns} | 0,07 ^{ns} |
| Resíduo | 5,28 | 0,76 | 0,129 |
| C.V. (%) | 9,41 | 10,98 | 33,10 |

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns= não significativo.

A aplicação contínua de água com CEa de 5 dS m^{-1} (T2) reduziu a taxa fotossintética e a taxa de transpiração em praticamente todas as medições realizadas, em relação à aplicação de água de baixa salinidade (água do poço, CEa de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$), (Figura 5). Os efeitos da salinidade foram mais expressivos sobre a condutância estomática, concordando com os resultados obtidos por outros autores (ASSIS JÚNIOR et al., 2007). A redução na taxa fotossintética pode ser decorrente do fechamento parcial dos estômatos, associado aos efeitos osmóticos e iônicos da salinidade, e da toxidez iônica sobre o metabolismo (PLAUT et al., 1990; GUIMARÃES, 2005; BEZERRA et al., 2005; WILSON et al., 2006b). Essa limitação na assimilação líquida de carbono pelos tecidos foliares pode ter contribuído para a redução na produtividade das plantas do T2, conforme tem sido sugerido por outros autores (CHARTZOULAKIS; LOUPASSAKI, 1997; MUNNS, 2002; ASSIS JÚNIOR et al., 2007; PRAXEDES, 2008). Entretanto, as reduções nas taxas de fotossíntese foram bem menos expressivas do que aquelas observadas no crescimento vegetativo (Figura 3), o que confirma observações de outros autores (BEZERRA et al., 2003; BEZERRA et al., 2005; LACERDA et al., 2006; ASSIS JÚNIOR et al., 2007). A aplicação de água salina na fase inicial (T3) provocou redução das trocas gasosas somente na primeira medição. Deve-se destacar em relação às plantas do T3 que, ao final do ciclo, apresentaram maiores valores da taxa de fotossíntese, o que se deve ao fato de suas folhas ainda apresentarem-se mais verdes do que aquelas dos outros tratamentos. No caso dos tratamentos T4 e T5, a aplicação de água salina não provocou reduções significativas nas trocas gasosas das plantas, exceto no final do ciclo quando o processo de senescência das folhas foi intensificado, notadamente no T4.

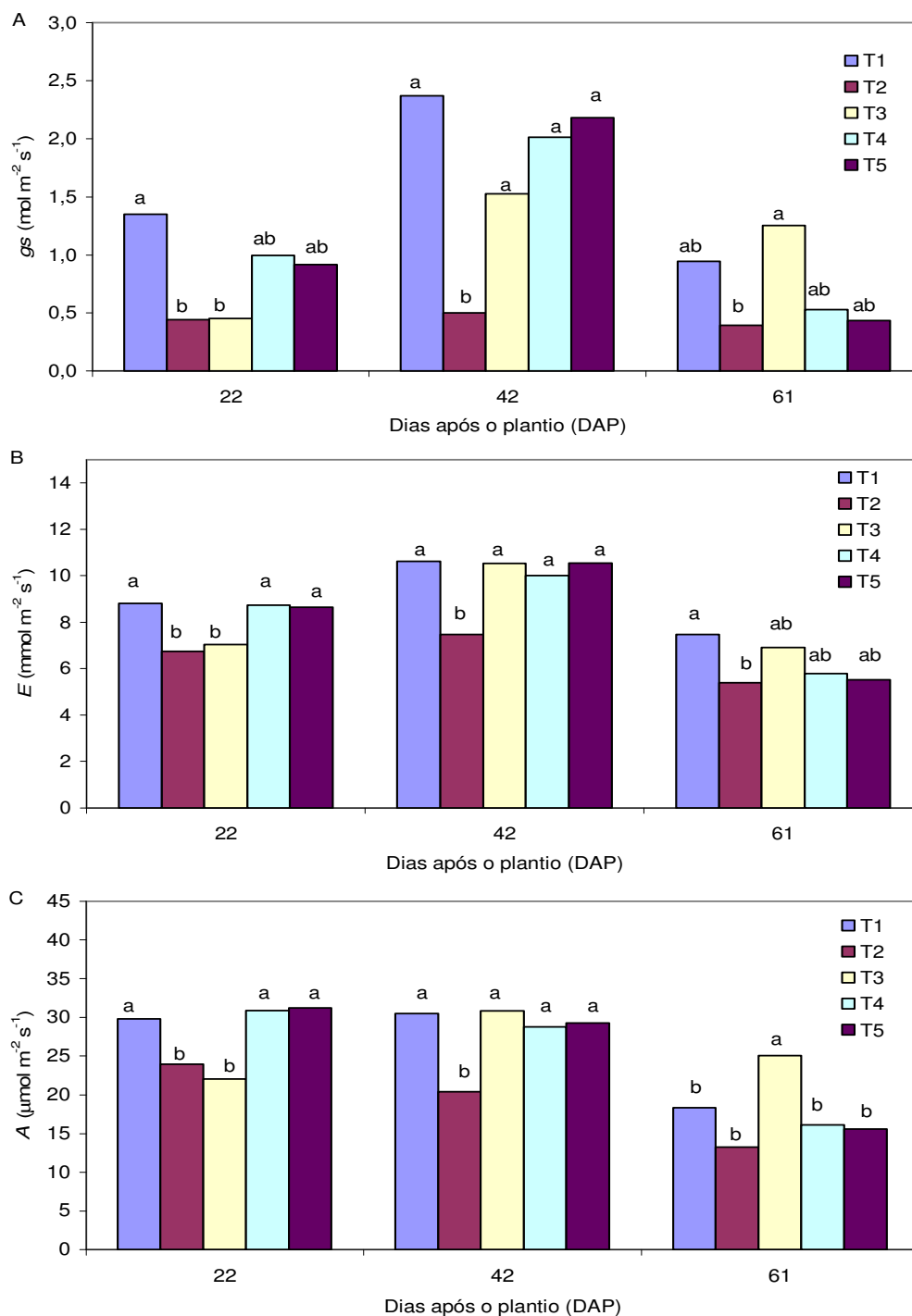


FIGURA 5 – (A) Condutância estomática (g_s); (B) transpiração (E) e (C) Taxa de fotossíntese líquida (A), em folhas maduras de plantas de feijão-de-corda em função dos tratamentos (T1 a T5) e da época de medição (dias após o plantio). (Barras com as mesmas letras, para cada época, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.)

As taxas de fotossíntese média de todos os tratamentos foram superiores a $27 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aos 22 e 41 DAP (Tabela 11), porém decresceram ao final do ciclo

em função da senescência das folhas, concordando as observações de outros autores (SOUSA, 2006; ASSIS JÚNIOR et al., 2007). As taxas de transpiração atingiram os maiores e menores valores aos 22 e 61 dias após o plantio, respectivamente, refletindo a demanda hídrica da cultura (SOUZA et al., 2005).

TABELA 11 - Taxa de fotossíntese líquida (A), taxa de transpiração (E) e condutância estomática (gs) em folhas maduras de plantas de feijão-de-corda em função da época de medição (dias após o plantio, DAP)

| DAP | Médias* | | |
|-----|--|--|--|
| | A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | g _s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) |
| 22 | 27,95 a | 9,84 a | 1,71 a |
| 42 | 27,56 a | 7,99 b | 0,83 b |
| 61 | 17,66 b | 6,21 c | 0,71 b |

*Médias nas colunas com as mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. n = 5

3.4. Eficiência no Uso da Água

A contribuição da água salina para a lâmina total de irrigação variou de 0 a 92,1% nos diferentes tratamentos (Tabela 12). As plantas que foram continuamente irrigadas com água salina após a germinação (T2) receberam 92,1% de água salina, em relação à lâmina de água aplicada no ciclo da cultura. Por outro lado, esses valores para os tratamentos T3, T4 e T5 receberam 26,7, 33,9 e 39,9% de água salina, respectivamente. A aplicação de água salina nas fases de intenso crescimento e na fase reprodutiva permitiu maior economia de água de boa qualidade, sem causar impacto negativo na produtividade da cultura (Tabela 13). Isso demonstra a eficiência dessa estratégia de uso de águas de diferentes qualidades, levando em conta a tolerância de cada estágio de desenvolvimento da cultura (MURTAZA et al., 2006).

As produtividades estimadas para o feijão-de-corda no presente estudo estão de acordo com os resultados de estudos realizados no Brasil (FREIRE FILHO et al., 2005) e na África (ADEKALU; OKUNADE, 2006), sob condições de irrigação. Porém são inferiores aos obtidos nas regiões produtoras dos Estados Unidos (DADSON et al., 2005). Por exemplo, em algumas regiões do estado da Califórnia é

comum a obtenção de produções em torno de 7.000 kg ha⁻¹ (SANDEN, 1993 apud DADSON et al., 2005). As elevadas produtividades nessas regiões devem-se, em parte, as menores temperaturas noturnas, visto que as temperaturas nas noites durante a floração aumentam a abscisão de flores, sendo esse o principal fator para a redução no número de vagens por planta (NIELSEN; HALL, 1984).

TABELA 12 - Contribuição das fontes de água (água do poço e salina) para a lâmina de irrigação dos diferentes tratamentos de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Tratamentos | Água do Poço (mm) | Água Salina (mm) | Lâmina Total (mm) |
|-------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| T1 | 326,3 | 0,0 | 326,3 |
| T2 | 25,9 | 300,4 | 326,3 |
| T3 | 239,2 | 87,1 | 326,3 |
| T4 | 215,8 | 110,5 | 326,3 |
| T5 | 197,6 | 128,7 | 326,3 |

É importante destacar que o feijão-de-corda apresenta ampla variabilidade genética, podendo-se encontrar, nas diferentes regiões do mundo, grandes diferenças nas produtividades dos cultivares em função dos seus potenciais genéticos, das condições edafoclimáticas e das condições de cultivo (DADSON et al., 2005; FREIRE FILHO et al., 2005; AJEIGBE et al., 2006). Vale salientar que os cultivares da região Nordeste do Brasil foram selecionadas em cultivo de sequeiro com emprego de pouca tecnologia. Portanto, maiores produtividades poderiam ser obtidas mediante a seleção de cultivares com o emprego de um nível tecnológico mais avançado (FREIRE FILHO et al., 2005).

A aplicação de água salina nos períodos de intenso crescimento (T4) e nas fases de floração e frutificação (T5) não afetou o crescimento vegetativo e a produção de vagens pelas plantas (Figura 3), resultado na manutenção das eficiências de utilização de água, calculadas tanto com base na produção primária como na base de produção de interesse agrônômico (Tabelas 13 e 14). A aplicação contínua de água salina reduziu tanto a produção primária como o total de grãos, implicando na redução tanto da EUA_P como na da EUA_{GR} . Por outro lado, as plantas irrigadas com água salina durante os processos de germinação e crescimento inicial (T3), apresentaram redução de 33% na produção de grãos, porém não foram

afetadas a produção total da planta, resultando na redução da EUA_{GR} , mas não da EUA_P . Isso demonstra que os estádios de germinação e estabelecimento da cultura são mais sensíveis ao acúmulo de sais na zona radicular do feijão-de-corda (MURILLO-AMADOR et al., 2006). Maas e Poss (1989) observaram redução no crescimento vegetativo tanto quando o estresse foi aplicado durante o crescimento como durante os estádios de floração e enchimento da vagem, embora as maiores reduções tenham sido verificadas quando a cultura foi irrigada durante o primeiro estágio. De acordo com Maas (1993), muitas culturas são susceptíveis à injúria durante a emergência do solo e durante o crescimento inicial. Uma vez estabelecidas, as plantas aumentam a tolerância durante os estádios de crescimento seguintes.

TABELA 13 - Matéria seca total (MST), matéria seca de grãos (MSGR) e eficiência no uso da água considerando a produção de matéria seca total (EUAP) e a produção de grãos (EUAGR) ao final do ciclo de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Tratamentos | MST (kg ha ⁻¹) | MSGR (kg ha ⁻¹) | EUA_P (kg MS mm ⁻¹) | EUA_{GR} (kg MS mm ⁻¹) |
|-------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|---|
| T1 | 4526,4 a | 1864,5 a | 13,9 a | 5,7 a |
| T2 | 2586,3 b | 984,8 b | 7,9 b | 3,0 b |
| T3 | 3956,1 a | 1241,4 b | 12,1 a | 3,8 b |
| T4 | 4524,3 a | 1827,3 a | 13,9 a | 5,6 a |
| T5 | 4693,9 a | 1877,4 a | 14,4 a | 5,8 a |

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). n = 5

Comparando-se a eficiência do uso de água, com base na produção primária, nos diferentes estádios analisados (Tabela 14), verifica-se que a EUA_P aumentou ao longo do ciclo da cultura em todos os tratamentos, atingindo valor cerca de 10 vezes maior na fase final (43 a 63 DAP) do que na fase inicial do cultivo (0 a 22 DAP). Isso reflete a curva de crescimento da cultura, sendo um resultado comumente observado também em outras espécies (TAIZ; ZEIGER, 2002). A análise dos diferentes tratamentos revela que os valores de EUA_P não diferiram significativamente na fase inicial (0 a 22 DAP), embora os valores tenham sido menores em T2 e T3. Entretanto, os valores de EUA_P decresceram significativamente nestes dois tratamentos, em relação ao T1, no estágio de intenso

crescimento (23 a 42 DAP). Porém, na fase final apenas o T2 apresentou valores inferiores ao T1. Isso mostra que as plantas de T3 apresentaram recuperação da sua taxa de incorporação de matéria seca na fase final do ciclo da cultura, visto que as mesmas estavam sendo irrigadas com água do poço desde 23 DAP.

TABELA 14 - Eficiência do uso da água considerando a produção primária (EUAP) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Tratamentos | EUAp (kg MS produzida/mm de água aplicada) | | |
|-------------|--|-------------|-------------|
| | 0 a 22 DAP | 23 a 42 DAP | 43 a 63 DAP |
| T1 | 2,09 aC | 12,6 aB | 22,94 aA |
| T2 | 1,54 aC | 5,98 bB | 13,92 bA |
| T3 | 1,28 aC | 7,89 bB | 23,10 aA |
| T4 | 2,36 aC | 12,41 aB | 23,04 aA |
| T5 | 2,56 aC | 13,41 aB | 23,23 aA |

Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). n = 5

4. CONCLUSÕES

A aplicação de água salina durante todo o ciclo (T2) inibe o crescimento vegetativo da planta, enquanto a irrigação com água salina durante a germinação e estágio inicial de crescimento (T3) provoca um atraso no desenvolvimento da planta. Nesse último caso, no entanto, verificou-se recuperação no crescimento vegetativo na fase final do ciclo.

Os tratamentos T2 e T3 provocam reduções significativas no número de vagens e na produção de sementes por planta, em relação aos demais tratamentos.

A irrigação com água salina dos 23 aos 42 (T4) e dos 43 aos 63 DAP (T5) não afeta o crescimento e a produtividade da cultura, sendo que a aplicação de água salina na pré-floração (T4) causa aceleração no ciclo reprodutivo da cultura.

A aplicação contínua de água com CEa de 5 dS m^{-1} (T2) reduz a condutância estomática, a transpiração e a taxa fotossintética, em relação à aplicação de água de baixa salinidade (água do poço, CEa de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$).

A aplicação de água salina na fase inicial (T3) provoca redução das trocas gasosas somente na primeira medição, enquanto que similar aplicação nos outros estádios (T4 e T5) não provoca reduções significativas nas trocas gasosas das plantas.

A irrigação com água salina na germinação e fase inicial de crescimento da cultura (T3) reduz a eficiência de utilização da maioria dos nutrientes, considerando-se a produtividade de grãos;

Os tratamentos T4 e T5 resultaram em maior economia de água de baixa salinidade, sem afetar a produtividade e as eficiências de utilização de água.

A estratégia de uso de água salina durante os estádios de desenvolvimento do feijão-de-corda contribui para obtenção de colheitas rentáveis e para reduzir o consumo de água de boa qualidade, devendo-se levar em consideração a maior sensibilidade da cultura na fase inicial do seu desenvolvimento.

CAPÍTULO 2: CRESCIMENTO E EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES MINERAIS EM PLANTAS DE FEIJÃO-DE-CORDA IRRIGADAS COM ÁGUA SALINA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de água salina nos diferentes estádios de desenvolvimento de plantas de feijão de corda sobre o crescimento, extração e eficiência de utilização de nutrientes pela cultura do feijão-de-corda, bem sobre a acumulação de sais no solo durante a realização do estudo. O experimento foi conduzido no campo, e obedeceu ao delineamento em blocos ao acaso, com cinco tratamentos (T1, T2, T3, T4 e T5) e cinco repetições. As plantas de feijão-de-corda foram cultivadas no espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,3 m entre plantas, com duas plantas por cova. Os tratamentos utilizados foram: T1 - plantas irrigadas com água do poço (CEa de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$) durante todo o ciclo; T2 - água salina com CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, com aplicação iniciada após a germinação e permanecendo até o final do ciclo; T3 - água salina com CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, da sementeira até 22 dias após o plantio (DAP), correspondendo às fases de germinação e crescimento inicial, e água do poço no restante do ciclo; T4 - água salina com CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, aplicada de 23 a 42 DAP (fase de intenso crescimento vegetativo até a pré-floração), e água do poço nas demais fases do ciclo; T5 - água do poço da sementeira até 42 DAP e água salina (CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$) aplicada a partir dos 43 DAP (floração e frutificação). Aos 8, 23, 43 e 63 dias após o plantio foram coletadas plantas em competição plena em cada tratamento, e determinados o crescimento e os teores de Na, Cl, K, Ca, N, P, Fe, Cu, Zn e Mn. Foram avaliados os totais extraídos e a distribuição dos nutrientes na planta, bem como a eficiência nutricional e o acúmulo de sais no solo. O T2 reduziu o acúmulo de sais no solo, em relação ao uso continuado de água salina. Os tratamentos T2 e T3 inibiram e retardaram respectivamente, o crescimento vegetativo da cultura. Os teores de minerais variaram durante o desenvolvimento da cultura e foram afetados pela salinidade da água de irrigação, notadamente quando se utilizou água salina durante todo o ciclo e nas fases iniciais do desenvolvimento da cultura. As plantas de feijão-de-corda extraíram os minerais analisados na seguinte ordem decrescente: $\text{N} > \text{K} > \text{Cl} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{P} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$, sendo que o T2 reduziu a extração da maioria dos nutrientes, com exceção do Na. Os minerais Na, Cl, K, Ca, Fe e Mn permaneceram preferencialmente nas partes vegetativas enquanto N e P foram exportados em maiores proporções pelos frutos. O T3 reduziu a eficiência de utilização da maioria dos nutrientes. O T2 reduziu a eficiência agrônômica de utilização de N, P e K, entretanto não afetou a eficiência de utilização dos nutrientes extraídos pelas plantas. Os resultados mostraram a necessidade de estudos visando à obtenção de níveis adequados de adubação quando as plantas são irrigadas com águas ricas em sais.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, crescimento, absorção de íons, extração de minerais do solo, eficiência nutricional, tolerância à salinidade.

CHAPTER 2: GROWTH AND NUTRIENT EXTRACTION OF COWPEA PLANTS IRRIGATED WITH SALINE WATER AT DIFFERENT GROWTH STAGES

ABSTRACT

The objective of this paper was to evaluate the effect of the irrigation with saline water, applied at different development stages of cowpea plants, on vegetative growth and nutrient removal, as well as on soil salt accumulation. The experiment was set up in the field, during the dry season. A completely randomized block design, with five treatments (T1, T2, T3, T4 and T5) and five repetitions, was adopted. The distance between lines and plants were 0.8 m and 0.3 m, respectively, with two plants per hole. The treatments studied were: T1 - groundwater with electrical conductivity (EC_w) of 0.8 dS m⁻¹ during the whole crop cycle; T2 - saline water (EC_w = 5.0 dS m⁻¹) during the whole crop cycle, starting after germination; T3 - saline water (EC_w = 5.0 dS m⁻¹) until 22nd day after sowing (germination and initial growth) and groundwater in remaining stages of the crop cycle; T4 - saline water (EC_w = 5.0 dS m⁻¹) from the 23rd to the 42nd day after germination (intense growth and pre-flowering), and groundwater irrigation for the remaining growth stages. T5 - groundwater until 42nd day after sowing and saline water (EC_w = 5.0 dS m⁻¹) during flowering and pod-filling stages. At 8, 23, 43 and 63 days after sowing the plants were collected and plant growth and mineral (Na, Cl, K, Ca, N, P, Fe, Cu, Zn and Mn) concentration were measured. The mineral removed from the soil, as well as the nutrient use efficiency and soil salt accumulation were determined. The irrigation with combination of groundwater and saline water reduced the salt accumulation in soil, in relation to continuous use of saline water. The application of saline water during whole crop cycle (T2) and during the germination and initial plant development (T3) provoked, respectively, inhibition and retardation in vegetative growth. The nutrient concentration changed along the plant cycle and they were affected by salinity of the irrigation water, especially in the treatments 2 and 3. Cowpea plants removed the minerals analysed in the following decreasing sequence: N > K > Cl > Ca > Na > P > Fe > Zn > Mn > Cu, but the continuous use of saline water (T2) reduce the total extracted for the most nutrients, except for Na. The minerals Na, Cl, K, Ca, Fe and Mn were distributed preferentially to vegetative plant parts, while the most of N and P were exported in the pods. The irrigation with saline water during germination and initial growth stage (T3) reduced the mineral use efficiency for the most of analysed nutrients. The continuous application of saline water (T2) reduced the agronomic efficiency of the fertiliser application (N, P and K), but it did not affect the nutrient use efficiency by the plants. The results highlight the importance of the researches aiming to obtain the adequate levels of soil fertilization when plants are irrigated with saline waters.

Keywords: *Vigna unguiculata*, plant growth, ion uptake, mineral removal, nutrient use efficiency, salt tolerance

1. INTRODUÇÃO

O processo de salinização dos solos é um problema comum de regiões áridas e semi-áridas, e se dá pelo acúmulo predominante dos cátions Na, Ca e Mg e dos ânions Cl e SO_4^{2-} . Nessas regiões, é também comum, a ocorrência de fontes de água com elevada concentração salina e com elevadas concentrações de sódio, dois fatores que reduzem a qualidade desse recurso para utilização na agricultura. Como consequência desse processo tem-se a perda da capacidade produtiva dos solos e enormes prejuízos sócio-econômicos.

De maneira geral, a redução no crescimento pode ser consequência de efeitos osmóticos provocando déficit hídrico e de efeitos específicos de íons que podem acarretar toxidez ou desequilíbrio nutricional nas plantas. De acordo com Ayers e Westcot (1999), problemas de toxicidade iônica nas plantas sob condições salinas surgem quando certos íons, constituintes do solo ou da água são absorvidos e acumulados em seus tecidos em concentrações suficientemente altas para provocar danos nos tecidos vegetais, acarretando redução no rendimento das culturas. Os problemas de toxicidade são decorrentes da concentração elevada de um cátion ou ânion específico, bem como de uma composição salina desfavorável na solução do solo, resultando em excessiva ou desbalanceada absorção pelas plantas.

A predominância de determinadas espécies iônicas no meio de crescimento, além de causar toxidez, quando se acumulam nos tecidos vegetais, acarreta mudanças na capacidade da planta em absorver, transportar e utilizar os íons necessários ao seu crescimento. Por exemplo, deficiências de Ca e K podem ser induzidas por excesso de Na e a absorção de NO_3^- pode ser inibida por Cl (MARSCHNER, 1995). Grattan e Grieve (1999) afirmam que em solos salinos e sódicos a solubilidade de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) é particularmente baixa, e plantas crescendo nesses solos podem apresentar deficiência desses elementos.

Apesar de muitos trabalhos terem demonstrado os efeitos da salinidade na nutrição mineral das plantas, verifica-se que as respostas são bastante variáveis e complexas (LACERDA, 2005). Essas respostas variam em função do próprio tipo de planta, nível de salinidade, concentração do nutriente, condições de crescimento e a duração do estudo. Além disso, a redução no crescimento induzida pela salinidade

pode, por si só, alterar as concentrações de nutrientes, mediante os efeitos de diluição e concentração. Também é relevante o fato de que o menor crescimento pode resultar em menor extração de nutrientes pelas culturas, o que favorece a lixiviação de nutrientes e a contaminação do lençol freático. Vale salientar que estudos para quantificar a extração de nutrientes em plantas sob estresse salino são escassos.

Avaliou-se nesse trabalho o acúmulo de sais no solo, os teores, as quantidades extraídas e a eficiência de utilização de Na, Cl, K, Ca, N, P, Fe, Cu, Zn e Mn em função da irrigação com água salina aplicada nos diferentes estádios de desenvolvimento do feijão-de-corda.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os itens 2.1 a 2.5 estão descritos no Capítulo 1.

2.1. Material Vegetal, Local do Experimento e Condições Agroclimáticas; 2.2. Preparo da Área; 2.3. Tratamentos e Delineamento Experimental; 2.4. Manejo da Irrigação; 2.5. Adubação e Outros Tratos Culturais.

2.6. Coleta das Plantas e Análises Minerais

Por ocasião do desbaste (oito dias após o plantio) e aos 23, 43 e 63 dias após o plantio (DAP), grupos de plantas (20 plantas no desbaste, 4 nas coletas intermediárias e 8 na coleta final), em competição plena em cada tratamento, foram coletados. Após a coleta, elas foram separadas em folhas (limbos foliares) e hastes (ramos e pecíolos). Após a obtenção de massa fresca, amostras homogêneas de aproximadamente 200 g de folhas e hastes foram acondicionadas em sacos de papel e, após secas em estufa a 60°C, foram pesadas para obtenção da matéria seca. A produção de matéria seca foi obtida multiplicando-se a produção de massa fresca pelo teor de matéria seca das diferentes partes da planta. Com os dados de produção de matéria seca das partes vegetativas calculou-se a partição de carbono entre folhas e hastes ao longo do ciclo da cultura, bem como as taxas de crescimento absoluto (TCA) e as taxas de crescimento relativo (TCR) da parte aérea, segundo metodologia de Benincasa (1988). Na última coleta também foram coletados os frutos secos, separando-se os pericarpos e grãos.

As amostras secas (limbos foliares, hastes, pericarpos e grãos) foram trituradas em moinho tipo Wiley e acondicionadas em sacos de papel devidamente identificadas, sendo esse o material utilizado nas determinações dos elementos minerais (Na, K, Ca, N, P, Fe, Cu, Zn e Mn). O extrato foi preparado a partir da digestão de 0,5 g do material vegetal em 6,0 mL da mistura de ácido nítrico (HNO₃) + ácido perclórico (HClO₄) na proporção de 2:1 (v/v). O material vegetal foi colocado em tubos de digestão e posteriormente foi acrescentado o extrato nitroperclórico deixando-se em repouso durante uma noite. Após o repouso, os tubos foram colocados em uma placa digestora no qual a temperatura foi gradativamente

elevada até atingir 160°C permanecendo nessa temperatura até o volume se reduzir à metade. Atingido esse tempo a temperatura foi aumentada para 250°C, mantendo-a constante até o extrato apresentar-se incolor. O extrato incolor foi deixado em repouso até atingir a temperatura ambiente (25°C). Em seguida transferiu-se o homogenato para balão volumétrico de 50 mL, sendo o volume final completado com água destilada (MALAVOLTA et al., 1997).

Os teores de Fe, Cu, Zn e Mn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, os de Ca, Na e K por fotometria de chama e o de P por colorimetria (MALAVOLTA et al., 1997).

O teor de nitrogênio total foi determinado pelo método semi-micro-Kjeldahl. Foram utilizados 0,1 g do material vegetal moído em tubos de digestão contendo 2 mL de solução digestora (ácido sulfúrico concentrado contendo 1,1g de mistura catalisadora composta por sulfato de potássio, sulfato de cobre e selênio, na proporção em massa de 100/10/1, respectivamente). Os tubos foram colocados na placa digestora sendo a temperatura gradativamente elevada até atingir 350°C. Ao final desse processo os tubos foram transferidos para o microdestilador onde foram adicionados 10 mL de água destilada e 10 mL de NaOH 40% com fenolftaleína. Os tubos foram submetidos a uma microdestilação, sendo o NH₃ liberado da solução contida no tubo e recuperado em um *erlenmeyer* contendo 5 mL de uma solução e ácido bórico a 0,02N. O conteúdo de cada *erlenmeyer* foi titulado com solução de H₂SO₄ a 0,02N (MALAVOLTA et al., 1997). Os teores de proteína bruta nos grãos foram obtidos multiplicando-se o teor de nitrogênio por 6,25.

Os teores de Cl foram determinados em extratos aquosos, preparados a partir da diluição de 200 mg do material seco e moído com 15 mL de água deionizada. O homogeneizado foi mantido em agitação durante 1 hora e, posteriormente, filtrado em papel de filtro. Para a determinação do Cl, utilizou-se uma alíquota de 0,1 mL do extrato, completado para 3,0 mL com água desmineralizada. Em seguida, adicionaram-se 0,5 mL de mistura de Hg(SCN)₂ 13,2mM, em metanol, e de Fe(NO₃)₃ 20,2% (4 + 1). A mistura foi agitada vigorosamente e, após repouso por 15 min, foram efetuadas as leituras de absorbância a 460 nm (GAINES et al., 1984). A curva de calibração foi preparada utilizando-se NaCl como padrão sendo o extrato dosado em duplicatas.

Com os dados de produção de matéria seca e os teores de minerais, calcularam-se os totais extraídos de cada elemento mineral e a distribuição

percentual nas diferentes partes das plantas analisadas. Com os totais extraídos pela cultura e a produção de grãos, em cada tratamento, calculou-se a eficiência de utilização de nutrientes (kg de grãos produzidos/kg de nutriente extraído do solo). Também foi calculada a eficiência agrônômica de utilização dos adubos nitrogenados, fosfatados e potássicos, relacionando a produção de grãos com a quantidade aplicada desses nutrientes (FAGERIA, 1998).

2.7. Análises de solo

As amostras de solo foram coletadas antes da instalação do experimento (setembro de 2006), após o cultivo (janeiro de 2007) e após o período chuvoso subsequente (abril de 2006). Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 a 0,30; 0,30 a 0,60 e 0,60 a 0,90 m, nas cinco parcelas de cada tratamento, que depois foram homogeneizadas formando uma amostra apenas por tratamento. As amostras foram acondicionadas em sacos de plástico e encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solos e Plantas do Departamento de Ciências do Solo/UFC para realização das análises químicas (SILVA, 1999). Os resultados completos das análises são apresentados no ANEXO I.

2.8. Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância, tendo sido realizada a comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando-se o programa SAEG/UFV (RIBEIRO JÚNIOR et al., 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Acúmulo de Sais no Solo

A salinidade do perfil do solo, medida pela condutividade elétrica do extrato de saturação solo/água ($CE_{1:1}$), e a sodicidade, medida pela percentagem de sódio trocável (PST), antes da instalação do experimento (setembro de 2006) variou de 0,30 a 0,11 $dS\ m^{-1}$ e de 2,8 a 10%, respectivamente (Tabela 1).

A irrigação com a combinação de água do poço (CEa de 0,8 $dS\ m^{-1}$) com água salina (CEa de 5,0 $dS\ m^{-1}$), durante o cultivo do feijão-de-corda na estação seca, provocou aumento na salinidade e na sodicidade do perfil do solo (Tabela 1). No entanto, as respostas variaram entre os tratamentos e entre as camadas do solo avaliadas, refletindo a duração do período em que se utilizou água salina e o estágio de desenvolvimento no qual essa fonte de água foi empregada.

O uso contínuo de água salina (T2) provocou aumentos na condutividade elétrica ($CE_{1:1}$) e na percentagem de sódio trocável (PST) nas três camadas estudadas (Tabela 1), sendo que os maiores valores foram observados na camada de 0,3 a 0,6 m. Quando a água salina foi aplicada somente durante a germinação e no estágio inicial de crescimento (T3), verificou-se que os maiores valores de $CE_{1:1}$ e PST foram encontrados nas camadas entre 0,3 a 0,6 e 0,6 a 0,9 m, sendo que os valores na camada superficial foram similares aos do tratamento com água do poço (T1). Isso ocorreu devido ao uso de água do poço (menor salinidade) durante o restante do ciclo da cultura, o que certamente favoreceu a lixiviação dos sais da camada superficial do solo. De modo contrário, a aplicação de água salina no final do ciclo da cultura (T5) causou um maior acúmulo de sais na camada superficial, sugerindo que o tempo foi insuficiente para promover a distribuição de sais no perfil do solo. Por outro lado, a salinidade e sodicidade do solo decresceram em todos os tratamentos após o período chuvoso, em consequência da lixiviação dos sais causada pelas chuvas ocorridas nos meses de janeiro a abril de 2007. É importante destacar, no entanto, que a redução na $CE_{1:1}$ foi mais evidente do que na PST, indicando a necessidade de prática de manejo complementar para prevenir a sodicidade do solo.

TABELA 1- Condutividade elétrica do extrato de saturação solo/água ($CE_{1:1}$) e percentagem de sódio trocável (PST) em amostras de diferentes camadas de um Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico coletadas antes e após o cultivo do feijão-de-corda (estação seca) e no final da estação chuvosa subsequente

| Tratamentos | $CE_{1:1}$ (dS m ⁻¹) | | | PST (%) | | |
|--|----------------------------------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|
| | 0-0,3 m | 0,3-0,6 m | 0,6-0,9 m | 0-0,3 m | 0,3-0,6 m | 0,6-0,9 m |
| Setembro de 2006 (antes do cultivo do feijão-de-corda) | | | | | | |
| | 0,30 | 0,37 | 0,71 | 3,1 | 6,5 | 10,5 |
| Janeiro de 2007 (após o cultivo do feijão-de-corda) | | | | | | |
| T1 | 0,43 | 0,58 | 0,30 | 15,2 | 15,8 | 13,4 |
| T2 | 1,15 | 1,39 | 1,15 | 21,1 | 24,3 | 20,2 |
| T3 | 0,57 | 0,99 | 0,94 | 13,6 | 14,7 | 14,7 |
| T4 | 0,66 | 1,17 | 0,74 | 15,6 | 16,9 | 15,7 |
| T5 | 0,91 | 0,72 | 0,42 | 18 | 13 | 10 |
| Abril de 2007 (final da estação chuvosa) | | | | | | |
| T1 | 0,17 | 0,16 | 0,24 | 4,8 | 9,4 | 11,6 |
| T2 | 0,14 | 0,17 | 0,28 | 7,5 | 11,9 | 9,5 |
| T3 | 0,16 | 0,13 | 0,15 | 7,2 | 7,4 | 10,1 |
| T4 | 0,19 | 0,15 | 0,17 | 3,6 | 8 | 8,2 |
| T5 | 0,10 | 0,11 | 0,17 | 5,9 | 8 | 9,1 |

Os resultados da salinidade e da sodicidade do solo (Tabela 1), evidenciam que a aplicação de água salina pode promover um aumento nos valores de condutividade elétrica e de percentagem de sódio trocável em níveis que podem provocar a degradação do solo e prejudicar o desenvolvimento das culturas (RICHARDS, 1954; SANTOS; HERNANDEZ, 1997; AYERS; WESTCOT, 1999). No entanto, o uso de estratégias de manejo como a aplicação alternada de águas de baixa e alta salinidade ao longo do ciclo da cultura pode reduzir o impacto sobre o solo (MURTAZA et al., 2006). Em todos os casos, a influência das chuvas (SHARMA; RAO, 1998; ASSIS JÚNIOR et al., 2007) e a aplicação de corretivos químicos (SANTOS; HERNANDEZ, 1997; GOMES et al., 2000; BARROS et al., 2005; COSTA et al., 2005; MURTAZA et al., 2006) também devem ser consideradas

no desenvolvimento de estratégias de longo prazo, notadamente quando as condições de drenagem são favoráveis.

3.2. Crescimento Vegetativo e Partição de Matéria Seca

A produção e a partição de matéria seca das partes vegetativas foram influenciadas pelos tratamentos e pela época de medição ao longo do ciclo da cultura (Tabela 2). Foram observados efeitos significativos da interação tratamento x época, indicando que as respostas dos tratamentos diferiram nas medições realizadas ao longo do ciclo da cultura. Vale salientar que os tratamentos T4 e T5 somente se diferenciaram do tratamento controle (T1) ao longo do ciclo da cultura, o que justifica as respostas similares observadas ao longo do cultivo para esses tratamentos.

TABELA 2 - Resumo da análise de variância da matéria seca da parte aérea (MSPA), percentagem de folhas (PFO) e percentagem de hastes (PHA), em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios do seu desenvolvimento

| Fontes de Variação | Quadrado Médio | | |
|--------------------|----------------|------------|------------|
| | MSPA | PFO | PHA |
| Tratamento | 107,4 ** | 286,0 ** | 286,0 ** |
| Época | 3422,0 ** | 10022,1 ** | 10022,1 ** |
| Tratamento x Época | 47,7 ** | 68,1** | 68,1** |
| Bloco | 14,7ns | 11,1ns | 11,1ns |
| Resíduo | 15,1 | 17,1 | 17,1 |
| C.V. (%) | 30,3 | 7,2 | 9,2 |

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo.

A Figura 1 mostra as curvas de crescimento vegetativo da cultura para os diferentes tratamentos, obtidas pela produção de massa seca de hastes (MSH) e massa seca de folhas (MSF) ao longo do ciclo da cultura. As curvas de crescimento das plantas dos tratamentos T1, T4 e T5 são muito similares, sendo observado grande incremento na matéria seca no período de 23 a 42 DAP. Nos tratamentos T4 e T5 onde o uso da água salina foi de 23 a 42 e de 43 a 63 DAP, respectivamente, não houve diferença significativa na redução do seu crescimento quando comparado

com o T1, que foi irrigado com água do poço (CEa de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$), mostrando que o uso de água salina (CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$) nestes estádios de desenvolvimento não interferiu no crescimento da cultura. As curvas da Figura 1 mostram o crescimento tardio das plantas que foram irrigadas com água salina até os 22 DAP (T3), sendo que essas plantas apresentaram um vigoroso crescimento após 43 dias do plantio, quando já eram irrigadas com água do poço. Por outro lado, as plantas do T2 (aplicação contínua de água salina durante todo o ciclo) foram às únicas que apresentaram inibição do crescimento vegetativo ao final do ciclo.

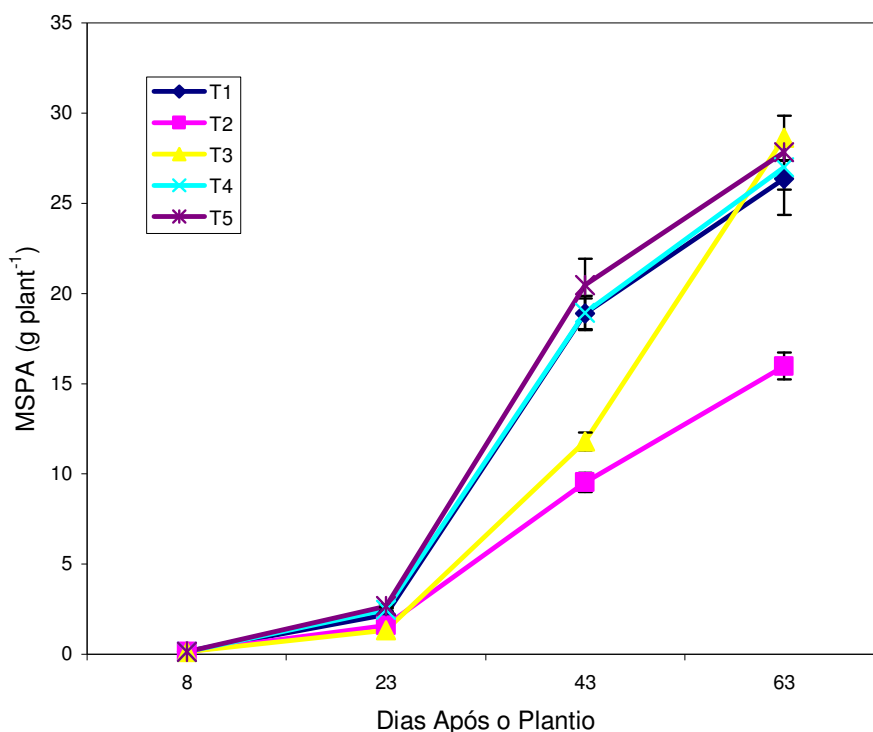


FIGURA 1 - Matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. (Os valores são médias \pm o erro padrão. $n = 5$.)

As estimativas das taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) mostram o comportamento das plantas em função da irrigação com água salina nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura (Tabelas 3 e 4). Nos dois primeiros períodos, as plantas dos tratamentos T2 e T3 apresentaram as menores TCA e TCR (Tabela 4), porém, na fase final do ciclo os valores do T2 não diferiram daqueles observados nos tratamentos T1, T4 e T5. Por outro lado, as plantas do T3 apresentaram comportamento diferente dos demais, apresentando as menores

taxas de crescimento na fase inicial do ciclo e as maiores na fase final. Esses resultados refletem os efeitos da salinidade da água de irrigação na fase inicial e o processo de recuperação do crescimento quando as plantas passaram a ser irrigadas com água de baixa salinidade. Esses resultados também deixam claro um retardamento no crescimento das plantas do T3, o que implicou também na redução da produtividade da cultura (ver capítulo 1).

TABELA 3 - Resumo da análise de variância para a taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) em plantas de feijão-de-corda irrigada com água salina em diferentes estádios do seu desenvolvimento

| Fontes de Variação | Quadrado Médio | |
|--------------------|----------------|-----------|
| | TCA | TCR |
| Tratamento | 0,13** | 0,0031** |
| Época | 1,99** | 0,12** |
| Tratamento x Época | 0,17** | 0,0010** |
| Bloco | 0,074** | 0,00016ns |
| Resíduo | 0,086 | 0,00049 |
| C.V. (%) | 19,60 | 6,88 |

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo.

TABELA 4 - Taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Tratamentos | TCA (g dia ⁻¹) | | | TCR (g g ⁻¹ dia ⁻¹) | | |
|-------------|----------------------------|---------|---------|--|---------|---------|
| | 8 a 23 | 23 a 43 | 43 a 63 | 8 a 23 | 23 a 43 | 43 a 63 |
| | DAP | DAP | DAP | DAP | DAP | DAP |
| T1 | 0,148 a | 0,909 a | 0,566 b | 0,179 b | 0,112 a | 0,019 b |
| T2 | 0,102 b | 0,425 b | 0,338 b | 0,162 c | 0,090 b | 0,026 b |
| T3 | 0,084 b | 0,569 b | 0,900 a | 0,154 c | 0,111 a | 0,046 a |
| T4 | 0,165 a | 0,883 a | 0,465 b | 0,190 ab | 0,102 a | 0,020 b |
| T5 | 0,177 a | 1,020 a | 0,366 b | 0,196 a | 0,106 a | 0,011 b |

*Médias nas colunas com as mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. n=5.

Na Figura 2, encontram-se os valores da percentagem da matéria seca foliar (MSFO) e de hastes (MSHA) do feijão-de-corda, ao longo do ciclo, sob

diferentes tratamentos. Observando-se os resultados da partição de matéria seca ao longo do ciclo, nota-se que ocorreu diminuição na percentagem de folhas e aumento na proporção de hastes em todos os tratamentos. No entanto, os tratamentos T2 e T3 apresentaram, de modo geral, maior proporção de folhas e menor de hastes em relação aos tratamentos T1, T4 e T5. Essa diferença na partição entre folhas e hastes pode representar um mecanismo de aclimatação das plantas ao estresse salino imposto, havendo nesse caso um aumento na proporção entre fontes e drenos (LACERDA et al., 2006).

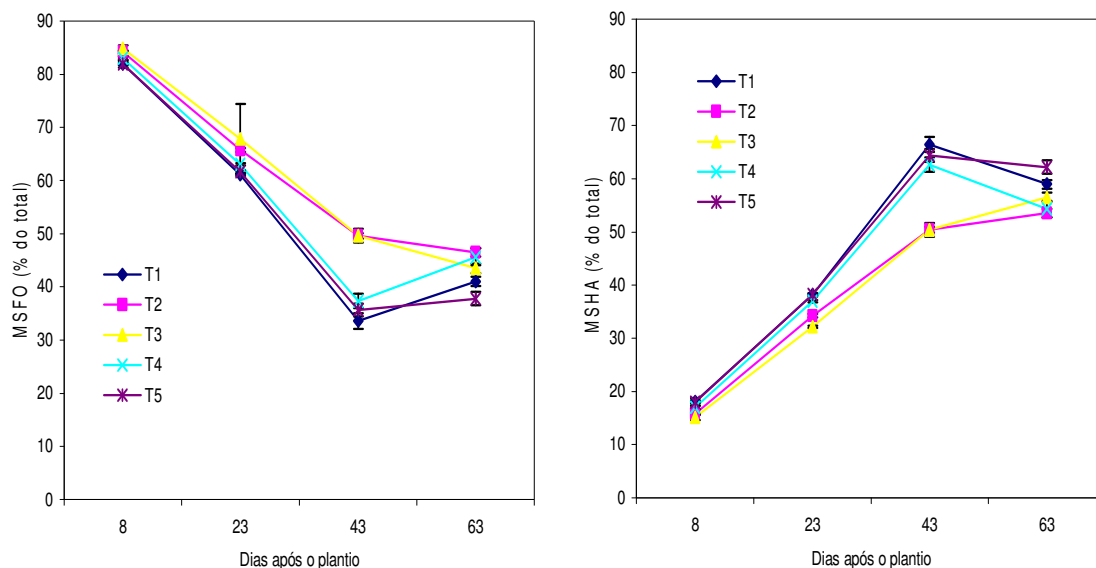


FIGURA 2 - Distribuição percentual da matéria seca foliar (MSFO) e matéria seca das hastes (MSHA) de plantas de feijão-de-corda, irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. (Os valores são expressos como percentagem da matéria seca total da parte aérea vegetativa. Os valores são médias \pm o erro padrão. $n = 5$.)

3.3. Teores de Minerais nas Plantas

Os tratamentos de irrigação influenciaram os teores de íons nas folhas, exceto os de K e de Mn (Tabela 5). Os teores de íons também variaram com o estágio de desenvolvimento da cultura, o que reflete os processos de acumulação e a mobilidade do nutriente dentro da planta e o tipo e a duração dos tratamentos. Foi observada interação significativa para a quase totalidade dos íons, indicando que os efeitos dos tratamentos variaram ao longo do ciclo da cultura. Os teores dos íons nas hastes foram influenciados pelos tratamentos, exceto o teor de Fe (Tabela 6),

sendo que os efeitos dos tratamentos variaram de acordo com a época de coleta. Os teores de todos os íons nas hastes também variaram ao longo do ciclo da cultura.

TABELA 5 - Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes em folhas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Nutrientes | Quadrados médios | | | | | |
|------------|------------------|-------------|-----------------|-----------|---------|-------|
| | Tratamentos | Coletas | Tratamentos*col | Bloco | Resíduo | CV |
| K | 11,78ns | 3432,46** | 32,58** | 25,48* | 9,75 | 9,31 |
| Ca | 22,27** | 1102,8** | 14,64* | 3,86ns | 2,20 | 10,4 |
| P | 0,87** | 84,99** | 1,21** | 0,15ns | 0,21 | 10,7 |
| N | 86,03** | 4516,69** | 49,92** | 3,03ns | 11,69 | 7,62 |
| Na | 6,20** | 7,82** | 3,68** | 0,24ns | 0,29 | 20,99 |
| Cl | 474,88** | 47,99ns | 93,88** | 3,77ns | 18,87 | 14,01 |
| Fe | 21328,30** | 1092691,0** | 16439,12** | 3102,97ns | 4951,51 | 19,96 |
| Mn | 4220,29ns | 292074,6** | 4836,90ns | 5095,81ns | 9452,62 | 51,28 |
| Cu | 64,11** | 105,95** | 12,44** | 2,90ns | 5,6 | 17,75 |
| Zn | 182,38** | 1914,16** | 14,37** | 86,80* | 35,56 | 12,29 |

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo

TABELA 6 - Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes em hastes de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Nutrientes | Quadrados médios | | | | | |
|------------|------------------|-----------|-----------------|-----------|---------|-------|
| | Tratamentos | Coletas | Tratamentos*col | Bloco | Resíduo | CV |
| K | 108,96** | 6530,69** | 188,59** | 21,80ns | 44,1 | 12,3 |
| Ca | 101,25** | 889,5** | 17,57** | 1,75ns | 2,14 | 11,3 |
| P | 0,37** | 25,05** | 0,19ns | 0,36ns | 0,11 | 13,87 |
| N | 29,85** | 1779,24** | 17,01** | 1,08ns | 3,39 | 9,87 |
| Na | 283,01** | 238,25** | 64,09* | 4,58ns | 5,22 | 17,13 |
| Cl | 180,45** | 1302,15** | 29,29** | 6,07ns | 7,29 | 9,39 |
| Fe | 653,19ns | 8808,38** | 2699,99** | 1488,61ns | 1296,04 | 18,55 |
| Mn | 956,02** | 7517,25** | 528,52** | 300,15ns | 173,87 | 25,09 |
| Cu | 1186,89** | 4790,09** | 480,17** | 171,12ns | 72,02 | 37,41 |
| Zn | 707,47** | 6125,18** | 207,60** | 61,34ns | 68,07 | 14,46 |

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo

A análise da Figura 3 mostra que os teores de Na e Cl variaram ao longo do ciclo da cultura, refletindo a utilização desses íons na água de irrigação e as taxas de crescimento da cultura. Aos 8 e aos 23 DAP os teores de Na foram maiores nos tratamentos T2 e T3, notadamente nas hastes, em relação aos demais tratamentos, visto que os mesmos estavam recebendo água salina (Figuras 3A e B). Os teores de Na foram maiores nas hastes, refletindo o mecanismo de retenção desse íon nas plantas de feijão-de-corda, evitando seu acúmulo excessivo nos tecidos foliares (TRINDADE et al., 2006). As plantas do T3 apresentaram os maiores valores de Na nas duas primeiras coletas, porém, a partir de 23 DAP, observou-se redução nos teores de Na, refletindo a substituição da fonte de água na irrigação dessas plantas. Essa redução, no entanto, foi maior nas hastes do que nas folhas, sugerindo que parte do sódio acumulado nas hastes foi transportado para as novas folhas através do fluxo transpiratório. Os aumentos nos teores de Na foram pouco expressivos no T4, o que pode ser justificado pelo fato das plantas terem apresentado vigoroso crescimento durante o período em que foram irrigadas com água salina (Figura 1), o que certamente promoveu a diluição dos íons na planta. Aumentos expressivos também foram verificados ao final do ciclo nos tratamentos T2 e T5, o que se deve, em parte, à redução no crescimento vegetativo e, provavelmente, ao aumento na extração de íons do solo por fluxo em massa durante essa fase.

De modo geral, os teores de cloreto apresentaram comportamentos similares aos de sódio (Figuras 3C e D), porém deve-se destacar que o cloreto também foi aplicado por ocasião da adubação potássica em todos os tratamentos, o que justifica os valores mais elevados que os de Na nas plantas dos diversos tratamentos. Resultados semelhantes foram obtidos por Assis Júnior et al. (2007). Os teores de Cl foram maiores nas plantas irrigadas com água salina ao longo de todo o ciclo (T2). Observam-se, também, teores elevados de Cl nas plantas do T3 nas duas primeiras coletas, ocorrendo um decréscimo no teor desse íon nos estádios posteriores. Também foram observadas variações nos teores desse íon ao longo do ciclo da cultura nos diversos tratamentos, refletindo a mobilidade desse íon nos fluxos xilemático e floemático (MARSCHNER, 1995).

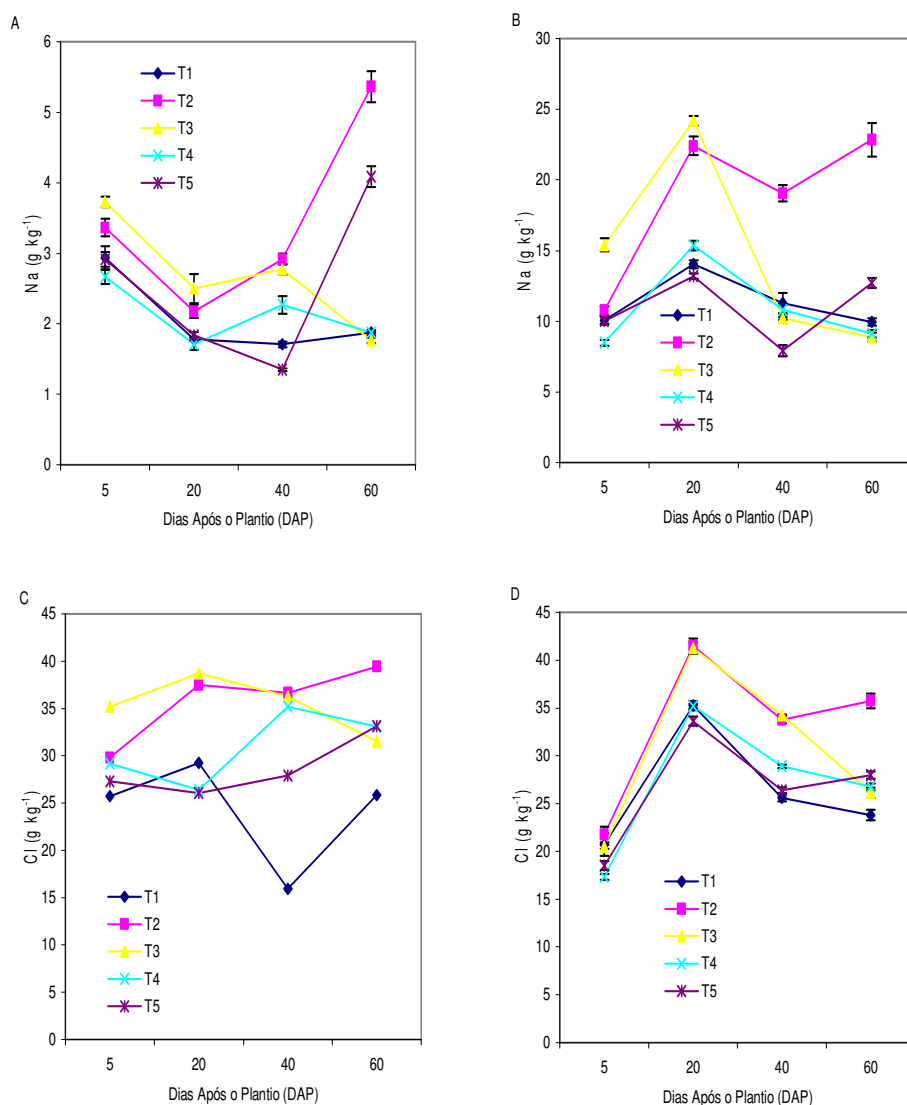


FIGURA 3 - Teores de Na e Cl, em folhas (A e C) e hastes (B e D) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.

(Os valores são médias \pm o erro padrão. n = 5.)

Os teores foliares de Ca aumentaram ao longo do ciclo da cultura, refletindo o tempo de acumulação pelo fluxo transpiratório e a baixa mobilidade desse nutriente na planta (Figura 4A). Os teores foram similares aos encontrados por Lacerda, 1995, Guimarães, 2005, Assis Júnior et al. (2007) e Sousa (2007), porém são inferiores aos relatados por outros autores (OLIVEIRA; DANTAS,1984; MELO et al., 2005). De modo geral, os teores de Ca nas folhas foram superiores aos das hastes (Figura 4B), resultado também encontrado por Lacerda (1995) e Sousa

et al. (2007) em plantas de feijão-de-corda cv Pitiúba, submetidas a estresse salino. Ao final do ciclo os teores de Ca (Figura 4A e B) foram maiores nas plantas que foram irrigadas continuamente com água salina (T2) e menores nas plantas irrigadas com água do poço (T1). Estudos em solos com problema de salinidade têm mostrado que o aumento na concentração de Na é acompanhado pelo decréscimo na concentração de Ca trocável, resultando em um desequilíbrio iônico que pode afetar o crescimento das plantas. No entanto, o feijão-de-corda parece manter a absorção de Ca mesmo quando a concentração de Na aumenta no ambiente radicular, conforme tem sido observado também por outros autores (SILVA et al., 2003). É importante destacar, também, que o Ca estava presente em maiores concentrações na água rica em sais, o que justifica a acumulação desse nutriente nas plantas mais expostas à aplicação dessa fonte de água. Os teores de Ca nos caules decresceram no final do ciclo, particularmente nas plantas do T3, o que se deveu em parte, ao intenso crescimento das plantas desse tratamento nesse período, o que certamente provocou um efeito de diluição.

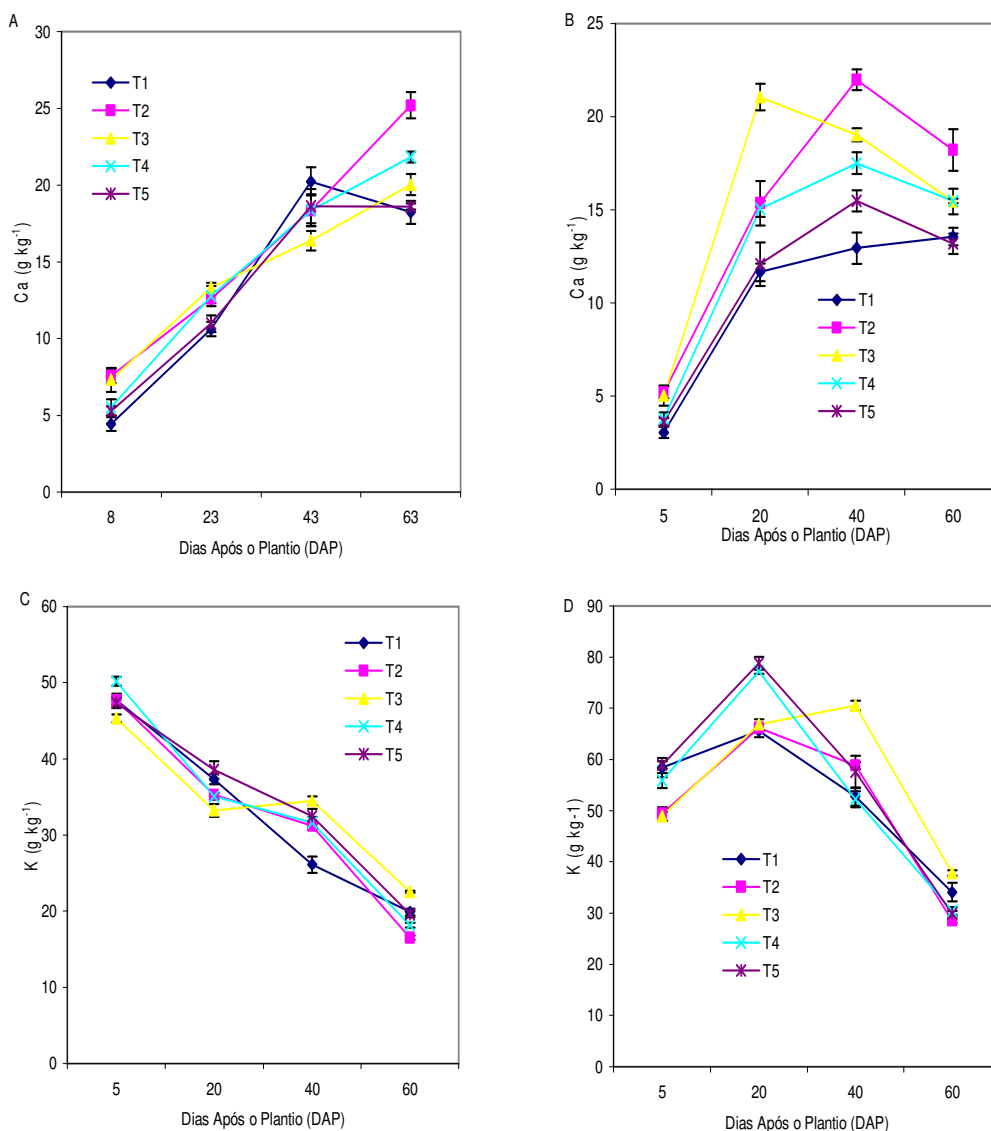


FIGURA 4 - Teores de Ca e K, em folhas (A e C) e hastes (B e D) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.

(Os valores são médias \pm o erro padrão. $n = 5$.)

Os teores de potássio variaram ao longo do ciclo da cultura (Figuras 4C e D), sendo que em média, os valores foram superiores aos encontrados por Assis Júnior et al. (2007), porém similares aos encontrados por Lacerda (1995), Costa et al., (2003) e Guimarães (2005). Os valores encontrados nas folhas foram também superiores ao nível considerado crítico para o feijão-de-corda durante as fases de crescimento e floração da cultura (OLIVEIRA; DANTAS, 1984; MELO et al., 2005). De modo geral, os teores foliares de potássio decresceram ao longo do ciclo em

todos os tratamentos, tanto nas folhas como nas hastes, o que se deve, em parte, aos efeitos de diluição e à mobilização desse nutriente para os drenos reprodutivos da planta. Ao final do ciclo, os teores de K foram maiores nas plantas do T3, fato explicado pelo retardo no crescimento (Figura 1) e no desenvolvimento dessas plantas.

A aplicação contínua de água salina (T2) praticamente não influenciou no acúmulo do íon K (Figura 4C), resultado semelhante ao encontrado por Sousa et al. (2007) e Assis Júnior et al. (2007), porém diferente do encontrado por Murillo-Amador et al. (2006). Todavia, outros pesquisadores observaram que o estresse salino pode reduzir ou aumentar o teor de potássio nas folhas dessa espécie, sendo essa resposta dependente da variedade em estudo (COSTA et al., 2003; SOUSA, 2007). De acordo com Lacerda (2005), a duração do estresse e a idade da folha amostrada podem, também, produzir diferentes resultados e interpretações, que podem estar relacionadas às diferenças entre os diversos tratamentos no que diz respeito às taxas de re-translocação de K na planta.

Os teores de nitrogênio variaram ao longo do ciclo da cultura (Figuras 5A e B), porém os valores encontrados nas folhas foram sempre superiores ao nível considerado crítico para o feijão-de-corda (OLIVEIRA; DANTAS, 1984; MELO et al., 2005). De modo geral, os teores de nitrogênio decresceram ao longo do ciclo em todos os tratamentos, tanto nas folhas como nas hastes, o que se deve, em parte, aos efeitos de diluição e à mobilização desse nutriente para as partes reprodutivas da planta. Ao final do ciclo, os teores de N foram maiores nas plantas do T3, fato explicado pelo retardo no crescimento (Figura 1) e no desenvolvimento dessas plantas, conforme discutido também no capítulo 1.

Os teores foliares de P (Figura 5C e D) estão acima do nível considerado ótimo para a cultura (OLIVEIRA; DANTAS, 1984; MELO et al., 2005), o que pode ser reflexo de adubações realizadas em cultivos anteriores na área onde foi realizado o experimento. Os teores de fósforo decresceram ao final do ciclo, tanto nas folhas como nas hastes, refletindo a translocação desse nutriente para a formação das sementes. Vale salientar que, ao final do ciclo, os teores desse nutriente nas folhas foram maiores nas plantas do T3, indicando que menos fósforo foi translocado para as vagens em função da menor quantidade de drenos reprodutivos produzidos por essas plantas.

A irrigação com água salina ao longo de todo o ciclo (T2) não provocou aumento nos teores de P nas folhas (Figura 5C), resultado que diverge de outros estudos que encontraram aumento nos teores foliares de P em plantas estressadas, em comparação com plantas não estressadas (LACERDA, 2005). No entanto, o aumento na absorção e no acúmulo de P em plantas estressadas é mais comum quando as concentrações de P são altas na solução de cultivo (ROBERTS et al, 1984; NAVARRO et al., 2001) e podem não ocorrer em plantas cultivadas no campo. Grattan e Grieve (1999), também ressaltam que a interação entre salinidade e nutrição de fósforo em plantas é bastante complexa e altamente dependente da espécie vegetal ou cultivar, do estágio de desenvolvimento, da composição e concentração de sais e da própria concentração de P no meio de crescimento.

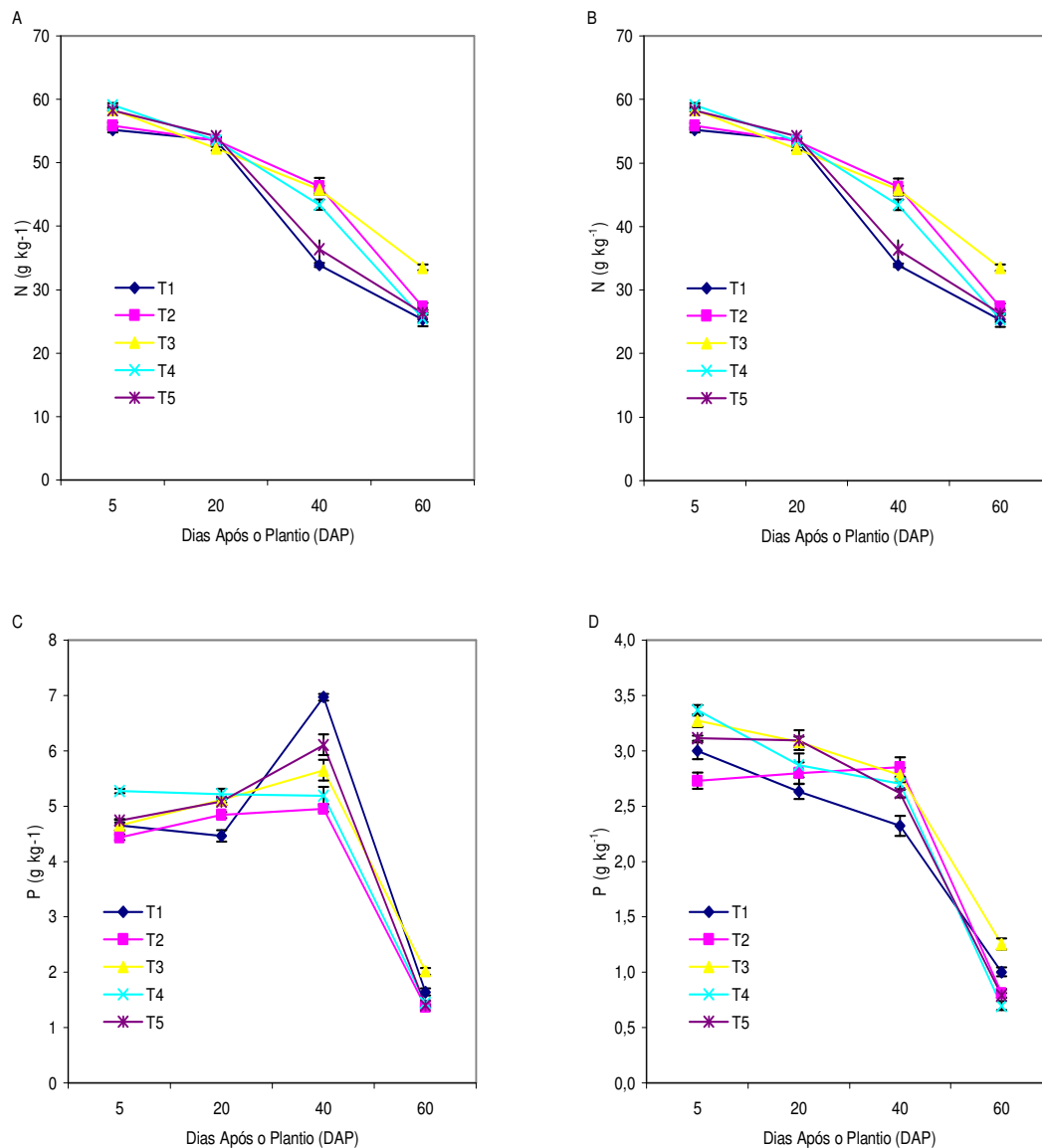


FIGURA 5 - Teores de N e P em folhas (A e C) e hastes (B e D) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.

(Os valores são médias \pm o erro padrão. $n = 5$.)

Os teores foliares de Fe aumentaram nos estádios de intenso crescimento e na fase final do ciclo da cultura (Figuras 6A), sendo que os valores encontrados no presente estudo podem ser considerados adequados para a nutrição do feijão-de-corda (OLIVEIRA; DANTAS, 1984; MELO et al., 2005). Os maiores teores ao final do ciclo foram verificados no T2, indicando que a salinidade não parece afetar a

absorção de Fe nessa cultura. Sousa et al. (2007) constataram, em estudo realizado em casa de vegetação, aumento no teor de ferro em folhas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água de composição semelhante à utilizada no presente estudo. Esses resultados estão de acordo, com os obtidos por Grattan e Grieve (1999), que indicam que a salinidade aumenta a concentração do íon Fe nas folhas. As plantas do T3 apresentaram o menor acúmulo de Fe ao final do ciclo, o que pode estar associado ao retardo do seu desenvolvimento. De modo geral, o acúmulo de Fe nas folhas pode ser consequência da baixa mobilidade do nutriente no floema (TAIZ; ZEIGER, 2002). Por outro lado, os teores de Fe nas hastes foram inferiores aos observados nas folhas e apresentaram uma tendência de redução nos diferentes tratamentos, tendo sido observado um discreto aumento na última coleta nas plantas do T3 (Figura 6B).

Os teores de Mn aumentaram ao longo do ciclo da cultura, tanto nas folhas (Figura 6C) como nas hastes (Figura 6D), sendo que os valores obtidos podem ser considerados adequados para a cultura do feijão-de-corda (OLIVEIRA; DANTAS, 1984; MELO et al., 2005). De forma semelhante ao Fe, as plantas que foram irrigadas continuamente com água salina (T2) apresentaram, ao final do ciclo, teores foliares de Mn superiores aos demais tratamentos, enquanto as plantas irrigadas com água salina apenas na fase inicial de crescimento (T3) apresentaram os menores valores. Esse resultado diverge do obtido por Sousa et al. (2007), que encontraram redução no teor de Mn nas folhas de feijão-de-corda cultivar Pitiúba, sob estresse salino. É importante destacar, que o aumento dos teores foliares de Fe e de Mn em plantas irrigadas continuamente com água salina (T2) podem ser decorrentes do efeito de concentração desses íons associado à menor produção de folhas dessas plantas (MARSCHNER, 1995; LACERDA, 2005).

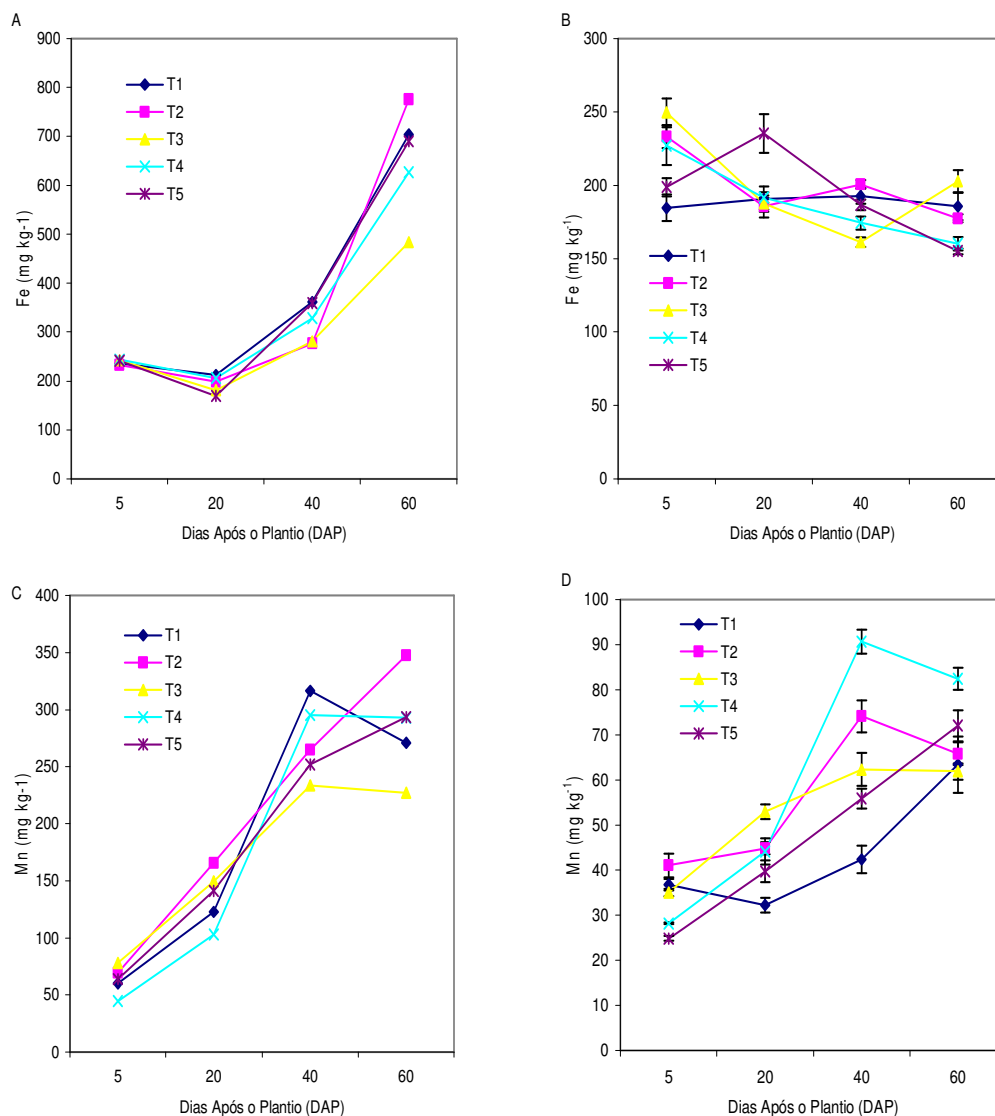


FIGURA 6 - Teores de Fe e Mn, em folhas (A e C) e hastes (B e D) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. (Os valores são médias \pm o erro padrão. n = 5.)

Os teores foliares de Cu foram influenciados pelos tratamentos e épocas de coletas, sendo observada tendência de aumento até 43 DAP e decréscimo na fase final do ciclo em todos os tratamentos (Figura 7A). Esses teores foram superiores ao nível considerado adequado para folhas de feijão-de-corda (OLIVEIRA; DANTAS, 1984; MELO et al., 2005), porém, não foram observados sintomas de toxidez desse nutriente. Vale ressaltar que esses autores não se referem ao teor de cobre que pode causar toxidez nessas plantas, indicando apenas

que o teor adequado situa-se em torno de 6 mg kg^{-1} . Os teores de Cu nas hastes foram altos na fase inicial do ciclo da cultura, sendo que nas duas primeiras coletas os valores foram mais elevados nos tratamentos T2 e T3 (Figura 7B). Os valores, no entanto, decresceram ao final do ciclo. De acordo com Grattan e Grieve (1999) a influência da salinidade na acumulação de cobre é muito variável, podendo ser verificado aumento ou diminuição nos teores desse íon. Por exemplo, Sousa et al. (2007), não encontraram influência da salinidade sobre o teor desse nutriente em folhas e caules de feijão-de-corda, resultado divergente do encontrado no presente estudo.

Os teores foliares de Zn variaram ao longo do tempo de cultivo, com os valores variando de 40 a 65 mg kg^{-1} (Figura 7C). Esses valores podem ser considerados adequados, visto que Oliveira e Dantas (1984) sugerem que o teor adequado para a cultura do feijão-de-corda é em torno de 44 mg kg^{-1} , sendo que as plantas passam a sofrer deficiência quando os teores decrescem abaixo de 24 mg kg^{-1} . De modo geral, os teores foliares foram maiores nos tratamentos T2 e T3, embora as variações ao longo do ciclo tenham sido semelhantes em todos os tratamentos. Por outro lado, os teores de Zn nas hastes aumentaram até os 43 DAP (Figura 7D), decrescendo nitidamente no final do ciclo da cultura, em todos os tratamentos, refletindo a translocação desse nutriente para as vagens em formação.

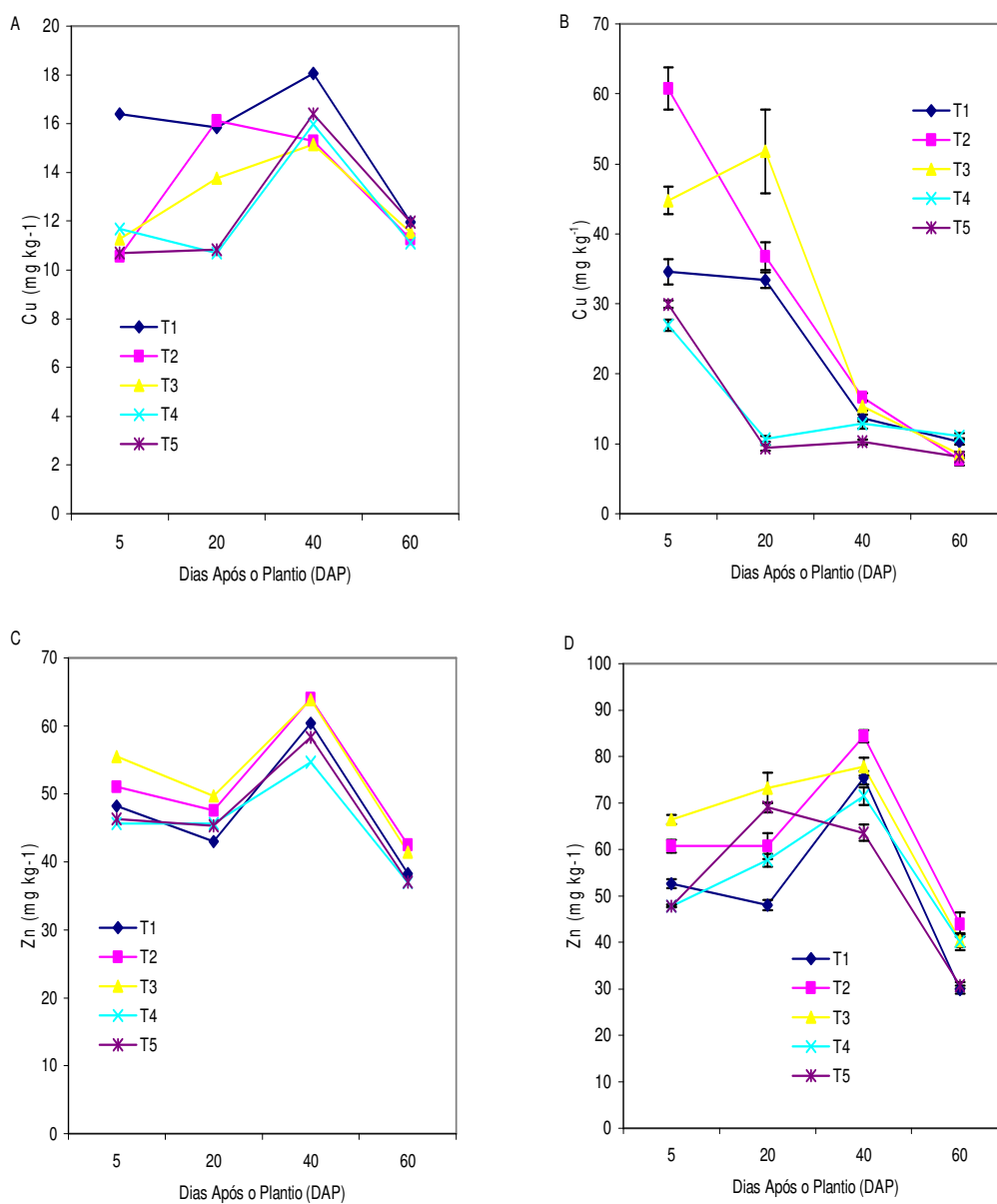


FIGURA 7 - Teores de Cu e Zn, em folhas (A e C) e hastes (B e D) de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento.

(Os valores são médias \pm o erro padrão. n = 5.)

Os resultados da análise estatística apresentado na Tabela 7 demonstram que os tratamentos aplicados apresentaram pouca influência sobre os teores de minerais nos grãos. Observa-se que, nos grãos, apenas o teor de Na diferiu entre os tratamentos. Por outro lado, observam-se efeitos significativos dos tratamentos sobre os teores de K, Ca, P, Na, Cl e Mn nos pericarpos.

TABELA 7 - Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes em grãos e pericarpos de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Elementos | Quadrados médios Grãos | | | | Quadrados médios Pericarpo | | | |
|-----------|------------------------|----------|---------|-------|----------------------------|----------|---------|-------|
| | Tratamentos | Bloco | Resíduo | CV | Tratamentos | Bloco | Resíduo | CV |
| K | 2,04ns | 2,75ns | 1,53 | 7,52 | 47,23** | 7,01ns | 9,48 | 21,87 |
| Ca | 0,0052ns | 0,0030ns | 0,0036 | 12,19 | 1,13** | 0,10ns | 0,19 | 10,65 |
| P | 0,12ns | 0,36ns | 0,17 | 11,77 | 0,94ns | 0,20ns | 0,47 | 53,11 |
| N | 55,43ns | 25,57ns | 23,16 | 48,82 | 104,17ns | 22,46ns | 38,28 | 48,82 |
| Na | 0,15** | 0,0011ns | 0,0033 | 14,39 | 9,41** | 0,38ns | 0,68 | 23,76 |
| Cl | 8,07ns | 5,60ns | 10,72 | 55,59 | 90,78** | 14,24ns | 16,53 | 42,71 |
| Fe | 563,40ns | 297,19ns | 798,37 | 23,53 | 4082,96ns | 19,54ns | 1698,83 | 36,88 |
| Mn | 23,32ns | 5,25ns | 9,54 | 9,76 | 535,08** | 26,62ns | 73,71 | 11,11 |
| Cu | 14,39ns | 9,80ns | 7,05 | 19,51 | 102,16ns | 39,81ns | 42,03 | 48,28 |
| Zn | 108,95ns | 90,21,s | 61,17 | 14,99 | 293,24ns | 101,84ns | 184,26 | 41,3 |

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo

Os teores de minerais encontrados nos grãos são semelhantes aos observados em outros estudos (LACERDA, 1995; FERREIRA NETO et al., 2006), e seguem a seguinte ordem decrescente: N > K > Cl > P > Na > Ca > Fe > Zn > Mn > Cu (Tabelas 8 e 9). O elevado teor de N está associado ao fato das sementes de feijão-de-corda apresentarem teores relativamente altos de proteínas (DANTAS et al., 2002; FERREIRA NETO et al., 2006). No pericarpo, observou-se alteração na ordem apresentada acima, com predominância do íon potássio, sendo que os íons encontrados obedeceram a seguinte ordem decrescente: K > N > Cl > Ca > Na > P > Fe > Mn > Zn > Cu (Tabelas 8 e 9). Comparativamente aos grãos observa-se grande redução nos teores de N e P e aumento nos teores de Ca nos pericarpos. Isso se deve ao fato de que a semente possui reservas não contidas no pericarpo, como as proteínas (principal fonte de N) e a fitina (fonte de minerais das sementes, principalmente P e K) (BEWLEY; BLACK, 1994), enquanto os pericarpos apresentam paredes celulares mais espessas, das quais o Ca é importante componente (TAIZ; ZEIGER, 2002).

Os tratamentos em que se aplicaram água salina ao longo de todo o ciclo e nos diferentes estádios de desenvolvimento não influenciaram de forma significativa os teores de K, Ca, P, N, Cl, Fe, Mn, Cu e Zn nos grãos (Tabelas 8 e 9).

Resultados semelhantes foram obtidos por Lacerda (1995), sugerindo que a salinidade não parece afetar de maneira significativa a reserva mineral das sementes de feijão-de-corda. No entanto, constatou-se aumento nos teores de Na nas plantas do T2, tanto nos grãos com no pericarpo, e aumento no teor de Cl no pericarpo das plantas do mesmo tratamento. Esses resultados também estão de acordo com os obtidos por Lacerda (1995), sendo que os maiores teores de Na e Cl nos pericarpos do T2 sugerem um mecanismo de retenção nos pericarpos, evitando maior acúmulo desses íons nas sementes.

TABELA 8 - Teores de macronutrientes em grãos e pericarpos de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Trat | Grãos (g kg ⁻¹) | | | | | |
|------|----------------------------------|---------|--------|---------|---------|----------|
| | K | Ca | P | N | Na | Cl |
| T1 | 16,63 a | 0,54 a | 3,72 a | 26,76 a | 1,27 ab | 10,38 a |
| T2 | 15,79 a | 0,48 a | 3,30 a | 30,91 a | 1,56 a | 7,48 a |
| T3 | 15,79 a | 0,51 a | 3,43 a | 31,75 a | 1,12 b | 11,88 a |
| T4 | 16,97 a | 0,47 a | 3,59 a | 34,49 a | 1,16 b | 11,18 a |
| T5 | 17,14 a | 0,47 a | 3,49 a | 35,11 a | 1,23 ab | 9,69 a |
| Trat | Pericarpos (g kg ⁻¹) | | | | | |
| | K | Ca | P | N | Na | Cl |
| T1 | 14,95 ab | 3,62 b | 1,46 a | 11,73 a | 2,72 b | 5,18 b |
| T2 | 13,27 ab | 4,74 a | 1,12 a | 11,87 a | 5,89 a | 15,94 a |
| T3 | 18,82 a | 3,72 b | 2,36 a | 20,30 a | 2,70 b | 11,24 ab |
| T4 | 10,58 b | 4,44 ab | 0,70 a | 7,95 a | 2,75 b | 6,54 b |
| T5 | 12,77 b | 4,05 ab | 1,16 a | 11,50 a | 3,31 b | 8,70 ab |

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). n = 5.

TABELA 9 - Teores de micronutrientes em grãos e pericarpos de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Tratamentos | Grãos (mg kg ⁻¹) | | | |
|-------------|-----------------------------------|----------|---------|---------|
| | Fe | Mn | Cu | Zn |
| T1 | 115,71 a | 33,09 a | 15,84 a | 49,32 a |
| T2 | 104,24 a | 30,33 a | 14,98 a | 47,57 a |
| T3 | 131,34 a | 29,41 a | 11,98 a | 49,54 a |
| T4 | 121,96 a | 30,64 a | 12,41 a | 57,43 a |
| T5 | 127,17 a | 34,62 a | 12,84 a | 56,99 a |
| Tratamentos | Pericarpos (mg kg ⁻¹) | | | |
| | Fe | Mn | Cu | Zn |
| T1 | 129,79 a | 91,00 a | 11,55 a | 44,94 a |
| T2 | 133,85 a | 79,66 ab | 10,27 a | 28,54 a |
| T3 | 129,79 a | 65,87 b | 12,84 a | 34,94 a |
| T4 | 67,94 a | 68,02 b | 21,34 a | 24,99 a |
| T5 | 97,34 a | 81,56 ab | 11,13 a | 30,91 a |

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). $n = 5$.

A salinidade não influenciou os teores de proteínas nos grãos de plantas de feijão-de-corda (Tabela 10). Os valores médios obtidos para as proteínas variaram de 18,39 a 21,49 % (Figura 8). Os valores encontrados no presente estudo foram inferiores aos observados em outros trabalhos. Dantas et al. (2002) estudaram 14 genótipos de feijão-de-corda em condições de casa de vegetação e encontraram variações de 22,72 a 28,38% nos teores de proteína, sendo que o cultivar EPACE 10 apresentou teor de 23,07%. Maia et al. (2002) encontraram teores de proteína variando entre 23,32 a 26,12%, em quatro cultivares de feijão-de-corda. Outros trabalhos, no entanto, têm apresentado resultados dentro da faixa encontrada no presente estudo (GRANGEIRO et al., 2005; FERREIRA NETO et al., 2006).

A aplicação de água com salinidade de 5,0 dS m⁻¹ não influenciou os teores de proteína nos grãos de feijão-de-corda (Figura 8), nem mesmo quando essa água foi utilizada durante todo o ciclo (T2). Trabalho desenvolvido por Dantas et al. (2002) com 14 cultivares de feijão-de-corda, sob condições de casa de vegetação, demonstraram que a aplicação de água salina com CEa de até 6,0 dS m⁻¹ não afetaram o teor de proteína nos grãos do cultivar EPACE 10, embora tenham sido verificadas reduções superiores a 10% em cinco outros cultivares. No Cultivar

EPACE 10, os teores de proteína somente decresceram quando se utilizou água com CEa de 12 dS m^{-1} (DANTAS et al., 2002). Esses resultados mostram que a salinidade tem pouca influência sobre a qualidade dos grãos produzidos por essa cultura, embora diferenças nessa variável possam depender do cultivar em estudo.

TABELA 10 - Resumo da análise de variância para os teores de proteínas em grãos de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| F.V. | Teor de Proteína |
|-------------|------------------|
| Tratamentos | 10,09ns |
| Bloco | 4,32ns |
| Resíduo | 5,70 |
| C.V. % | 11,79 |

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo

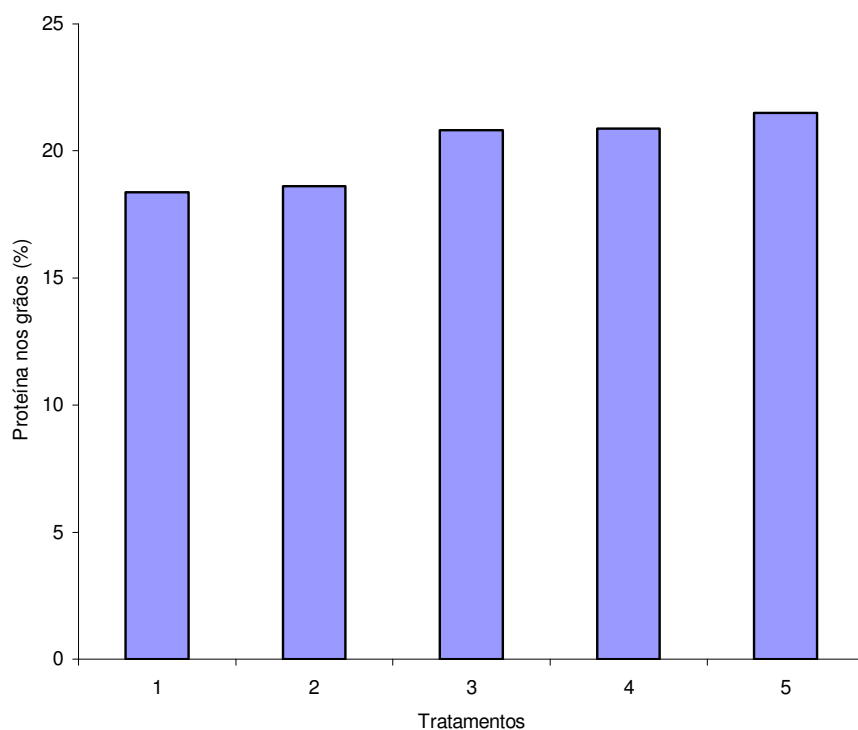


FIGURA 8 - Percentagem de proteína nos grãos de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. (Barras com as mesmas letras, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). $n = 5$).

3.4. Extração de Minerais do Solo

Os conteúdos de nutrientes minerais na planta foram influenciados pelos tratamentos e pelas épocas de coleta, sendo que os efeitos dos tratamentos variaram de acordo com a coleta, o que foi revelado pela significância das interações entre esses fatores (Tabela 11).

TABELA 11 - Resumo da análise de variância para o conteúdo de nutrientes, em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Elementos | Quadrados médios | | | | | |
|-----------|------------------|-------------|-----------------|------------|----------|------|
| | Tratamentos | Coletas | Tratamentos*col | Bloco | Resíduo | CV |
| K | 1725,0** | 41214,5** | 580,5** | 227,6ns | 120,36 | 28,7 |
| Ca | 125,32** | 8823,7** | 65,46* | 35,81ns | 27,51 | 33,0 |
| P | 15,69** | 399,34** | 5,49** | 1,46ns | 1,09 | 29,1 |
| N | 860,5** | 42650,1** | 396,8** | 65,13ns | 101,78 | 30,2 |
| Na | 29,39* | 2096,5** | 32,00** | 4,41ns | 9,21 | 39,2 |
| Cl | 304,31** | 29684,9** | 160,9* | 84,79ns | 51,55 | 24,0 |
| Fe | 91537,54** | 5481754,0** | 33067,01* | 12130,28ns | 14426,28 | 35,2 |
| Mn | 14012,91** | 954048,5** | 5536,84* | 6767,85ns | 5189,31 | 46,5 |
| Cu | 344,50** | 11941,77** | 158,31** | 17,83ns | 27,66 | 30,1 |
| Zn | 4589,38** | 165826,4** | 1801,99** | 375,79ns | 382,76 | 28,6 |

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo

De modo geral, as maiores quantidades de nutrientes extraídas do solo foram verificadas nas fases de intenso crescimento vegetativo e no período reprodutivo (Tabelas 12, 13, 14 e 15). Isso reflete o aumento na matéria seca da planta e a demanda para a formação de frutos, sendo um resultado comumente observado em outras espécies (ALVES, 1999; PRATA et al., 1999). De modo geral, os minerais analisados foram extraídos na seguinte ordem decrescente: N > K > Cl > Ca > Na > P > Fe > Zn > Mn > Cu. Oliveira e Dantas (1984) encontraram seqüência similar para os nutrientes extraídos pelo feijão-de-corda, porém os autores encontraram maior extração de K em relação ao N, maiores extrações de Ca, e não quantificaram as quantidades extraídas de Na e Cl. A elevada extração de N é

justificada pela reconhecida eficiência da fixação biológica desse elemento no feijão-de-corda em associação com bactérias do solo (RUMJANEK et al., 2005). Por outro lado, as elevadas quantidades extraídas de Na e Cl, no presente estudo, se devem à presença dos mesmos na água de irrigação, inclusive na água do poço, e à aplicação do cloreto na adubação potássica (KCl).

TABELA 12 – Quantidades extraídas de K e Ca, em kg ha⁻¹, em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Tratamentos | Coletas | | | |
|-------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | 8 | 23 | 43 | 63 |
| | K | | | |
| T1 | 0,64 ± 0,04 ¹ | 8,52 ± 0,53 | 65,14 ± 2,59 | 95,84 ± 5,30 |
| T2 | 0,54 ± 0,02 | 6,04 ± 0,32 | 34,86 ± 2,12 | 48,86 ± 1,42 |
| T3 | 0,52 ± 0,01 | 4,83 ± 0,22 | 50,32 ± 2,32 | 94,54 ± 3,59 |
| T4 | 0,62 ± 0,01 | 10,18 ± 0,50 | 66,42 ± 2,33 | 89,94 ± 3,62 |
| T5 | 0,59 ± 0,02 | 11,78 ± 0,71 | 76,37 ± 4,02 | 97,26 ± 2,58 |
| | Ca | | | |
| T1 | 0,13 ± 0,01 | 1,97 ± 0,24 | 23,97 ± 2,11 | 37,15 ± 6,55 |
| T2 | 0,15 ± 0,01 | 1,79 ± 0,11 | 16,02 ± 1,86 | 29,95 ± 2,42 |
| T3 | 0,18 ± 0,001 | 1,76 ± 0,15 | 17,33 ± 1,51 | 43,19 ± 3,15 |
| T4 | 0,14 ± 0,005 | 2,80 ± 0,31 | 27,72 ± 2,76 | 44,10 ± 3,82 |
| T5 | 0,13 ± 0,006 | 2,54 ± 0,32 | 27,98 ± 4,26 | 38,30 ± 1,28 |

¹valores médios ± erro padrão

Comparando-se os tratamentos, verificou-se que a aplicação contínua de água salina (T2) reduziu os totais extraídos de K, Ca, P, N (Tabelas 12 e 13), Cl (Tabela 14), Fe, Mn, Cu e Zn (Tabela 15). A menor extração de nutrientes nas plantas desse tratamento sugere que as quantidades de adubos aplicadas em cultivos irrigados com águas salinas devem ser menores do que as aplicadas em plantas irrigadas com águas não salinas (GRATTAN; GRIEVE, 1999; LACERDA, 2005). Caso contrário, as perdas de nutrientes por lixiviação poderão contribuir para a contaminação dos lençóis subterrâneos de água. Por outro lado, as plantas do T2 e as do T5 apresentaram maiores extrações de Na, o que pode ser explicado pela elevada absorção desse elemento na fase final do ciclo da cultura nesses dois

tratamentos (Figura 3). Os tratamentos T1, T4 e T5 apresentaram comportamentos similares para a quase totalidade dos minerais analisados, mas as plantas do T3 extraíram menores quantidades de P, Fe, Mn e Cu. As reduções observadas nesse tratamento devem-se, em parte, à menor produção de grãos nestas plantas (Ver capítulo 1).

TABELA 13 – Quantidades extraídas de P e N, em kg ha^{-1} , em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Tratamentos | Coletas | | | |
|-------------|---------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | 8 | 23 | 43 | 63 |
| | P | | | |
| T1 | 0,06 ± 0,004 ¹ | 0,67 ± 0,04 | 6,07 ± 0,23 | 10,33 ± 0,89 |
| T2 | 0,05 ± 0,002 | 0,56 ± 0,03 | 3,04 ± 0,13 | 5,00 ± 0,23 |
| T3 | 0,05 ± 0,001 | 0,50 ± 0,02 | 4,07 ± 0,14 | 8,83 ± 0,83 |
| T4 | 0,06 ± 0,001 | 0,89 ± 0,04 | 5,59 ± 0,18 | 9,24 ± 0,84 |
| T5 | 0,05 ± 0,001 | 0,97 ± 0,06 | 6,43 ± 0,42 | 9,58 ± 0,82 |
| | N | | | |
| T1 | 0,64 ± 0,03 | 7,15 ± 0,51 | 33,08 ± 1,53 | 90,58 ± 11,3 |
| T2 | 0,58 ± 0,02 | 5,40 ± 0,22 | 26,04 ± 0,99 | 59,02 ± 6,01 |
| T3 | 0,61 ± 0,005 | 4,58 ± 0,16 | 32,67 ± 1,47 | 95,55 ± 8,35 |
| T4 | 0,66 ± 0,01 | 7,05 ± 0,70 | 1,56 ± 1,90 | 102,7 ± 4,42 |
| T5 | 0,65 ± 0,02 | 7,66 ± 0,88 | 49,34 ± 1,29 | 106,7 ± 7,04 |

¹valores médios ± erro padrão

TABELA 14 - Quantidades extraídas de Na e Cl, em kg ha⁻¹, em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Tratamentos | Coletas | | | |
|-------------|---------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | 8 | 23 | 43 | 63 |
| | Na | | | |
| T1 | 0,05 ± 0,003 ¹ | 1,18 ± 0,08 | 13,04 ± 1,21 | 18,30 ± 1,33 |
| T2 | 0,05 ± 0,003 | 1,20 ± 0,04 | 8,72 ± 0,51 | 22,38 ± 2,06 |
| T3 | 0,06 ± 0,002 | 1,05 ± 0,03 | 6,43 ± 0,30 | 16,03 ± 1,63 |
| T4 | 0,04 ± 0,001 | 1,40 ± 0,07 | 11,84 ± 0,60 | 16,36 ± 1,46 |
| T5 | 0,05 ± 0,002 | 1,37 ± 0,05 | 9,34 ± 0,63 | 25,96 ± 2,25 |
| | Cl | | | |
| T1 | 0,31 ± 0,01 | 5,68 ± 0,35 | 35,16 ± 2,10 | 74,58 ± 5,94 |
| T2 | 0,32 ± 0,01 | 5,09 ± 0,12 | 27,88 ± 1,47 | 61,04 ± 3,62 |
| T3 | 0,37 ± 0,01 | 4,38 ± 0,16 | 35,02 ± 1,78 | 84,07 ± 2,48 |
| T4 | 0,33 ± 0,01 | 6,04 ± 0,21 | 48,83 ± 2,01 | 72,88 ± 4,87 |
| T5 | 0,31 ± 0,01 | 6,72 ± 0,34 | 46,08 ± 3,15 | 81,69 ± 3,71 |

¹valores médios ± erro padrão

TABELA 15 - Quantidades extraídas de micronutrientes, em kg ha^{-1} , em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Tratamentos | Coletas | | | |
|-------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------------|
| | 8 | 23 | 43 | 63 |
| Fe | | | | |
| T1 | $2,88 \pm 0,26^1$ | $36,53 \pm 3,30$ | $388,46 \pm 23,67$ | $1133,44 \pm 156,17$ |
| T2 | $2,65 \pm 0,21$ | $25,77 \pm 1,53$ | $187,68 \pm 16,93$ | $738,57 \pm 49,58$ |
| T3 | $2,75 \pm 0,03$ | $20,17 \pm 1,32$ | $214,72 \pm 12,60$ | $975,37 \pm 102,33$ |
| T4 | $2,75 \pm 0,03$ | $41,51 \pm 4,38$ | $359,83 \pm 35,57$ | $1095,62 \pm 102,01$ |
| T5 | $2,81 \pm 0,14$ | $43,68 \pm 5,05$ | $420,84 \pm 54,72$ | $1109,32 \pm 29,41$ |
| Mn | | | | |
| T1 | $0,72 \pm 0,12$ | $14,10 \pm 3,51$ | $171,78 \pm 29,71$ | $433,27 \pm 103,88$ |
| T2 | $0,61 \pm 0,06$ | $14,63 \pm 0,68$ | $139,11 \pm 11,62$ | $317,92 \pm 46,76$ |
| T3 | $0,62 \pm 0,06$ | $11,25 \pm 0,68$ | $154,03 \pm 18,03$ | $409,62 \pm 40,19$ |
| T4 | $0,51 \pm 0,06$ | $17,38 \pm 2,79$ | $258,11 \pm 27,70$ | $477,25 \pm 27,96$ |
| T5 | $0,50 \pm 0,04$ | $18,44 \pm 2,80$ | $196,17 \pm 14,44$ | $462,23 \pm 45,88$ |
| Cu | | | | |
| T1 | $0,26 \pm 0,02$ | $4,04 \pm 0,23$ | $23,95 \pm 1,33$ | $58,98 \pm 4,99$ |
| T2 | $0,22 \pm 0,01$ | $3,27 \pm 0,19$ | $12,46 \pm 0,76$ | $29,95 \pm 1,46$ |
| T3 | $0,18 \pm 0,01$ | $2,84 \pm 0,14$ | $14,66 \pm 0,66$ | $42,33 \pm 2,58$ |
| T4 | $0,17 \pm 0,01$ | $2,18 \pm 0,08$ | $21,24 \pm 0,73$ | $55,88 \pm 6,02$ |
| T5 | $0,17 \pm 0,01$ | $2,37 \pm 0,15$ | $21,42 \pm 1,77$ | $52,04 \pm 2,33$ |
| Zn | | | | |
| T1 | $0,63 \pm 0,03$ | $8,20 \pm 0,60$ | $111,03 \pm 5,69$ | $183,12 \pm 17,14$ |
| T2 | $0,60 \pm 0,02$ | $6,85 \pm 0,23$ | $58,01 \pm 2,71$ | $110,84 \pm 8,75$ |
| T3 | $0,64 \pm 0,01$ | $6,42 \pm 0,46$ | $70,01 \pm 3,45$ | $173,61 \pm 12,39$ |
| T4 | $0,56 \pm 0,01$ | $10,32 \pm 0,49$ | $100,58 \pm 3,75$ | $206,36 \pm 17,71$ |
| T5 | $0,56 \pm 0,01$ | $12,14 \pm 0,65$ | $103,84 \pm 7,00$ | $200,43 \pm 10,46$ |

¹valores médios \pm erro padrão

3.5. Distribuição e Eficiência de Utilização de Nutrientes

A distribuição de nutrientes minerais na planta foi afetada significativamente pelos tratamentos, excetuando-se os elementos Ca, Cl e Mn (Tabela 16), sendo esse efeito dependente da parte da planta analisada. De modo geral, os nutrientes analisados também se acumularam preferencialmente ou na parte vegetativa ou na parte reprodutiva.

TABELA 16 - Resumo da análise de variância para a distribuição de nutrientes nas partes vegetativas e reprodutivas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Elementos | Quadrados médios | | | | | |
|-----------|------------------|-----------------|-----------|------------|----------|------|
| | Tratamentos | Parte da Planta | da planta | Bloco | Resíduo | CV |
| K | 1060,86** | 6236,08** | 349,77* | 132,89ns | 116,95 | 25,3 |
| Ca | 80,16ns | 14188,40** | 70,00 ns | 66,25 ns | 33,02 | 29,8 |
| P | 10,85** | 156,41** | 7,63** | 0,92ns | 1,21 | 25,5 |
| N | 893,20** | 4451,96** | 682,74** | 198,48ns | 106,46 | 22,7 |
| Na | 45,52** | 2190,04** | 32,50* | 6,37ns | 10,66 | 32,0 |
| Cl | 203,96ns | 27902,83** | 345,94* | 75,56ns | 95,89 | 26,1 |
| Fe | 67290,14* | 3728950,0** | 6876,77ns | 38959,17ns | 22615,67 | 29,7 |
| Mn | 10881,39ns | 785536,9** | 2905,27ns | 11913,54ns | 8647,35 | 45,0 |
| Cu | 366,70** | 309,12** | 71,53ns | 25,14ns | 38,06 | 25,6 |
| Zn | 3617,11** | 3380,64** | 2422,99** | 622,90ns | 389,88 | 22,6 |

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo

Na maioria dos tratamentos, os minerais Na, Cl, K, Ca (Tabela 17), Fe e Mn (Tabela 18) permanecem preferencialmente nas partes vegetativas, apresentando valores superiores a 70%. Isso mostra que os restos culturais de feijão-de-corda constituem-se fontes importantes desses nutrientes que podem retornar ao solo após a incorporação dos restos no final do ciclo. Por outro lado, os nutrientes N, P distribuíram-se preferencialmente para os frutos, sendo exportados em maiores proporções pela cultura (Tabela 17). Os nutrientes Cu e Zn

(Tabela 18) também se distribuíram preferencialmente nas partes reprodutivas, na maioria dos tratamentos.

TABELA 17- Distribuição (Kg ha^{-1}) e percentagem de Na, Cl, K, Ca, N e P nas partes vegetativas e reprodutivas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| | Tratamentos | | | | |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Na | | | | | |
| Vegetativa | 14,65bcA(79) | 19,25abA (86) | 13,76bcA (86) | 12,97cA(79) | 21,95aA(84) |
| Reprodutiva | 3,65 aB (21) | 3,12 aB (14) | 2,27 aB (14) | 3,38 aB (21) | 3,99 aB (16) |
| Cl | | | | | |
| Vegetativa | 53,52 abA(71) | 49,40 bA (81) | 66,88abA (80) | 65,8abA (90) | 69,63aA(85) |
| Reprodutiva | 21,06 aB (29) | 11,64aB (19) | 17,18 aB (20) | 7,07 aB (10) | 12,06aB(15) |
| K | | | | | |
| Vegetativa | 59,0aA(60) | 29,7bA(60) | 67,9 aA (72) | 53,9 aA (60) | 58,6 aA (60) |
| Reprodutiva | 37,9 abB (40) | 19,8bA(40) | 25,8 abB (28) | 36,0 aB (40) | 38,6abB(40) |
| Ca | | | | | |
| Vegetativa | 34,45abA (92) | 28,20 bA (94) | 41,32 aA (95) | 41,20 aA (93) | 35,41 abA(92) |
| Reprodutiva | 2,69 aB(08) | 1,76 aB(06) | 1,87 aB (05) | 2,90 aB(07) | 2,90 aB(08) |
| N | | | | | |
| Vegetativa | 34,39abB (38) | 25,12 bA (42) | 49,69 aA (52) | 36,10abB(35) | 34,84abB(33) |
| Reprodutiva | 56,18abA (62) | 33,90 cA (58) | 45,86bcA(48) | 66,65 aA (65) | 71,89 aA (67) |
| P | | | | | |
| Vegetativa | 2,71 abB (26) | 1,44bB(29) | 3,81 aA (43) | 2,31 abB (25) | 2,35 abB (26) |
| Reprodutiva | 7,62 aA (74) | 3,56 cA (71) | 5,02 bcA (57) | 6,92 abA (75) | 7,22 aA (74) |

*Médias seguidas de mesma letra maiúsculas, nas colunas para parte da planta, e minúsculas, nas linhas para tratamentos, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \geq 0, 05$).

** valores entre parênteses representam a percentagem em cada parte da planta

Comparando as percentagens contidas nas partes vegetativas e reprodutivas dos diferentes tratamentos, verificou-se que o T3 se diferenciou dos demais em relação à distribuição de nutrientes de K, N, P (Tabela 17) Cu e Zn (Tabela 18) nas partes reprodutivas. Como consequência, as plantas desse tratamento apresentaram, em relação aos demais, aumentos na proporção desses

nutrientes na parte vegetativa, o que se deveu à recuperação no crescimento vegetativo (Figura 1) dessas plantas sem o concomitante aumento na produção de grãos (ver capítulo 1).

TABELA 18 – Distribuição (g ha^{-1}) e percentagem de Fe, Mn, Cu e Zn nas partes vegetativas e reprodutivas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Trat. | Partes Vegetativas (g/ha) | | | |
|-------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | Fe | Mn | Cu | Zn |
| T1 | 859,55 aA (75) | 329,42aA (71) | 24,17aB (41) | 71,35abB (38) |
| T2 | 599,87aA (81) | 266,41aA (82) | 12,50aA (41) | 56,20bA (50) |
| T3 | 767,71aA (79) | 317,35aA (83) | 23,15abA (55) | 100,61aA (58) |
| T4 | 843,67aA (76) | 389,78aA (81) | 25,45aA (44) | 89,70abB (43) |
| T5 | 821,88aA (74) | 356,83aA (76) | 22,77abA (44) | 77,46abB (39) |

| Trat. | Partes Reprodutivas (g/ha) | | | |
|-------|----------------------------|----------------|---------------|----------------|
| | Fe | Mn | Cu | Zn |
| T1 | 273,89 aB (25) | 103,84 aB (29) | 34,35aA (59) | 111,77abA 62) |
| T2 | 138,70 aB(19) | 51,61aB (18) | 17,45cA (59) | 54,65bA (50) |
| T3 | 207,67aB (21) | 58,13aB (17) | 19,18bcA (45) | 71,96bB (42) |
| T4 | 254,04 aB (23) | 87,48aB (19) | 32,65aA (56) | 116,19 aA (57) |
| T5 | 287,44aB(26) | 105,39aB (24) | 29,27abA (56) | 122,97aA (61) |

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, nas colunas para parte da planta, e minúsculas, nas linhas para tratamentos, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \geq 0, 05$).

** valores entre parênteses representam a percentagem em cada parte da planta.

A eficiência na utilização de nutrientes, representada pela relação entre a produção de grãos e a extração total de nutrientes pelas plantas, foi afetada significativamente pelos tratamentos empregados, com exceção de Mn e Cu (Tabela 19).

A otimização da eficiência nutricional é de grande importância na produção das culturas anuais, devido ao custo dos fertilizantes, imprescindíveis para o aumento da produtividade (FAGERIA, 1998). De modo geral, a eficiência nutricional pode ser medida pelas eficiências de absorção e utilização, sendo que nos cálculos pode ser considerada a produção primária ou a produção de interesse agrônomo (FAGERIA, 1998). No presente estudo, constatou-se que as plantas dos

tratamentos T1, T2, T4 e T5 apresentaram comportamentos semelhantes em relação à eficiência de utilização de K, N, P, Fe, Mn, Cu e Zn (Tabela 20), quando se considerou a relação entre a produção de grãos e os totais de nutrientes extraídos pelas plantas. Isso sugere que as plantas que foram irrigadas com água salina durante todo o ciclo (T2) apresentaram um ajuste entre o crescimento, a produção e a extração de nutrientes, de modo que a eficiência de utilização se manteve semelhante ao tratamento irrigado com água de baixa salinidade. Os tratamentos T4 e T5 também não diferiram do T1, indicando que a aplicação de água salina na fase anterior à floração e na fase de formação e desenvolvimento das vagens não interfere na eficiência nutricional da cultura. Por outro lado, as plantas do T3 apresentaram valores inferiores para a eficiência de utilização da maioria dos nutrientes, o que se deve à baixa produção de grãos destas plantas (ver capítulo 1).

TABELA 19 - Resumo da análise de variância para a eficiência de utilização de nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Elementos | Quadrados médios | | | |
|-----------|------------------|----------|---------|------|
| | Tratamentos | Bloco | Resíduo | CV |
| K | 47,89* | 14,02ns | 6,38 | 13,4 |
| Ca | 582,78** | 160,72ns | 94,09 | 23,1 |
| P | 3002,32* | 449,67ns | 668,81 | 13,9 |
| N | 39,28* | 14,06ns | 4,09 | 11,6 |
| Fe | 0,277* | 0,062ns | 0,083 | 18,3 |
| Mn | 4,22ns | 2,01ns | 3,04 | 43,0 |
| Cu | 31,30ns | 32,85ns | 25,59 | 15,4 |
| Zn | 6,49** | 1,55ns | 1,52 | 13,7 |

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo

TABELA 20 - Eficiência de utilização de nutrientes, kg de grãos produzidos/kg de nutriente extraído, em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Elementos | Tratamentos | | | | |
|-----------|-------------|----------|----------|----------|----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
| K | 20,04 a | 20,53 a | 13,34 b | 20,73 a | 19,30 a |
| Ca | 55,55 a | 33,72 bc | 29,22 c | 49,10 ab | 42,69 ab |
| P | 182,72 a | 197,96 a | 143,32 b | 202,66 a | 198,42 a |
| N | 21,19 a | 17,13 ab | 13,31 b | 17,82 ab | 17,65 ab |
| Fe | 1,73 a | 1,36 ab | 1,31 b | 1,72 a | 1,70 a |
| Mn | 5,51 a | 3,41 a | 3,17 a | 3,88 a | 4,27 a |
| Cu | 31,96 a | 33,33 a | 29,50 a | 33,84 a | 36,30 a |
| Zn | 10,39 a | 9,05 ab | 7,23 b | 9,01 ab | 9,35 ab |

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). $n = 5$.

Considerando-se a produção econômica obtida (grãos) por unidade de nutriente aplicado (N, P e K), definida por Fageria (1998) como eficiência agrônômica, verifica-se que os tratamentos T2 e T3 apresentaram os menores valores (Tabela 21). Isso ocorreu por que as plantas desses tratamentos apresentaram menor produção de grãos, em função dos estresses salinos aplicados durante todo o ciclo (T2) ou na fase de crescimento inicial (T3), e as quantidades aplicadas de N, P e K foram similares em todos os tratamentos. A redução na eficiência agrônômica na aquisição de nutrientes é relevante, visto que parte dos nutrientes aplicados não são utilizados pela cultura e ficam sujeitos ao processo de lixiviação. Vale salientar que o T3 apresentou forte crescimento vegetativo, de modo que a eficiência com base na produção primária (matéria seca total) permaneceu elevada (dados não mostrados). Os resultados também sugerem que as adubações em culturas sob estresse salino podem ser realizadas com menores quantidades de fertilizantes (GRATTAN; GRIEVE, 1999; LACERDA, 2005). As plantas dos tratamentos T1, T4 e T5 apresentaram elevadas eficiências nutricionais de N, o que se deve ao fato de que grande parte desse nutriente é adquirida na associação das raízes do feijão-de-corda com as bactérias fixadoras de nitrogênio (VASCONCELOS et al, 1987; RUMJANEK et al., 2005).

TABELA 21 - Eficiência nutricional, kg de grãos produzidos/kg nutriente aplicado, em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Tratamentos | Eficiência Nutricional | | |
|-------------|------------------------|------|------|
| | N | P | K |
| T1 | 93,3 | 31,1 | 62,2 |
| T2 | 49,2 | 16,4 | 32,8 |
| T3 | 62,1 | 20,7 | 41,4 |
| T4 | 91,3 | 30,4 | 60,8 |
| T5 | 93,8 | 31,3 | 62,5 |

*Os valores são médias conjuntas das cinco repetições

A eficiência na utilização de nutrientes, representada pela relação entre a produção de grãos e a extração total de nutrientes pelas plantas (EUN_{GR}), foi afetada significativamente pelos tratamentos empregados, com exceção de Mn e Cu (Tabelas 22 e 23). No entanto, a eficiência de utilização de nutrientes representada pela relação entre a produção de matéria seca total e a extração total de nutrientes (EUN_P) praticamente não diferiu entre os tratamentos.

TABELA 22 - Eficiência de utilização de macronutrientes considerando a produção de matéria seca total (EUN_P) e matéria seca de grãos (EUN_{GR}) em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de crescimento

| Elementos | Tratamentos | | | | |
|--|-------------|----------|----------|-----------|----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
| EUN_P (kg MS produzida/kg de nutriente extraído) | | | | | |
| K | 47,59 ab | 53,14 a | 42,20 b | 51,08 a | 48,45 ab |
| Ca | 128,91 a | 87,22 c | 92,08 c | 104,29 bc | 122,71ab |
| P | 436,16 a | 517,14 a | 456,42 a | 504,13 a | 501,34 a |
| N | 50,41 a | 44,72 a | 41,91 a | 44,27 a | 44,46 a |
| EUN_{GR} (kg de grãos produzidos/kg de nutriente extraído) | | | | | |
| K | 20,04 a | 20,53 a | 13,34 b | 20,73 a | 19,30 a |
| Ca | 55,55 a | 33,72 bc | 29,22 c | 49,10 ab | 42,69 ab |
| P | 182,72 a | 197,96 a | 143,32 b | 202,66 a | 198,42 a |
| N | 21,19 a | 17,13 ab | 13,31 b | 17,82 ab | 17,65 ab |

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \geq 0, 05$). $n = 5$.

A otimização da eficiência nutricional é de grande importância na produção das culturas anuais, devido ao custo dos fertilizantes, imprescindíveis para o aumento da produtividade (FAGERIA, 1998). De modo geral, a eficiência nutricional pode ser medida pelas eficiências de absorção e utilização, sendo que nos cálculos pode ser considerada a produção primária ou a produção de interesse agrônomo (FAGERIA, 1998). No presente estudo, constatou-se que as plantas dos tratamentos T1, T2, T4 e T5 apresentaram comportamentos semelhantes em relação à eficiência de utilização de K, N, Ca e P (Tabela 22), Fe, Mn, Cu e Zn (Tabela 23), quando se considerou a relação entre a produção de grãos e os totais de nutrientes extraídos pelas plantas (EUN_{GR}). Isso sugere que as plantas que foram irrigadas com água salina durante todo o ciclo (T2) apresentaram um ajuste entre o crescimento, a produção e a extração de nutrientes, de modo que a eficiência de utilização se manteve semelhante ao tratamento irrigado com água de baixa salinidade. Os tratamentos T4 e T5 também não diferiram do T1, indicando que a aplicação de água salina na fase anterior à floração e na fase de formação e

desenvolvimento das vagens não interfere na eficiência nutricional da cultura. Por outro lado, as plantas do T3 apresentaram valores inferiores para a EUN_{GR} da maioria dos nutrientes, o que se deve à baixa produção de grãos destas plantas.

TABELA 23 - Eficiência de utilização de micronutrientes considerando a produção de matéria seca total (EUN_P) e de grãos (EUN_{GR}) em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento

| Elementos | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|---------|---------|---------|---------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
| EUN_P (kg MS produzida/g de nutriente extraído) | | | | | |
| Fe | 4,05 a | 3,52 a | 4,13 a | 4,21 a | 4,24 a |
| Mn | 12,64 a | 8,77 a | 9,93 a | 9,56 a | 10,65 a |
| Cu | 76,35 a | 87,22 a | 93,90 a | 82,97 a | 90,75 a |
| Zn | 24,63 a | 23,65 a | 22,87 a | 22,23 a | 23,52 a |
| EUN_{GR} (kg de grãos produzidos/g de nutriente extraído) | | | | | |
| Fe | 1,73 a | 1,36 ab | 1,31 b | 1,72 a | 1,70 a |
| Mn | 5,51 a | 3,41 a | 3,17 a | 3,88 a | 4,27 a |
| Cu | 31,96 a | 33,33 a | 29,50 a | 33,84 a | 36,30 a |
| Zn | 10,39 a | 9,05 ab | 7,23 b | 9,01 ab | 9,35 ab |

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). n = 5.

4. CONCLUSÕES

A irrigação com a combinação de água do poço com água salina reduz o acúmulo de sais no solo, em relação ao uso continuado de água salina, sendo que essa resposta varia entre os tratamentos e entre as camadas do solo avaliadas.

A aplicação de água salina com CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ durante todo o ciclo (T2) e na germinação e fase inicial de crescimento (T3) inibe e retarda, respectivamente, o crescimento vegetativo da cultura.

Os teores de minerais variam durante o desenvolvimento do feijão-de-corda e foram afetados pela salinidade da água de irrigação, notadamente quando se utiliza água salina durante todo o ciclo e nas fases iniciais do desenvolvimento.

A irrigação com água salina de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ não afeta a qualidade nutricional das sementes de feijão-de-corda, em termos de teor de proteína e de praticamente todos os minerais analisados.

As plantas de feijão-de-corda extraem os minerais analisados na seguinte ordem decrescente: $\text{N} > \text{K} > \text{Cl} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{P} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$, sendo que a aplicação contínua de água salina (T2) reduz a extração dos nutrientes, com exceção do Na.

Os minerais Na, Cl, K, Ca, Fe e Mn permanecem preferencialmente nas partes vegetativas enquanto N e P são exportados em maiores proporções pelos frutos.

A irrigação com água salina na germinação e fase inicial de crescimento da cultura (T3) reduz a eficiência de utilização da maioria dos nutrientes.

A aplicação contínua de água salina (T2) reduz a eficiência agrônômica de utilização de nutrientes, mas não afeta a eficiência de utilização dos nutrientes extraídos pelas plantas.

Os resultados mostram a necessidade de estudos visando à obtenção de níveis adequados de adubação em feijão-de-corda, quando as plantas são irrigadas com águas ricas em sais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEKALU, K. O.; OKUNADE, D. A. Effect of irrigation amount and tillage system on yield and water use efficiency of cowpea. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.37, p. 225-237, 2006.

AJEIGBE, H. A.; MOHAMMED, S. G.; SINGH, B. B. Comparative assessment of yield potentials of improved cowpea breeding lines using performance index and ranking methods. *Journal of Food Agriculture and Environment*, v.4, p. 95-98, 2006.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998, 300p.

ALVES, E. J. *A cultura da bananeira: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais*. 2ª ed. Brasília: EMBRAPA, 1999. 585p.

ASSIS JÚNIOR, J. O. *Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da salinidade da água e da fração de lixiviação*. 2007. 63 f. Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

ASSIS JÚNIOR, J. O.; LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A; GHEYI, H. R. *Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação*. *Engenharia agrícola*, v. 27, n.3, p. 702-713, 2007.

AYERS, R. S.; WESCOT, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. Campina Grande: UFPB, 1999.153p.

BARROS, M. F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ, V. H.; RUIZ, H. A. *Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, p. 320-326, 2005.

BENINCASA, M. M. P. *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. Jaboticabal: FUNEP. 1988.

BEWLEY J. D.; BLACK M. *Seeds: Physiology of development and germination*. 2ª ed., New York e London: Plenum press, 1994. 445p.

BEZERRA, M. A.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T; GOMES FILHO, E. *Crescimento e fotossíntese de plantas jovens de cajueiro anão-precoce sob estresse salino*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, suplemento, p.90-94, 2005.

BEZERRA, M. A.; OLIVEIRA, R. A.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Fotossíntese de plantas de cajueiro-anão precoce submetidas ao estresse salino. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture, v. 47, p. 149-152, 2003.

BOTÍA P.; CARVAJAL, M.; CERDÁ, A.; MARTINEZ, V., Response of eight *Cucumis melo* cultivars to salinity during germination and early vegetative growth. Agronomie, v.18, p. 503–513, 1998.

BOTÍA, P.; NAVARRO, J. M.; CERDÁ, A.; MARTÍNEZ, V. Yield and fruit quality of two melon cultivars irrigated with saline water at different stages of development. European Journal of Agronomy, v.23, p. 243-253, 2005.

CAMBRAIA, J. Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M.T. Estresses Ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE: Imprensa universitária, 2005, p. 95-105.

CARDOSO, J. M.; MELO, F. B.; LIMA, M. G. Ecofisiologia e manejo de plantio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. Feijão caupi: avanços tecnológicos. Brasília: EMBRAPA, 2005. Cap. 5, p 213 – 225.

CHARTZOULAKIS, K. S.; KLAPAKI, G. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. Scientia Horticulturae, v. 86, p. 247-260, 2000.

CHARTZOULAKIS, K. S.; LOUPASSAKI, M. H. Effects of NaCl salinity on germination, growth, gas exchange and yield of greenhouse eggplant. Agricultural Water Management, v. 32, p 215-255, 1997.

CHAUHAN, C. P. S.; SINGH, R. B. Supplemental irrigation of wheat with saline water. Agricultural Water Management, v.95, p 253-258, 2008.

COSTA, P. H. A.; SILVA, J. V.; BEZERRA, M. A.; ENEAS FILHO, J.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. Revista Brasileira de Botânica, v. 26, n.3, p.289-297, 2003.

COSTA, R. N. T.; SAUNDERS, L. C. U.; OLIVEIRA JUNIOR, N. M.; BISERRA, J. V. Indicadores econômicos da recuperação de um solo sódico em condições de drenagem subterrânea no Vale do Curu, CE. Irriga, v. 10, p. 272-278, 2005.

CUARTERO, J.; MUNOZ, F. R. Tomato and salinity. Scientia Horticulturae, v. 78, p. 83–125, 1999.

DADSON, R. B.; HASHEM, F. M.; JAVAID, I.; JOSHI, J.; ALLEN, A. L.; DEVINE, T. E. Effect of water stress on the yield of cowpea [*Vigna unguiculata*

(L.) Walp] genotypes in the Delmarva region of the United States. *Journal Agronomy & Crop Science*, v.191, p. 210-217, 2005.

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

DATTA, K. K.; SHARMA, V. P.; SHARMA, D.P. Estimation of a production function for wheat under saline conditions. *Agricultural Water Management*, v. 36, p. 85-94, 1998.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, p.6-16, 1998.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares. In: SIMPÓSIO MANEJO E CONTROLE DA SALINIDADE NA AGRICULTURA IRRIGADA. Paraíba. **Anais...** Paraíba: UFPB,1997, p. 363-383.

FERNANDES, V. L. B. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará. Fortaleza, CE: UFC, 1993. p. 248.

FERREIRA NETO, J. R. C.; ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, S. M. S. LOPES, A. C. A.; FRANCO, L. J. D. Composição química dos grãos secos em genótipos de feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, VI REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, Piauí, 2006.

FERREIRA, M. C. C. Efeito do sal no crescimento e metabolismo de *Vigna unguiculata* L. walp e *Vigna luteola* (Jacq) Benth. 2005. 63 f. Dissertação (Mestrado em biologia vegetal) Universidade Estadual de Campinas, 2005.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D. SANTOS, A. A. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. Feijão caupi: avanços tecnológicos. Brasília: EMBRAPA, 2005. Cap. 1. p 29-92.

FREITAS, J. B. S. Respostas fisiológicas ao estresse salino por duas cultivares contrastantes de feijão-caupi. 2006. 23 f. Tese (Doutorado em Bioquímica) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

GAINES, T. P.; PARKER, M. B.; GASCHO, G. J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. *Agronomy Journal*, v.76, p.371-374, 1984.

GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JR. R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. Agricultura,

sustentabilidade e o semi-árido. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2000, p. 329-346.

GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D. Salinidade do solo e crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOGUEIRA, R. J. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. Estresses Ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE: Imprensa Universitária, 2005, p. 95-105.

GLENN, E.; TANNER, R.; MIYAMOTO, S.; FITZSIMMONS, K.; BOYER, J. Water use, productivity and forage quality of the halophyte *Atriplex nummularia* grown on saline waste water in a desert environment. *Journal of Arid Environments*, v.38, p. 45-62, 1998.

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

GRANGEIRO, T. B.; CASTELLON, R. E. R.; ARAÚJO, F. M. M. C.; SILVA, S. M. S.; FREIRE, E. A.; CAJAZEIRAS, J. B.; ANDRADE NETO, M.; GRANJEIRO, M. B.; CAVADA, B. S. Composição química da semente. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. Feijão caupi: avanços tecnológicos. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005. Cap. 9. p. 339-365.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity-mineral nutrient relations in Horticultural Crops. *Scientia Horticulturae*, v. 78, p. 127-157, 1999.

GUIMARÃES, F. V. Respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de feijão de corda cv Pitiúba submetidas ao estresse com NaCl em diferentes concentrações de CaCl₂ e CaSO₄. 2005. 176 f. Tese (Doutorado em bioquímica), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A. Qualidade da água para irrigação In: SIMPÓSIO MANEJO E CONTROLE DA SALINIDADE NA AGRICULTURA IRRIGADA. Paraíba. **Anais...** Paraíba: UFPB, 1997. p. 137-169.

LACERDA, C. F. Efeitos da salinidade no desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do Ca²⁺ como meio para minorar tais efeitos. 1995. 87 f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1995.

LACERDA, C. F. Interação salinidade x nutrição mineral. In: NOGUEIRA, R. J. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. Estresses Ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE: Imprensa

universitária, 2005, p. 95-105.

LACERDA, C. F.; ASSIS JÚNIOR, J. O.; LEMOS FILHO, L. C. A.; GUIMARÃES, F. V. A.; OLIVEIRA, T. S.; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J. T.; BEZERRA, M. A. Morpho-physiological responses of cowpea leaves to salt stress. *Brazilian Journal Plant Physiology*, v.18, p. 455-465, 2006.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RiMa, 2000. 533p.

LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T. ALMEIDA JÚNIOR, A. B. Resposta do feijão caupi a salinidade da água de irrigação. *Revista verde*, v. 2, n.2, p. 79-86, 2007.

MAAS, E. V. Salt tolerance of crops. *Applied Agricultural Research*, v. 1, n. 1, p. 12-26, 1986.

MAAS, E. V. Testing Crops for Salinity Tolerance. In: MARANVILLE, J. W., BALIGAR, B. V., DUNCAN, R. R., YOHE, J. M. Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stresses. INTSORMIL. University of Nebraska, Lincoln, NE, 1993. p. 234-247.

MAAS, E. V.; GRIEVE, C. M. Salt tolerance of plants at different growth stages. *Proceedings of the International Conference, Tando Jam, Pakistan*, p. 27, 1990.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, A.S.C.E.*, v. 103, n.2, p.115-134, 1977.

MAAS, E. V.; POSS, J. A. Salt sensitive of cowpea at various growth stages, *Irrigation Science*, v.10, p. 313–320, 1989.

MAIA, F. M. M.; OLIVEIRA J T A; FREIRE-FILHO, F.; GOMES, R. G. A.; VASCONCELOS, I. M. Composição química e fatores antinutricionais em genótipos de *Vigna unguiculata* melhorados e não melhorados Geneticamente. In: VI Reunião Regional da SBBq Nordeste, Fortaleza – CE, 2002.

MALASH, N.; FLOWERS, T. J.; RAGAB R. Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production. *Agricultural Water Management*, v. 78, p. 25-38, 2005.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2ª ed., Piracicaba: POTAFOS, 1997. p.319.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2ª Ed., London: Academic

Press, 1995. p. 674.

MELO, F. B.; CARDOSO, M. J.; SALVIANO, A. A. C. Fertilidade do solo e adubação. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. Feijão caupi: avanços tecnológicos. Brasília: EMBRAPA, 2005. cap. 6, p 231 – 242.

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

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

MURILLO-AMADOR, B.; DIÉGUEZ, E. T., HERNÁNDEZ, J. L. G., AGUILAR, R. L, SERRANO, N. Y. A., SALGADO, S. Z., PUENTE, E. O. R., KAYA, C. Effect of NaCl salinity in the genotypic variation of cowpea (*Vigna unguiculata*) during early vegetative growth. *Environmental and Experimental Botany*, v.58, p. 423-431, 2006.

MURTAZA, G.; GHAFOR, A.; QADIR, M. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton–wheat rotation. *Agricultural Water Management*, v.81, p. 98–114, 2006.

NAVARRO, J. M.; BOTELLA, M. A.; CERDÁ, A.; MARTINEZ, V. Phosphorus uptake and translocation in salt-stressed melon plants. *Journal Plant Physiology*, 158, p. 375-381, 2001.

NIELSEN, C. L.; HALL, A. E. Responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in the field to high night air temperature during flowering. II. Plant responses. *Fields Crops Research*, v.10, p. 181-196, 1984.

OLIVEIRA, I. P.; DANTAS, J. P. Sintomas de deficiências nutricionais e recomendações de adubação para o caupi. EMBRAPA-CNPAF, 1984. 23p.

OSTER, J. D.; HOFFMAN, G. J.; ROBINSON, F. E. Management alternatives: crops, water, and soil. *California Agriculture*, v.36, p. 29-32, 1984.

PLAUT, Z.; GRIEVE, C. M. ; MAAS, E. V. Salinity effects on CO₂ assimilation and diffusive conductance of cowpea leaves. *Physiologia-Plantarum*, v.79, p. 31-38, 1990.

PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F.; SOUSA NETO, E. R.; GHEYI, H. R.; MATOS, J. A. Viabilidade da irrigação do meloeiro com águas salinas em diferentes fases fenológicas. *Ciência Rural*, v.36, n. 2, p. 453-459, 2006.

PRATA, E. B. Acumulação de Biomassa e Absorção de Nutrientes por Híbridos de Meloeiro (*Cucumis melo* L.). 1999. 61 f. Dissertação (Mestrado em

Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.

PRAXEDES, S. C. Alterações fisiológicas e bioquímicas em dois cultivares de feijão-de-corda com tolerância diferencial à salinidade. 2008. 153f. Tese (Doutorado em fitotecnia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

PRISCO, J. T. Contribuição ao estudo da fisiologia do estresse salino durante a germinação e estabelecimento da plântula de uma glicófita [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. 1987. 65 f.. Tese (Professor Titular de Fisiologia Vegetal) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1987.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB, (Estudos FAO. Irrigação e drenagem, 48). 2000. 117p.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Análises Estatísticas no SAEG. Viçosa: Editora UFV, 2001. 301p.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington D. C.: U. S. Salinity Laboratory. 1954. 160p.

ROBERTS, J. K. M.; LINKER, C. S.; BENOIT, A. G.; JARDETZKY, O.; NIEMAN, R. H. Salt stimulation of phosphate uptake in maize root tips studies by ^{31}P nuclear magnetic resonance. *Plant Physiology*, v.75, p. 947-950, 1984.

RUMJANEK, N. G.; MARTINS, L. M. V.; XAVIER, G. R.; NEVES, M. C. P.; FREIRE, E. A.; CAJAZEIRAS, J. B.; ANDRADE NETO, M.; GRANJEIRO, M. B.; CAVADA, B. S. Composição química da semente. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. Feijão caupi: avanços tecnológicos. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005. Cap. 8. p. 339-365.

SANTOS, R. V.; HERNANDEZ, F. F. F. Recuperação de solos afetados por sais. In: SIMPÓSIO MANEJO E CONTROLE DA SALINIDADE NA AGRICULTURA IRRIGADA. Paraíba. **Anais...** Paraíba: UFPB, 1997. p. 363-383.

SHALHEVET, J; MORRIS, G. H.; SCROEDER, B. P. Root and shoot growth response to salinity in maize and soybean. *Agronomy Journal*, v.87, p. 512–516, 1995.

SHANNON, M. C., GRIEVE, C. M., FRANCOIS, L. E. Whole-plant response to salinity. In: WILKINSON, R. E. *Plant-environmental interactions*. New York, Marcel-Decker, 1994. p. 199-244.

SHANNON, M. C.; GRIEVE, C. M. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, v. 78, p. 5–38, 1999.

SHARMA, D. P.; RAO, K. V. G. K. Strategy for long term use of saline drainage water for irrigation in semi-arid regions. *Soil & Tillage Research*, v.48, p.287-295, 1998.

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

SILVA, J. V.; LACERDA, C. F.; COSTA, P. H.; ENÉAS FILHO, J.; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J. T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl_2 . *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 15, p. 99–105, 2003.

SILVEIRA, J. A. G.; MELO, A. R. B.; VIÉGAS, R. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Salinity-induced effects on nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants. *Environmental and Experimental Botany*, v. 46, p. 171-179, 2001.

SOUSA, C. H. C. Análise da tolerância à salinidade em plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão. 2007. 73 f. Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

SOUSA, M. F.; CAMPOS, F. A. P.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; GOMES-FILHO, E. Growth and protein pattern in cowpea seedlings subjected to salinity. *Biologia Plantarum*, v. 47, n. 3, p. 341-346, 2003.

SOUSA, R. A. Efeitos da salinidade e da composição iônica da água de irrigação sobre o desenvolvimento de plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba. 2006. 87 f. Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

SOUSA, R. A.; LACERDA, C. F.; FILHO, J. A.; HERNANDEZ, F. F. F. Crescimento e nutrição mineral do feijão-de-corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 2, n.1 p. 75-82, 2007.

SOUZA, M. S. M.; BEZERRA, F. M. L.; TEÓFILO, E. M. Coeficientes de cultura do feijão caupi na região litorânea do Ceará. *Irriga*, v.10, n.3, p.241-248, 2005.

SUDÉRIO, F. B. Efeito do NaCl na atividade galactosidásica de caules de plântulas de feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L) Walp] cv. Pitiúba. 2001. 66 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica), Universidade Federal do Ceará, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology*. 3^a ed. Massachusetts: Sinauer Associates. 2002, 690p.

TRINDADE, A. R.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.4, p.804-810, 2006.

VASCONCELOS, I.; MENDES FILHO, P. F.; ALMEIDA, R. T. Nodulação e desenvolvimento do feijão-de-corda, *Vigna unguiculata* (L) Walp., em solos com diferentes níveis de salinidade. *Ciência Agronômica*, v.18, p. 125-130, 1987.

VIEIRA, M. R. Produtividade, composição químico-bromatológica e nutrição mineral de plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas. 2006. 97 f. Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

WILSON, C., LIU, S., LESCH, S. M., SUAREZ, D. L. Growth response of major USA cowpea cultivars. *Plant Science*, v.170, p.1095-1101, 2006b.

WILSON, C.; LIU, X.; LESCH, S.M.; SUAREZ, L. Growth response of major USA cowpea cultivars: Biomass accumulation and salt tolerance. *Hort Science*, v.41, p. 225–230, 2006a.

YEO, A. R. Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants. *Science Horticulturae*, v.78, p. 159-174, 1999.

ZENG, L., SHANNON, M. C., LESCH, S. M. Timing of salinity stress affects rice growth and yield components. *Agriculture Water Management*, v.48, p. 191-206, 2001.

APÊNDICE

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SOLO REALIZADAS EM DIFERENTES ÉPOCAS DURANTE O ESTUDO

QUADRO 1 - Resultados das análises de solo realizadas em diferentes camadas de solo antes do cultivo do feijão-de-corda (setembro de 2006)

| Característica | Camadas do Solo (m) | | |
|--|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 0 a 0,30 | 0,30 a 0,60 | 0,60 a 0,90 |
| Classe Textural | Franco arenosa | Franco argilo arenosa | Franco argilo arenosa |
| Dens. Solo (kg dm^{-3}) | 1,39 | 1,46 | 1,41 |
| Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 1,23 | 1,28 | 1,58 |
| Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 1,03 | 1,18 | 1,35 |
| K^+ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,12 | 0,16 | 0,10 |
| Na^+ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,17 | 0,42 | 0,66 |
| $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 3,01 | 3,38 | 2,60 |
| Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,26 | 0,66 | 0,34 |
| S ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 2,5 | 3,0 | 3,7 |
| T ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 5,6 | 6,4 | 6,3 |
| V (%) | 46 | 47 | 58 |
| m (%) | 9 | 18 | 8 |
| PST (%) | 2,8 | 6,5 | 10 |
| pH em água (1:2,5) | 5,3 | 5,0 | 5,2 |
| $\text{CE}_{1:1}$ (dS m^{-1}) | 0,30 | 0,37 | 0,71 |

QUADRO 2 - Resultados das análises de solo realizadas em diferentes camadas de solo após o cultivo do feijão-de-corda (dezembro de 2006) e após o período chuvoso subsequente (abril de 2007), nas parcelas referentes ao tratamento T1

| Característica | Após o Cultivo | | | Após a Estação Chuvosa | | |
|---|----------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|
| | 0-0,3 m | 0,3-0,6 m | 0,6-0,9 m | 0-0,3 m | 0,3-0,6 m | 0,6-0,9 m |
| Dens. Solo (kg dm^{-3}) | 1,72 | 1,40 | 1,21 | | | |
| Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 0,90 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 0,90 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | 0,80 |
| K^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 0,12 | 0,10 | 0,07 | 0,09 | 0,12 | 0,07 |
| Na^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 0,52 | 0,64 | 0,50 | 0,18 | 0,35 | 0,39 |
| $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 0,99 | 1,32 | 1,15 | 1,65 | 1,81 | 1,48 |
| Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 0,30 | 0,35 | 0,25 | 0,10 | 0,15 | 0,15 |
| S ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 2,4 | 2,7 | 2,6 | 2,3 | 2,3 | 2,3 |
| T ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 3,4 | 4,0 | 3,8 | 3,9 | 4,1 | 3,7 |
| V (%) | 71 | 68 | 68 | 58 | 56 | 60 |
| m (%) | 11 | 11 | 9 | 4 | 6 | 6 |
| PST (%) | 15 | 16 | 13 | 5 | 9 | 10 |
| pH em água (1:2,5) | 5,7 | 4,7 | 5,1 | 6,2 | 5,2 | 5,3 |
| $\text{CE}_{1:1}$ (dS m^{-1}) | 0,43 | 0,58 | 0,30 | 0,17 | 0,16 | 0,24 |

QUADRO 3 - Resultados das análises de solo realizadas em diferentes camadas de solo após o cultivo do feijão-de-corda (dezembro de 2006) e após o período chuvoso subsequente (abril de 2007), nas parcelas referentes ao tratamento T2

| Característica | Após o Cultivo | | | Após a Estação Chuvosa | | |
|--|----------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|
| | 0-0,3 m | 0,3-0,6 | 0,6-0,9 | 0-0,3 m | 0,3-0,6 | 0,6-0,9 |
| | | m | m | | m | m |
| Dens. Solo (kg dm^{-3}) | 1,52 | 1,47 | 1,43 | 1,56 | 1,52 | 1,41 |
| Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,00 | 0,80 | 1,20 |
| Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,80 | 1,00 | 1,40 | 0,80 | 0,80 | 1,20 |
| K^+ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,05 |
| Na^+ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,85 | 1,31 | 1,10 | 0,18 | 0,38 | 0,36 |
| $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 1,48 | 1,98 | 1,65 | 0,49 | 1,48 | 1,32 |
| Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,35 | 0,40 | 0,30 | 0,10 | 0,20 | 0,15 |
| S ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 2,6 | 3,4 | 3,8 | 2,1 | 2,1 | 2,8 |
| T ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 4,0 | 5,4 | 5,4 | 2,6 | 3,5 | 4,1 |
| V (%) | 65 | 63 | 70 | 81 | 58 | 68 |
| m (%) | 11 | 11 | 7 | 4 | 9 | 5 |
| PST (%) | 21 | 24 | 20 | 7 | 11 | 9 |
| pH em água (1:2,5) | 5,1 | 4,8 | 5,0 | 6,2 | 5,3 | 5,4 |
| $\text{CE}_{1:1}$ (dS m^{-1}) | 1,15 | 1,39 | 1,15 | 0,16 | 0,17 | 0,28 |

QUADRO 4 - Resultados das análises de solo realizadas em diferentes camadas de solo após o cultivo do feijão-de-corda (dezembro de 2006) e após o período chuvoso subsequente (abril de 2007), nas parcelas referentes ao tratamento T3

| Característica | Após o Cultivo | | | Após a Estação Chuvosa | | |
|---|----------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|
| | 0-0,3 m | 0,3-0,6 | 0,6-0,9 | 0-0,3 m | 0,3-0,6 | 0,6-0,9 |
| | | m | m | | m | m |
| Dens. Solo (kg dm^{-3}) | 1,42 | 1,38 | 1,37 | 1,56 | 1,72 | 1,45 |
| Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 1,00 | 1,00 | 1,30 | 0,80 | 0,80 | 0,90 |
| Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 0,90 | 1,00 | 1,20 | 0,70 | 0,90 | 0,80 |
| K^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 0,12 | 0,13 | 0,08 | 0,13 | 0,09 | 0,08 |
| Na^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 0,58 | 0,82 | 0,84 | 0,20 | 0,28 | 0,33 |
| $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 1,65 | 2,64 | 2,31 | 1,15 | 1,98 | 1,48 |
| Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 0,30 | 0,60 | 0,65 | 0,10 | 0,15 | 0,20 |
| S ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 2,6 | 2,9 | 3,4 | 1,8 | 2,1 | 2,1 |
| T ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 4,3 | 5,5 | 5,7 | 2,9 | 4,0 | 3,6 |
| V (%) | 60 | 53 | 60 | 61 | 51 | 59 |
| m (%) | 10 | 17 | 16 | 5 | 7 | 9 |
| PST (%) | 13 | 15 | 15 | 7 | 7 | 9 |
| pH em água (1:2,5) | 5,7 | 4,5 | 4,8 | 6,2 | 5,2 | 5,4 |
| $\text{CE}_{1:1}$ (dS m^{-1}) | 0,57 | 0,99 | 0,94 | 0,16 | 0,13 | 0,15 |

QUADRO 5 - Resultados das análises de solo realizadas em diferentes camadas de solo após o cultivo do feijão-de-corda (dezembro de 2006) e após o período chuvoso subsequente (abril de 2007), nas parcelas referentes ao tratamento T4

| Característica | Após o Cultivo | | | Após a Estação Chuvosa | | |
|--|----------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|
| | 0-0,3 m | 0,3-0,6 | 0,6-0,9 | 0-0,3 m | 0,3-0,6 | 0,6-0,9 |
| | | m | m | | m | m |
| Dens. Solo (kg dm^{-3}) | 1,41 | 1,71 | 1,37 | 1,78 | 1,51 | 1,43 |
| Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 1,00 | 1,30 | 1,60 | 1,50 | 1,30 | 1,40 |
| Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,40 | 1,10 | 0,60 |
| K^+ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,11 | 0,08 | 0,08 | 0,14 | 0,10 | 0,08 |
| Na^+ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,58 | 0,86 | 0,78 | 0,14 | 0,33 | 0,29 |
| $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,82 | 1,65 | 1,32 | 0,66 | 1,32 | 1,15 |
| Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,15 | 0,30 | 0,35 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| S ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 2,9 | 3,4 | 3,6 | 3,2 | 2,8 | 2,4 |
| T ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 3,7 | 5,0 | 4,9 | 3,8 | 4,1 | 3,5 |
| V (%) | 78 | 68 | 73 | 83 | 68 | 67 |
| m (%) | 5 | 8 | 9 | 1 | 2 | 2 |
| PST (%) | 16 | 17 | 16 | 3 | 8 | 8 |
| pH em água (1:2,5) | 6,0 | 4,7 | 5,0 | 6,4 | 5,5 | 5,5 |
| $\text{CE}_{1:1}$ (dS m^{-1}) | 0,66 | 1,17 | 0,74 | 0,19 | 0,15 | 0,17 |

QUADRO 6 - Resultados das análises de solo realizadas em diferentes camadas de solo após o cultivo do feijão-de-corda (dezembro de 2006) e após o período chuvoso subsequente (abril de 2007), nas parcelas referentes ao tratamento T5

| Característica | Após o Cultivo | | | Após a Estação Chuvosa | | |
|--|----------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|
| | 0-0,3 m | 0,3-0,6 | 0,6-0,9 | 0-0,3 m | 0,3-0,6 | 0,6-0,9 |
| | | m | m | | m | m |
| Dens. Solo (kg dm^{-3}) | 1,42 | 1,38 | 1,37 | 1,56 | 1,50 | 1,43 |
| Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,80 | 0,90 | 1,30 | 1,10 | 0,70 | 1,40 |
| Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,90 | 1,10 | 1,30 | 0,70 | 0,90 | 0,80 |
| K^+ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,12 | 0,09 | 0,06 | 0,09 | 0,08 | 0,05 |
| Na^+ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,76 | 0,61 | 0,52 | 0,17 | 0,26 | 0,34 |
| $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 1,65 | 1,98 | 1,81 | 0,82 | 1,32 | 1,15 |
| Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 0,55 | 0,65 | 0,60 | 0,10 | 0,20 | 0,10 |
| S ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 2,6 | 2,7 | 3,2 | 2,1 | 1,9 | 2,6 |
| T ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 4,3 | 4,7 | 5,0 | 2,9 | 3,2 | 3,7 |
| V (%) | 60 | 57 | 64 | 71 | 59 | 69 |
| m (%) | 17 | 19 | 16 | 5 | 9 | 4 |
| PST (%) | 18 | 13 | 10 | 6 | 8 | 9 |
| pH em água (1:2,5) | 4,8 | 4,5 | 4,9 | 6,2 | 5,2 | 5,3 |
| $\text{CE}_{1:1}$ (dS m^{-1}) | 0,91 | 0,72 | 0,42 | 0,10 | 0,11 | 0,17 |