

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

CARLOS HENRIQUE CARVALHO DE SOUSA

**ANÁLISE DA TOLERÂNCIA À SALINIDADE EM PLANTAS DE SORGO, FEIJÃO-
DE-CORDA E ALGODÃO**

FORTALEZA - CEARÁ

2007

CARLOS HENRIQUE CARVALHO DE SOUSA

**ANÁLISE DA TOLERÂNCIA À SALINIDADE EM PLANTAS DE SORGO, FEIJÃO-
DE-CORDA E ALGODÃO**

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

Orientador: Prof. Claudivan Feitosa de Lacerda, Dr. – UFC

FORTALEZA - CEARÁ

2007

CARLOS HENRIQUE CARVALHO DE SOUSA

**ANÁLISE DA TOLERÂNCIA À SALINIDADE EM PLANTAS DE SORGO, FEIJÃO-
DE-CORDA E ALGODÃO**

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

APROVADA EM: ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Claudivan Feitosa de Lacerda, Dr. – UFC
(Orientador)

Prof. Hans Raj Gheyi, Dr. – UFCG
(Conselheiro)

Prof. Francisco Marcus Lima Bezerra, Dr. – UFC
(Conselheiro)

Prof. Enéas Gomes Filho, Dr. – UFC
(Conselheiro)

A mente humana é como um grande teatro. Seu lugar não é na platéia, mas no palco, brilhando na sua inteligência, alegrando-se com suas vitórias, aprendendo com suas derrotas e treinando a cada dia para ser... o autor da sua história, o líder de si mesmo.

Augusto Cury

De maneira muito especial aos meus pais José Gerardo e Antonia Carvalho, que ao longo de minha vida, com muito amor e dedicação são meu principal estímulo para a realização de tudo que faço;

Aos meus irmãos Fábio, Fabíola, Júnior e Ronaldo pelo apoio e incentivo a mim oferecidos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a **DEUS** por me conceder a vida e a sabedoria para bem administrá-la;

Aos meus pais e meus irmãos pelo amor incondicional, companheirismo e confiança a mim dedicados e por todos os momentos alegres proporcionados. E aos demais familiares pelo incentivo;

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

Ao Instituto Centec, de maneira especial à Unidade de Sobral, hoje Faculdade Tecnológica – Centec, pelo incentivo dado quando da vinda ao mestrado;

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP, pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Professor e Amigo, Claudivan Feitosa de Lacerda, pela confiança depositada e pela orientação e apoio neste trabalho e no decorrer do curso;

Ao Professor Francisco Marcus Lima Bezerra, pela amizade e pela grande contribuição dada neste trabalho e no decorrer do curso;

Ao Professor Enéas Gomes Filho, por ter fornecido toda estrutura da casa de vegetação e do laboratório de fisiologia vegetal para a realização do experimento e das análises e pelas valiosas sugestões fornecidas ao trabalho;

Ao Professor Hans Raj Gheyi, pela participação na banca examinadora e pelas sugestões apresentadas para o enriquecimento do trabalho;

Aos Professores do Curso de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, Adunias dos Santos Teixeira, Benito Moreira de Azevedo, Claudivan Feitosa de Lacerda, Eunice Maia Andrade, Francisco Marcus Lima Bezerra, Raimundo Nonato Távora Costa, Renato Silva Ribeiro, Silvia Freitas e Thales Vinícius de Araújo Viana, pela amizade e os ensinamentos transmitidos;

Aos colegas e amigos do mestrado: Abelardo Amaral, Alexandre Maia, Anna Karine, Antônio Evami, Antonia Leila, Danieli Araújo, Denise Vasconcelos, Deodato, Eliana Lee, Esaú Ribeiro, Fernando Bezerra, Francisco Sildemberny, Jefferson Nobre, José Aglodoaldo, José Itamar, José Otacílio, Levi, Luiz Carlos Guerreiro, Maria do Socorro, Marcos Meireles, Marcos Mesquita, Mauro Regis, Moacir Rabelo, Paulo Cairo, Robson Alexsandro, Thales Gomes e aos alunos de graduação Francisco Lobato, José Frédson e Joseilson de Oliveira pelo convívio durante o curso;

Ao amigo Antonio Evami pelo companheirismo e amizade, bem como pelo apoio nos momentos de dificuldade e de execução do trabalho;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará: Dr. Almiro Tavares, Antônia Farias, Aurilene, Gláucia, Ivan Martins, Maurício Rodrigues, Josenias de Oliveira, Luiza Marillac, Maria Fátima Santos, Maria das Graças, Willa de Sousa e Ana Maria (Aninha);

Aos bolsistas do Laboratório de Fisiologia Vegetal, em especial a Raquel, pela ajuda na realização das análises;

A Carmélia Santos e Virgínia Menezes pela amizade e acolhida;

A minha garotinha Denise de Castro Feijó, companheira e amiga, pela compreensão, respeito, incentivo e dedicação a mim dispensada durante esses meses;

E, finalmente, a todas as pessoas que, das mais variadas formas, deram sua parcela de contribuição e apoio para que este trabalho fosse realizado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1.INTRODUÇÃO.....	15
2.REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Aspectos gerais das espécies estudadas	17
2.1.1 Sorgo	17
2.1.2 Feijão-de-corda.....	18
2.1.3 Algodão.....	20
2.2 Problemas de salinidade na agricultura.....	21
2.2.1 Na água.....	22
2.2.2 No solo	23
2.2.3 Na planta	24
2.3 Balanço hídrico com ênfase nas necessidades das culturas	25
3.MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Material vegetal e local do experimento	26
3.2 Tratamentos e delineamento experimental	26
3.3 Condução do experimento.....	27
3.4 Análise de crescimento e parâmetros morfofisiológicos	30
3.5 Determinação dos solutos inorgânicos.....	30
3.6 Determinação de prolina	31
3.7 Estimativa do balanço hídrico	32
3.10 Análise estatística.....	32

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Característica química da água drenada e do substrato utilizado	33
4.2 Características de crescimento	34
4.2.1 Altura das plantas	36
4.2.2 Produção de biomassa.....	38
4.2.3 Partição de matéria seca.....	41
4.3 Características morfofisiológicas das folhas	42
4.4 Balanço hídrico.....	45
4.5 Acúmulo de solutos inorgânicos.....	47
4.5.1 Sódio e cloreto	49
4.5.2 Potássio	54
4.5.3 Cálcio	56
4.6 Distribuição relativa de íons na planta.....	58
4.7 Acúmulo de prolina	60
5.CONCLUSÕES	62
6.LITERATURA CITADA	63

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Disposição dos vasos na bancada central da casa de vegetação.....	28
FIGURA 2 – Vista dos recipientes para as coletas de água drenada.....	29
FIGURA 3 – Evolução do crescimento do sorgo feijão-de-corda e algodão nos diferentes períodos de realização das medições	37
FIGURA 4 – Suculência foliar (A) e massa específica foliar (B) em plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação	44
FIGURA 5 – Evapotranspiração média diária em plantas de sorgo feijão-de-corda e algodão submetidas a três níveis de salinidade de água nos diferentes períodos de realização do balanço hídrico.	46
FIGURA 6 – Teor de sódio na raiz (A), caule (B) e folha (C) em sorgo, feijão-de-corda e algodão, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação	50
FIGURA 7 – Teor de Cloreto na raiz (A), caule (B) e folha (C) em sorgo, feijão-de-corda e algodão, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação	52
FIGURA 8 – Teor de potássio na raiz (A), caule (B) e folha (C) em sorgo, feijão-de-corda e algodão, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação	55
FIGURA 9 – Teor de cálcio na raiz (A), caule (B) e folha (C) em sorgo, feijão-de-corda e algodão, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação	57
FIGURA 10 – Partição percentual de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Cl^- nas raízes, caule e folhas de plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão espécies irrigadas com crescentes níveis de salinidade de água.	59
FIGURA 11 – Teor de prolina em folhas de sorgo, feijão-de-corda e algodão, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Tratamentos utilizados no experimento.	27
TABELA 2 - Características físicas e químicas do substrato utilizado no experimento	28
TABELA 3 - Composição da solução nutritiva utilizada no experimento.....	29
TABELA 4 – Características químicas da água drenada e condutividade elétrica do substrato dos tratamentos coletados ao final do experimento.....	33
TABELA 5 – Resumo da análise de variância das variáveis relacionadas ao crescimento das três espécies estudadas, avaliados no final do experimento, segundo as fontes de variação..	35
TABELA 6 – Produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e matéria seca total em plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão, irrigadas com diferentes níveis de água salina..	39
TABELA 7 – Relação raiz /parte aérea no final do experimento, em função das espécies e dos níveis de sais.....	41
TABELA 8 – Partição percentual de matéria seca em sorgo, feijão-de-corda e algodão submetidos a três níveis de salinidade da água de irrigação.	42
TABELA 9 – Área foliar total no final do experimento (cm ²), de plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão submetidos a três níveis de salinidade da água de irrigação.....	43
TABELA 10 – Valores dos quadrados médios e da significância estatística para suculência foliar (SUC) e massa específica foliar (MEF-) para sorgo, feijão-de-corda e algodão irrigados com diferentes níveis de água salina.	44
TABELA 11 – Valores totais dos componentes do balanço hídrico das plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão submetidos a três níveis de salinidade de água..	45

TABELA 12 – Valores dos quadrados médios e da significância estatística para as variáveis sódio (Na ⁺), potássio (K ⁺), cálcio (Ca ²⁺) e cloreto (Cl ⁻) na raiz, no caule e na folha em plantas do, feijão-de-corda e algodão irrigadas com diferentes níveis de água salina.	48
TABELA 13 – Quantidades de Sódio e Cloreto extraídas por plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão, irrigadas com diferentes níveis de água salina	53
TABELA 14 – Valores dos quadrados médios e da significância estatística para prolina em sorgo, feijão-de-corda e algodão irrigadas com diferentes níveis de água salina	60

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores e distribuição de íons e alguns parâmetros morfofisiológicos associados com a tolerância à salinidade em plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão. As plantas foram cultivadas em vasos contendo 15 kg de areia lavada, em condições de casa-de-vegetação, e irrigadas com águas com três níveis de salinidade (0,5, 4,0 e 8,0 dS m⁻¹). O experimento foi montado seguindo um delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 3 x 3 (3 espécies x 3 níveis de salinidade), com quatro repetições. Durante a condução do experimento foram mensuradas a altura da planta e o consumo de água. Após 42 dias do início dos tratamentos foram medidas o acúmulo de sais na água drenada e no solo, a área foliar e a produção de matéria seca de folhas, caules e raízes. Foram também determinados: a suculência foliar, a massa específica foliar, a partição de carbono e os teores de Na⁺, Cl⁻, K⁺, Ca²⁺ e prolina. A aplicação de água salina afetou a partição de carbono, reduziu o crescimento e o consumo de água pelas plantas, e provocou acúmulo de sais na água drenada e no solo. No entanto, as percentagens de extração de sais foram baixas nas três espécies, sendo maior em algodoeiro e menor em sorgo. A tolerância à salinidade foi avaliada através dos dados de crescimento, os quais confirmaram a maior sensibilidade do feijão-de-corda e a maior tolerância do algodão. O algodão se diferenciou das duas outras espécies por apresentar maior acúmulo e retenção de Na⁺ e Cl⁻ nas raízes, maior acúmulo desses íons nos limbos foliares, menores alterações nos teores de K⁺ e aumento nos teores de prolina em resposta ao aumento da salinidade. O sorgo apresentou menores teores de íons potencialmente tóxicos (Na⁺ + Cl⁻) nos limbos foliares, porém, apresentou reduções nos teores de K⁺ e Ca²⁺ na parte aérea. O elevado acúmulo de Cl⁻ nas folhas, associado à falta de outros mecanismos eficientes de proteção, contribuiu, pelo menos em parte, para a maior sensibilidade do feijão-de-corda ao estresse salino.

Palavras-chave: tolerância à salinidade, água salina, *Vigna unguiculata*, *Sorghum bicolor*, *Gossypium hirsutum*

ABSTRACT

The objective of this paper was to evaluate ions concentration and some morpho-physiological parameters associates to the salt tolerance in sorghum, cowpea, and cotton plants. Plants were cultivated in plastic pots, using 15 kg of sand soil at greenhouse conditions and subjected to three different salt concentrations (0.5; 4.0; and 8.0 dS.m⁻¹) in irrigation water. A completely randomized design, in a factorial arrangement 3 x 3 (3 species x 3 salt levels), with four replicates was adopted. During the experimental period, plant height and water use was measured. After 42 days of salt application they were measured the salinity of drained water and in the soil, total leaf area and dry masses of leaves, stems and roots. Leaf succulence, specific leaf mass, carbon partitioning and the concentrations of Na, Cl, K, Ca, and proline were also determined. The application of saline water affected the carbon partitioning, reduced plant growth and water use, and caused salt accumulation in drained water and into the soil. However, the percentage of ion extraction from the soil was low in the three species, being higher in cotton and lower in sorghum. The tolerance index, on the basis of the growth data, confirmed the highest sensibility of the cowpea and the highest tolerance of the cotton. The cotton showed some important difference to the other species, presenting greater accumulation and retention of Na and Cl in the roots, greater accumulation of these ions in the leaf blades, lower changes in K concentration and increase in proline contents in response to sat stress application. On the other hand, sorghum showed lower concentrations of potentially toxic ions (Na plus Cl) in the leaf blades. However, it also presented reductions in K and Ca contents, what can contribute to growth inhibition in this species. The high leaf Cl concentration, associated with the absence of the other protection mechanisms, contributed, at least in part, to higher sensibility of the cowpea to salt stress imposed.

Word-key: salt tolerance, saline water, *Vigna unguiculata*, *Sorghum bicolor*, *Gossypium hirsutum*

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). Atualmente, a agricultura irrigada não só aumenta a produtividade das culturas, como também permite a substituição de culturas de sequeiro por outras de maior valor comercial. Além disso, participa no fortalecimento de outros aspectos da economia através de práticas de cultivos diversificadas, da estimulação da agroindústria e da exportação de produtos (SOUZA, 2000).

A irrigação, entretanto, não está isenta de problemas. As regiões semi-áridas são consideradas áreas potenciais para exploração da agricultura irrigada. Contudo, suas fontes hídricas possuem, normalmente, elevados teores de sais, de modo que a irrigação com esses tipos de água incorporam quantidades significativas desses sais ao solo (RHOADES et al., 2000). A utilização dessas fontes de águas salinas pode, dependendo de sua constituição, alterar de forma negativa as propriedades físicas e químicas do solo e, dependendo da sua forma de aplicação, pode provocar graus variados de estresse aos vegetais. Estas respostas dependem da espécie vegetal, podendo-se encontrar diferenças, também, entre genótipos da mesma espécie (LACERDA, 2000). O uso de águas salinas na irrigação para produção vegetal é um desafio que vem sendo superado com sucesso em diversas partes do mundo, graças à utilização de espécies tolerantes e à adoção de práticas adequadas de manejo da cultura, do solo e da água de irrigação (SIQUEIRA, 2003).

Os efeitos da salinidade sobre o desenvolvimento das plantas dependem de fatores tais como, natureza e quantidade de sais solúveis, espécie, cultivar e sua tolerância à salinidade, estádios de desenvolvimento fenológico, estado nutricional, taxa de evapotranspiração, além do manejo da irrigação (YEO, 1999; SILVA, 2003). Para muitas glicófitas, diferenças na tolerância entre variedades e linhagens têm sido correlacionadas com reduzida absorção e acúmulo de Na^+ e de Cl^- , manutenção dos níveis de K^+ e Ca^{2+} e acúmulo de solutos orgânicos (prolina, glicinabetaína, açúcares solúveis, aminoácidos, ácidos orgânicos, etc.) nas folhas. Não se pode deixar de mencionar, também, a possibilidade de parte dos sais serem compartimentalizados nos vacúolos, enquanto o balanço osmótico na célula seria mantido pelo acúmulo de solutos orgânicos no citoplasma. Evidentemente, uma ou mais das características mencionadas anteriormente podem ser utilizadas como critérios de

seleção em programas de melhoramento visando o aumento da tolerância ao excesso de sais (NOBLE & ROGERS, 1992; SERRANO & GAXIOLA, 1994).

Entre as espécies vegetais, existe uma grande variabilidade na capacidade de absorção de sais do solo, sendo que muitas halófitas (plantas nativas de ambientes salinos) são capazes de extrair maiores proporções de sais do solo do que a maioria das plantas cultivadas (LARCHER, 2000). De modo geral, as plantas cultivadas são consideradas sensíveis ao excesso de sais, porém é possível encontrar diferenças no grau de tolerância, as quais podem estar associadas às capacidades de extração de água e de sais do solo quando cultivadas em meios salinos. Desse modo, a identificação de espécies que apresentem maior extração de sais do solo pode ser um fator importante, contribuindo para o manejo do sistema solo-planta em ambientes salinos e, conseqüentemente, para a convivência com o problema da salinidade.

Dentre as espécies cultivadas de importância para o semi-árido brasileiro, podemos destacar o algodão, o sorgo e o feijão-de-corda, as quais apresentam boas estabilidades de produção em relação ao fator água quando comparadas com outras espécies cultivadas. Essas espécies também apresentam graus diferentes de tolerância à salinidade da água de irrigação e do solo. O algodão e o feijão-de-corda são considerados respectivamente, o mais tolerante e o mais sensível à salinidade, com o sorgo apresentando tolerância intermediária (AYERS & WESTCOT, 1999). Embora se conheça os diferentes graus de tolerância dessas espécies ao estresse salino, não existem estudos comparativos que visem identificar as características morfológicas e fisiológicas responsáveis por essas diferenças na resposta a esse fator de estresse. Essas informações podem contribuir para a identificação de mecanismos relevantes da tolerância à salinidade e podem ser úteis no manejo do sistema solo-planta sob irrigação com águas salinas.

A partir do exposto acima, buscou-se avaliar a extração de íons e características morfofisiológicas das folhas (acúmulo de prolina, suculência e massa específica) das plantas de algodão, feijão-de-corda e sorgo, irrigadas com águas com crescentes níveis de sais, buscando-se correlacionar esses resultados com o balanço hídrico e com diversos índices de tolerância dessas espécies (parâmetros de crescimento).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais das espécies estudadas

2.1.1. Sorgo

O sorgo é uma espécie da família das gramíneas que apresenta grande número de genótipos distribuídos nos grupos granífero, sacarino, forrageiro e vassoura, todos classificados como *Sorghum bicolor* L. Moench (VIEIRA, 2006). Originário da África, mais precisamente da Etiópia, o sorgo por ordem de importância, é o quinto cereal mais produzido no mundo depois do trigo, do arroz, do milho e da cevada (FAO, 1995) sendo um dos principais alimentos para milhões de habitantes das regiões semi-áridas da África, da Ásia e do Oriente Médio. Na América Latina a cultura assumiu importância econômica após 1950. Segundo Lira (1981), o sorgo chegou ao Brasil no século XVIII, com os escravos, embora se tenha tornado cultura comercial apenas a partir de 1980.

Atualmente, o Brasil possui uma área plantada de 813.571 ha de sorgo granífero e 268.729 ha de sorgo forrageiro, sendo o Centro-oeste e o Sudeste as regiões de maior área plantada, respectivamente. A região Nordeste, no ano de 2005, apresentou uma área plantada de 36.933 ha com sorgo granífero e 6.278 ha com sorgo forrageiro, correspondendo a 4,35% e 2,24%, respectivamente, da área plantada com sorgo no Brasil (VIEIRA, 2006). No Ceará, na safra de 2003/2004, a área plantada com sorgo forrageiro foi de 9.194 ha, com uma produção média de 22.065 toneladas, enquanto que a área plantada com sorgo granífero foi 414 ha, com uma produção de 111 toneladas (GRUPO PRO-SORGO, 2005).

O consumo de água do sorgo durante seu ciclo varia de 380 mm a 600 mm dependendo das condições climáticas dominantes, sendo que o consumo de água varia com o estágio de crescimento e desenvolvimento da cultura. Vale ressaltar a importância da água, pois o déficit hídrico tem influência direta na taxa fotossintética que está associada diretamente com a produção de grãos e sua importância varia com o estágio fenológico em que se encontra a planta (EMBRAPA, 2000).

Segundo Winsconsin Corn Agronomy (2001) citado por Aquino (2005), o sorgo para alcançar altas produtividades, requer dias e noites quentes com temperaturas médias acima de 25°C. Por suas características de tolerância aos estresses abióticos, o sorgo é uma espécie cultivada principalmente, em áreas que apresentem um regime hídrico desfavorável, com precipitações variando entre 400 mm a 600 mm por ano, ou menos.

Em relação à salinidade Rhoades et al. (2000), afirmam que o sorgo tem sua salinidade limiar em torno de $6,8 \text{ dS m}^{-1}$ (condutividade elétrica do extrato de saturação do solo) e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ (condutividade elétrica da água de irrigação) com as plantas já estabelecidas. Entretanto, os níveis de salinidade necessários para que ocorra uma redução de 50% tanto na emergência como na produção variam entre 13 e 15 dS m^{-1} . Em experimentos conduzidos em casa de vegetação, Fageria & Gheyi, (1997) citados por Aquino (2005), mostraram que o sorgo, o trigo e o feijão caupi foram mais sensíveis durante o estágio vegetativo e no início da fase reprodutiva, menos sensíveis no estágio de floração e insensíveis no estágio de enchimento de grãos.

Oliveira (2002) estudando o efeito do estresse salino provocado por concentrações iso-osmóticas de NaCl + KCl em diferentes combinações sob o crescimento e o acúmulo de íons na folha de dois genótipos de sorgo forrageiro, um sensível (CSF 18) e outro tolerante (CSF 20), concluiu que a maior sensibilidade de um dos genótipos parecia estar relacionada ao maior acúmulo de íons potencialmente tóxicos, ao menor acúmulo de K^+ e a maior relação Na^+/K^+ nos tecidos foliares. No entanto, o aumento das concentrações de KCl na solução nutritiva resultou na diminuição dos teores de Na^+ e no aumento dos teores de K^+ nas folhas, sem que tenha resultado em maior tolerância ao estresse salino. Nesse sentido, deve-se observar que uma resposta fenotípica de tolerância ou de sensibilidade à salinidade não depende somente da expressão isolada de um mecanismo ou de uma característica genética, agrônômica, bioquímica ou fisiológica, mas da ação e de uma interação de um conjunto de genes que depende dos fatores intrínsecos de cada espécie (YEO, 1999).

2.1.2. Feijão-de-corda

Considerada uma das mais importantes leguminosas de grãos, o feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é uma planta herbácea, anual, pertencente à divisão Magnophyta utilizada na alimentação humana em diversos países em desenvolvimento da África, América Latina e Ásia (CRONQUIST, 1988). Em função disso, o cultivo do feijoeiro é visto como de grande importância na alimentação do brasileiro, apesar de ainda apresentar baixa produtividade no Brasil ($901, 542$ e 803 kg ha^{-1} na primeira, segunda e terceira safra anual, respectivamente), segundo dados da CONAB (2004).

A cultura tem seu significado relevante no contexto sócio-econômico das regiões Norte e Nordeste do Brasil, não só por ser de ampla aceitação popular, especialmente no meio

rural, onde se constitui num componente básico da alimentação, mas também pelo seu alto valor nutritivo (AGUIAR, 1989). O Estado do Ceará é o maior produtor nacional de feijão-de-corda seguido pelo Piauí. Segundo dados da FNP – Consultoria & Comércio (2004) correspondentes às safras 2002/2003 a área plantada no Ceará foi de 618.600 hectares, resultando em uma produção de 211.800 toneladas.

Sendo bem adaptado às condições climáticas brasileiras, especialmente as da região Nordeste, o feijão-de-corda desenvolve-se bem na faixa de temperatura de 20°C a 30°C. Altas temperaturas durante o florescimento podem ser prejudiciais à cultura, além de diminuir a nodulação nas raízes. Por outro lado, temperaturas abaixo de 20°C podem causar a paralisação do desenvolvimento das plantas (MOUSINHO, 2005).

No que diz respeito aos solos, o feijão-de-corda pode ser cultivado em quase todos os tipos, especialmente nos Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Flúvicos. Em relação às características físicas e químicas do solo, como na maioria das culturas, desenvolve-se melhor naqueles ricos em matéria orgânica, com pH próximo de 6,0, textura média, profundos, bem drenados e de média e alta fertilidade (EMBRAPA 2003a).

As exigências hídricas do feijão-de-corda, para obtenção do máximo do rendimento, variam de 300 mm a 400 mm durante o seu ciclo, dependendo das condições edafoclimáticas locais (DOOREMBOS & KASSAM, 2000 citados por MOUSINHO, 2005). Guerra et al. (2000) na região dos cerrados, em Planaltina-DF, obtiveram as mais altas produtividades de feijão-de-corda com a aplicação de 450 mm durante o ciclo da cultura. Aguiar (1989) estudando o consumo de água e a função de produção do feijão-de-corda alcançou maiores produtividades com um valor de lâmina de 361 mm aplicado durante todo o ciclo.

Quanto à tolerância à salinidade, o feijão-de-corda é uma espécie considerada moderadamente sensível (MASS & HOFMAN, 1977). Entretanto, a literatura tem mostrado que essa espécie tolera a água salina com condutividade elétrica de até 3,3 dS m⁻¹ e salinidade do solo de 4,9 dS m⁻¹ (AYERS & WESTCOT, 1999). Portanto, de acordo com esses últimos autores, o feijão-de-corda é classificado como moderadamente tolerante à salinidade, indicando que essa cultura pode se constituir em alternativa para cultivos que usem recursos (água e solos) salinos.

Estudos com cultivares de feijão-de-corda, em condições salinas, têm sido realizados em quase todos os casos, em condições de laboratório ou em cultivos hidropônicos, buscando entender os efeitos da salinidade durante as etapas de germinação, estabelecimento

de plântulas e crescimento vegetativo (PRISCO, 1987; SUDÉRIO, 2001; SILVA et al., 2003). Esses estudos têm contribuído para esclarecer parcialmente os mecanismos fisiológicos de tolerância ao estresse nessa espécie e na identificação de cultivares com tolerância diferenciada à salinidade (COSTA et al., 2003). Alguns resultados recentes obtidos a partir de experimento de campo com feijão-de-corda, verificou-se que o uso de água salinas com CEA de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ reduziu o crescimento vegetativo e a produção de grãos, além de aumentar a salinidade do solo e colocar em risco a sua produtividade (ASSIS JÚNIOR, 2007). Isso demonstra que a utilização de fontes de água salina bem como o reuso de águas de drenagem na irrigação dependem de estratégias de longo prazo que garantam a sustentabilidade sócio-econômica e ambiental dos sistemas agrícolas (SHARMA & RAO, 1998).

2.1.3. Algodão

O algodoeiro pertence ao grupo de plantas dicotiledôneas, família Malvaceae e tem como nome científico, *Gossypium hirsutum* L. É uma planta ereta, anual ou perene, dotada de raiz principal cônica, pivotante, profunda, e com pequeno número de raízes secundárias grossas e superficiais. O caule herbáceo ou lenhoso tem altura variável sendo dotado de ramos vegetativos e ramos frutíferos. As folhas são pecioladas, geralmente cordiformes, de consistência coriácea ou não e inteiras ou recortadas. As flores são hermafroditas, axilares, isoladas ou não, cor creme nas recém-abertas (que passa à rósea e purpúreo) com ou sem mancha purpúrea na base interna (SEAGRI/BA, 2006).

No mercado mundial de algodão, o Brasil sempre desempenhou papel de grande importância como produtor e exportador, mas a abertura do mercado ao produto importado em baixas taxas de juros anuais e, em função das adversidades climáticas, juntamente com problemas fitossanitários, a exemplo do bicudo (*Anthonomus grandis* Boheman), no decorrer das últimas décadas, fez o país passar para a condição de grande importador de pluma (BARROS & SANTOS, 1997 citados por SIQUEIRA, 2003).

Para a região semi-árida do Nordeste brasileiro, a cotonicultura tem sido uma atividade agrícola de grande importância sócio-econômica por agregar grande contingente de mão-de-obra, tanto no campo como na cidade, e dispor do segundo maior parque têxtil do país, com elevada demanda em matéria-prima. Entretanto, em função da instabilidade climática das áreas agrozoneadas dessa região, é imprescindível o uso da irrigação para se ter uma cotonicultura economicamente sustentável e produtiva (BELTRÃO et al., 1986).

As necessidades hídricas do algodoeiro variam com os diferentes estádios de seu desenvolvimento. No início do período vegetativo, o requerimento hídrico da cultura é baixo, aproximadamente 10% do total, elevando-se, porém, durante o período de floração, quando a área foliar atinge o seu máximo, chegando a 50 ou 60% do total da exigência (PEREIRA et al., 1997).

Quanto ao estresse salino é sabido que nem todas as culturas respondem igualmente à salinidade. Segundo Ayers & Westcot (1999), enquanto algumas produzem rendimentos aceitáveis em altos níveis de salinidade, outras já são sensíveis a níveis relativamente baixos. Segundo Mass & Hoffman (1977), o algodoeiro é capaz de expressar todo seu potencial produtivo com um valor de salinidade limiar de até $7,7 \text{ dS m}^{-1}$ no extrato de saturação do solo e $5,1 \text{ dS m}^{-1}$ na água de irrigação, indicando, portanto, se tratar de uma cultura tolerante à salinidade. Em trabalho realizado em solo salino com cultivares CNPA Acala 1 e CNPA Precoce 1, Nunes Filho (1993) observou que algumas variáveis fisiológicas como o teor relativo de água nas folhas e o potencial de água nas folhas apresentaram padrões diferentes para as duas cultivares. Nesse sentido, o cultivo do algodoeiro sob condições salinas, pode ter a produção geneticamente controlada e as variedades podem ser selecionadas para as mais diferentes condições disponíveis.

2.2. Problemas de Salinidade na Agricultura

A origem dos problemas de salinidade se confunde com a própria formação dos solos, que é um produto da intemperização das rochas, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo (DIAS, 2004). A salinidade é um problema que atinge cerca de 45 milhões (19,5%) dos 230 milhões de hectares da área irrigada do globo terrestre. O excesso de sais limita severamente a produção agrícola principalmente nas regiões áridas e semi-áridas, onde cerca de 25% da área irrigada encontra-se salinizada (FAO, 2000).

Segundo Oliveira (1997) a salinização induzida pelo homem é mais perceptível em ambientes de elevada evapotranspiração e baixa precipitação pluviométrica no curso do ano. A salinização induzida se manifesta em decorrência da irrigação praticada nessas áreas, onde o controle da drenagem não é feito ou feito de forma ineficiente. No nordeste semi-árido, as maiores incidências de áreas salinizadas se encontram nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação nos chamados perímetros irrigados.

A salinização de solos sob cultivo em estufas tem sido um dos principais problemas desse sistema de cultivo. Segundo Trani et al. (1997), recentemente, vem se observando uma expansão menos acentuada do cultivo protegido com hortaliças no estado de São Paulo devido aos custos de instalação, manutenção e ao crescimento de pragas e doenças do solo, salinização, bem como a deficiência da pesquisa científica em tecnologia de cultivo protegido. Goto (1997), citado por Blanco (1999), afirma que é mais fácil o cultivo em campo aberto do que em ambiente protegido e que, para tanto, é necessário resolver alguns problemas como salinização e fertirrigação, além de incorporar mais tecnologias e abandonar a utilização de práticas de manejo baseadas apenas na análise visual e experiências com a cultura explorada.

2.2.1. Na água

A salinidade em áreas irrigadas normalmente é consequência, em parte, do uso de água de qualidade inadequada, associada ao manejo do sistema solo-água-plantas e, qualquer que seja sua fonte, a água utilizada na irrigação sempre contém sais, embora a quantidade e a qualidade de sais presentes nela possam variar bastante (MEDEIROS & GHEYI, 1994). Os íons comumente presentes nas águas de irrigação são os cloretos, sulfatos, carbonatos e bicarbonatos, associados aos cátions sódio, cálcio, magnésio e potássio. Concentrações elevadas desses sais aumentam o efeito osmótico da solução aquosa do solo, dificultando a absorção de água pelas raízes, causando consequente deficiência hídrica nas plantas (PEREIRA et al., 1992).

Apesar de diversos fatores determinarem a qualidade e composição de sais solúveis presentes na água de irrigação, as variações na composição iônica não são muito acentuadas. Segundo estudos utilizando-se água da região Nordeste do Brasil, a concentração dos principais íons presentes pode ser estimada a partir da condutividade elétrica que expressa a concentração total de sais solúveis (MESQUITA, 2004). As determinações químicas mais empregadas na classificação da água de irrigação envolvem: pH, condutividade elétrica, teores de cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, sulfato, carbonato, bicarbonato, boro, razão de adsorção de sódio e a soma de cátions e ânions (BERNARDO et al., 2005).

Silva Filho et al. (2002) em trabalho realizado com águas do Açude Epitácio Pessoa na Paraíba, constataram que ao longo dos dezoito meses de monitoramento, a condutividade elétrica refletiu pequenas variações. Já a concentração de sais transportada ao

solo pelas irrigações apresentou um incremento máximo de 27%, variando de 0,89 para 1,13 dS m⁻¹. As áreas com baixos níveis de salinidade não deveriam oferecer maiores problemas à irrigação; todavia, em decorrência do inadequado balanço de sais comumente verificado, normalmente por problemas de drenagem, observa-se uma gradativa salinização do perfil irrigado e um progressivo aumento das áreas problema (CORDEIRO, 1999).

2.2.2. No solo

Várias são as causas que podem levar à salinização de um solo. Geralmente, a origem dos sais está relacionada à drenagem deficiente do solo, à influência de ventos, que carregam sais encrostados na superfície de solos altamente salinos para outras áreas e às inundações de áreas cultivadas pela água do mar devido à maré alta (BLANCO, 1999). Além disso, a salinização pode ser causada pela aplicação de fertilizantes, de forma excessiva e parcelada ao longo do ciclo natural, induzindo o sistema radicular ao estresse osmótico (SOUSA, 2006).

Os problemas de salinidade têm sido também associados à água utilizada na irrigação, e à presença de águas sub-superficiais ricas em sais solúveis a pouca profundidade, uma vez que sais de elementos alcalinos e alcalino-terrosos tendem a se acumular no solo, na ausência de lixiviação, em função da ascensão capilar do lençol freático e da evapotranspiração da cultura. Nestes casos, ou seja, quando a salinização é devido à ação antrópica, a mesma é conhecida como salinização secundária. Oliveira (1997) cita que a salinização secundária é, em alguns casos, responsável por perdas irreparáveis da capacidade produtiva do solo, tornando estéreis grandes extensões de terras cultivadas.

O acúmulo de sais no solo afeta tanto a química como a física do solo. Em geral, as propriedades químicas dos solos são determinadas pelos tipos e quantidades dos sais neles presentes. No processo de salinização, ocorre o aumento gradual da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e os valores de pH, dependendo dos tipos de sais presentes, podem alcançar valores de até 8,5.

Considerando-se que a água utilizada para irrigação sempre contém sais solúveis, o aparecimento do problema de salinidade é apenas uma questão de tempo, a menos que sejam tomadas medidas preventivas (MEDEIROS & GHEYI, 1993). Por outro lado, o cultivo em solos salinos ou propensos à salinização deve ser criteriosamente analisado, principalmente quanto ao manejo do sistema solo-água-planta a ser adotado, particularmente

em regiões áridas e semi-áridas, cujo sucesso da atividade agrícola depende do planejamento adequado das técnicas de manejo (GUIMARÃES, 2005).

2.2.3. Na planta

A salinidade excessiva reduz o crescimento da planta por causar aumento no consumo de energia para absorver água do solo e realizar os ajustes bioquímicos necessários para sobreviver em condições de estresse (RHOADES et al., 2000). Culturas que são expostas às condições de alta salinidade por tempo prolongado apresentam sintomas de déficit hídrico, apresentando por isso efeitos como paralisação do crescimento, danos nas folhas, necroses ou danos nos tecidos (AYERS & WESTCOT, 1999). Porém, muitas vezes, a planta pode não exibir nenhum sintoma de estresse salino e apenas a comparação com plantas normais pode revelar a magnitude da inibição causada pelo baixo potencial osmótico do meio onde a planta está submetida (BLANCO, 1999). De acordo com Gheyi (2000), os sais além de afetarem a disponibilidade de água e provocarem toxicidade, podem causar um estado de desequilíbrio nutricional na planta, onde o excesso de determinado íon, na planta ou no solo, afeta a disponibilidade de outro e, como consequência, o seu crescimento e o desenvolvimento ficam prejudicados.

Importância também deve ser dada ao efeito da salinidade sobre a diminuição da disponibilidade de água no solo, em que uma diminuição no potencial osmótico da solução do solo provocada pelo processo de salinização, pode reduzir ou mesmo impedir a absorção de água pelas raízes das plantas, conforme características próprias de determinadas espécies e/ou variedades vegetais, afetando o seu desenvolvimento e rendimento (AYERS & WESTCOT, 1999).

Entretanto, dificilmente se consegue manter a salinidade do solo baixa em termos econômicos e ótimos para o bom desenvolvimento das culturas, notadamente se a água de irrigação for salina. A ação conjunta ou isolada desses fatores exige uma seleção adequada de espécies e variedades de plantas que possam ajustar-se osmoticamente à salinidade para a obtenção de rendimentos que justifiquem os custos, estando esta condição associada ao adequado manejo do solo (DAKER, 1988).

2.3. Balanço hídrico com ênfase nas necessidades hídricas das culturas

A produção eficiente e altos rendimentos de uma espécie vegetal não dependem somente do potencial genético, mas também, das condições edafoclimáticas favoráveis. Referente às condições climáticas, a disponibilidade hídrica tem efeito sobre a cultura, pois a falta de água pode afetar tanto o desenvolvimento e o crescimento quanto a produtividade e a qualidade da produção. Entretanto, o conhecimento apenas da necessidade hídrica total pela cultura não implica num eficiente manejo da irrigação, sendo imprescindível, portanto, o conhecimento das necessidades hídricas da cultura nos diferentes estádios ou fases fenológicas do seu ciclo. (CUNHA & BERGAMASCHI, 1992).

Segundo Reuther (1973) citado por Cintra et al. (2000), os estudos relacionados com a influência do ambiente sobre as culturas devem ser direcionados principalmente para avaliação dos efeitos dos fatores climáticos sobre a transpiração e uso de água pelas plantas e sobre o regime hídrico do solo. Isso porque as necessidades hídricas da maioria das culturas variam em função da distribuição espacial e temporal das condições climáticas, dos fatores relacionados ao manejo da cultura e das características hídricas do solo.

O conhecimento de como as plantas utilizam a água do solo e de como respondem aos níveis de armazenagem a partir do balanço hídrico, pode ser uma saída viável para o estabelecimento de estratégias eficazes de manejo visando ao melhor uso possível das reservas de água no solo pelas culturas. O movimento cíclico da água na lavoura começa com a sua penetração no solo por meio da infiltração, continua com seu armazenamento temporário na zona do sistema radicular e termina com sua remoção do solo por meio da drenagem, da evaporação e da absorção pelas raízes (HILLEL, 1970).

Para a realização do balanço hídrico de uma cultura é necessário, portanto, computar as entradas de água no solo via precipitação ou irrigação, a partir da sua infiltração na superfície, e as saídas, representadas pela drenagem, evapotranspiração e deflúvio superficial, em um dado volume de solo. Com base na configuração do sistema radicular da cultura em estudo, em determinado período de tempo, se a quantidade de água que entra no tempo considerado for maior que a quantidade que sai durante o mesmo período, o saldo será positivo e, caso contrário, será negativo. Tanto o saldo positivo como o negativo será medido pela variação de armazenamento de água no perfil do solo no período considerado (LIBARDI, 1995). Ferreira (2004) considera que do ponto de vista agrônomo, o balanço hídrico pode ser estudado em várias escalas, desde uma bacia hidrográfica até uma cultura agrícola, sendo que neste último caso pode alcançar um maior detalhamento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material Vegetal e Local do Experimento

Foram utilizadas três espécies vegetais: feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cv. Epace 10, sorgo [*Sorghum bicolor* (L) Moench] genótipo CSF 20 e algodão (*Gossipium hirsutum*) BRS 113 7MH. O experimento foi conduzido na Casa de Vegetação pertencente ao Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará – CE, localizada nas coordenadas 03°44'25" S e 38° 34'28'9" W, nos meses de outubro a dezembro de 2005. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw', por possuir um clima tropical chuvoso, com precipitações de outono a verão e temperatura média maior de 18°C durante o ano inteiro. Os valores de temperatura média e de umidade relativa média no interior da casa de vegetação, durante o período experimental, foram de 29,5 °C e 71,5%, respectivamente.

3.2. Tratamentos e Delineamento Experimental

As plantas foram irrigadas com água de diferentes concentrações de sais, correspondendo aos seguintes tratamentos: 0,5, 4,0, e 8,0 dS m⁻¹ (Tabela 1). Para o preparo das soluções salinas, utilizou-se o NaCl, obedecendo-se a relação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e sua concentração (mmol_c L⁻¹ = CE x 10), extraída de Rhoades et al. (2000).

O delineamento experimental utilizado no experimento foi inteiramente ao acaso, seguindo um arranjo fatorial (3 x 3), correspondendo a três níveis de salinidade e três espécies vegetais com quatro repetições, totalizando 36 parcelas experimentais. A parcela experimental era constituída de um vaso plástico contendo 2 plantas cada.

TABELA 1 - Tratamentos utilizados no experimento.

Espécie	Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)
Sorgo	0,5
	4,0
	8,0
Feijão	0,5
	4,0
	8,0
Algodão	0,5
	4,0
	8,0

3.3. Condução do Experimento

Inicialmente, foi feito o preparo dos vasos colocando-se cerca de 15 kg de areia lavada de rio, cujas características físicas e químicas são apresentadas na Tabela 2. Em seguida, foi realizado um processo de lavagem (duas lavagens com água da torneira e outro com água destilada), com a finalidade de retirar algum sal ou argila que ainda estivesse presente no solo.

Os vasos foram devidamente distribuídos na bancada central da casa de vegetação (Figura 1). As sementes já selecionadas e tratadas foram colocadas para germinar nos vasos, sendo que cada um recebeu 5 sementes. Após a germinação e o estabelecimento das plântulas (cerca de 10 dias após a sementeira), foi feito o desbaste deixando-se apenas duas plantas por vaso e foi dado início a aplicação dos tratamentos. Os tratamentos foram aplicados diariamente e a quantidade de água aplicada às plantas foi de acordo com o princípio do lisímetro de drenagem (BERNARDO et al., 2005), mantendo-se o solo na capacidade de campo e adicionando-se frações de lixiviação para prevenir o acúmulo excessivo de sais. A aplicação da água foi feita de forma localizada, de modo a evitar o contato direto da mesma com as folhas. As plantas recebiam aplicações semanais de 200 mL da solução nutritiva (Tabela 3) baseada na solução de Hoagland (EPSTEIN, 1975) com metade de sua força iônica.

TABELA 2 – Características físicas e químicas do substrato utilizado no experimento.

Característica	
Classificação Textural	AREIA
Densidade global (g cm^{-3})	1,54
Água útil ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	0,50
pH em água	7,03
CE (dS m^{-1})	0,18
Ca^{+2} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,50
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,30
Na^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,15
K^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,06
$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,33
Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,00
PST (%)	11,00



FIGURA 1 – Disposição dos vasos na bancada central da casa de vegetação

TABELA 3 – Composição da solução nutritiva utilizada no experimento.

Macronutrientes	Concentração (mM)
Ca	3,0
K	3,0
Mg	0,5
N – NH ₄ ⁺	1,0
N – NO ₃ ⁻	8,0
S	0,75
P	1,0

Micronutrientes	Concentração (µM)
Fe	35,0
Cu	0,5
Zn	2,0
Mn	2,0
Mo	0,5
B	25,0
Cl	50,0

Sob os vasos foram colocados recipientes com o objetivo de acondicionar a água que era drenada dos vasos (Figura 2). Diariamente, na parte da manhã, eram feitas coletas da água drenada de cada vaso para determinação do balanço hídrico.



FIGURA 2 – Vista dos recipientes para as coletas de água drenada

3.4. Análises de Crescimento e Parâmetros Morfofisiológicos

Em intervalos semanais, foram realizadas medições de altura das plantas. Aos 42 dias após o início da aplicação do NaCl foi realizada a coleta das plantas sendo separadas em folha e caules (caules + pecíolos para feijão-de-corda e algodão e colmos + bainhas para sorgo). A área foliar foi medida, utilizando-se de um medidor de superfície (LI – 3100, Area Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, Nebraska, USA). Após a coleta da parte aérea das plantas, amostras da terra de cultivo dos vasos foram coletadas com o auxílio de uma pá, sendo que o seu conteúdo (solo + raízes) foi peneirado com o objetivo de se separar as raízes do solo. Cada amostra de raiz, foi lavada, devidamente identificada quanto ao seu genótipo, tratamento, profundidade e repetição, e colocada em sacos de papel. As partes da planta após pesadas, foram colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, a 60°C por cinco dias, para obtenção da matéria seca total. Com os dados de crescimento calcularam-se a massa específica foliar (massa seca foliar/área foliar) e a suculência foliar [(massa fresca - massa seca)/área foliar], conforme proposto por Mantovani (1999), e a partição de matéria seca na planta.

3.5. Determinação de Solutos Inorgânicos

Após a secagem, o material vegetal foi triturado em moinho tipo Wiley e o material final obtido das amostras foi utilizado na determinação dos teores de Na⁺, K⁺, Ca²⁺ (MALAVOLTA et al., 1989) e Cl⁻ (GAINES et al., 1984). Para a determinação de Na⁺, K⁺, Ca²⁺ o extrato foi preparado pela homogeneização de aproximadamente 150 mg do pó moído, diluído em 15 mL de ácido clorídrico 1 N e, em seguida, o homogeneizado foi agitado por 60 minutos e filtrado, utilizando-se papel de filtro de filtragem rápida (MIYAZAWA et al., 1984). Os teores de Na⁺, Ca²⁺ e K⁺ foram determinados através de fotometria de chama (MALAVOLTA et al., 1989).

Os teores de Cl⁻ foram determinados em extratos aquosos, feitos a partir da diluição de aproximadamente 100 mg do material seco e moído, do caule, da folha e da raiz, com 10 mL de água destilada deionizada. O material homogeneizado foi mantido em agitação por aproximadamente uma hora e, posteriormente, filtrado em papel de filtro. Para a determinação do Cl⁻, utilizou-se um volume adequado do extrato, completado para 3,0 mL com água deionizada. Em seguida, adicionaram-se 0,5 mL de mistura de Hg (SCN)₂ a 13,2

mM, em metanol, e de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ a 20,2% (4 + 1) lendo-se a absorbância a 460 nm após 10 minutos. Os teores de Cl^- foram determinados por meio de uma curva de calibração, utilizando-se o NaCl como padrão, preparada nas condições anteriores (GAINES et. al, 1984). Cada repetição foi dosada por uma amostra simples.

Com os dados de produção de matéria seca e os teores de minerais, calcularam-se os totais extraídos por cada espécie e a distribuição percentual dos íons nas diferentes partes das plantas analisadas.

3.6. Determinação de Prolina

Durante a coleta, amostras de folhas maduras foram coletadas separadamente, pesadas e congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em freezer. Posteriormente, o material foi liofilizado e moído, sendo o material utilizado na determinação de prolina.

O extrato para determinação de prolina em sorgo foi obtido pela adição de 8 mL de ácido sulfossalicílico a 3% a 100 mg do pó liofilizado das folhas, sendo a mistura macerada em almofariz e deixada em agitação constante por uma hora à temperatura ambiente (25°C). Após este período, o homogenado foi centrifugado a 3000 x g por 10 min, à temperatura ambiente, sendo o precipitado descartado e o sobrenadante (extrato) usado para determinação de prolina livre pelo método descrito por Bates et al. (1973), através da reação com solução de ninhidrina ácida (1,25 g de ninhidrina, em 30 mL de ácido acético glacial, e 20 mL de ácido fosfórico a 6 M. Para a reação foram usados tubos de ensaios com tampas rosqueadas, nos quais foram adicionados 0,5 mL do extrato, 0,5 mL de ninhidrina ácida e 0,5 mL de ácido acético glacial, deixando-se a mistura em banho-maria (100°C) por 1 h para desenvolvimento da cor. Em seguida, os tubos de ensaio foram colocados em banho de gelo, por 5 minutos para cessar a reação. A extração do cromóforo foi feita pela adição de 1 mL de tolueno à mistura de reação, seguida da agitação vigorosa em vórtex. Após repouso e formação da mistura bifásica, a fase superior foi aspirada, e colocada em uma cubeta de quartzo para as leituras de absorbância em 520 nm, sendo o tolueno usado como branco. A concentração de prolina foi determinada a partir de uma curva padrão feita com a L-prolina. Cada repetição (amostra) foi representada por um extrato simples dosado em duplicata, sendo os teores expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS.

O extrato para determinação de prolina em algodão e feijão-de-corda foi preparado adicionado-se 10 mL Na-K-Fosfato 0,01M contendo NaCl a 0,01 M, pH 7,6 com

75 mg (algodão) ou 100 mg (feijão-de-corda) do pó liofilizado e macerado por 5 min em almofariz sendo deixado em agitação por 30 min e logo em seguida centrifugado por 10 minutos a uma velocidade de 3000 x g. Na determinação da prolina foi seguida a mesma metodologia descrita citada.

3.7. Estimativa do balanço hídrico

Os componentes do balanço hídrico determinados foram os seguintes: a lâmina total de água aplicada, a lâmina total de água drenada e o consumo total de água pelas plantas (evapotranspiração) obtido pelo método das entradas (lâmina aplicada) e saídas (lâmina drenada), com o solo sendo mantido diariamente na capacidade de campo, de acordo com a seguinte expressão:

$$ET = \frac{I - D}{S}$$

em que;

ET - evapotranspiração, em mm;

I - irrigação, em L;

D - água drenada do vaso, em L;

S - área do vaso, em m².

3.8. Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey com $\alpha = 0,05$, utilizando-se o pacote estatístico SAEG/UFV.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características químicas da água drenada e do substrato utilizado

Na Tabela 4, observa-se que a condutividade elétrica da água drenada (CEad) aumentou consideravelmente com o aumento da salinidade da água (CEa) aplicada, atingindo valores que, segundo Ayers & Westicot (1999), indicam elevados riscos de salinização. O aumento exorbitante da CEad comprova a alta taxa de percolação oferecida pelo solo utilizado no experimento que apresenta baixa capacidade de retenção de íons (Tabela 2).

A condutividade elétrica do solo medida no extrato 1:1 (solo:água) aumentou com o aumento da salinidade da água de irrigação (Tabela 4), porém os valores podem ser considerados baixos. Esses baixos valores de condutividade elétrica do substrato devem-se, em parte, à pequena reatividade do substrato e, também, ao maior volume de água aplicada para promover a drenagem. Vale salientar, ainda, que a condutividade elétrica foi determinada em um extrato 1:1 (v/v) de solo e água, o qual apresenta maior proporção de água quando comparado ao extrato de saturação e, conseqüentemente maior diluição dos sais presentes no meio.

TABELA 4 – Características químicas da água drenada e condutividade elétrica do substrato dos tratamentos coletados ao final do experimento.

Espécies	Trat.	CEad	CE 1:1
		(dS m ⁻¹)	(dS m ⁻¹)
Sorgo	0,5	1,92	0,17
	4,0	10,69	0,86
	8,0	16,48	1,65
Feijão-de-corda	0,5	3,08	0,16
	4,0	15,52	0,85
	8,0	17,31	1,26
Algodão	0,5	1,65	0,15
	4,0	12,04	0,70
	8,0	17,88	1,45

4.2. Características de crescimento

Na Tabela 5 estão apresentados os valores de quadrado médio e da significância estatística para todas as variáveis de crescimento analisadas. Uma breve análise dessa tabela mostra que a salinidade afetou todos os parâmetros de crescimento das espécies estudadas. Além disso, as interações foram todas também significativas, sugerindo que as espécies responderam diferentemente aos níveis de estresse impostos. Dessa forma, será dada ênfase aos comportamentos das espécies dentro dos níveis de salinidade.

TABELA 5 – Resumo da análise de variância das variáveis relacionadas ao crescimento das três espécies estudadas, avaliados no final do experimento, segundo as fontes de variação.

Fontes de variação	Quadrado Médio							
	ALTP	PSR	PSC	PSF	PSPA	MSTOT	AFT	R/PA
Tratamento (T)	15555,25**	205.83**	66,46**	42,21**	214,5184**	839,6396**	3738513**	0,234412**
Espécie. (E)	12004,33**	99.51**	64,70**	47,42**	211,7078**	520,4238**	63841,55**	0,633145**
T x E	10266,08**	34.45**	11,27**	8,44**	37,29297**	127,2798**	1202789**	0,141998**
Resíduo	86,05556	2.75	1,31	0,87	3,4296	8,34748	39647,72	0,024862
CV (%)	12,34	21.79	22,31	20,09	18,9	16,59	16,77	20,38

ALTP – Altura de plantas, PSR – peso seco da raiz, PSC peso seco do caule, PSF – peso seco da folha, PSPA – peso seco da parte aérea, MSTOT – matéria seca total, AFT – área foliar total, R/PA – relação raiz parte aérea.

**Significativo pelo teste F a 1%;

4.2.1. Altura das plantas

Pela Figura 3 observa-se que a altura das plantas das três espécies foi influenciada pelo aumento da salinidade da água de irrigação, sendo que as maiores reduções foram observadas no feijão-de-corda. Nessa espécie, a salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ já provocou uma acentuada redução do crescimento da planta, ao passo que as plantas de sorgo e algodão não foram tão afetadas. No nível mais elevado o algodão sofreu menor influência do estresse, em relação às outras espécies, o que está de acordo com seu maior grau de tolerância à salinidade (AYERS & WESTCOT, 1999). Segundo Jácome (1999), o efeito mais comum da salinidade sobre as plantas, de maneira geral, é a limitação do crescimento, devido ao aumento da pressão osmótica do meio e, conseqüente redução da disponibilidade de água, afetando a divisão e o alongamento das células.

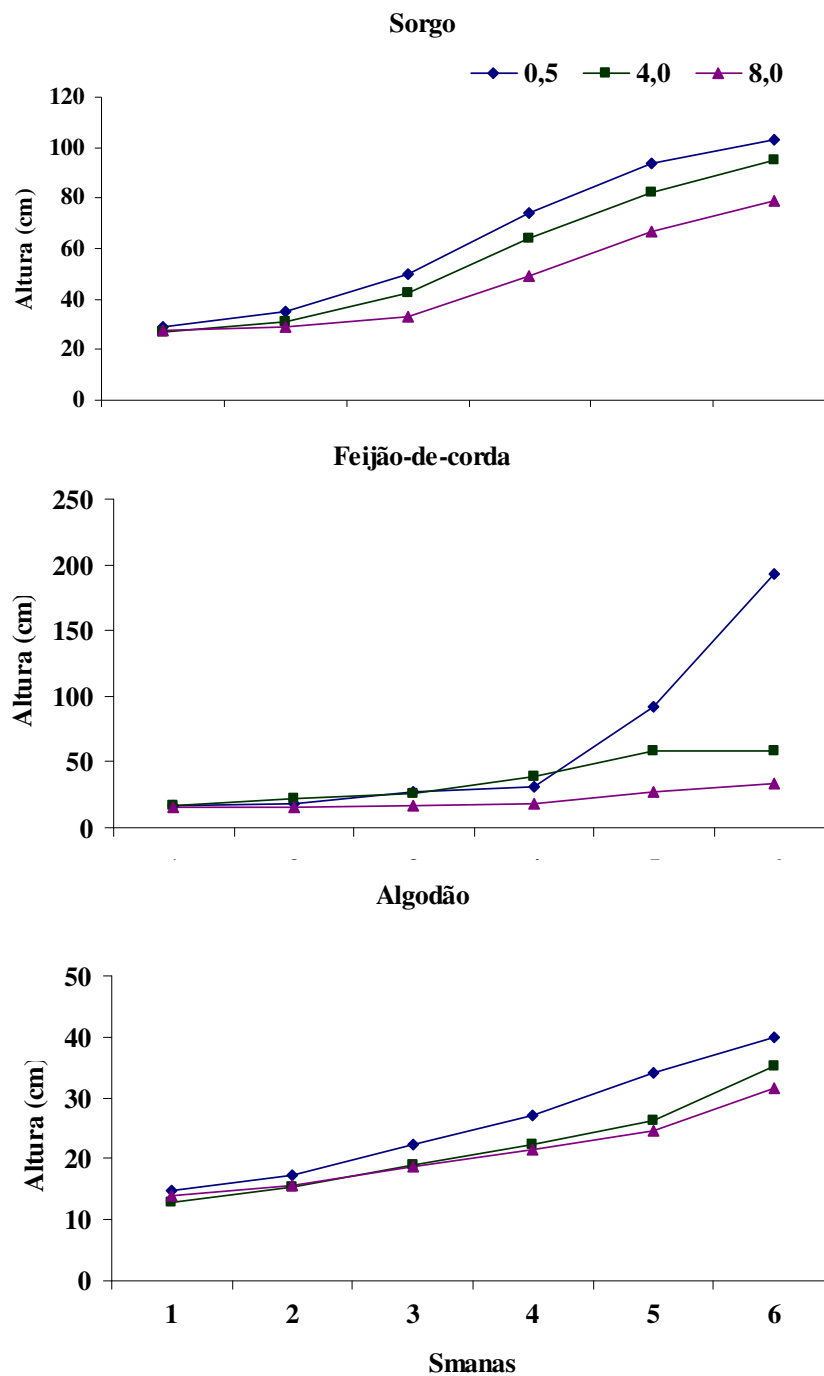


FIGURA 3 – Evolução do crescimento em plantas de sorgo feijão-de-corda e algodão nos diferentes períodos de realização das medições.

4.2.2. Produção de biomassa

O estresse salino inibiu a produção de matéria seca das plantas das três espécies (Tabela 6) e, de modo geral, os graus de redução no crescimento foram compatíveis com seus graus de tolerância relatados na literatura (AYERS & WESTCOT, 1999). O feijão-de-corda se mostrou a espécie mais sensível, apresentando reduções significativas nas matérias secas das raízes, da parte aérea e total, tanto no nível intermediário como no de maior salinidade da água. O sorgo se mostrou a espécie mais tolerante no nível intermediário de salinidade, não apresentando reduções significativas na matéria seca das diversas partes da planta. O algodão, por sua vez, se mostrou a espécie mais tolerante no maior nível de salinidade da água de irrigação, especialmente com relação ao crescimento radicular e à produção de matéria seca total. Vale salientar, que, de acordo com dados da FAO (AYERS & WESTCOT, 1999), a salinidade limiar da água de irrigação para o feijão-de-corda é $3,3 \text{ dS m}^{-1}$, para o sorgo $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ e para o algodão $5,2 \text{ dS m}^{-1}$.

Comparando-se a produção de matéria seca das raízes e da parte aérea dos tratamentos extremos ($0,5$ e 8 dS m^{-1}), observa-se que o feijão-de-corda e o sorgo apresentaram maior redução no crescimento radicular do que o algodão (Tabela 6). No maior nível de estresse, essas duas espécies apresentaram reduções de aproximadamente 71 e 79% no crescimento radicular e de 50 e 69% no crescimento da parte aérea. Por outro lado, a redução no crescimento das raízes e da parte aérea foram similares no algodão, com valores em torno de 50%. No nível intermediário de salinidade da água, as reduções foram bem menores, sendo que as raízes foram mais afetadas que a parte aérea apenas no feijão-de-corda. Essas diferentes respostas de crescimento radicular e da parte aérea podem estar associadas ao mecanismo de adaptação das espécies ao estresse salino, sendo que a maior redução no crescimento radicular pode interferir na aquisição de nutrientes do solo, resultando em menor absorção e acúmulo de íons tóxicos na parte aérea, principalmente Na^+ e Cl^- (MOYA et al., 1999).

TABELA 6 – Produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e matéria seca total em plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão, irrigadas com diferentes níveis de água salina⁽¹⁾.

CEa (dS m ⁻¹)	Sorgo	Feijão-de-corda	Algodão
Matéria seca da raiz (g)			
0,5	12,47 ^a (100) ²	16,53a (100) ²	5,82a (100) ²
4,0	11,16 ^a (89,50)	8,46b (51,8)	4,08a (70,1)
8,0	3,58b (28,7)	3,44c (20,81)	3,0b (51,55)
Matéria seca parte aérea (g)			
0,5	10,72 ^a (100) ²	22,20a (100) ²	9,24a (100) ²
4,0	8,81 ^a (82,18)	14,63b (66,9)	5,84b (63,20)
8,0	5,41b (50,46)	6,81c (30,67)	4,57b (49,45)
Matéria seca total (g)			
0,5	23,19 ^a (100) ²	38,73a (100) ²	15,06a (100) ²
4,0	19,97 ^a (86,11)	23,09b (59,61)	9,93b (65,36)
8,0	8,98b (38,72)	10,25c (26,46)	7,57b (50,26)

¹ Médias dentro da mesma coluna, seguidas pelas mesmas letras, para os níveis salinos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

² Percentagem relativa da produção de biomassa dos diferentes tratamentos salinos, considerando-se o nível 0,5 dS m⁻¹ com o 100%

Elevadas reduções no crescimento das plantas de feijão-de-corda, sorgo e algodão em função da salinidade têm sido observadas por outros autores, embora em tratamentos e condições de cultivo diferentes das utilizadas no presente estudo. Guimarães (2005), trabalhando com feijão-de-corda cv. Pitiúba, encontrou redução na matéria seca da raiz em torno de 68%. Jácome (1999), em algodoeiro cv. CNPA 7H, encontrou 71% de redução e Silva et al. (2003) observou redução de 74%, em plantas de sorgo. Rebouças et al. (1989), encontraram reduções de cerca de 51% na matéria seca total e de cerca de 46% na área foliar de três cultivares de algodão sob condições de estresse salino, em comparação com o controle. Essas diferenças em reduções na matéria seca devem-se ao tempo de exposição ao estresse e aos níveis de sais aplicados (MUNNS 2002). Também vale destacar que o efeito dos sais sobre o crescimento das plantas pode estar relacionado à forma de aplicação de sais no sistema radicular (LACERDA, 1995; MUNNS, 2002), assim como, às condições ambientais nas quais as plantas são cultivadas (YEO, 1999).

Neste experimento, observa-se que a relação raiz/parte aérea, diminuiu com o aumento da salinidade da água de irrigação, em consequência dos maiores efeitos dos sais no crescimento do sistema radicular (Tabela 7). Essa resposta foi significativa apenas para sorgo e feijão-de-corda, indicando que o algodão apresentou um comportamento mais equilibrado em relação ao estresse imposto. O aumento, em termos de matéria seca, na relação parte aérea/raízes não está de acordo com muitos estudos realizados em condições controladas ou em condições de campo, sendo aceito pela maioria dos autores que a parte aérea é normalmente mais sensível ao estresse salino (LACERDA, 2000). No entanto, maior redução no crescimento radicular de plantas expostas ao estresse salino foi observada em sorgo (AQUINO, 2005), sendo possível sugerir que os mecanismos de aclimação ao estresse divergem entre as espécies estudadas. Os maiores valores dessa relação foram observados no sorgo, sugerindo que esta característica possa ser importante indicador da tolerância ao estresse salino. Em variedades de arroz, por exemplo, maior crescimento do sistema radicular, em relação ao da parte aérea apresentou correlação positiva com a sensibilidade ao estresse salino com NaCl (LUTTS et al., 1996). De acordo com Shannon et al. (1994), citado por Lacerda (2000), no entanto, no campo, o decréscimo na relação raiz/parte aérea devido à salinidade resulta em uma melhor exploração da umidade do solo e de nutrientes, o que favorece o crescimento da planta.

TABELA 7 - Relação raiz /parte aérea no final do experimento, em função das espécies e dos níveis de sais.

CEa (dS m⁻¹)	Sorgo	Feijão-de-corda	Algodão
0,5	1,18a	0,76a	0,64a
4,0	1,28a	0,57b	0,70a
8,0	0,66b	0,51b	0,67a

Médias dentro da mesma coluna, seguidas pelas mesmas letras, para os níveis salinos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2.3. Partição de matéria seca

O nível mais elevado de estresse salino reduziu a partição de matéria seca para as raízes e aumentando a da parte aérea em plantas de sorgo e de feijão-de-corda, tendo o aumento sido observado principalmente nas folhas (Tabela 8). No entanto, essa tendência não foi observada em plantas de algodão. As alterações na distribuição percentual da matéria seca provocadas pelo estresse salino são condizentes com o fato de que a salinidade, além de reduzir a produção de biomassa pode também alterar a partição de fotoassimilados entre as diferentes partes das plantas (SILVA, 2003). Essas diferenças na partição de fotoassimilados podem contribuir para a aclimação das plantas ao estresse salino, e compensam a considerável redução na área foliar destinada à assimilação de carbono. Essas alterações nas proporções fonte/dreno podem, também, compensar os aumentos no gasto metabólico necessário para o ajustamento da planta ao estresse imposto (MUNNS, 2002; AQUINO, 2005). Por outro lado, a menor alteração na partição de matéria seca em plantas de algodão é mais um indicativo que essa espécie sofreu menores perturbações associadas ao aumento da salinidade do meio.

TABELA 8 – Partição percentual de matéria seca em plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão submetidos a três níveis de salinidade da água de irrigação.

Espécie	CEa dS m ⁻¹	Partição de matéria seca (%)		
		Raiz	Caule	Folha
Sorgo	0,5	53,77 ± 1,8	21,99 ± 0,61	24,23 ± 0,83
	4,0	55,91 ± 2,49	19,47 ± 0,86	24,62 ± 1,10
	8,0	39,82 ± 1,39	26,92 ± 0,76	33,15 ± 1,01
Feijão-de-corda	0,5	42,68 ± 1,30	30,44 ± 2,19	26,68 ± 1,63
	4,0	36,64 ± 2,60	36,08 ± 1,49	27,33 ± 1,22
	8,0	33,56 ± 1,07	32,68 ± 0,23	33,76 ± 0,40
Algodão	0,5	38,65 ± 0,67	36,79 ± 0,94	24,57 ± 0,53
	4,0	41,09 ± 1,09	33,23 ± 1,07	25,68 ± 0,52
	8,0	39,63 ± 1,41	33,69 ± 1,03	26,82 ± 0,58

4.3. Características morfofisiológicas das folhas

Os diferentes graus de redução no crescimento foliar (Tabela 9) refletem as diferenças em tolerância das espécies estudadas ao estresse salino. O feijão-de-corda foi a espécie que sofreu as maiores reduções em área foliar, as quais corresponderam a 47 e 70%, respectivamente, nos níveis de 4,0 e 8,0 dS m⁻¹. Por outro lado, as plantas de sorgo e de algodão somente sofreram reduções significativas na área foliar apenas no maior nível de salinidade, sendo que a redução foi maior no sorgo do que no algodão. A redução no crescimento foliar e, conseqüentemente, na área foliar disponível para a fotossíntese é uma das primeiras respostas das plantas submetidas ao estresse salino, que pode ocorrer, possivelmente, devido à inibição da expansão e divisão das células nas regiões meristemáticas (BERNSTEIN et al., 1993a; 1993b).

TABELA 9 – Área foliar total no final do experimento (cm²), de plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão submetidos a três níveis de salinidade da água de irrigação.

CEa (dS m⁻¹)	Sorgo	Feijão	Algodão
0,5	1381,78 ^a (100)	3255,40a (100)	679,33a (100)
4,0	1103,20 ^a (79,83)	1728,15b (53,08)	553,55a (81,48)
8,0	560,40b (40,55)	977,32c (30,02)	443,72b (65,31)

¹ Médias dentro da mesma coluna, seguidas pelas mesmas letras, para os níveis salinos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

² Percentagem relativa da produção de biomassa dos diferentes tratamentos salinos, considerando-se o nível 0,5 dS m⁻¹ como 100%

A Tabela 10 mostra a análise estatística dos efeitos dos tratamentos salinos sobre o grau de suculência e a massa específica foliar. Observa-se que nenhum dos fatores afetou a massa específica foliar, porém, a suculência variou entre as espécies vegetais e a interação entre os níveis de salinidade e as espécies também se mostrou significativa, indicando que as espécies se comportaram diferentemente em relação a esse parâmetro quando se aumentou a salinidade da água. Na figura 4, observa-se tendência de queda na suculência em folhas de sorgo e de aumento em plantas de algodão e de feijão. O aumento na suculência foliar em feijão-de-corda também foi observado por Costa et al. (2003) e Lacerda et al. (2006), enquanto Trindade et al. (2006) observaram aumento na suculência foliar em feijão-de-corda e queda em sorgo forrageiro, resultados que estão de acordo com os obtidos no presente estudo. Este parâmetro possui importantes implicações anatômicas e fisiológicas em plantas submetidas a algum tipo de estresse. A suculência permite a regulação da concentração de sais nos tecidos foliares e depende diretamente da absorção, transporte e acúmulo de íons nos tecidos foliares (LARCHER, 2000).

TABELA 10 – Valores dos quadrados médios e da significância estatística para suculência foliar (SUC) e massa específica foliar (MEF) para sorgo, feijão-de-corda e algodão irrigados com diferentes níveis de água salina.

Fonte de Variação	Quadrado médio	
	SUC	MEF
Tratamento (T)	0,0127 ^{ns}	16,79768 ^{ns}
Espécie (E)	0,856**	32,84351 ^{ns}
T x E	0,162**	19,24217 ^{ns}
Resíduo	0,0210	33,65075
CV (%)	8,2	25,095

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

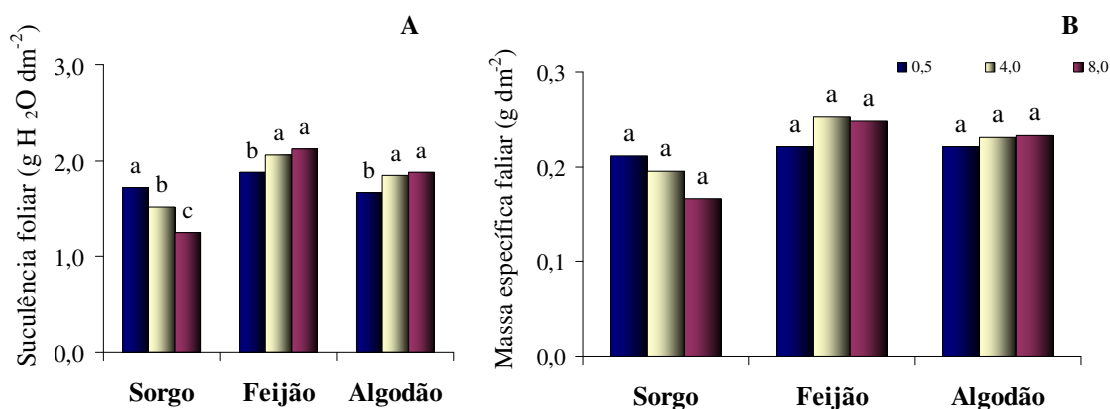


FIGURA 4. Suculência foliar (A) e massa específica foliar (B) em plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

4.4. Balanço hídrico

O balanço hídrico foi realizado durante 42 dias, tendo sido iniciado no décimo dia após o plantio. A definição dos seis períodos considerados para o balanço foi baseada na aplicação da solução nutritiva que acontecia em intervalos de sete dias. Na Tabela 11 encontram-se os valores dos componentes do balanço hídrico para as três espécies estudadas com seus respectivos tratamentos.

TABELA 11 – Valores totais dos componentes do balanço hídrico das plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão submetidos a três níveis de salinidade de água.

Espécie	Tratamento (dS m ⁻¹)	Irrigação (L)	Drenagem (L)	Evapotranspiração (mm)
Sorgo	0,5	13,35	4,66	163,66
	4,0	12,8	5,01	146,67
	8,0	12,25	5,14	133,84
Feijão-de-corda	0,5	23,3	5,16	341,67
	4,0	18,15	5,33	241,56
	8,0	15,25	5,7	179,97
Algodão	0,5	18,42	5,72	239,26
	4,0	16,25	5,73	198,19
	8,0	14,8	5,8	169,47

Analisando-se os totais na tabela 11, verifica-se o decréscimo da evapotranspiração das espécies, ou seja, a diminuição do consumo de água com o aumento da salinidade. Essa diminuição do consumo está associada ao menor crescimento e desenvolvimento das plantas em virtude da redução nos processos de absorção que variaram com os tratamentos. As reduções no consumo de água foram proporcionais às reduções no crescimento nas três espécies (Tabelas 6 e 9), porém os valores de queda no crescimento foram bem maiores do que no processo de evapotranspiração.

Das três espécies, o feijão-de-corda foi o que mais sofreu influência no consumo de água, tanto no nível intermediário (29%) como no maior nível de salinidade (47%). Para o algodão essas reduções foram de 17 e 29% e para o sorgo de 10 e 18%, respectivamente. Medeiros (1996) também verificou esse mesmo comportamento em algodoeiro de fibra branca em que o consumo de água pelas plantas diminuiu com o aumento da salinidade da água de irrigação. Conforme a literatura, esse efeitos acontecem devido a concentração de sais na zona radicular reduzir o fluxo de água para a planta, em função do efeito osmótico (AYERS & WESTCOT, 1999).

Na figura 5 são mostrados os comportamento da evapotranspiração estimada pelo método do balanço hídrico para as culturas estudadas. Observa-se que as diferenças se intensificaram a partir da terceira semana do início dos tratamentos, especialmente em feijão-de-corda e algodão.

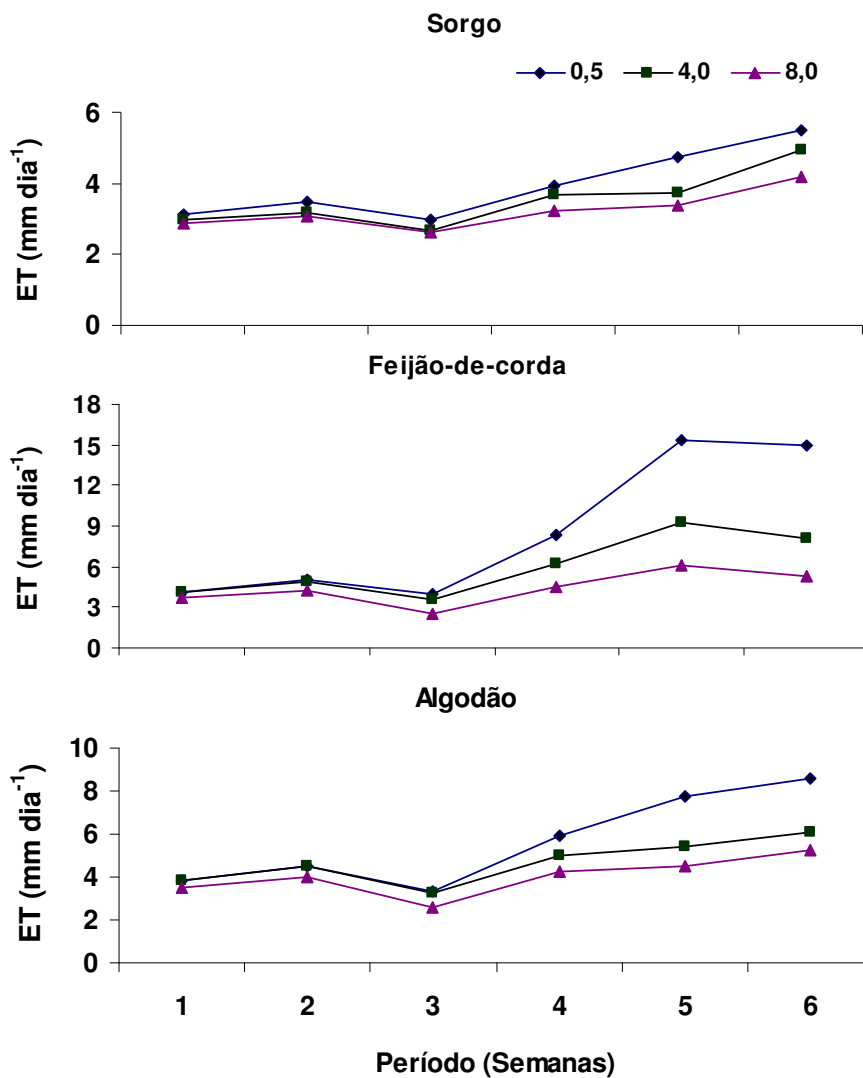


FIGURA 5 – Evapotranspiração (ET) média diária em plantas de sorgo feijão-de-corda e algodão submetidos a três níveis de salinidade de água nos diferentes períodos de realização do balanço hídrico

4.5. Acúmulo de solutos inorgânicos

De acordo com a maioria dos autores a salinidade reduz o crescimento das plantas em decorrência dos efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais. No entanto, alguns estudos mais específicos têm mostrado que a redução no crescimento é inicialmente afetada pelos efeitos

osmóticos e posteriormente pelo acúmulo excessivo de íons tóxicos (LACERDA et al., 2006). Neste trabalho, a salinidade afetou o acúmulo e distribuição dos íons nas diversas partes das plantas das três espécies estudadas. A análise de variância apresentada na Tabela 12 mostra que a salinidade exerceu efeito significativo nos teores dos íons para os tratamentos e espécies estudadas com exceção do íon cloreto no caule. Quanto à interação tratamento x espécie, as variáveis cálcio na raiz, cloreto no caule e nas folhas foram as únicas que não apresentaram diferenças estatísticas significativas a nível de 5% de probabilidade.

TABELA 12 – Valores dos quadrados médios e significância estatística para as variáveis sódio (Na⁺), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e cloreto (Cl⁻) na raiz, no caule e na folha de plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão irrigadas com diferentes níveis de água salina. *Significativo pelo teste F a 5%; **Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo.

Fontes de variação	Quadrado médio											
	Raiz				Caule				Folha			
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻
Tratamento (T)	672,591**	23,957**	0,4252*	1477,436**	336,012**	97,945**	1,022*	804,472**	110,479*	31,913*	1,918**	870,108*
Espécie (E)	2093,253**	991,441**	0,455*	10621,81**	70,585**	326,883**	14,468**	158,909 ^{ns}	731,564**	332,130**	163,491**	5754,985*
T x E	228,823**	23,416**	0,111 ^{ns}	622,937**	16,484**	177,178**	0,360*	148,558 ^{ns}	97,290**	55,918**	0,776*	180,380 ^{ns}
Resíduo	16,706	2,2688	0,1218	63,260	3,286	9,622	0,095	84,656	1,734	7,537	0,222	101,831
CV (%)	21,53	17,4	23,8	23,78	24,24	10,21	9,17	24,90	24,62	12,34	7,21	26,60

4.5.1. Sódio e cloreto

O sódio de modo geral exerce prejuízos ao ambiente celular, uma vez que exerce uma série de efeitos tóxicos, por meio da inibição de reações enzimáticas. Uma inadequada compartimentalização desse elemento, entre citoplasma e vacúolo, leva a uma desidratação e conseqüente diminuição da turgescência da célula, o que pode provocar morte celular em folhas e ramos (MARSCHNER, 1995).

Comparando-se as três espécies, observa-se que o algodão apresentou maiores teores de Na^+ , especialmente nas raízes e folhas (Figura 6). Mühling & Läuchli (2002) também encontraram maiores teores de Na^+ em folhas de algodoeiro em comparação com folhas de milho, sendo essa última espécie considerada bem mais sensível ao estresse salino. Isso é um indicativo de que a tolerância do algodoeiro ao estresse salino não está associada, necessariamente, à exclusão de Na^+ , como ocorre com outras espécies glicófitas (LACERDA et al. 2003). No entanto, pode-se sugerir que a boa retenção desse íon nas raízes, associada a outros mecanismos de proteção, como por exemplo, a produção de altos níveis de antioxidantes (ASHRAF 2002), podem contribuir para sua maior tolerância à salinidade. Diferentemente do algodoeiro, o sorgo e o feijão-de-corda promoveram maior retenção do íon sódio nos caules, prevenindo seu acúmulo nos tecidos foliares. No maior nível de salinidade, os teores de Na nos caules e pecíolos do feijão-de-corda e nos colmos e bainhas do sorgo foram, respectivamente, 11 e 19 vezes superiores aos teores observados nos limbos foliares. Esses resultados são bons indicativos da capacidade dessas espécies de reterem parte dos íons potencialmente tóxicos, especialmente o Na^+ , evitando, assim, seu excesso nos tecidos fotossintetizantes (AZEVEDO NETO & TABOSA, 2000; TRINDADE et al., 2006). No maior nível de salinidade, o sorgo também apresentou, em relação ao feijão-de-corda, maior acúmulo do íon sódio nas raízes (29% a mais) e menor na parte aérea (35% a menos), podendo essa ser uma característica responsável pelas diferenças nos graus de tolerâncias dessas espécies

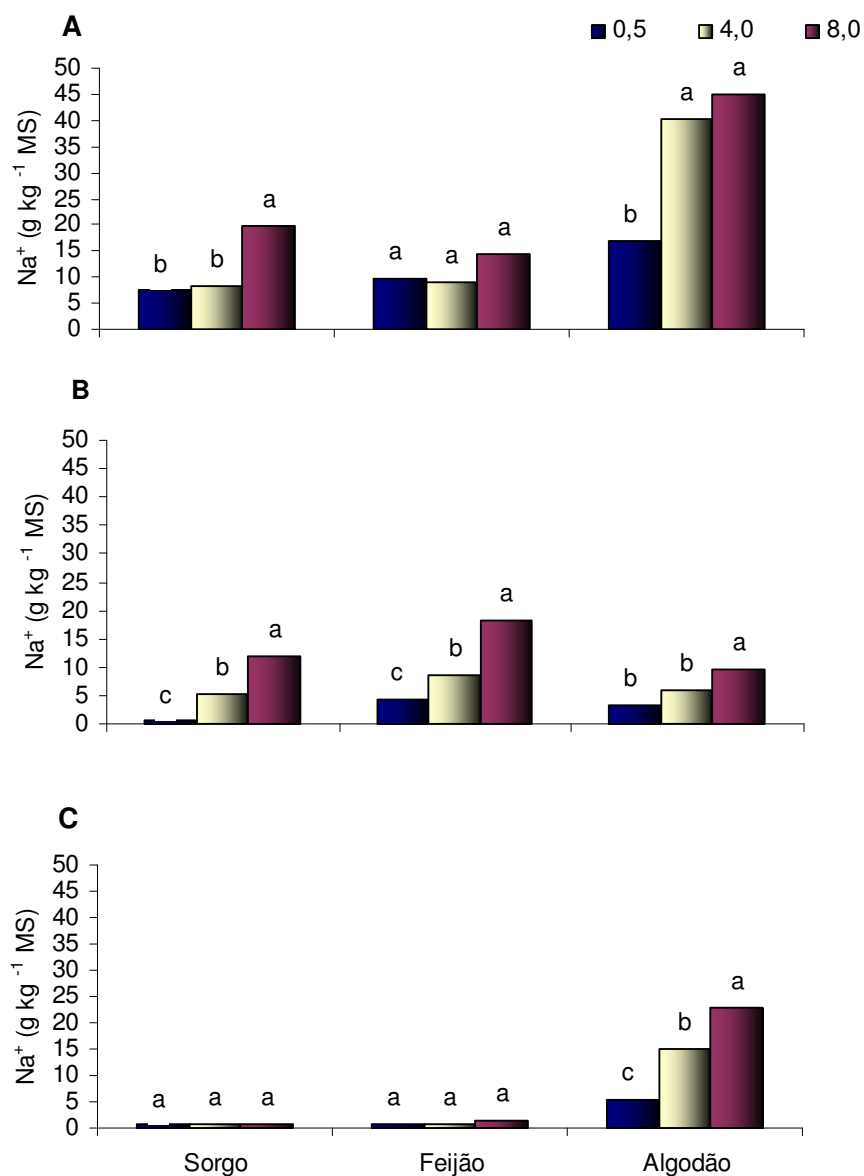


FIGURA 6 – Teor de sódio na raiz (A), caule (B) e folha (C) em sorgo, feijão-de-corda e algodão, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

*Colunas dentro da mesma espécie, apresentando as mesmas letras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os níveis crescentes de sais na água de irrigação provocaram acúmulos significativos do íon cloreto tanto com relação aos tratamentos quanto às espécies, exceto no

caule. Já para a interação entre o tratamento e a espécie, apenas a variável cloreto na raiz apresentou diferença estatística significativa e isto ocorreu ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 12).

O algodão e o feijão-de-corda apresentaram os maiores teores de cloreto na parte aérea (Figura 7), notadamente nos limbos foliares, o que resultou no aumento na suculência foliar nessas espécies (Figura 4), visto que o acúmulo de cloreto está diretamente associado ao aumento da suculência (LACERDA et al., 2006). Dessa forma, o acúmulo de cloreto pode favorecer a manutenção da absorção de água pela planta, devendo estar, provavelmente, associado a um mecanismo de compartimentalização vacuolar que previne ou reduz a toxidez desse íon no citoplasma das células. Embora o acúmulo de cloreto tenha sido maior no algodão do que no feijão-de-corda, isso não resultou em maior inibição do crescimento da primeira espécie, sugerindo que o algodoeiro apresenta, em relação ao feijão-de-corda, mecanismos de proteção mais eficientes, em adição à diluição parcial dos sais pelo aumento no grau de suculência. Esses mecanismos podem envolver a produção de antioxidantes, a atividade do ciclo ascorbato-glutationa (ASHRAF, 2002), a compartimentalização vacuolar dos sais potencialmente tóxicos acumulados e o ajustamento osmótico celular pelo acúmulo de solutos compatíveis, mecanismos considerados eficientes na proteção das estruturas e processos celulares (HASEGAWA et al., 2000). Ao contrário do algodoeiro e do feijão-de-corda, o sorgo mostrou menores teores de cloreto nas folhas, resultante, provavelmente, da menor absorção radicular e da forte retenção desse íon nos colmos (Figura 7). O menor acúmulo de cloreto pode ter ocasionado certa desidratação foliar das plantas de sorgo, como observado na figura 4 e sugerido por Trindade et al. (2006).

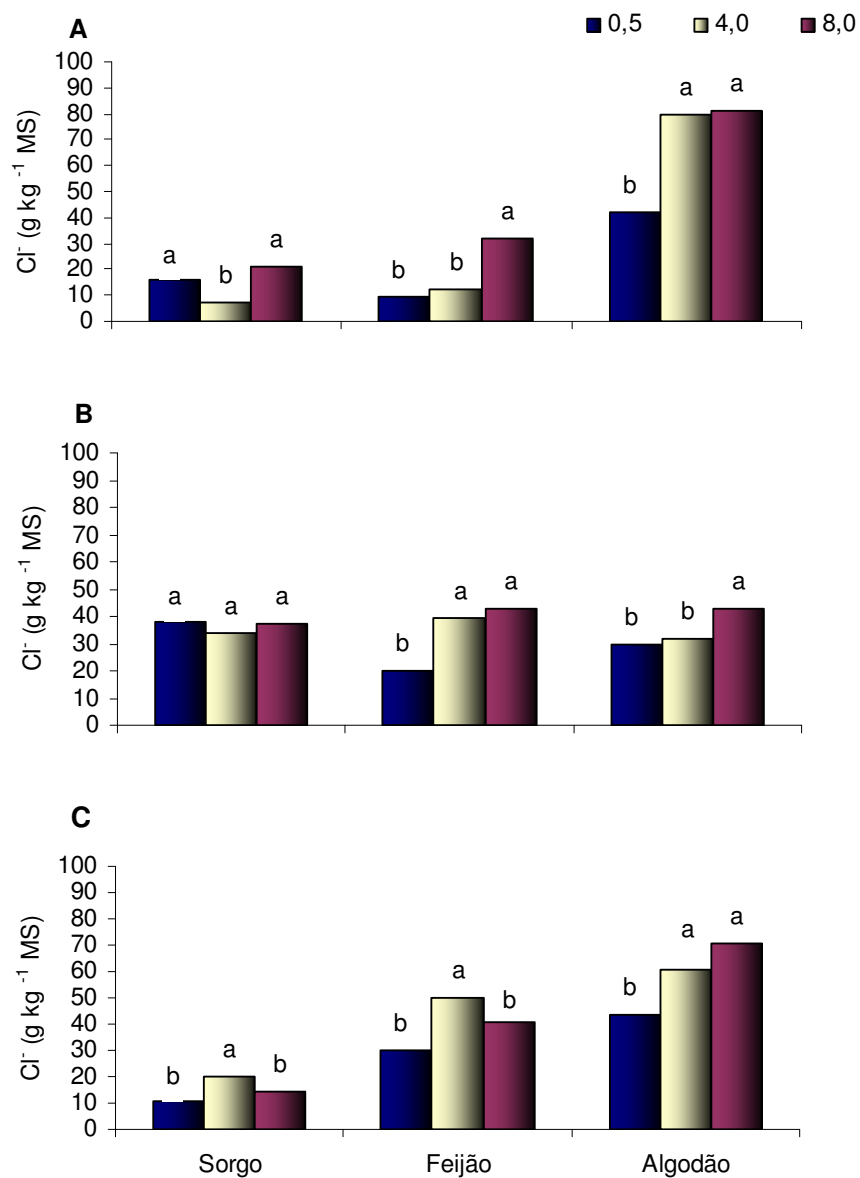


FIGURA 7 – Teor de cloreto na raiz (A), caule (B) e folha (C) em sorgo, feijão-de-corda e algodão, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

*Colunas dentro da mesma espécie, apresentando as mesmas letras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A tabela 13 apresenta as quantidades de Na^+ e Cl^- extraídos pelas plantas durante o período de aplicação dos tratamentos e a relação percentual entre o aplicado e o extraído por

cada espécie. Verifica-se o feijão-de-corda e o algodão foram as espécies que mais extraíram os dois íons, sendo que algodão apresentou os maiores valores de extração de cloreto. Os valores extraídos, no entanto, são baixos, indicando que práticas de manejo que visem a lixiviação dos sais devem ser priorizadas quando se utiliza águas salinas na irrigação.

TABELA 13 – Quantidades de Sódio e Cloreto extraídas por plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão, irrigadas com diferentes níveis de água salina Fortaleza Ceará, 2006.

Espécie	CEa dS m ⁻¹	Total	Total	Relação total extraído/total
		aplicado (g)	extraído (g)	aplicado (%)
Na⁺				
Sorgo	0,5	1,57	0,099	6,31
	4,0	12,05	0,117	0,97
	8,0	23,09	0,102	0,44
Feijão-de-corda	0,5	2,73	0,222	8,14
	4,0	17,07	0,151	0,86
	8,0	28,8	0,115	0,39
Algodão	0,5	2,15	0,136	6,32
	4,0	15,22	0,222	1,45
	8,0	27,78	0,205	0,74
Cl⁻				
Sorgo	0,5	2,42	1,206	49,87
	4,0	18,57	0,405	2,17
	8,0	35,58	0,264	0,74
Feijão-de-corda	0,5	4,20	2,858	68,06
	4,0	26,30	0,880	3,34
	8,0	44,37	0,415	0,93
Algodão	0,5	3,32	3,173	95,66
	4,0	23,46	1,328	6,65
	8,0	42,81	0,875	2,04

4.5.2. Potássio

Na condição de menor salinidade, os teores de K^+ nas partes aéreas foram, de maneira geral, bem maiores do que nas raízes para as três espécies estudadas (Figura 8). Os teores de K^+ diferiram entre as espécies e entre as partes da planta e, quando foram submetidas à salinidade, as espécies apresentaram respostas bem diferenciadas. Enquanto o aumento da salinidade provocou pequenas variações nos teores de K^+ nas raízes e partes aéreas das plantas de algodão, se observou uma clara tendência de redução no teor desse íon na parte aérea das plantas de sorgo. O sorgo, com o aumento da salinidade teve seu teor de K^+ reduzido em 16 e 62% no caule e 15 e 22% nas folhas em relação ao menor nível salino, podendo essa resposta ter contribuído para a inibição do crescimento nessa espécie (Tabela 6). Silva (2003) e Aquino (2005) encontraram respostas semelhantes quando submeteram genótipos de sorgo ao estresse salino. Por outro lado, no feijão-de-corda observando-se a variação entre o menor e o maior nível salino, verificou-se que os valores de K^+ passaram de 21,16 g kg^{-1} para 38,9 g kg^{-1} no caule e de 22 g kg^{-1} para 30,3 g kg^{-1} na folha, representando aumentos de 83,7 e 35,7%. Em concordância com os resultados aqui obtidos, Lacerda (1995) e Guimarães (2005) também encontraram respostas semelhantes quando estudaram a influencia da salinidade em feijão-de-corda. No entanto, resultados conflitantes têm sido encontrados em plantas de feijão-de-corda, sendo observado acúmulo em alguns genótipos e redução em outros (COSTA *et al.*, 2003). O acúmulo de K^+ em função da salinidade, como observado na parte aérea das plantas de feijão-de-corda, pode estar associado à redução na translocação desse íon em função da menor demanda para o crescimento das plantas sob condições de estresse (LACERDA *et al.*, 2006). Esse acúmulo tem sido observado, principalmente, após períodos relativamente longos de estresse, quando o crescimento tem sido fortemente inibido.

A redução do teor de K^+ nas folhas tem sido apontada com uma resposta comum em plantas submetidas ao estresse salino, podendo estar relacionada ao antagonismo entre Na^+ e K^+ durante o processo de absorção (MARSCHNER, 1995). Observou-se, no entanto, que a retenção de K^+ diferiu da de Na^+ , em todas as espécies estudadas. A capacidade de retenção de Na^+ (Figura 6) nos caules foi maior que a de K^+ (Figura 8), especialmente em plantas de sorgo e de feijão-de-corda. De modo contrário, o algodoeiro apresentou maior retenção de K^+

nos caules, em relação ao Na^+ . Essas respostas sugerem a existência de mecanismos seletivos de retenção de íons e dão suporte à hipótese de que as plantas buscam um ajuste em relação às concentrações de Na^+ e de K^+ (LACERDA, 2005). No caso de algodoeiro é possível sugerir a existência de um mecanismo eficiente de compartimentalização vacuolar de Na^+ , de modo a prevenir sua toxidez aos sistemas enzimáticos.

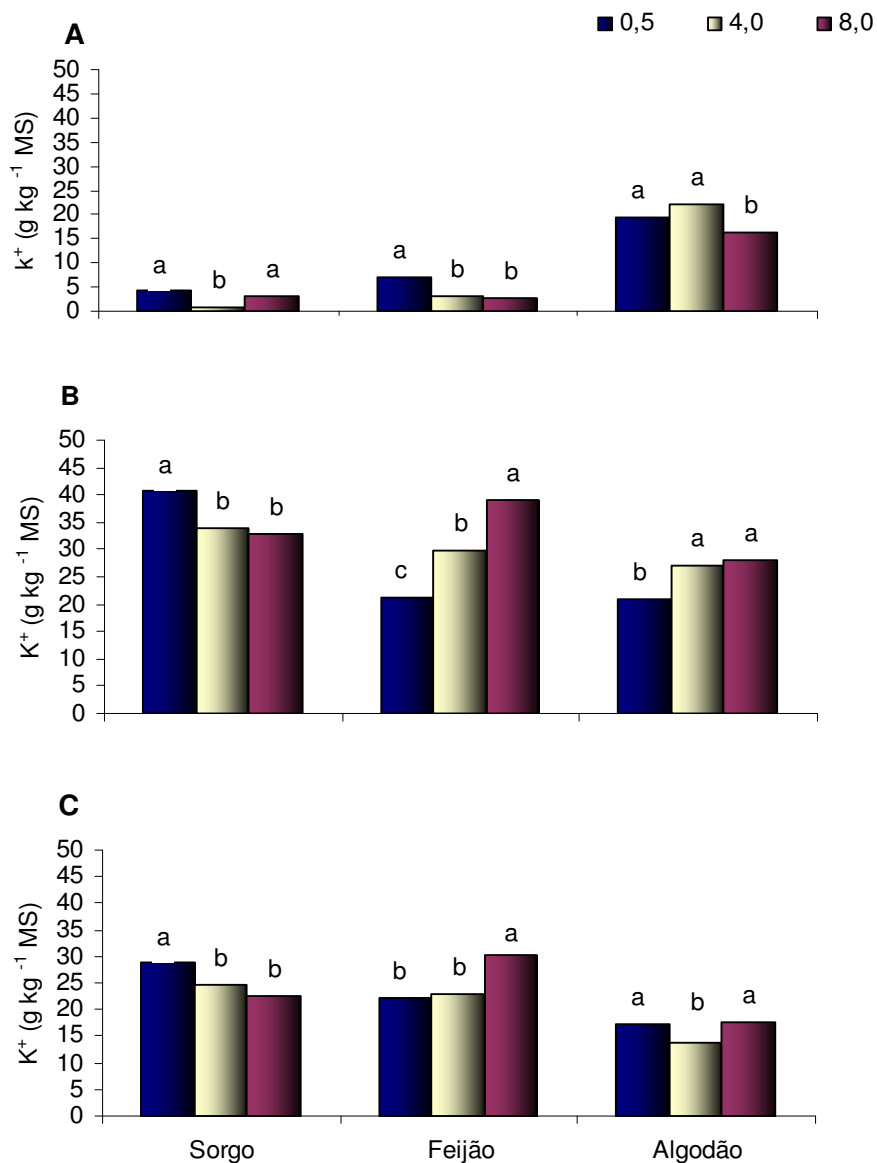


FIGURA 8 – Teor de potássio na raiz (A), caule (B) e folha (C) em sorgo, feijão-de-corda e algodão, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

*Colunas dentro da mesma espécie, apresentando as mesmas letras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.5.3. Cálcio

As respostas do íon cálcio nas espécies estudadas quando submetidas à salinidade da água de irrigação, são apresentadas na Figura 9. Verifica-se que o aumento da salinidade não influenciou negativamente no suprimento do cálcio nas plantas de algodão e de feijão-de-corda, tendo, porém, reduzido os teores desse íon na parte aérea de sorgo. De acordo com Grieve & Maas (1988), os cereais, como por exemplo, sorgo, milho, arroz e cevada, são particularmente sensíveis à elevação na relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ em solos afetados por sais, exibindo redução no crescimento e deficiências de Ca^{2+} . De modo geral, os teores de Ca^{2+} foram bem menores na parte aérea de sorgo do que nas de algodão e feijão-de-corda, o que deve estar associado ao requerimento por cálcio das espécies em estudos (MENGEL & KIRKBY, 1987). Esses resultados contrariam aos encontrados por Kramer & Boyer (1995), verificando a resposta de raízes de algodoeiro à aplicação de NaCl. Vários estudos têm demonstrado os efeitos do cálcio como redutor dos teores de sódio em milho (ALBERICO e CRAMER, 1993), em feijão (CACHORRO et al., 1993), sorgo (LACERDA et al. 2003), e em varias gramíneas (GALVEZ et al.,1993). O efeito benéfico do cálcio em prevenir a entrada de sódio, ocorre primeiramente na plasmalema das células da raiz envolvidas na absorção. Reid & Smith (2000) assinalam a importância do Ca^{2+} , em condições salinas, sendo necessário uma condição mínima para manter a integridade da estrutura da membrana e o correto funcionamento do transporte seletivo dos íons. Por outro lado, é conhecido o efeito antagônico do excesso de cálcio sob a absorção de outros íons, como o potássio (MARSCHNER, 1995). Dessa forma, é possível a ocorrência de diferentes respostas da planta à salinidade do meio, quando se comparam diferentes tipos de sais. Essas diferenças podem ocorrer em termos de crescimento, na nutrição ou em outras respostas fisiológicas da planta (SOUSA, 2006).

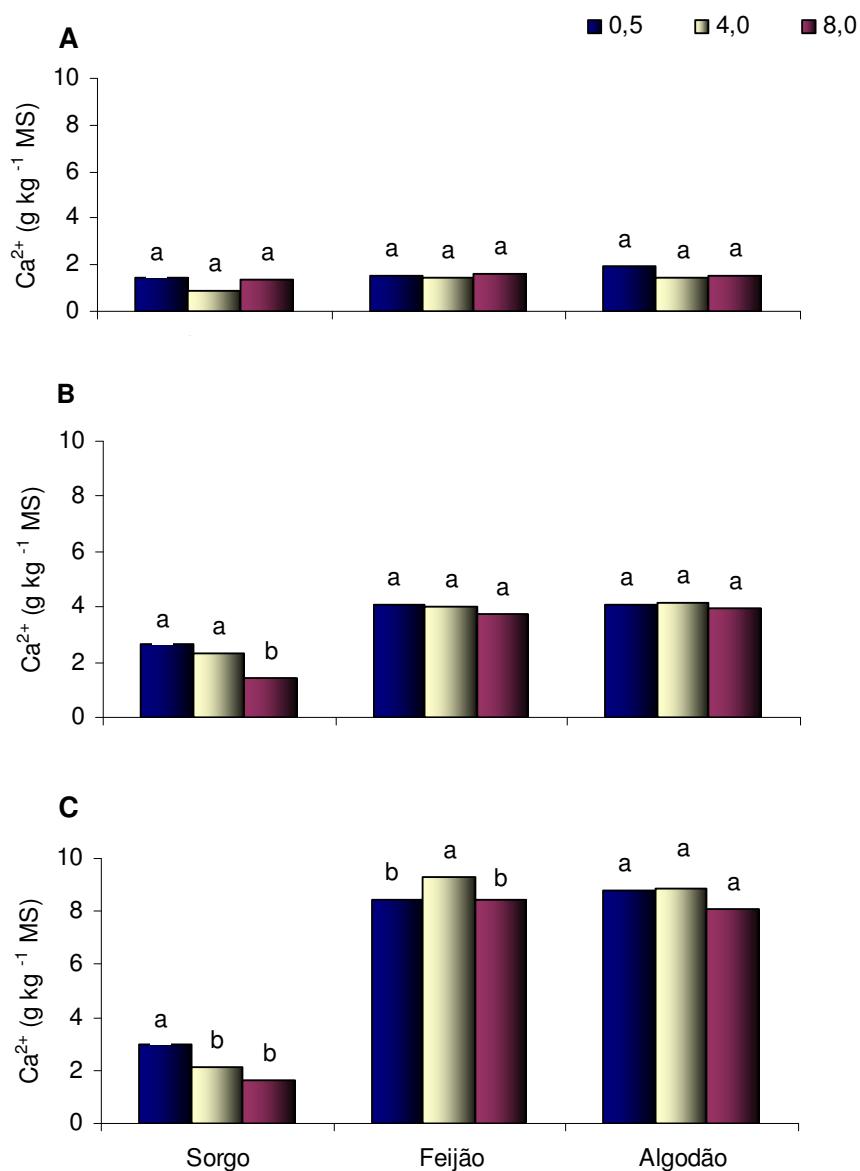


FIGURA 9 – Teor de cálcio na raiz (A), caule (B) e folha (C) em sorgo, feijão-de-corda e algodão, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

*Colunas dentro da mesma espécie, apresentando as mesmas letras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.6. Distribuição relativa de íons na planta

Na avaliação do comportamento dos íons nas diferentes partes da planta, verificou-se que a distribuição do íon sódio foi semelhante para as plantas de sorgo e de feijão-de-corda (Figura 10). Nessas duas espécies, o Na^+ acumulou mais nas raízes do que no caule e nas folhas, enquanto no algodoeiro o acúmulo nas folhas foi maior que no caule. Já o K^+ esteve mais presente na parte aérea do sorgo e do feijão-de-corda, tendo sido o caule que mais acumulou íon. O algodão teve uma distribuição mais uniforme desse elemento, tendo no caule havido acúmulo crescente à medida que os níveis salinos eram aumentados. Com exceção do sorgo, que concentrou cerca de 40% de todo o cálcio retido pela planta no caule, a distribuição nas outras duas espécies aconteceu de forma crescente, da raiz até às folhas. O estresse salino não provocou tantas alterações na distribuição de Cl^- nas diferentes partes das plantas, permanecendo proporcionalmente igual aos valores observados tanto no tratamento de menor salinidade quanto no de maior. As partes das plantas que acumularam percentualmente mais Cl^- foram o caule no sorgo, a folha no feijão-de-corda e as raízes no algodão. Essas diferentes respostas são resultantes do acúmulo e da retenção diferenciais de íons na planta e expressam parte os mecanismos de adaptação das espécies estudadas.

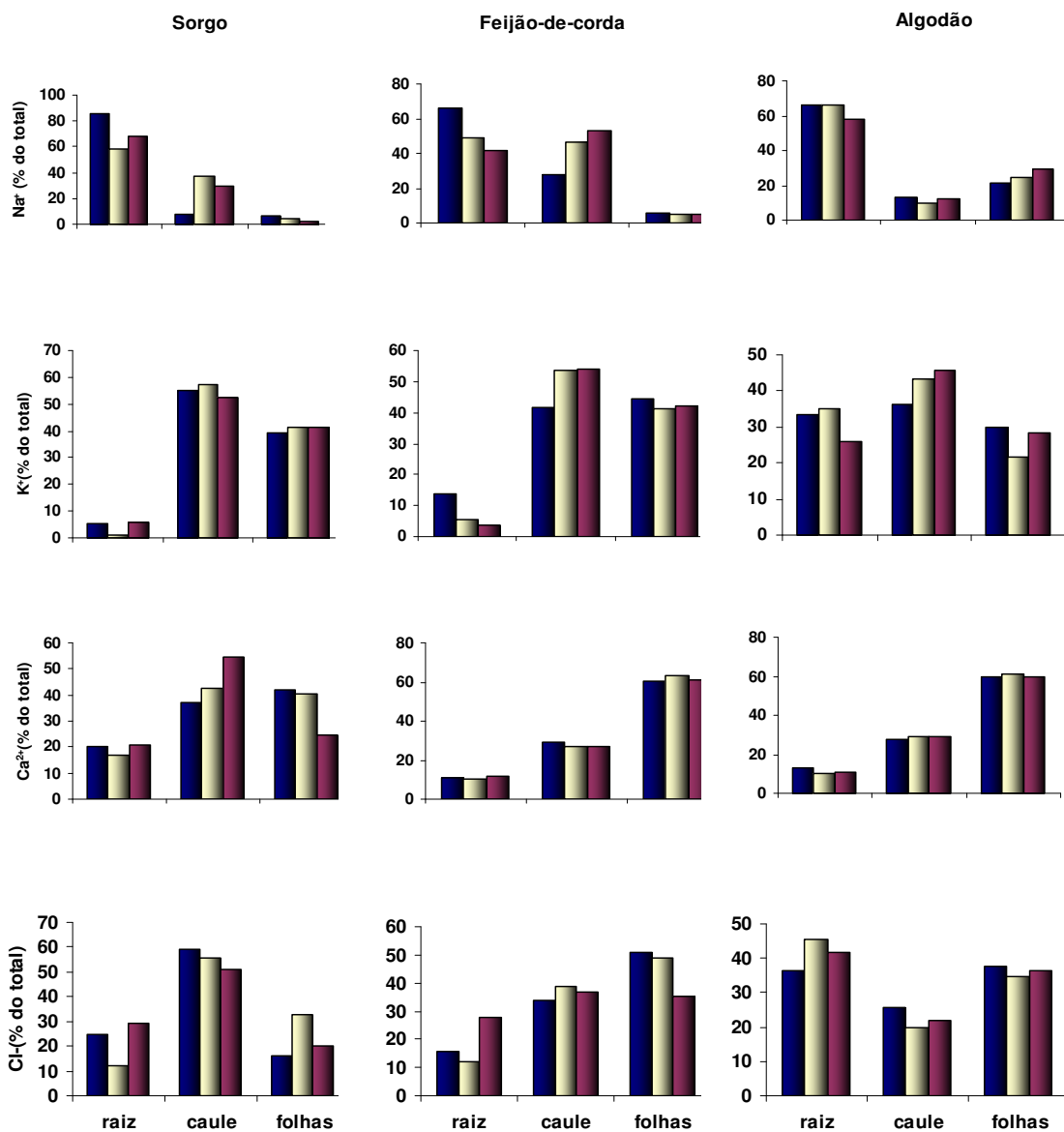


FIGURA 10 – Partição percentual de Na⁺, K⁺, Ca²⁺ e Cl⁻ nas raízes, caule e folhas de plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão espécies irrigadas com crescentes níveis de salinidade de água; ■ 0,5 dS m⁻¹, ■ 4,0 dS m⁻¹ e ■ 8,0 dS m⁻¹.

4.7. Acúmulo de Prolina

A Tabela 14 apresenta o resultado da análise de variância para o acúmulo de prolina nas folhas três espécies. Verifica-se que a salinidade influenciou tanto entre os tratamentos quanto entre as espécies. Na figura 11, pode ser observado que a salinidade teve pouca influência nos teores foliares de prolina, porém se verificou diferenças marcantes entre as espécies. A espécie que mais acumulou prolina foi o feijão-de-corda com $5,66 \mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca seguido do algodão com $1,48 \mu\text{mol g}^{-1}$ e do sorgo com $1,18 \mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca. Em termos percentuais o feijão-de-corda acumulou cerca de 70% e 80% a mais do que o algodão e o sorgo respectivamente. O aumento da salinidade da água de irrigação não influenciou os teores de prolina em feijão-de-corda e sorgo, porém promoveu aumento em folhas de algodão. A falta de acúmulo de prolina em folhas de feijão-de-corda estressadas com NaCl tem sido confirmado em outros estudos (SOUSA 2006), porém em sorgo muitos resultados têm comprovado acúmulo desse soluto (LACERDA et al., 2003), embora esse acúmulo tenha sido interpretado como um sinal de injúria aos tecidos foliares. Por outro lado, o acúmulo de prolina em algodão tem sido verificado em outros estudos, como o desenvolvido por Ribeiro (2004) com dois cultivares de algodão sob estresse hídrico.

TABELA 14 – Valores dos quadrados médios e da significância estatística para prolina em sorgo, feijão-de-corda e algodão irrigadas com diferentes níveis de água salina

Fonte de Variação	Quadrado médio
Tratamento (T)	0,713*
Espécie (E)	63,415**
T x E	0,665*
Resíduo	0,152
CV (%)	14,4

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

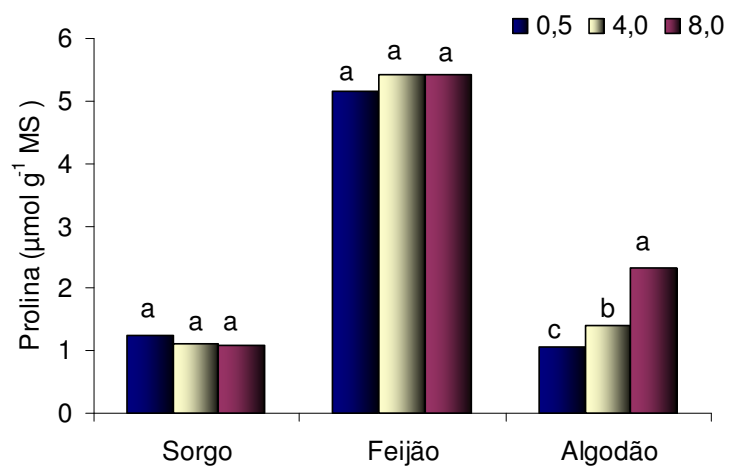


FIGURA 11 – Teor de prolina em folhas de sorgo, feijão-de-corda e algodão, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, pode ser concluído que::

1. Os dados de crescimento, confirmaram a maior sensibilidade do feijão-de-corda e a maior tolerância do algodão à salinidade;
2. O algodão se diferenciou das duas outras espécies por apresentar maior acúmulo e retenção de Na^+ e Cl^- nas raízes, maiores teores desses íons nos limbos foliares, menores alterações nos teores de K^+ e aumento nos teores de prolina em resposta ao aumento da salinidade;
3. As percentagens de extração de sais foram baixas nas três espécies, sendo maior em algodoeiro e menor em sorgo;
4. O sorgo apresentou menores teores de íons potencialmente tóxicos (Na^+ e Cl^-) nos limbos foliares, porém, apresentou também reduções nos teores de K^+ e Ca^{2+} em função da salinidade, o que pode ter contribuído para a inibição do crescimento dessa espécie. Além disso, a retenção dos íons Na^+ e Cl^- nos colmos induziu a desidratação dos limbos foliares medida pelo grau de suculência;
5. 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.

6. LITERATURA CITADA

AGUIAR, J. V. **Determinação do consumo de água e da função de produção do caupi irrigado no município de Bragança-Pará.** 1989. 106f. Dissertação. (Mestrado em Irrigação Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1989.

ALBERICO, G.J.; CRAMER, G.R. Is the salt tolerance of maize related to sodium exclusion? I. Preliminary screening of seven cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v.16, p.2289-2303, 1993.

AQUINO, A. J. S. **Avaliação do crescimento e dos mecanismos de tolerância à salinidade em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas.** Fortaleza, 2005. 90f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

ASHRAF, M. Salt Tolerance of Cotton: Some New Advances. **Critical Review in Plant Science**, v.21, p.1-30, 2002.

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.** Fortaleza, 2007. 65p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade de água na agricultura.** 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. FAO. (Estudos Irrigação e Drenagem, 29 revisado).

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

BATES, L. S.; WALDEN, R. P.; TEARE, JD. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant Soil**, v. 39, p. 205 – 207, 1973.

BELTRÃO, N. E. M.; CRISOSTOMO, J. R.; NÓBREGA, L. B. da; SANTOS, E. O.; AZEVEDO, D. M. P. de; VIEIRA, D. J.; GUIMARÃES, P. M.; SILVA, M. J. da. **O algodoeiro e tecnologias disponíveis ao Nordeste brasileiro. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil/EMBRAPA/CNPA.** 1986. 168p (Estudos Econômicos e Sociais, 32).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8 ed. Viçosa: Ed. UFV. 2006. 611p.

BERNSTEIN, N.; LÄUCHLI, A.; SILK, W. K. Kinematics and dynamics of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) leaf development at various Na/Ca salinities: I. Elogation growth. **Plant Physiology**, v. 103, 1107 – 1114, 1993a.

BERNSTEIN, N.; SILK, W. K.; LÄUCHLI, A. Growth and development of sorghum leaves under conditions of Na/Cl stress. **Planta**, v. 191, p. 433 – 439, 1993b.

BLANCO, F. F. **Tolerância do pepino à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo.** Piracicaba, 1999. 104f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba, 1999.

CACHORRO, P.; ORTIZ, A.; CERDÁ, A. Effects of saline stress and calcium on lip composition in bean roots. **Phytochemistry**, v.32, p.1131-1136, 1993.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.23-28, 2000.

CONAB – Companhia nacional de Abastecimento. **Comportamento da safra-junho/2004 do Estado do Ceará.** 2004. Disponível em:<<http://www.conab.gov.br/download/sureg/ce/comportamentodassafrafcearajunho2004.pdf>>. Acesso em: 02 de maio de 2006.

CORDEIRO, G. **Salinidade em áreas irrigadas**. Petrolina, 1999. Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br/artigos/salinidade.html>>. Acesso em: 29 mai. 2006.

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

CRONQUIST, A. **The evolution and classification of flowering plants**. 2nd ed. New York: The New York Botanical Garden, 1988. 555p.

CUNHA, G. R. da; BERGAMASCHI, H. **Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas**. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). Agrometeorologia aplicada à irrigação. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p. 85-97. 1992.

DAKER, A. **A água na agricultura**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, v.3, 1988. 453p

DIAS, N. S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido**. Piracicaba, 2004. 110p. Tese (Doutorado em irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do Feijão-caupi**. Teresina, 2003a. Embrapa Meio-Norte. Sistemas de produção, 2 CD ROM.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do Sorgo. Sete Lagoas**, 2000. Embrapa milho e Sorgo. Sistemas de produção, 2 CD ROM.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo, EDUSP, 341p. 1975.

FAO. **Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-affected Soils**. 2000. <Disponível em: <http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/intro.htm>>. Acesso em 03 mai. 2006.

FAO. *Production Yearbook*, Roma, v.8, 1, p.19-28, 1995.

FERREIRA, M. . L. **Distribuição radicular e consumo de água da goiabeira (*Pesidium guajava*. L) irrigada por microaspersão em Petrolina-PE**. Piracicaba, 2004, 106p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz., Piracicaba, 2004.

FNP - CONSULTORIA & COMERCIO. **Agrianual 2004: anuário da agricultura brasileira**. São Paulo. 2004. 546 p.

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.

GALVEZ, A. F.; GULICK, P. J.; DVORAK, J. Characterization of the Early Stages of Genetic Salt-Stress Responses in Salt-Tolerant *Lophopyrum elongatum*, Salt-Sensitive Wheat, and Their Amphiploid. **Plant Physiology**, v. 103, p. 257-265, 1993.

GHEYI , H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, Viçosa: SBCS, 2000. p.329-346.

GRIEVE, C.M.; MAAS, E.V. Differential effects of sodium/calcium ratio on sorghum genotypes. **Crop Science**, v.28, p.659-665, 1988.

GRUPO PRÓ-SORGO. **Sorgo – Brasil. Área plantada e produção – Safra 2003/2004**. Disponível em: <http://www.apps.agr.br/Files/D_Estat/ev_area_prod_dorgobr.html>. Acesso em 29 maio. 2005.

GUERRA, A. F.; SILVA, D. B.; RODRIGUES, G.C. Manejo da irrigação e fertirrigação nitrogenada para o feijoeiro na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v..35, p.122-1236, 2000..

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

HILLEL, D. **Solo e água: Fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, 1970. 231p.

JÁCOME, A. G. **Crescimento e produção de genótipos de algodoeiro, em um solo salinizado**. 1999. 127f. Dissertação. (Mestrado em Irrigação Drenagem) - Universidade Federal de Campina Grande Campina Grande, 1999.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. London: Academic Press, 1995. 495p.

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. Morphophysiological responses of cowpea leaves to salt stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, p.455-465, 2006.

LACERDA, C. F. **Interação salinidade x nutrição mineral**. In: NOGUEIRA, R. M. C.; ARAÚJO, E. L.; WALLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, Imprensa universitária, 2005. p. 127-137.

LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; CANO, A. O.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. T. Solute accumulation and distribution during shoot leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 49, p 107–120, 2003.

LACERDA, C. F.. **Crescimento e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos em dois genótipos de sorgo forrageiros submetidos a estresse salino**. Viçosa, MG: UFV, 2000, 163p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa) – 2000.

LACERDA, C. F. **Efeitos da salinidade no desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do Ca^{2+} para minorar tais efeitos**. Fortaleza, 1995. 87p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) –) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1995.

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

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, 1995. 497p.

LIRA, M. A. Considerações sobre o potencial do sorgo em Pernambuco. In: CURSO DE EXTENSÃO SOBRE A CULTURA DO SORGO, 1980, Vitória de Santo Antão, PE. **Curso de Extensão**. Brasília DF: EMBRAPA, DID, 1981. p. 87-88 (Documento 1).

LUTTS, S.; KINET, J. M.; BOUHARMONT, J. Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance.. **Plant Growth Regulation**, v. 19, p. 207-218, 1996.

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

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 680p

MEDEIROS, E. V. **Efeitos da salinidade na água de irrigação sobre a germinação, vigor de sementes e desenvolvimento de plantas de algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. *r. latifolium* Hutch)**. Areia: UFPB. CCA. 1996. 51f. (Monografia de Garduação).

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. Evolução da salinidade em pequenas áreas irrigadas na zona semi-árida do Nordeste. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 1993. Ilhéus. **Anais...** v.5, p. 2943 – 2955, 1993.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. **A qualidade da água de irrigação**. Campina Grande: UFPB, 1994. 60p.

MENGEL, K. & KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4th ed., Switzerland, International Potash institute, 1987. 687p.

MESQUITA, T. B. de. **Caracterização da qualidade das águas empregadas nos distritos irrigados da Bacia do Acaraú**. Fortaleza, 2004. 62f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. ; BLOCH, M. F. M. Avaliação de métodos com e sem digestão para extração de elementos em tecidos de plantas. **Ciência e Cultura**, v.36, 1953-1958, 1984.

MOUSINHO, F.E.P.; **Viabilidade econômica da irrigação do feijão-caupi no Estado do Piauí**. Piracicaba, 2005. 103p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2005.

MOYA, J.L.; PRIMO-MELO, E.; TALON, M. Morphological factors determining salt tolerance in *Citrus seedlings*: The shoot to root ratio modulates passive root uptake of chloride ions and their accumulation in leaves. **Plant, Cell and Environment**, v. 22, p. 1425-1433, 1999.

MÜHLING, K. H.; LÄUCHLI, A. Effect of salt stress on growth and cation compartmentation in leaves of two plant species differing in salt tolerance. **Journal of Plant Physiology**, v.159, p.137-146, 2002.

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

NOBLE, C. L., ROGERS, M. E. Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops. **Plant Soil**, v. 146, p. 99-107, 1992.

NUNES FILHO, J. **Comportamento de duas cultivares de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. raça latifolium Hutch.) em função da salinidade e umidade do solo.** Botucatu, 1993. 96p Tese. (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 1993.

OLIVEIRA, H. P. M. **Efeito de concentrações iso-osmóticas de sais (NaCl + KCl) sobre o crescimento e acúmulo de íons em plantas de sorgo forrageiro.** 32f. Fortaleza, 2002. Monografia (Curso de Agronomia) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2002.

OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Ed). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada.** Campina Grande: UFPB, 1997. p. 1 - 35.

PEREIRA, F. A. M.; HOLANDA, J. S.; MEDEIROS, J. F.; BRITO, R. A. L.. Qualidade de água para irrigação no Seridó-RN. In CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9.1991, Natal. **Anais...** Fortaleza, 1992. 2v. em 5. (Tomo 1.p.543-62).

PEREIRA, M. N. B.; AZEVEDO, N. C.; FERNANDES, P. D.; AMORIM NETO, M. S. Crescimento e desenvolvimento de duas cultivares de algodoeiro herbáceo em baixos níveis de umidade no solo, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.1, p.1-7, 1997.

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.)**. Tese de Professor Titular de Fisiologia Vegetal, Fortaleza, Universidade federal do Ceará, 1987, 65p.

REBOUÇAS, M. A. A.; FAÇANHA, J. G. V.; FERREIRA, L. G. R.; PRISCO, J. T. Crescimento e conteúdo de N P K e Na em três cultivares de algodão sob condições de estresse salino. **Revista Brasileira de Fisiologia vegetal**, v.1 p.79-85, 1989.

REID, R.J. & SMITH, A. The limits of sodium/calcium interactions in plant growth. **Australian Journal Plant Physiology**, v.27, p.709-715, 2000.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Trad. GHEYI, H. R.; SOUSA, J. R. de.; QUEIROZ, J. E. Campina Grande: UFPB, 2000.

RIBEIRO, L. G. **Características fisiológicas e bioquímicas de dois cultivares de algodão submetidos a déficit hídrico**. Dissertação (Mestrado em Bioquímica Vegetal) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

SEAGRI - Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária do Estado da Bahia. **Cultura - algodão**. 2006. Disponível em <<http://www.seagri.ba.gov.br/Algodao.htm>>. Acesso em: 12 mar. 2006.

SERRANO, R., GAXIOLA, R. Microbial models and salt stress tolerance in plants. **Critical Review in Plant Science**, v. 13, p.121-138, 1994.

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 FILHO, S. B.; CAVALCANTE, L. F.; OLIVEIRA, F. A.; LIMA, E. M.; COSTA, J. R. M. Monitoramento da qualidade e acúmulo de sais no solo pela irrigação. **Irriga**, v.5, p35-40, 2002.

SILVA, J. V. **Caracteres fisiológicos e bioquímicos de dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos á salinidade**. Fortaleza, 2003. 109p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

SILVA J.V.; LACERDA, C.F.; COSTA, P.H.A.; ENÉAS-FILHO, J.; GOMES-FILHO, E. & PRISCO, J.T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl₂. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.15, p.99-105, 2003.

SIQUEIRA, E. C. da; **Crescimento e produção do algodoeiro colorido marrom escuro CNPA 2001/26 sob estresse salino**. Campina Grande, 2003. 57f. Dissertação. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

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

SOUZA, F. **Irrigação: desenvolvimento e tecnologia**. Fortaleza: Imprensa Universitária/UFC, 2000. 94p.

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

TRANI, P. E.; GROppo, G. A. O.; SILVA, M. C. P.; MINAMI, K.; BURKE, T. J. Diagnóstico sobre a produção de hortaliças no estado de São Paulo. **Horticultura Brasileira**, v. 15, p.19-24, 1997.

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

VIEIRA, M. R. **Produtividade, composição químico-bramatológica e nutrição mineral de plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas**. Fortaleza. 2006. 97f. (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Fortaleza. 2006.

YEO, A. Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants. **Scientia Horticulture**, v.78, p.159.174, 1999.