

**Distribuição de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em plantas jovens de feijão caupi expostas a estresse salino e temperatura elevada**

**ANTÔNIA TATHIANA BATISTA DUTRA**

**AGOSTO - 2008  
FORTALEZA - CEARÁ  
BRASIL**

Distribuição de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em plantas jovens de feijão caupi expostas a estresse salino e temperatura elevada

ANTÔNIA TATHIANA BATISTA DUTRA

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, como requisito para a obtenção do grau de Mestre.

AGOSTO - 2008  
FORTALEZA - CEARÁ  
BRASIL

Esta dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará. Uma via do presente estudo encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca de Tecnologia da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

---

Antônia Tathiana Batista Dutra

Dissertação aprovada em: 22 / 08 / 2008

---

Prof. Joaquim Albenísio Gomes da Silveira - Doutor  
(Orientador)

---

Prof. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez - Doutor  
(Examinador)

---

Prof<sup>a</sup> Cristiane Elizabeth Costa de Macedo - Doutora  
(Examinadora)

A Deus, o pai eterno. Ao meu pai, **Valmir Dutra da Silva** e à minha mãe, **Sueli Batista Dutra**, que tudo fizeram para o adiantamento moral e intelectual dos seus filhos; à minha tia, **Suzete Alves Batista**, minha eterna saudade; aos meus irmãos, **Tarciano e Tássia**; Ao meu noivo, **Harlei Ferreira Araújo**; e ao meu melhor amigo, **Maradona**.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, onipotente, onipresente e onisciente, porém humilde por me conceder a vida e transpor mais esta conquista.

Ao Prof. Dr. Joaquim Albenísio Gomes da Silveira, pela sua orientação neste trabalho e apoio no desenvolvimento deste curso.

Ao curso de pós-graduação em Solos e Nutrição de plantas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará – UFC, pela oportunidade concedida de aprimoramento dos meus ínfimos conhecimentos nesta área.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudo durante o curso.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, Dr. Boanerges Freire de Aquino, Dr. Ismail Soares, Dr. Paulo Furtado Mendes Filho, Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior, Dr. Ricardo Espíndola Romero e Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.

À prof<sup>a</sup>. Cristiane Elizabeth de Macedo pelo apoio, pelos auxílios e pela convivência.

Aos meus pais, Valmir e Sueli, pela atenção, pelos cuidados e pelo apoio incondicional.

Aos meus irmãos, Tarciano e Tássia, pelo companheirismo e pelos auxílios.

Ao meu noivo, Harlei, companheiro de todos os instantes, todo o meu amor e todo o meu afeto.

Aos colegas de laboratório, Abel, Adilton, Ana Karla, Aurenívia, Evandro, Marcelo, Rafaela, Rafael, João Paulo, Josemir, Sérgio, Thereza Christine e Luiz pelo convívio durante o curso.

Ao Eduardo por todos os subsídios e aprendizados durante o desenvolvimento desse trabalho.

À Cristina e Raquel pelos momentos de descontração e pelo apoio nos momentos difíceis durante o curso.

Ao Eng<sup>o</sup>. Agrônomo, Júnior Tupinambá, pela compreensão, respeito e dedicação a mim dispensados durante esses meses.

Aos companheiros de turma e das disciplinas, Química, Física do solo e Métodos de análise de Solos e Plantas: Francélio Pereira de Sousa, Jocimar Ayres, Geocléber Souza, Pedro Torquato, João Paulo, Rafaela, Geovana, Natanael e Elinete,

pela união, tanto de conhecimentos e, principalmente, pela próspera amizade ora iniciada.

Aos funcionários Edílson e Maria Edinilda (Nêga) pelos auxílios prestados.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta – difícil nomear, entretanto, impossível esquecê-los – contribuíram com este trabalho, no intuito de melhorar a pesquisa brasileira e conceber novas tecnologias que visem o esclarecimento sobre a distribuição de íons em condições salinas.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. HIPÓTESE E OBJETIVOS.....	17
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1. Aspectos gerais da cultura do feijão-caupi.....	18
3.2. Efeito da salinidade sobre as plantas.....	19
3.2.1. Efeito dos sais sobre as plantas.....	19
3.2.2. Tolerância das culturas à salinidade.....	20
3.2.3. Respostas do feijão-caupi à salinidade.....	22
3.3. Salinidade e transpiração.....	23
3.4. Distribuição de $\text{Na}^+$ e $\text{Cl}^-$ .....	24
3.4.1. Absorção de $\text{Na}^+$ e $\text{Cl}^-$ .....	25
3.4.2. Transporte de $\text{Na}^+$ e $\text{Cl}^-$ na planta.....	27
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
Estratégia experimental.....	31
4.1. Material Vegetal.....	32
4.2. Local e condições do experimento.....	32
4.3. Semeio.....	32
4.4. Meio de cultivo.....	33
4.5. Conduções experimentais.....	33
4.5.1. Experimento I - Caracterização da distribuição de $\text{Na}^+$ e $\text{Cl}^-$ em plantas jovens de feijão-caupi submetidas a concentrações crescentes de NaCl (0; 25; 50; 75 e 100 mM), durante 3 dias. ....	33
4.5.1.1. Objetivo.....	33
4.5.1.2. Desenho experimental.....	33
4.5.2. Experimento II – Caracterização da distribuição de $\text{Na}^+$ e $\text{Cl}^-$ em plantas jovens de feijão-caupi em função do tempo de exposição a NaCl 50mM (6 dias) e da recuperação ( 3dias) .....	36
4.5.2.1. Objetivo.....	36
4.5.2.2. Desenho experimental. ....	36

4.5.3. Experimento III - Distribuição de Na <sup>+</sup> e Cl <sup>-</sup> em plantas jovens de feijão-caupi submetidas aos efeitos combinados de estresse salino e de temperatura elevada.....	38
4.5.3.1. Objetivo.....	38
4.5.3.2. Desenho experimental.....	38
4.6. Análises Estatísticas.....	39
4.7. Taxas de transpiração.....	39
4.8. Determinações analíticas.....	40
4.8.1. Concentração de sódio.....	40
4.8.2. Concentração de cloreto.....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
5.1.1. Acumulação e distribuição de massa seca em plantas jovens de feijão-caupi em resposta a diferentes concentrações de NaCl. ....	42
5.1.2. Acumulação e distribuição de Na <sup>+</sup> e Cl <sup>-</sup> em plantas jovens de feijão-caupi em resposta a diferentes concentrações de NaCl. ....	45
5.1.3. Transpiração.....	48
5.2.1. Efeitos de tempo de exposição e recuperação de NaCl na acumulação e distribuição de massa seca. ....	50
5.2.2. Acumulação e distribuição de Na <sup>+</sup> e Cl <sup>-</sup> em plantas jovens de feijão-caupi em resposta ao efeito do tempo de exposição e recuperação de NaCl.....	54
5.2.3. Transpiração.....	59
5.3.1. Efeitos da temperatura na acumulação e distribuição de massa seca em plantas submetidas à NaCl.....	60
5.3.2. Acumulação e distribuição de Na <sup>+</sup> e Cl <sup>-</sup> em partes jovens de feijão-caupi em resposta a efeitos da temperatura.....	63
5.3.3. Transpiração.....	68
6. SÍNTESE DOS RESULTADOS .....	69
7. CONCLUSÃO.....	71
8. LITERATURA CITADA.....	72
ANEXOS.....	81
Gráficos de Acumulação.....	90

## DISTRIBUIÇÃO DE Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> EM PLANTAS JOVENS DE FEIJÃO-CAUPI EXPOSTAS A ESTRESSE SALINO E TEMPERATURA

### RESUMO

Embora se tenha muitos estudos sobre estresse salino, pouco se conhece sobre os mecanismos individuais de sódio (Na<sup>+</sup>) e cloro (Cl<sup>-</sup>) na fisiologia de plantas expostas à salinidade. Baseado nisso, objetivou-se, através deste estudo, avaliar a extensão com que os íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> são acumulados em diferentes partes jovens de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] e as suas possíveis interferências sobre as medidas de transpiração. Para comprovar a hipótese que os íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> apresentam modelos diferentes de distribuição nas partes vegetativas de feijão-caupi e que esse processo não é afetado pela temperatura, foi organizada uma seqüência metodológica envolvendo três experimentos, onde o experimento I consistiu em avaliar a distribuição de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em partes jovens de feijão-caupi submetido a concentrações crescentes de NaCl (0; 25; 50; 75 e 100 mM) durante 3 dias, onde ocorreu um maior acúmulo de cloreto em todas as partes estudadas com exceção do caule que teve acúmulo similar de ambos os íons. Baseado nessa distribuição, utilizou-se a concentração de 50mM, pois essa concentração não superaria a capacidade de armazenamento e, assim, seria possível, nesse nível, uma recuperação (foi mantida durante 6 dias em NaCl e, a partir do 4º dia, as amostras foram divididas em dois lotes). Um lote permanecia com NaCl e o outro trocava a solução sem NaCl e assim verificar se essa estratégia a planta seria capaz de recupera-se. Os resultados corroboram com os obtidos no experimento I com exceção da primeira folha trifoliolada que acumulou mais Na que Cl. A literatura relata, abundantemente, que nas épocas de verão (período do experimento I), principalmente no semi-árido, as plantas acumulam mais íons, onde a temperatura é uma medida de fator climático que pode interferir na distribuição de íons e esse efeito está ligado à transpiração. No experimento III, foi avaliado o efeito combinado de estresse salino e de temperaturas elevadas, com concentrações de 0 e 100 mM de NaCl e exposição a temperaturas de 27; 32; 37 e 42°C, separadamente, por um fotoperíodo de 12 horas. Os resultados corroboram com os obtidos, anteriormente, em que o sódio concentrou-se mais nas raízes e caules das plantas quando tratadas nas duas últimas temperaturas. Em relação ao íon cloreto, foi verificado um comportamento similar aos experimentos anteriores, pois este se acumulou, em maior proporção, nas folhas sob temperaturas de 32 a 42°C.

Notadamente, o acúmulo de cloreto está associado à quantidade de água absorvida durante a aplicação do estresse. Em relação à transpiração, os resultados também corroboram com os anteriores. Dessa forma, conclui-se que, independente da concentração, tempo, recuperação e temperatura, o sódio é mais concentrado na raiz e caule, enquanto o cloreto concentra-se nas folhas.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*, estresse salino, distribuição de íons e transpiração.

## **DISTRIBUTION OF Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> PARTIES IN VEGETATIVE ON COWPEA PLANTS FOR ANSWERS IN THE LEVELS OF NaCl AND TEMPERATURE**

### **ABSTRACT**

Although it has many studies on salinity, little is known about the mechanisms of individual Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> in the physiology of plants exposed to salinity. Based on that meant to use this study to evaluate the extent to which the ions Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> are accumulated in different parts of young cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] and the possible interference on the steps of perspiration. To prove the hypothesis that the ions present different models of distribution in vegetative parts of cowpea and this process is not affected by temperature. It organized a string surrounding methodological three experiments. Where will I study was to evaluate the distribution of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> young in parts of cowpea subjected to increasing concentrations of sodium chloride (0, 25, 50, 75 and 100 mM) for 3 days. In what was a greater accumulation of sodium chloride that in all parts studied, except the stem which accumulation in the equivalent proportions. Based on this distribution used with a concentration of 50 mM because it would not exceed the storage capacity and it was possible that a recovery level (it was held for 6 days in NaCl and from the 4th day the samples were divided into two lots. A lot remains NaCl and other exchanges with the solution without NaCl and thus verify that this strategy the plant would be able to recover it. The results corroborated with those obtained in the experiment I except the 1st trifoliolate leaves that accumulated more in that Cl. The literature reports that plenty of times in the summer (period of the experiment I), particularly in semi-arid plants accumulate more ions. Where the temperature is a measure of climatic factors that may interfere with the distribution of ions and whether this effect is linked to transpiration. And then we performed the experiment III to assess the combined effect of salinity and high temperatures, in concentrations from 0 to 100 mM NaCl. Exposed to temperatures of 27, 32, 37 and 42 C, separately, during a photoperiod of 12 hours. The results corroborate with those obtained previously in the sodium has focused more on the roots and stems when treated in the last two temperatures. Regarding the chloride ion, was found a behavior similar to previous experiments, as they accumulated in greater proportion in the leaves at temperatures of 32 to 42 C. Notably the accumulation of chloride, is associated with

the amount of water absorbed during the implementation of stress. Regarding transpiration also corroborate the previous results. Thus it appears that regardless of concentration, time, temperature recovery and the ash is more concentrated in the root and stem while chloride is concentrated in the leaves.

Keywords: *Vigna unguiculata*, salt stress, distribution of ions and sweat.

## LISTA DE FIGURAS

Ilustração 1. Metodologia utilizada nos 3 experimentos.....	20
Ilustração 2. Descrição do desenho experimental do experimento 1.....	21
Ilustração 3. Descrição do desenho experimental do experimento 2.....	23
Ilustração 4. Descrição do desenho experimental do experimento 3.....	25
Ilustração 5. Procedimento utilizado nas medidas de transpiração.....	26
Figura 1. Aspecto visual do stand de plantas de Feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> ) após 4 dias de tratamento com concentrações crescentes de NaCl (0, 25, 50, 75 e 100mM).....	28
Figura 2. Produção de massa seca de raiz e caule (A), pecíolos (B) e tipos de folhas (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a doses crescentes de NaCl durante 3 dias.....	30
Figura 3. Produção de massa seca de tipos de folhas (A) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a doses crescentes de NaCl durante 3 dias.....	30
Figura 4. Conteúdo de sódio em raiz e caule (A), pecíolos (B) e tipos de folhas (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a concentrações crescentes de NaCl durante 3 dias.....	32
Figura 5. Conteúdo de cloreto em raiz e caule (A) e tipos de folhas (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a concentrações crescentes de NaCl durante 3 dias.....	33
Figura 6. Medidas de transpiração de plantas jovens de feijão-caupi submetidas a concentrações crescentes de NaCl durante 3 dias.....	35
Figura 7. Aspecto visual do stand de plantas de Feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> ) durante os tratamentos, 1,2 e 3 dias, com 50mM de NaCl.....	36
Figura 8. Aspecto visual do stand de plantas de Feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> ) durante os tratamentos, 4, 5, e 6 dias, com 50mM de NaCl e seguidos de recuperação após o quarto dia de estresse.....	37
Figura 9. Produção de massa seca (MS) de raiz (A) e caule (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle e 50 mM NaCl até 6 dias e seguidos de recuperação após o quarto dia de estresse.....	38
Figura 10. Produção de massa seca (MS) de tipos de folhas: Cordiforme (A), 1ª trifoliolada (B) e 2ª trifoliolada (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle e 50 mM NaCl até 6 dias e seguidos de recuperação após o quarto dia de estresse.....	39
Figura 11. Conteúdo de sódio em raiz (A) e caule (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle e 50 mM NaCl, durante 6 dias e seguidos de recuperação após o quarto dia de estresse.....	40
Figura 12. Conteúdo de sódio em tipos de folhas cordiforme (A), 1ª trifoliolada (B) e 2ª trifoliolada (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle, 50 mM NaCl, durante 6 dias e seguidos de recuperação após o quarto dia de estresse.....	42
Figura 13. Conteúdo de cloreto em raiz (A) e caule (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle, 50 mM NaCl, durante 6	43

dias e seguido de recuperação após o quarto dia de estresse.....	
Figura 14. Conteúdo de cloreto em tipos de folhas cordiforme (A), 1ª trifoliolada (B) e 2ª trifoliolada (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle, 50 mM NaCl, durante 6 dias e seguido de recuperação e após o quarto dia de estresse.....	44
Figura 15. Medidas de transpiração (A) de plantas de feijão-caupi submetidas a 50 mM NaCl, durante 6 dias e seguido de recuperação e após o quarto dia de estresse.....	45
Figura 16. Aspecto visual do stand de plantas jovens de Feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> ), aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.....	46
Figura 17. Produção de massa seca de raiz (A) e caule (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescente de temperatura, durante 12 horas.....	47
Figura 18. Produção de massa seca de folhas cordiforme (A), 1ª folha trifoliolada (B) e 2ª folha trifoliolada (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.....	48
Figura 19. Conteúdo de sódio em raiz (A) e caule (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.....	49
Figura 20. Conteúdo de sódio em tipos de folhas cordiforme (A) e 1ª folha trifoliolada (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.....	50
Figura 21. Conteúdo de sódio na 2ª folha trifoliolada, em função da temperatura, de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.....	51
Figura 22. Conteúdo de cloreto em raiz (A) e caule (B), em função da temperatura, de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.....	52
Figura 23. Conteúdo de cloreto em tipo de folha cordiforme (A), 1ª folha trifoliolada (B) e 2ª folha trifoliolada (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.....	53
Figura 24. Medidas de transpiração de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.....	54

## 1. INTRODUÇÃO

Condições ambientais adversas para o crescimento, o desenvolvimento ou a produção das plantas são conhecidas como estresses. Seca, inundação, temperaturas extremas, alta luminosidade, carências nutricionais e elevada salinidade do solo são os principais exemplos de estresses que acarretam perdas na produção de espécies cultivadas (Bray et al., 2000). Estudos sobre esses fenômenos em plantas têm se intensificado devido aos distúrbios climáticos decorrentes do uso não sustentado dos recursos naturais.

Atualmente, 19,5% das terras irrigadas e 2,1% dos solos do planeta são afetados de alguma forma por sais (FAO, 2006). No Brasil, estima-se que, aproximadamente, 30% das áreas irrigadas nos projetos públicos apresentam problemas de salinização e essas áreas estão concentradas, principalmente, no semi-árido nordestino (Lopes et al., 2008), onde se observa a junção de três condições: elevada demanda evapotranspiratória, reduzido índice pluviométrico e drenagem deficiente que levam à salinização primária dos solos, além das práticas de irrigação e uso incorreto de fertilizantes que dão origem à salinização secundária (Aguiar-Netto et al., 2007). Dessa forma, a salinização do solo pode ser prevenida ou remediada por técnicas de manejo da água e do solo que podem aumentar a produção das culturas em solos salinizados, pela utilização de espécies ou cultivares resistentes. Dentre as espécies cultivadas na região Nordeste do Brasil, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) se destaca como

espécie moderadamente resistente ao estresse salino e como uma das principais fontes de alimento para agricultores familiares e classes sociais carentes em regiões urbanas (Dantas et al., 2002). Do mesmo modo, a utilização desta espécie como modelo de estudo pode permitir o conhecimento sobre os mecanismos fisiológicos e bioquímicos envolvidos no processo de adaptação das plantas ao estresse salino.

Os efeitos do estresse salino causado por cloreto de sódio (NaCl), em feijão-caupi, têm sido estudados em relação à germinação, crescimento (Silveira et al., 2001), transpiração (Silveira et al., 2001; Cavalcante et al., 2004). Apesar disso, pouco se conhece sobre os efeitos tóxicos em relação aos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em raiz, caule, folha cordiforme, 1ª e 2ª trifoliolada de plantas jovens de feijão-caupi.

Este trabalho se propôs avaliar a distribuição dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas partes, acima citadas, de plantas de feijão-caupi submetidas a doses crescentes de NaCl (0; 25; 50; 75 e 100 mM); verificar essa distribuição de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  numa concentração intermediária onde fosse possível verificar uma recuperação e, finalmente, verificar essa distribuição numa condição de combinação de doses de NaCl em diferentes temperaturas (27, 32, 37 e 42°C).

## 2. HIPÓTESE E OBJETIVOS

### **HIPÓTESE**

Os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  apresentam modelos diferentes de distribuição nas partes vegetativas de feijão-caupi e esse processo não é afetado pela temperatura.

### **OBJETIVO GERAL**

Caracterizar a distribuição de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em plantas jovens de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] expostas a estresse salino e a temperatura elevadas.

### **Objetivos específicos**

1. Avaliar a distribuição de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em plantas jovens de feijão-caupi submetidas a concentrações crescentes de NaCl (0; 25; 50; 75 e 100 mM) durante 3 dias;
2. Caracterizar a distribuição de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em plantas jovens de feijão-caupi em função do tempo de exposição ao NaCl 50 mM (6 dias) e da recuperação (3 dias);
3. Verificar a distribuição de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em plantas jovens de feijão-caupi submetidas aos efeitos combinados do estresse salino e de temperatura elevada.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Aspectos gerais da cultura do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma *Dicotiledônea* que pertence à divisão *Magnophyta*, classe *Magnoliopsida*, subclasse *Rosidae*, ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Papilionoideae*, gênero *Vigna* (Cardoso, 2000). Sendo conhecido como feijão-de-corda ou feijão-macassar, constitui-se na principal cultura de subsistência das regiões Norte e Nordeste do Brasil, especialmente do Sertão Nordestino (Lima et al., 2007).

A área cultivada com caupi, no Brasil, é de aproximadamente um milhão de hectares, dos quais cerca de 900 mil (90%) estão situados na região Nordeste do Brasil. Essa cultura apresenta grande importância na alimentação das populações que vivem nessas regiões, principalmente as mais carentes, pois fornece um alimento de alto valor nutritivo, sendo um dos principais componentes da dieta alimentar gerando, também, emprego e renda tanto na zona rural quanto na zona urbana (Lima et al., 2007).

No Brasil, o feijão-caupi constitui-se na leguminosa mais importante das regiões Norte e Nordeste (Ehlers et al, 2000). O estado do Ceará, juntamente com os estados do Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte constituem grandes produtores da região Nordeste. O feijão-caupi apresenta-se como uma cultura de subsistência, sendo uma fonte de proteína para a população camponesa, principalmente. Também, é utilizado para a produção de feno para nutrição protéica dos

animais, bem como uma opção para fixação de nitrogênio e incorporação de matéria orgânica em solos, uma vez que é capaz de se desenvolver em situações de baixa fertilidade (Freitas, 2006).

Assim, pesquisas de melhoramento vêm sendo desenvolvidas visando ao aumento da resistência desta cultura às condições de seca e salinidade do semi-árido nordestino (Miranda, 2002). Embora o feijão-caupi apresente excelentes respostas às condições de estresse ambiental (abiótico) e possua grande potencial de ajustamento a essas condições, são, ainda, relativamente, recentes e escassos os trabalhos encontrados na literatura sobre os efeitos tóxicos dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em plantas de feijão-caupi.

### **3.2. Efeitos da salinidade sobre as plantas**

#### **3.2.1. Efeito dos sais sobre as plantas**

A salinização dos solos ou acúmulo de sais solúveis na zona radicular a níveis que afetem, negativamente, o rendimento das culturas pode considerar-se um processo natural dos sistemas áridos ou semi-áridos, devido à evapotranspiração potencial superar a precipitação pluviométrica e, assim, limitar a lixiviação dos sais acumulados no solo. Este acúmulo de sais ocorre porque a água é evapotranspirada no estado puro, resultando que os sais dissolvidos se concentram na água remanescente no solo (Souza, 2006).

Os principais problemas causados pela salinização dos solos são: redução do potencial osmótico da solução do solo, diminuindo a disponibilidade de água e aumentando a toxicidade de certos íons às plantas (Munns, 2002; Bernardo et al., 2005). Os efeitos dos sais sobre as plantas resultam em dificuldade de absorção de água pelo vegetal, similares àqueles de adubações excessivas, e podem provocar interferência nos processos fisiológicos ou mesmo toxidez.

Determinados íons como  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  podem: (I) tornarem-se tóxicos quando presentes na célula vegetal em excesso; (II) danificar a membrana celular; e (III) promover distúrbios metabólicos, afetando a fotossíntese, a respiração, o metabolismo de proteínas, as atividades enzimáticas e a produção de toxinas (Munns, 2002). Segundo Bernardo et al. (2005), os efeitos da salinidade são manifestados na redução das taxas de germinação e de crescimento, redução do rendimento e, em casos severos, podem causar a morte generalizada das plantas.

De acordo com a salinidade, as plantas se classificam em halófitas e glicófitas. A variação no comportamento é muito ampla. Desde as glicófitas mais sensíveis que não crescem normalmente nem em conteúdos muito baixos de cloreto de sódio até as halófitas mais resistentes, como *Rhizophora mangle*, que sobrevive em salinidades próximas à água do mar, *Suaeda marítima* e *Salicornia europea* ou as halófitas da família *Chenopodiáceas*, que não apresentam problemas de crescimento em níveis de salinidade até  $15000 \text{ mg L}^{-1}$  de NaCl, ainda que maiores concentrações as afetem negativamente (Larcher, 2000).

O primeiro efeito da salinidade nas plantas pode ser descrito como o efeito osmótico. À medida que o teor de umidade do solo diminui, as forças de retenção da água restante tornam-se maiores. Quando a água do solo é retida com força superior às forças de extração, inicia-se a escassez de água na planta. A presença de sais na solução do solo faz com que aumentem as forças de retenção, reduzindo o potencial osmótico do meio e, por conseguinte, a magnitude do problema de escassez de água na planta (Cavalcante et al., 2005).

Segundo os mesmos autores, problemas de toxicidade na planta surgem quando certos íons constituintes do solo ou da água são absorvidos pelas plantas e acumulados em seus tecidos em concentrações suficientemente altas para provocar danos e reduzir rendimentos. Os problemas de toxicidade são decorrentes da concentração elevada de um cátion ou ânion específico, bem como de uma composição salina desfavorável na solução do solo resultando em excessiva ou desbalanceada absorção pelas plantas.

Os íons que mais frequentemente acarretam toxicidade são: cloreto (necrose nas folhas) e o sódio (queimaduras ou necrose ao longo das bordas das folhas) (Cavalcante, 2005). No entanto, Souza Lima et al. (2007), afirmam que os efeitos de íons específicos não envolvem, necessariamente, a ação direta do sal ou do íon no tecido vegetal. Alguns se fazem sentir pelo desequilíbrio que provocam na absorção de nutrientes essenciais no metabolismo normal da planta.

### **3.2.2. Tolerância das culturas à salinidade**

A tolerância à salinidade é um termo que não está precisamente definido devido aos diferentes enfoques conceituais que se podem fazer. Assim, a tolerância tem sido definida como o grau no qual uma planta ajusta seu potencial osmótico com um

sacrifício mínimo de seu crescimento ou, como a medida da capacidade de uma planta para suportar os efeitos de uma solução salina concentrada na zona radicular.

A tolerância ao sal é um componente protoplasmático da resistência ao estresse salino. Nessa tolerância, está envolvido o grau em que o protoplasma (dependendo da espécie vegetal, do tecido e do vigor) pode tolerar um distúrbio no balanço iônico associado ao estresse salino, bem como sua capacidade de tolerar a toxicidade e os efeitos osmóticos do aumento da concentração de íons (Larcher, 2000). A capacidade de sobreviver pode ser relevante, desde um ponto de vista ecológico ou conservacionista, mas é um critério de limitado valor agrônomo, posto que a sobrevivência vai sempre acompanhada de reduções de produção até limites inaceitáveis, comercialmente.

Algumas culturas, devido à melhor capacidade de adaptação osmótica, conseguem produzir, satisfatoriamente, mesmo em meio salino. Esta capacidade de adaptação é muito útil e permite a seleção das culturas mais tolerantes capazes de produzir rendimentos economicamente aceitáveis quando não se pode manter a salinidade do solo abaixo do nível de tolerância das plantas tradicionalmente cultivadas. Segundo Dias (2004), o comportamento das plantas com relação à salinidade pode variar de acordo com o seu estágio de desenvolvimento, embora não seja claro se isto é devido à susceptibilidade, à salinidade em um determinado estágio de crescimento ou durante o período em que a planta ficou exposta a condições salinas, ou a interação entre esses fatores.

Quanto ao fator solo, segundo Cavalcante et al., (2005), a tolerância das culturas pode aumentar, diminuir ou, até mesmo, não ser afetada, dependendo das interações fertilidade-salinidade que podem ocorrer no solo. Blanco & Folegatti (2008), acrescentam que podem ocorrer reduções na tolerância à salinidade como resultado de uma excessiva fertilização, no entanto, se a aplicação de fertilizante não causa desequilíbrio nutricional, não haverá efeito significativo na redução da tolerância das culturas aos sais. Por último, o clima pode afetar a resposta da planta à salinidade. Em geral, a tolerância das plantas aos sais é reduzida sob condições de climas quentes e secos (Yeo, 1999), sendo mais pronunciadas nas culturas sensíveis, ao passo que culturas em climas frios ou no período do inverno são menos afetadas pela salinidade.

Muitas halófitas, sob condições salinas, acumulam grande quantidade de íons nas folhas, que, no entanto, são mantidos compartimentados nos vacúolos das células, onde contribuem para o potencial osmótico sem afetar os sistemas enzimáticos do citoplasma (Taiz & Zeiger, 2004). Nas monocotiledôneas halófitas, especialmente as

gramíneas, a acumulação de carboidratos solúveis exerce uma função importante a qual é responsável, em parte, pela manutenção do baixo potencial osmótico no protoplasto (Larcher, 2000).

A maior parte dos estudos para elucidar a toxicidade foi centrada no íon  $\text{Na}^+$ . Alguns autores citam que, na soja, o íon  $\text{Na}^+$  possui uma maior toxicidade dentre os cátions monovalentes que dos bivalentes. Resultados semelhantes foram encontrados em arroz (Muhammed et al., 1987).

Devido à salinidade do solo sempre estar associada a elevadas concentrações de  $\text{NaCl}$ , muitos autores têm se concentrado na busca de relações entre a tolerância à salinidade e a concentração de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas diferentes partes da planta e em distintos momentos ao longo dos seus estádios de crescimento. Assim, encontrou-se uma relação entre exclusão de  $\text{Na}^+$  e tolerância em sorgo (Lacerda et al., 2003), trigo e em diversas outras espécies, incluindo o feijão-caupi (Costa et al., 2003). São escassos os trabalhos para elucidar a toxicidade causada pelo íon  $\text{Cl}^-$ .

### **3.2.3. Respostas do feijão-caupi à salinidade**

O caupi é uma leguminosa de alto valor protéico que, cada dia, conquista maior valor agroeconômico, graças à sua característica de adaptabilidade às condições adversas (Carvalho et al., 2000). No Nordeste, é uma espécie muito cultivada representando um dos alimentos básicos da população dessa região (Araújo & Watt, 1988; Sena & Biserra, 1991), além de possuir características adaptativas, intrínsecas à região Nordeste como, suportar altas temperaturas e locais com limitações hídricas.

Segundo os dados da FAO (2006), essa espécie é considerada como moderadamente tolerante à salinidade. As concentrações de sais que restringem o crescimento do feijão variam amplamente com o estágio fisiológico no qual é imposto o estresse, a sua duração e intensidade, as condições ambientais externas e, principalmente, o genótipo utilizado (Silveira et al., 2001).

Avaliando-se a tolerância de 50 genótipos de feijão-de-corda, em condições de casa de vegetação, quando submetidos a diferentes níveis de salinidade, Dantas et al. (2002), concluíram que, quando houve aumento da salinidade, ocorreu uma redução na produção de matéria seca em todos os genótipos estudados.

Segundo Silva et al. (2003), trabalhando com plantas de feijão-caupi cultivadas em solução nutritiva, em condições de casa de vegetação, evidenciaram que o estresse

salino inibe fortemente o crescimento, provoca distúrbios no balanço hídrico, além de elevar o teor íons nas diferentes partes das plantas. A salinidade, devida a altos níveis de  $\text{Na}^+$  ou  $\text{Cl}^-$ , pode provocar a inibição da absorção dos íons  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  pelas raízes, provocando sintomas de deficiências como a redução no crescimento (Cramer et al., 1991).

### 3.3. Salinidade e transpiração

De acordo com diversos autores, a salinidade inibe os processos de fotossíntese e transpiração (Robinson et al., 1997; Taiz & Zeiger, 2004). Essa inibição tem sido atribuída a reduções na condutância estomática e no conteúdo total de clorofila e carotenóides (Parida & Das, 2005), bem como ao acúmulo nos cloroplastos dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  que afetam negativamente os processos bioquímicos e fotoquímicos envolvidos na fotossíntese (Taiz & Zeiger, 2004). Apesar desses efeitos da salinidade serem observados na maioria das plantas, existem relatos de que a salinidade ( $\text{NaCl}$  a 100mM) estimula a fotossíntese na halófito *Bruguiera parviflora*, com correspondente aumento no seu crescimento (Parida et al., 2004).

O fechamento estomático, sob condições de salinidade, desempenha um papel adaptativo, porque controla o transporte de íons tóxicos até os tecidos fotossintetizantes evitando, ao mesmo tempo, a perda de água por transpiração (Robinson et al, 1997). Parida & Das (2005), no entanto, acreditam que essa redução no fluxo transpiratório tem conseqüências negativas para a planta, porque afeta os sistemas de captação de luz e os centros fotoquímicos de reação no cloroplasto.

Na maioria das halófitas e glicófitas, o controle do fechamento estomático é alterado pela inabilidade das células-guarda em excluir, principalmente, os íons sódio e cloreto, provocando distúrbios nas relações hídricas da planta (Robinson et al., 1997). Porém, poucas espécies, principalmente às do gênero *Citrus*, apresentam maior sensibilidade ao cloreto, sendo que a condutância estomática e a fotossíntese pouco são afetadas pela presença do sódio (Bañulus & Primo-Millo, 1992).

Em geral, é observado que as folhas mais velhas de plantas glicófitas, crescidas em alta salinidade, têm concentração de cloreto, nos tecidos, mais alta do que nas folhas mais jovens (Brilhante, 2006). Isto, possivelmente, é resultado da combinação de crescimento rápido e baixa transpiração, em folhas jovens se expandindo, juntamente com a captação continuada e, mínima reciclagem de cloreto através de folhas mais

velhas. É observado que, em citrus, ocorre um arraste de íons de  $\text{Cl}^-$  para a parte aérea, sendo este, resultante do fluxo de água que se torna prejudicial às plantas. Estes processos ainda não estão bem esclarecidos devido a poucos estudos realizados em feijão (Munns, 2008).

### 3.4. Distribuição de $\text{Na}^+$ e $\text{Cl}^-$

Segundo Subbarao et al. (2003), o íon sódio ( $\text{Na}^+$ ) é considerado um elemento funcional (a ausência do nutriente pode interromper funções do metabolismo inibindo o crescimento vegetal) e vital para plantas com metabolismo C4. Desempenha importante papel na assimilação de carbono através de sua atuação na regeneração do fosfoenolpiruvato (PEP) e absorção de nitrato. Além destas atribuições, este íon pode desempenhar algumas funções conferidas ao íon potássio ( $\text{K}^+$ ) como, manutenção do turgor celular e controle da abertura estomática (Subbarao et al., 2003).

O íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) é um micronutriente essencial para plantas. É o principal ânion com atividade osmótica no vacúolo, estando envolvido com a manutenção do turgor e osmorregulação. Também está vinculado ao fluxo iônico de membranas estabilizando seu potencial, regulando o gradiente de pH e excitabilidade elétrica (White & Broadley, 2001). O movimento do sal dentro das plantas, a partir das raízes para a parte aérea, está associado à transpiração (Yeo, 1998).

O íon  $\text{Na}^+$  geralmente move-se, passivamente, para dentro das células (Tester & Davenport, 2003). Com o influxo de  $\text{Na}^+$ , o potencial de membrana dissipa-se facilitando a entrada de  $\text{Cl}^-$ , reduzindo o gradiente químico (Hasegawa et al., 2000). O  $\text{Na}^+$ , também, pode entrar nas células por intermédio de carregadores de baixa e alta afinidade, comuns ao  $\text{K}^+$  (Hasegawa et al., 2000; Apse & Blumwald, 2002). A tolerância ao sal, usualmente é associada à habilidade da planta em restringir a absorção e/ou o transporte de íons da raiz para parte aérea (O'Leary, 1995; Wei et al., 2003).

A planta pode utilizar os seguintes mecanismos para minimizar os danos causados pela salinidade: (1) minimizar a entrada inicial de  $\text{Na}^+$  nas células e maximizar o seu efluxo; (2) minimizar a condução destes íons para parte aérea; (3) elevar ao máximo a recirculação de  $\text{Na}^+$  via floema; (4) compartimentar o  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  ou direcioná-lo para partes velhas da planta (como folhas) e, (5) secretar os sais em alta concentração (Tester & Davenport, 2003). Grandes quantidades de  $\text{Na}^+$  podem ser acumuladas em vacúolos pela ação de carregadores antiportes  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  no tonoplasto (Ashraf, 2002), os

quais, sob estresse salino, têm sua atividade rapidamente aumentada em plantas resistentes (Andreev, 2001).

A membrana plasmática das células das raízes é o principal sítio de interação com o ambiente salino. Kurban et al. (1998), sugeriram que a tolerância ao estresse salino pode estar relacionada à menor permeabilidade da membrana celular. De acordo com Suhayda et al. (1992), em espécies mais resistentes ao sal, o íon  $\text{Na}^+$  fica concentrado nas raízes. Mudanças na membrana plasmática, quanto à sua composição e/ou estrutura, podem afetar sua permeabilidade e/ou fluidez afetando a atividade de transportadores, que devem refletir no crescimento da planta (Racagni et al., 2003/4).

As alterações na membrana podem ocorrer devido ao contato com o íon  $\text{Na}^+$  que causa despolarização na membrana, as quais podem conduzir à interrupção dos mecanismos de absorção iônica e seletividade (Greenway & Munns, 1980; Cramer et al., 1985). De acordo com Mansour et al. (1993) e Mansour (1995), o componente osmótico do estresse salino, ou seja, a menor disponibilidade de água para a planta, não confere danos à membrana plasmática. Os efeitos deletérios da salinidade referem-se, essencialmente, à ação dos efeitos tóxicos dos íons.

Em halófitas, como beterraba açucareira, *Atriplex hastata* ou o capim *Leptochloa fusca* que é tolerante ao sal, todas as folhas têm semelhante concentração de cloreto nos tecidos (Greenway & Munns, 1980). Em ambas, os tecidos florais têm, geralmente, mais baixa concentração de cloreto que outros tecidos da parte aérea. Tecidos que são alimentados pelo floema, predominantemente, tendem a ter a concentração mais baixa de cloreto nos tecidos. Conseqüentemente, a concentração de cloreto nos tecidos de frutas e sementes é, geralmente, baixa (Levy & Shalhevet, 1990; Xu et al., 2000).

Em citrus, o acúmulo do íon cloreto apresenta-se mais prejudicial ao crescimento e à produção que o de sódio. Vários estudos sobre ação dos íons nas plantas revelam que o cloreto é o ânion mais tóxico e o sódio é o cátion que mais afeta o metabolismo. Os estudos sobre os efeitos individuais do sódio e do cloreto em espécies vegetais são ainda muito limitados (Ferreira et al., 2001).

### 3.4.1. Absorção de $\text{Na}^+$ e $\text{Cl}^-$

Os mecanismos de absorção na interface solo-simplasto radicular, envolvendo as células epidérmicas e corticais, determinam quais íons entram no simplasto e em qual proporção. Em seguida, os mecanismos de carregamento na interface simplasto radicular-xilema, desempenhados pelas células parenquimáticas adjacentes aos elementos de vaso, determinam o envio dos íons absorvidos para a parte aérea (Maathuis & Amtmann, 1999).

Uma redução na absorção de alguns nutrientes interfere, indiretamente, no menor crescimento das plantas, devido à salinidade. Estando o  $\text{Ca}^{2+}$  e o  $\text{K}^+$  entre os mais bem documentados (Lacerda, 2000; Voigt, 2008). Trabalhando com plantas jovens de goiabeira, Ferreira et al. (2001), por exemplo, verificaram redução na concentração de  $\text{K}^+$  nos tecidos das plantas (raízes, caule e folhas), como consequência do estresse salino. Essa menor absorção de  $\text{K}^+$  tem sido atribuída à maior competição entre o  $\text{Na}^+$  e o  $\text{K}^+$  pelos sítios de absorção ou a um maior efluxo de  $\text{K}^+$  das raízes (Marschner, 1995; Cruz et al., 2006).

Redução na concentração de  $\text{K}^+$ , sob estresse salino, é um complicador adicional para o crescimento das plantas, visto que, em algumas situações, esse elemento é o principal nutriente a contribuir para o decréscimo do potencial osmótico, uma estratégia necessária à absorção de água nessas circunstâncias (Marschner, 1995; Cruz et al., 2006). Em relação ao cálcio, tem sido demonstrado que o aumento da salinidade pode induzir deficiência desse nutriente (Lacerda, 2000; Cruz et al., 2006). A redução na absorção de  $\text{Ca}^+$  pode levar à perda da integridade da membrana plasmática com consequente perda da capacidade de absorção de alguns íons, principalmente o  $\text{K}^+$  (Cachorro et al., 1994; Cruz et al., 2006).

Variedades tolerantes tendem a apresentar maiores taxas de transferência de  $\text{K}^+$  e, apenas uma leve redução na transferência de  $\text{Ca}^+$  para a parte aérea, visando manter uma relação positiva entre esses nutrientes e os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  (Cruz et al., 2006).

As plantas absorvem o  $\text{Cl}^-$  da solução do solo, mostrando o padrão duplo, isto é, a relação entre concentração e velocidade de absorção que corresponde a duas isotermas: a primeira corresponde às concentrações entre 0,1 e 0,2 mM, e a segunda a níveis maiores que 0,5 mM. A absorção é ativa e inibida competitivamente por  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  (White & Broadley, 2001); ocorre através de duas vias, a primeira na forma radicular onde tem o contato íon-raiz, mecanismo ativo, onde ocorre a troca  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$ , e a segunda é a via foliar, onde 50% do  $\text{Cl}^-$  é absorvido entre 1 a 2 dias e tem competição com  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Alguns trabalhos têm demonstrado que o  $\text{Cl}^-$  exerce efeitos negativos sobre a absorção de  $\text{NO}_3^-$  (Deane-Drummond, 1990; Barreto, 2001). Quando discos de cenoura foram tratados durante 17 horas com  $\text{NaCl}$  se observou redução nas taxas de absorção de  $\text{NO}_3^-$  (Cram, 1973, Barreto, 2001). Resultados semelhantes foram obtidos com discos de folhas de Citrus (Barreto, 2001). Sob condições de limitação no nível externo de nitrato, verificou-se uma absorção preferencial de  $\text{Cl}^-$  à custa da absorção de  $\text{NO}_3^-$  provocado tanto pelo "feedback" negativo exercido pelo  $\text{Cl}^-$  interno como pela redução no influxo de nitrato por efeito direto do  $\text{Cl}^-$  (Barreto, 2001). Entretanto, os mecanismos de "feedback" por  $\text{Cl}^-$ , mesmo na presença de  $\text{NO}_3^-$  externos, assim como a interação entre os dois, são ainda obscuros (Deane-Drummond & Glass, 1982; Barreto, 2001).

### **3.4.2. Transporte de $\text{Na}^+$ e $\text{Cl}^-$ na planta**

As primeiras iniciativas voltadas para a elucidação dos mecanismos de absorção de  $\text{Na}^+$  pelas raízes das plantas são baseadas em experimentos de influxo utilizando isótopos radioativos. A caracterização cinética do influxo de  $\text{Na}^+$  (Rains & Epstein, 1967a; Rains & Epstein, 1967b) em raízes destacadas de cevada demonstra que a absorção de  $\text{Na}^+$  é mediada por duas componentes saturáveis. A primeira componente opera em concentrações micromolares destes íons, representando o mecanismo de transporte 1 de cátions alcalinos ou de alta afinidade, enquanto a segunda componente atua em concentrações milimolares, consistindo no mecanismo de transporte 2 ou de baixa afinidade.

O influxo de  $\text{Na}^+$  em raízes de milho apresenta uma componente saturável sensível a  $\text{K}^+$ , estimulada sob hiperpolarização induzida por FC (ativador de  $\text{H}^+$ -ATPases) e inibida sob despolarização causada por FCCP (desacoplador), indicando a contribuição de carreadores envolvidos no transporte ativo de  $\text{K}^+$ . Outra componente, não-saturável e insensível a  $\text{K}^+$ , FC e FCCP pode ser mediada por canais insensíveis à voltagem (Jacoby & Hanson, 1985). Em raízes de algodão, o influxo líquido de  $\text{Na}^+$  apresenta uma componente saturável sensível a  $\text{Ca}^{2+}$  que opera em concentrações baixas de  $\text{Na}^+$  e uma componente linear insensível a  $\text{Ca}^{2+}$  que atua em concentrações elevadas de  $\text{Na}^+$  (Cramer et al., 1987).

Canais de cátions não seletivos (NSCCs) devem ser os principais transportadores implicados na absorção de  $\text{Na}^+$  de baixa afinidade em espécies glicófitas

(Rubio et al, 2003), mas transportadores de  $K^+$  de alta afinidade também podem estar envolvidos (Laurie et al., 2002; Horie et al., 2007).

A distribuição de  $Na^+$  em plantas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) demonstra a formação de um gradiente que diminui das raízes para as folhas. Assim, mecanismos de retenção de  $Na^+$  em raízes e partes basais do caule podem competir com mecanismos de carregamento de  $Na^+$  no xilema, evitando a acumulação deste íon nas folhas (Jacoby, 1964). Em plantas de *Phaseolus coccineus* tratadas com NaCl, a análise de cortes transversais de raízes congeladas por raios-X revela que as células parenquimáticas do xilema acumulam até 40 vezes mais  $Na^+$  que as células corticais e os elementos de vaso.

Deste modo, as células parenquimáticas do xilema diferenciadas em células de transferência, parecem desempenhar algum papel na exclusão de  $Na^+$  da corrente transpiratória (Kramer et al., 1977). A utilização da mesma técnica em raízes de videira mantidas sob estresse salino demonstra que  $Na^+$  é compartimentado no vacúolo de células localizadas no córtex interno, na endoderme e no periciclo. Este processo de compartimentagem pode atuar como uma barreira para o carregamento de  $Na^+$  nos elementos de vaso em plantas de videira (Storey et al., 2003).

Experimentos de recirculação de  $Na^+$  em plantas de feijão comum mostram que a exposição de uma parte do sistema radicular a este isótopo permite a detecção de  $Na^+$  até a base do caule e no meio externo que banha a outra parte do sistema radicular, não exposta ao isótopo. Estes resultados indicam que esta espécie pode apresentar mecanismos de reabsorção de  $Na^+$  a partir da seiva de xilema, impedindo a transferência deste íon para as folhas (Jacoby, 1964).

As plantas adquirem o cloreto da solução do solo na forma de ânion  $Cl^-$ , onde é carregado pelo xilema até a parte aérea. No princípio, são percorridos dois caminhos, simplasto e o apoplasto, pelos quais os ânions podem alcançar o xilema. (White & Broadley, 2001). Alternativamente, ânions podem seguir um trajeto, extracelularmente, pelas paredes da célula e espaços ocupados por água para alcançar o caule. Este seria um processo relativamente não-seletivo governado pelo transporte de água por 'arraste de solvente'. O apoplástico é o caminho restringido pela epiderme e endoderme que contém as estrias Caspary que atravessa comprimentos significativos de raízes de planta. Porém, as estrias de Caspary possuem canais que permitem a passagem de cloreto.

Canais de cloreto são proteínas integrais que funcionam como um poro seletivo na membrana, que se limita a transportar íons e água. Eles foram observados em todas as membranas vegetais estudadas, dentre elas, a membrana plasmática, tonoplasto, retículo endoplasmático, mitocôndria e membrana do cloroplasto. Eles foram caracterizados pelas suas propriedades elétricas usando uma variedade de técnicas de voltagem (White & Broadlley, 2001).

Os canais de cloreto da membrana plasmática catalisam fluxos de ânions dentro e fora das células vegetais. Eles são, geralmente, mais permeáveis a  $\text{NO}_3^-$  que a  $\text{Cl}^-$ . Eles servem uma variedade de funções. Em certas células, eles facilitam a absorção de ânions (Skerrett & Tyerman, 1994; Dieudonné et al., 1997). Porém, na maioria das células, sob condições normais (não salina), eles catalisam a liberação rápida de ânions e implicando, em ambos, turgor e osmoregulação. Eles também foram implicados na estabilização de potencial de membrana e/ou excitabilidade elétrica (White & Broadlley, 2001).

Embora canais de  $\text{Cl}^-$  possam contribuir para regulamento de turgor nas células, estes apresentam as seguintes funções primárias: captação de  $\text{Cl}^-$ , estabilização de potencial de membrana e amplificação do potencial de ação lento (White & Broadlley, 2001). Pode ser dividido em várias classes, conforme a voltagem e, ativados com a despolarização ou ativados com a hiperpolarização. Estas classes podem ser subdivididas conforme a base de cinética, farmacologia e ativação por extensão (White & Broadlley, 2001).

Os canais de  $\text{Cl}^-$  ativados por despolarização incluem ativação dos canais de  $\text{Cl}^-$  por extensão e luz, como também, os canais de  $\text{Cl}^-$  tipo-R e tipo-S que se supõem estarem envolvidos em excitabilidade elétrica e efluxo contínuo  $\text{Cl}^-$ , respectivamente. Também inclua vários canais de  $\text{Cl}^-$  que medeia influxo de  $\text{Cl}^-$  (White & Broadlley, 2001). Enquanto que canais de  $\text{Cl}^-$  ativados por hiperpolarização, geralmente, têm condutâncias mais altas que canais de  $\text{Cl}^-$  ativados por despolarização, eles estão presentes em muitos tipos de célula e facilita efluxo de  $\text{Cl}^-$  (White & Broadlley, 2001).

Tem sido observada a existência de três canais de cloreto em células da membrana plasmática da raiz, sendo eles, X-SLAC, X-QUA E X-IRAC. Os dois primeiros pertencem à classe que é ativada por despolarização e subdividem em tipo-S (X-SLAC) e tipo-R (X-QUA), enquanto que o último é ativado por hiperpolarização. Estes canais são inibidos por: Nif (niflumate), DPAC (diphenylamine-2-carboxylic

acid), DIDS (4,4'- diisothiocyanostilbene-2,2'- disulfonic acid) e NPPB (5-nitro-2-3-phenylpropylamino-benzoic acid) (Marten et al., 1992; Marten et al., 1993).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### **Estratégia experimental**

Embora se tenha muitos estudos sobre estresse salino, pouco se conhece sobre os mecanismos individuais de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  na fisiologia de plantas expostas à salinidade. Baseado nisso, objetivou-se, através deste estudo, avaliar a extensão com que os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  são acumulados em diferentes partes jovens de plantas de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] e as possíveis interferências sobre as medidas de transpiração.

Para comprovar a hipótese levantada, foi organizada uma seqüência metodológica envolvendo três experimentos. O experimento I consistiu em avaliar a distribuição de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em partes jovens de plantas de feijão-caupi submetidas a concentrações crescentes de NaCl (0; 25; 50; 75 e 100 mM), durante 3 dias, onde ocorreu um maior acúmulo de cloreto que de sódio em todas as partes estudadas com exceção do caule onde o acúmulo foi igual. Baseado nessa distribuição, no experimento II, utilizou-se a concentração de 50mM, pois essa concentração não superaria a capacidade de armazenamento e, assim, seria possível, nesse nível, uma recuperação. As plantas foram mantidas, durante 6 dias, em NaCl e, a partir do 4º dia, as amostras foram divididas em dois lotes: um lote permanecia com NaCl e o outro sem NaCl, para então, verificar se com essa estratégia a planta seria capaz de recupera-se. Os resultados corroboram com os obtidos no experimento I, com exceção da 1ª folha trifoliolada que

acumulou mais Na que Cl. A literatura relata, fartamente, que, nas épocas de verão (período do experimento I), principalmente no semi-árido, as plantas acumulam mais íons, sendo a temperatura uma medida de fator climático que pode interferir na distribuição de íons e se esse efeito está ligado à transpiração. O experimento III foi realizado para verificar a distribuição de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas diversas partes jovens de plantas de feijão-caupi submetidas aos efeitos combinados do estresse salino e de temperatura elevada com a finalidade de uma melhor representação das condições ambientais.

#### **4.1. Material Vegetal**

Nos experimentos que se seguiram, foram utilizadas sementes da cultivar Pitiúba de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. As sementes foram obtidas de plantas cultivadas no campo experimental do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará - UFC, em Fortaleza, Ceará.

#### **4.2. Local e condições do experimento**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, do Laboratório de Metabolismo e Estresse de Plantas (LABPLANT), do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da UFC. A germinação foi realizada em câmara com refrigeração, intensidade luminosa, fotoperíodo e umidade controlada. Durante todo o período de germinação as plantas foram mantidas a  $27 \pm 2$  °C, controlado por sistema de refrigeração, e sob fornecimento de 12 horas de luz diária com intensidade de  $240 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  por quatro dias, proporcionada por lâmpadas “Grolux” fluorescente.

#### **4.3. Semeio**

Em todos os experimentos, o semeio foi realizado segundo a metodologia adaptada por Vieira & Carvalho (1994). Assim sendo, as sementes foram desinfetadas com NaClO 0,2% (v/v) por 5 min, sob agitação eventual. Estas sementes foram lavadas três vezes em água destilada deionizada e, em seguida, embebidas por 30 min. Após a embebição, as sementes foram distribuídas em folhas de papel Germistest<sup>®</sup> (280 x 380 mm), umedecidas com água destilada deionizada na proporção de 2,5 vezes a massa do papel. Dez sementes foram distribuídas em fileira no terço superior de duas folhas

sobrepostas. Uma terceira folha umedecida foi utilizada para cobrir as sementes e as três folhas foram enroladas. Três rolos individuais, contendo dez sementes cada, foram enrolados com uma folha umedecida adicional. Este sistema foi coberto com dois sacos plásticos transparentes desinfetados com etanol 70% (v/v), os quais foram dispostos em direções opostas e afixados com liga na região central do sistema, formando um cartucho. Os cartuchos foram dispostos em câmara de crescimento na posição vertical, sendo incubados a  $27 \pm 2$  °C, sob fotoperíodo de 12h e radiação fotossinteticamente ativa de  $240 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , por 4 dias.

#### **4.4. Meio de cultivo**

As plântulas em estágio de gancho plumular foram transferidas para vasos de 900 mL contendo solução nutritiva de Hoagland e Arnon modificada, pH 6,0 diluída  $\frac{1}{4}$ . A composição da solução foi:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  1mM,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  0,5mM,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  1mM,  $\text{MgSO}_4$  1mM,  $\text{KNO}_3$  1mM, Fé-EDTA 0,1mM,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  40 $\mu\text{M}$ ,  $\text{MnCl}_2$  9 $\mu\text{M}$ ,  $\text{CuSO}_4$  3 $\mu\text{M}$ ,  $\text{ZnSO}_4$  7 $\mu\text{M}$  e  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  0,1 $\mu\text{M}$  (Hoagland e Arnon, 1950).

#### **4.5. Condições experimentais**

**4.5.1. Experimento I - Caracterização da distribuição de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em plantas jovens de feijão-caupi submetidas a concentrações crescentes de NaCl (0; 25; 50; 75 e 100 mM), durante 3 dias.**

##### **4.5.1.1. Objetivo**

Caracterizar a distribuição de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas diversas partes de plantas jovens de feijão-caupi submetidas a doses crescentes de NaCl (0; 25; 50; 75 e 100 mM), durante 3 dias. Essas concentrações foram escolhidas para simular desde condições do ambiente e, aumentadas de forma proporcional, até atingir uma concentração elevada para o feijão.

##### **4.5.1.2. Desenho experimental**

Após atingir germinação no estágio de gancho plumular, as plantas foram transferidas para vasos com capacidade para 900 mL de solução nutritiva de Hoagland diluída 1:4 (controle). Após sete dias, a solução de todos os vasos foi trocada e

adicionadas as diferentes concentrações de NaCl (0, 25; 50; 75 e 100 mM), as quais foram adicionadas uma única vez. Essas concentrações foram escolhidas para simular desde condições do ambiente e aumentadas de forma proporcional até atingir uma concentração extrema. A duração do estresse foi de três dias, pois se trata de um experimento de curto período, sob condições controladas. No final do experimento, foram realizadas as medidas de transpiração. As plantas foram coletadas e separadas em diferentes partes: raiz, caule, folha cordiforme, 1ª folha trifoliolada e 2ª folha trifoliolada. Em seguida, as partes foram pesadas para a obtenção da massa fresca e, posteriormente, colocadas em sacos de papel levadas a estufa a 75 °C, por um período de 48 horas, a fim de determinar a massa seca do tecido vegetal (MS). Após esta determinação, o material foi macerado em gral e foram determinados os teores de sódio e cloreto.

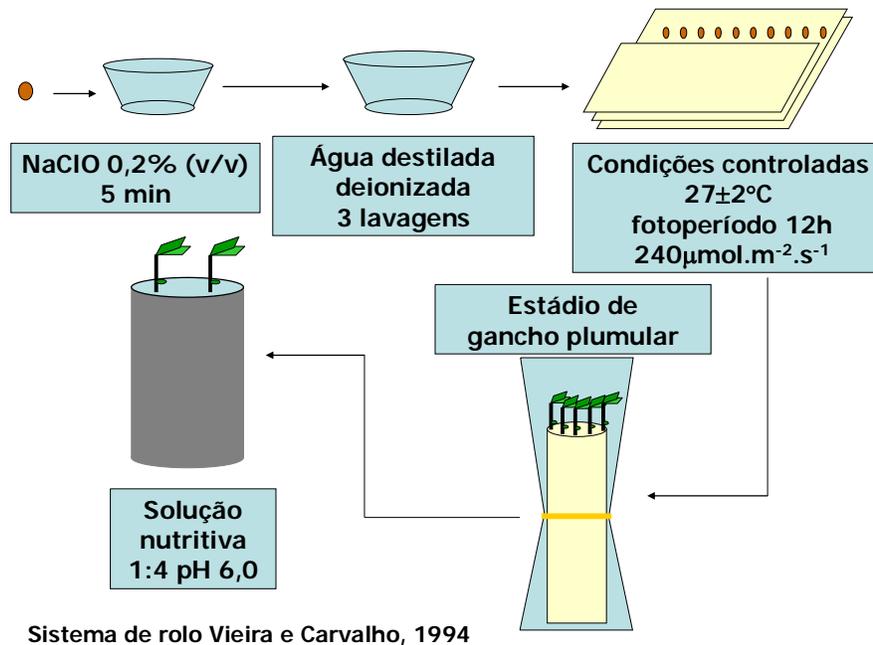


Ilustração 1. Metodologia utilizada nos três experimentos.

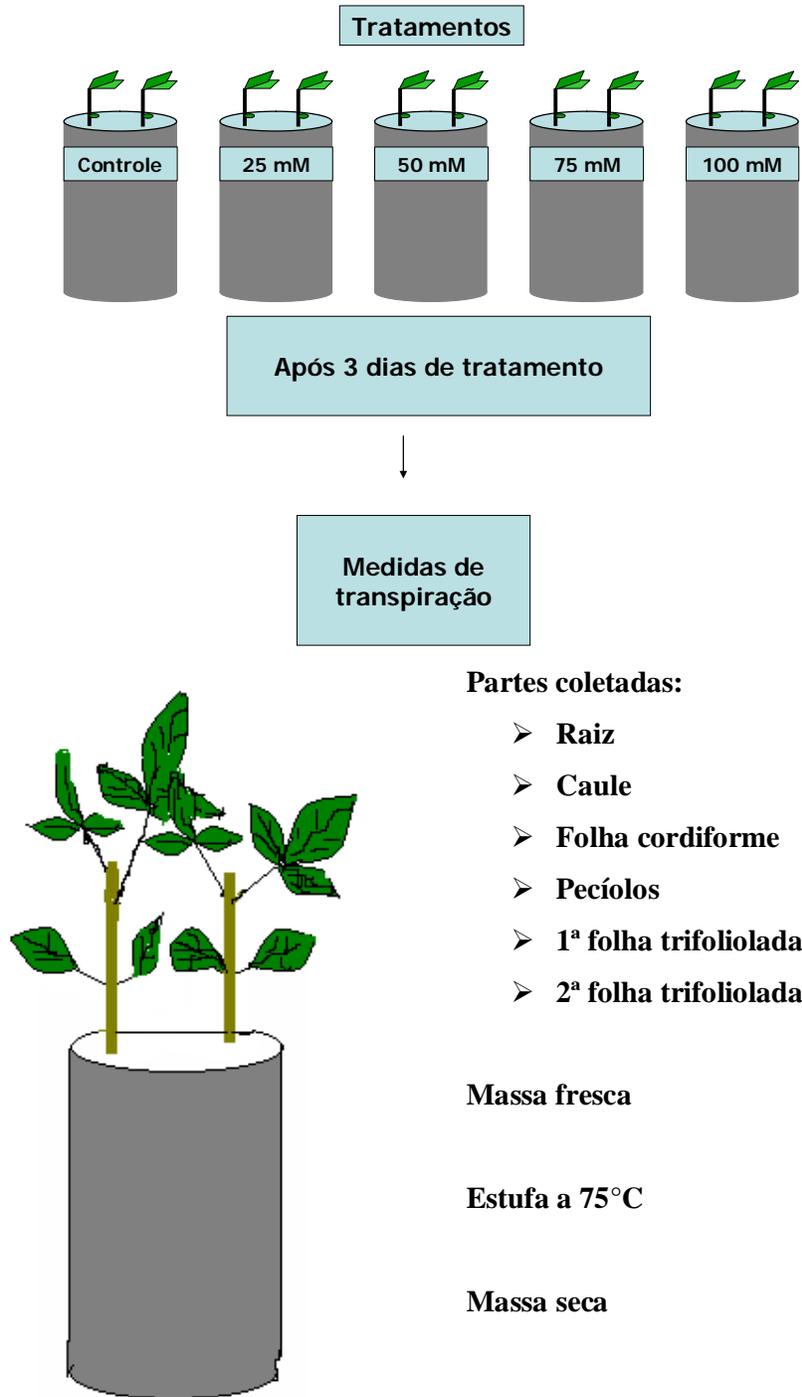


Ilustração 2. Descrição do desenho experimental do experimento 1.

## **4.5.2. Experimento II – Caracterização da distribuição de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em plantas jovens de feijão-caupi em função do tempo de exposição a NaCl 50mM (6 dias) e da recuperação (3 dias).**

### **4.5.2.1. Objetivo**

Baseado em resultados do experimento I, verificou-se que ocorreu um gradiente decrescente da parte aérea para a parte basal, em relação ao sódio, enquanto que, em relação ao cloreto, esse gradiente foi crescente. Então, se considerou que na concentração de 50 mM a planta não superaria sua capacidade de armazenamento e, dessa forma, seria possível uma recuperação após o quarto, quinto e o sexto dia de estresse. Essa distribuição foi verificada nas seguintes partes das plantas: raiz, caule, folha cordiforme, 1<sup>a</sup> trifoliolada e 2<sup>a</sup> trifoliolada.

### **4.5.2.2. Desenho experimental**

Após atingir germinação no estágio de gancho plumular, as plantas foram transferidas para vasos com capacidade para 900 mL de solução nutritiva de Hoagland diluída 1:4 (controle). Após sete dias, a solução de todos os vasos foi trocada e, em seguida, foram aplicados os tratamentos, controle e 50 mM NaCl, durante seis dias. O tratamento de recuperação consistiu em trocar a solução salina por solução nutritiva a partir do quarto dia de estresse e assim permaneceu até o sexto dia. Isso ocorreu, também, no quinto e sexto dia. Esse experimento teve a finalidade de examinar se essas plantas teriam a possibilidade de perder os sais que ganharam durante o período em que estavam em solução salina e atingir a condição inicial. As medidas de transpiração foram feitas às 10h de cada dia de tratamento. As plantas foram separadas em: raiz, caule, folha cordiforme, 1<sup>a</sup> trifoliolada e 2<sup>a</sup> trifoliolada. Em seguida, essas partes foram pesadas para a obtenção da massa fresca e, posteriormente, colocadas em sacos de papel, levadas a estufa, a 75 °C, por um período de 48 horas, a fim de determinar a massa seca do tecido vegetal. Logo depois, o material foi macerado em gral para a determinação dos teores de sódio e cloreto.

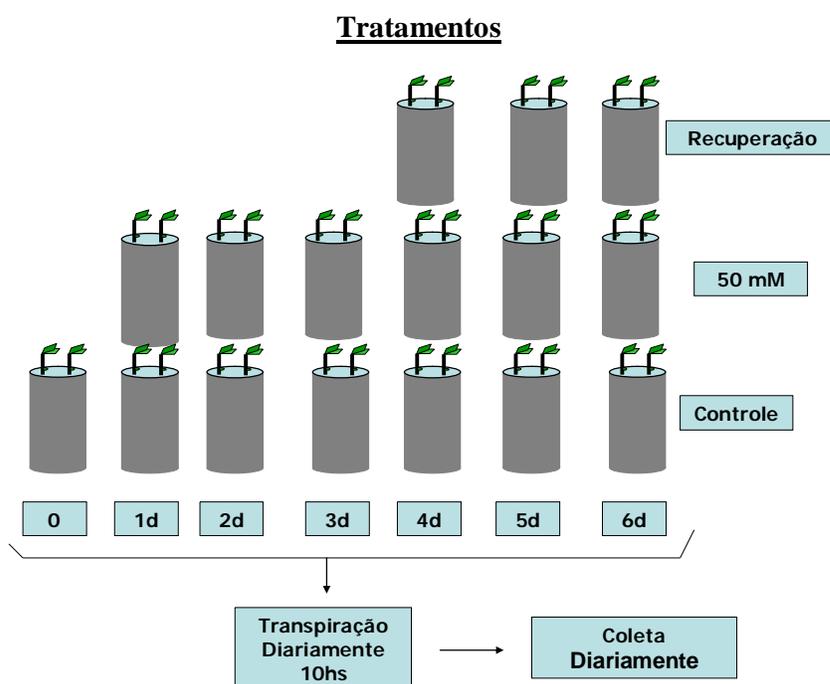
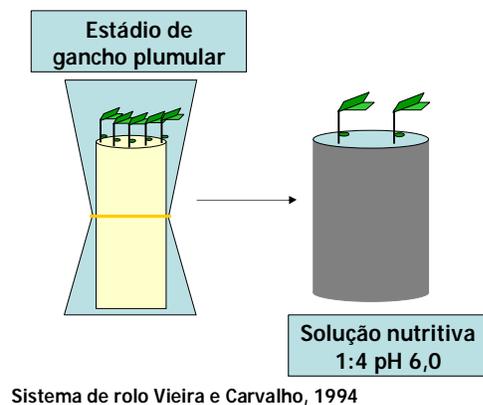


Ilustração 3. Descrição do desenho experimental do experimento 2.

**Partes coletadas:**

- Raiz
- Caule
- Folha cordiforme
- 1ª folha trifoliolada
- 2ª folha trifoliolada

### **4.5.3. Experimento III - Distribuição de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em plantas jovens de feijão-caupi submetidas aos efeitos combinados do estresse salino e de temperatura elevada.**

#### **4.5.3.1. Objetivo**

Verificar se a temperatura é uma medida de fator climático que pode interferir na distribuição de íons e se esse efeito está ligado à transpiração.

#### **4.5.3.2 Desenho experimental**

Após atingir germinação no estágio de gancho plumular, as plantas foram transferidas para vasos com capacidade para 900 mL de solução nutritiva de Hoagland diluída 1:4 (controle). Após sete dias, a solução de todos os vasos foi trocada e as plantas destinadas ao tratamento salino foram submetidas a uma dose fixa de 100 mM NaCl. Esta dose foi escolhida para simular uma situação de extremo estresse salino, onde as plantas permaneceram durante dois dias sob condições de casa de vegetação. Posteriormente, foram transferidas para câmara de crescimento tipo B.O.D. (CIENITEC/modelo 708) e expostas a temperaturas de 27; 32; 37 e 42°C, separadamente, por um fotoperíodo de 12 horas. Essas temperaturas foram escolhidas desde a condição ambiente, 27°C, aumentando-se 5°C, de forma gradativa, até atingir uma temperatura considerada alta para o feijão, com o intuito de verificar alterações, durante esses tratamentos, nas taxas de transpiração que foram acompanhadas durante a aplicação do estresse térmico. No final de cada tratamento as plantas foram coletadas e separadas em diferentes partes: raiz, caule, folha cordiforme, 1ª trifoliolada e 2ª trifoliolada. Em seguida, foram pesadas para a obtenção da massa fresca e, posteriormente, colocadas em sacos de papel, levadas a estufa, a 75 °C, por um período de 48 horas, a fim de determinar a massa seca do tecido vegetal. Por fim, o material foi macerado em gral e para determinação dos teores de sódio e cloreto.

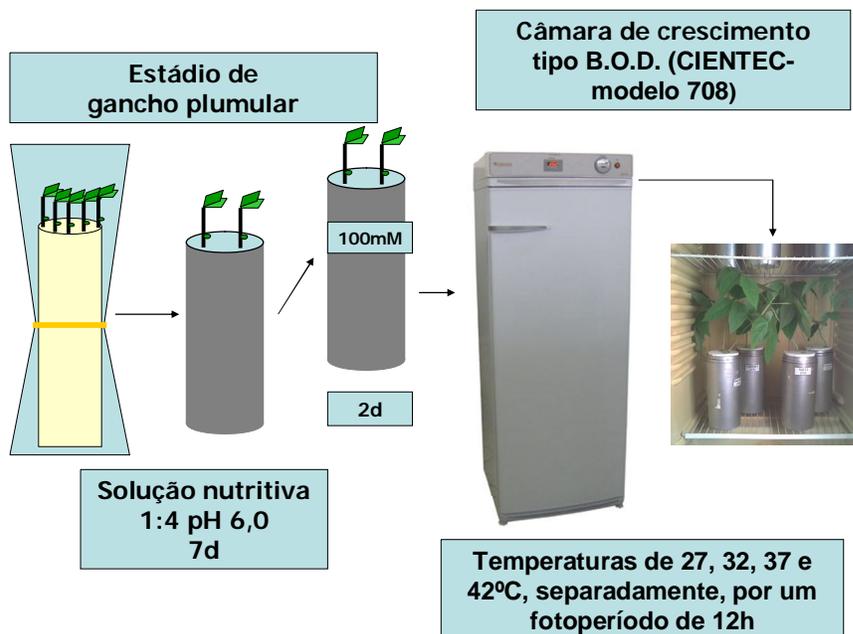


Ilustração 4. Descrição do desenho experimental do experimento 3.

#### 4.6. Análises Estatísticas

O experimento foi conduzido em blocos casualizados e os tratamentos tiveram quatro repetições. A parcela foi constituída de uma amostra composta com duas plantas. As médias foram comparadas, em mesmo nível de significância, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade pelo programa computacional SISVAR - Sistema de Análise de Variância para Dados Balanceados - desenvolvido por Ferreira (2000).

#### 4.7. Taxas de transpiração

As taxas de transpiração das plantas foram realizadas no final de cada tratamento, as plantas do controle e as submetidas ao estresse salino. As leituras foram realizadas diariamente, no mesmo horário, às 10h00min, no experimento I e II, enquanto que, no experimento III, foi às 18h00min. Utilizou-se um porômetro portátil, Licor, modelo 1600 (Licor - USA). Cada leitura foi feita na primeira folha trifoliada, no folíolo central.

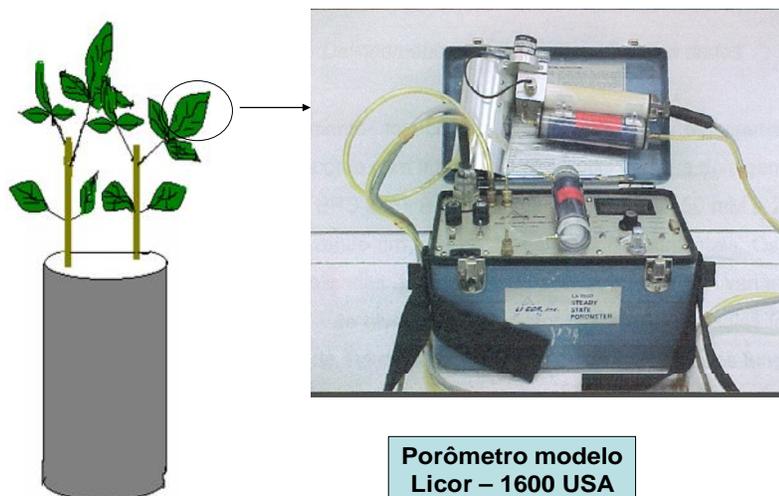


Ilustração 5. Procedimento utilizado nas medidas de transpiração.

## 4.8. Determinações analíticas

### 4.8.1. Concentração de sódio

As concentrações de  $\text{Na}^+$  nos tecidos das amostras secas das diferentes partes coletadas foram determinadas conforme Viéguas et al. (2001). Tecidos coletados de diferentes partes da planta, secos em estufa, foram pulverizados com o auxílio de gral e pistilo, e armazenados em frascos fechados à temperatura ambiente. Amostras de 50 mg de massa seca e 10 mL de água deionizada foram colocadas em tubos hermeticamente fechados, em banho-maria a 100 °C, durante 1h. Após o resfriamento, os extratos foram filtrados em ponteiras com filtro de algodão e realizadas leituras em fotômetro de chama calibrado com solução padrão de NaCl com 50 ppm de  $\text{Na}^+$ . Os conteúdos ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ ) de  $\text{Na}^+$  foram expressos na base de massa seca das diversas partes.

### 4.8.2. Concentração de cloreto

A concentração de cloreto nos tecidos das amostras secas das diferentes partes coletadas foi determinada conforme Malavolta et al., (1989). Tecidos vegetais, secos em estufa, foram pulverizados com o auxílio de gral e pistilo, e armazenados à

temperatura ambiente até atingir peso constante. Amostras de 50 mg de massa seca e 25 mL de água deionizada foram colocadas em tubos hermeticamente fechados, em banho-maria a 100 °C por 1h. Após o resfriamento, os extratos foram filtrados em ponteiros com filtro de algodão e alíquotas de 20 mL foram tituladas com nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ), 28 mmol L<sup>-1</sup>, utilizando cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) a 5% como indicador do final da reação.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1.1. Acumulação e distribuição de massa seca em plantas jovens de feijão-caupi em resposta a diferentes concentrações de NaCl.



Figura 1. Aspecto visual do stand de plantas de Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), após 4 dias de tratamento com concentrações crescentes de NaCl (0, 25, 50, 75 e 100mM).

No presente trabalho, não foi observado sintoma de toxicidade causado pelos íons sódio ( $\text{Na}^+$ ) e cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), como por exemplo, o aparecimento de clorose e queima das bordas das folhas mais velhas, mesmo quando se utilizou a concentração de 100

mM NaCl (Fig. 1). Segundo Guimarães (2005), na fase inicial de crescimento do feijoeiro, o efeito da salinidade pode ser mais prejudicial devido ao efeito físico (redução na quantidade de água disponível às plantas, por exemplo) do que pelo efeito tóxico direto do  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ .

As concentrações de NaCl na solução nutritiva influenciaram, significativamente, as variáveis avaliadas no experimento I. O aumento das concentrações de NaCl na solução promoveu uma redução no conteúdo de massa seca das plantas estressadas em relação ao controle. O conteúdo de massa seca da raiz foi de 120,60 mg, sendo esse valor reduzido em 32,35%, após 3 dias na presença de 100 mM NaCl (Fig. 2A). Enquanto, no caule, a redução foi de 23,78 % (Fig. 2A). A figura 2B mostra a redução da massa seca do 1° e 2° pecíolo, 22,93 e 67,79%, respectivamente. Em relação às 1ª e 2ª folhas trifoliolada, a redução foi de 34,87 a 19,69%, respectivamente, no entanto, nas cordiformes obteve-se o menor valor 6,72% (Fig. 2C).

Observa-se que a parte mais afetada foi o 2° pecíolo, pois estava na fase de crescimento, enquanto que a menos afetada foi a folha cordiforme. Fato similar foi relatado por Lacerda et al. (2003), onde o conteúdo de massa seca da folha mais velha permaneceu constante, porque no momento da aplicação do NaCl a folha já estava totalmente expandida.

De acordo com Larcher (2000), os processos de crescimento são, particularmente, sensíveis ao efeito do sal, de forma que a taxa de crescimento e a produção de biomassa são bons critérios para avaliação do grau de estresse e da capacidade da planta em superar a salinidade. Inúmeros trabalhos indicam que, sob estresse salino, cultivares sensíveis apresentam redução nestes parâmetros (Wei et al., 2003; Guimarães, 2005).

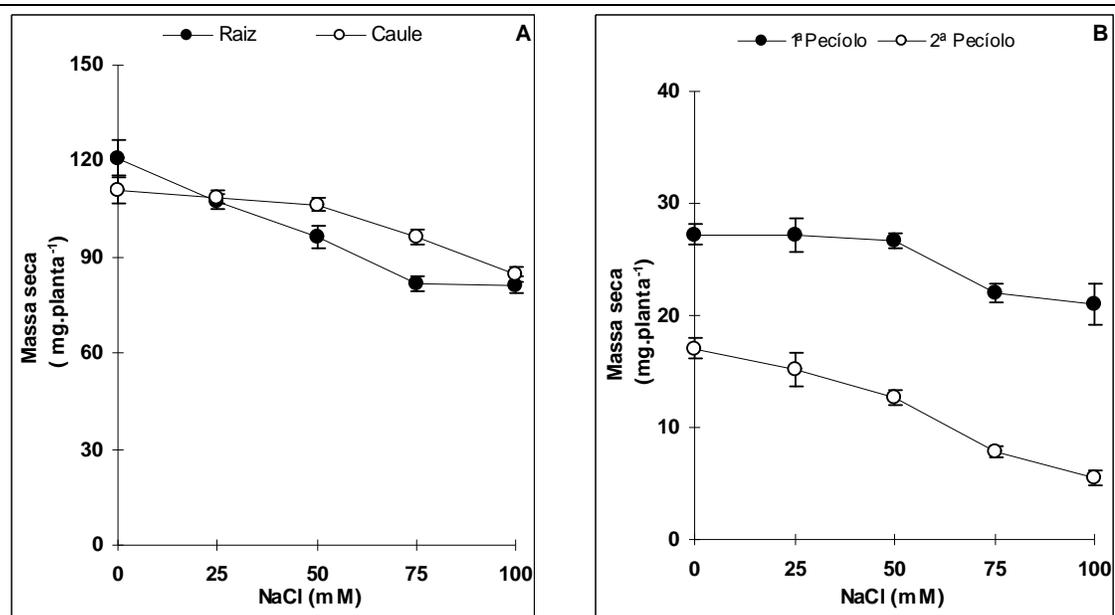


Figura 2. Produção de massa seca de raiz e caule (A), pecíolos (B) e tipos de folhas (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a doses crescentes de NaCl, durante 3 dias.

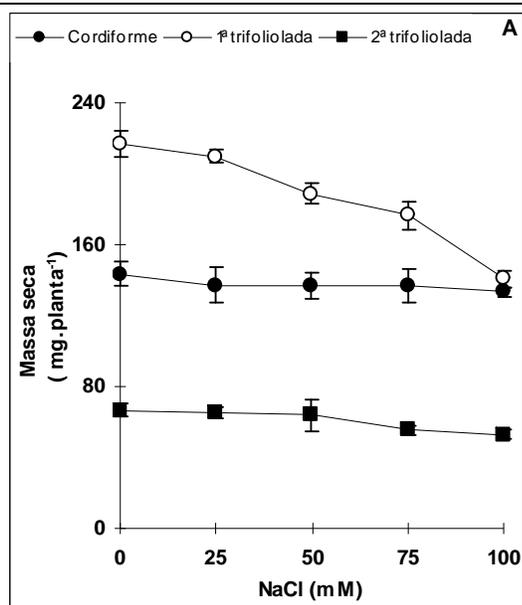


Figura 3. Produção de massa seca de tipos de folhas (A) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a doses crescentes de NaCl, durante 3 dias.

Esses dados podem ser corroborados pela literatura, pois a redução ou inibição do crescimento das plantas pela salinidade tem sido atribuída ao efeito osmótico associado à absorção excessiva de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  e ao desequilíbrio nutricional causado pelos distúrbios na absorção e distribuição dos nutrientes (Yahya, 1998; De Garcia, 2007).

### **5.1.2. Acumulação e distribuição de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em plantas jovens de feijão-caupi em resposta a diferentes concentrações de NaCl.**

A salinidade alterou o acúmulo e distribuição dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas diversas partes jovens das plantas de feijão-caupi, o que, também, tem sido observado por outros autores (Silva et al., 2000; Costa et al., 2003). O conteúdo de sódio do experimento I está representado na figura 4, cujas análises revelaram que, nas concentrações de 50 e 75 mM de NaCl, foram similares, estatisticamente, nas partes raiz e caule.

Os acréscimos de Na<sup>+</sup> em raiz, caule, 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> pecíolo, foram 5,35; 9,00; 9,33 e 4,76 vezes, respectivamente, comparando-se a concentração de 100 mM com o controle, enquanto, nas folhas, esses aumentos no conteúdo de sódio foram semelhantes entre si, e cerca de 4 vezes, comparando-se a concentração de 100 mM com o controle, respectivamente (Fig. 4C).

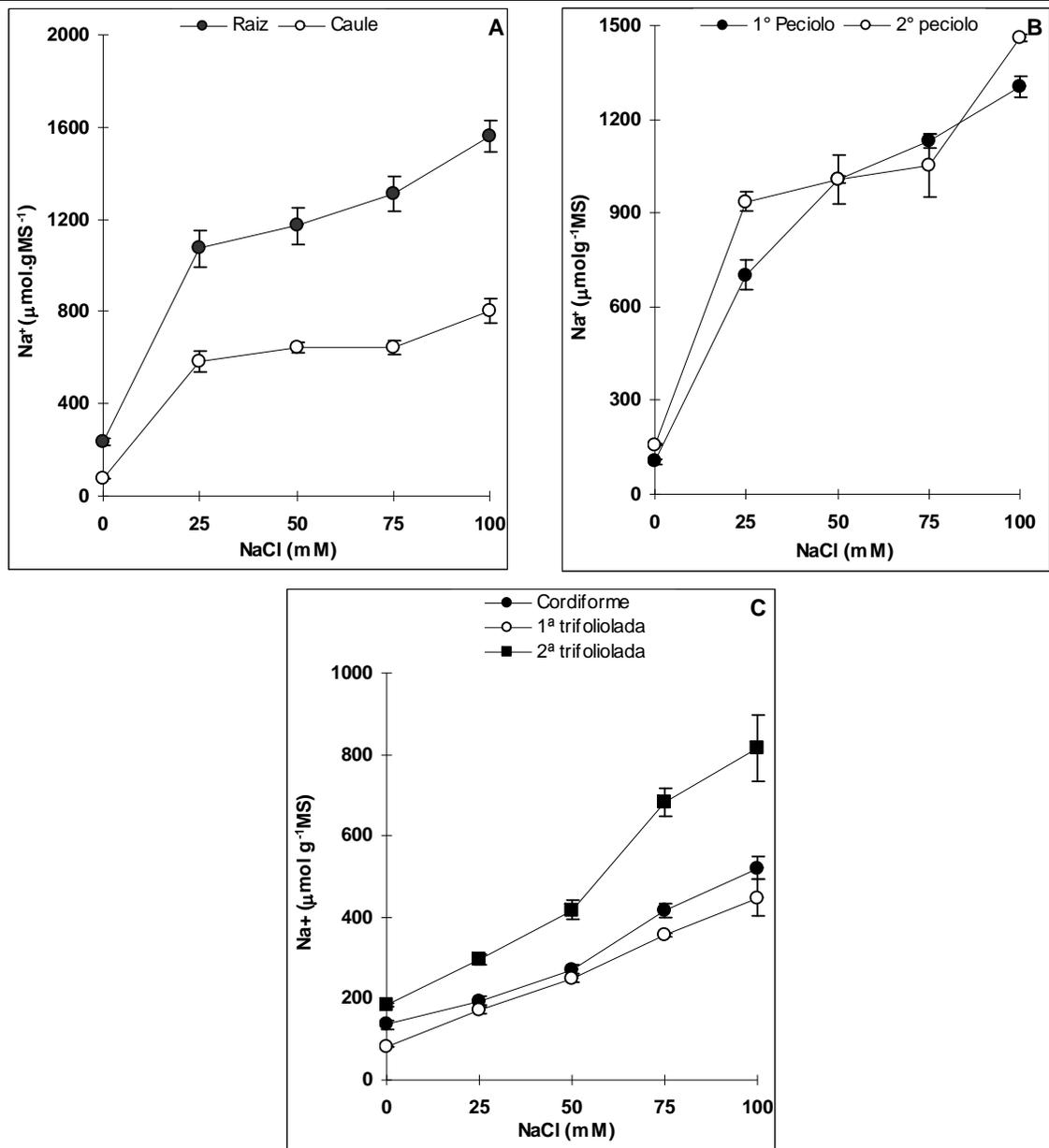


Figura. 4. Conteúdo de sódio em raiz e caule (A), pecíolos (B) e tipos de folhas (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a concentrações crescentes de NaCl, durante 3 dias.

Os referidos resultados corroboram com os obtidos na literatura, os quais mostram que, embora haja aumento nos teores de  $\text{Na}^+$  com as concentrações de NaCl, esse valores são mais elevados no caule e pecíolos. Portanto, é possível sugerir a existência de determinado mecanismo de exclusão ou compartimentalização do  $\text{Na}^+$  no caule e pecíolos, diminuindo o movimento deste íon em direção às folhas.

Esta redução no teor de sódio, do caule para o limbo, já foi observada em feijão-caupi (Silva, 1998), milho (Azevedo Neto & Tabosa, 2001) e sorgo (Lacerda et al., 2001). A capacidade de exclusão do sódio nos tecidos fotossintetizantes é um importante mecanismo de adaptação à salinidade e deve-se, provavelmente, ao melhor controle de absorção desse íon pelas raízes, maior retenção de sal nas raízes ou caules (Larcher, 2000), maior efluxo desse íon para a solução externa e/ou maior relação parte aérea/raiz (Moya et al., 1999).

Os teores de cloreto nos tecidos aumentaram de forma significativa com as concentrações de NaCl (Fig. 5). A raiz e o caule não apresentaram diferença estatística nas concentrações de 75 e 100 mM. Em relação à acumulação de  $\text{Cl}^-$  em raiz e caule, foram de 8,8 e 10,41 vezes, comparando-se a concentração de 100 mM NaCl com o controle, respectivamente (Fig. 5A).

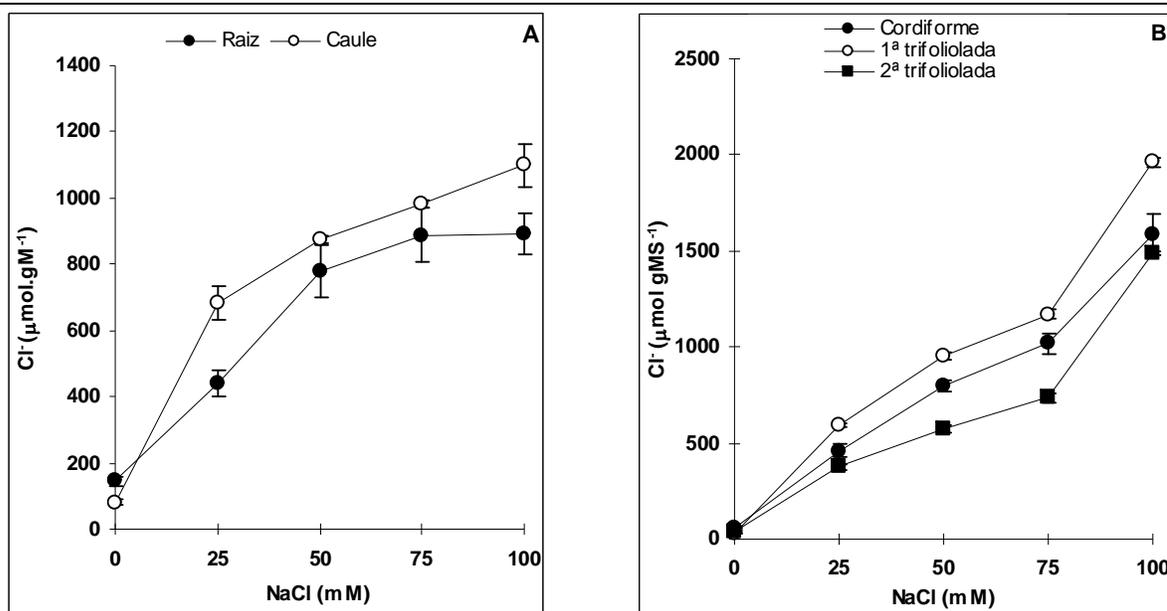


Figura 5. Conteúdo de cloreto em raiz e caule (A) e tipos de folhas (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a concentrações crescentes de NaCl, durante 3 dias.

As folhas apresentaram os maiores teores, onde o acréscimo nas folhas cordiformes, 1ª trifoliolada e 2ª trifoliolada foi de 26,77; 46,06 e 28,83 vezes, comparando-se a concentração de 100 mM com o controle, respectivamente (Fig. 5B).

Foi possível observar que em todas as partes estudadas o conteúdo de cloreto foi superior ao de sódio, tendo um maior acúmulo de cloreto nas folhas. Isso pode ser explicado pela maior capacidade dessa espécie em limitar a absorção e o transporte de  $\text{Na}^+$  da zona radicular para a parte aérea, em relação ao cloreto. Outro fator é que o cloreto, por ser um íon móvel, é facilmente carregado pelo fluxo de água acumulando-se, em maior quantidade, nas folhas. Resultado semelhante, também, foi encontrado por Guimarães (2005), Sousa (2006) e Trindade et al. (2006).

O conteúdo de sódio encontrado em maior quantidade foi em raiz, caule e pecíolo. Essa observação foi, também, verificada na espécie *Mediterranean medicago*, onde concentrou mais  $\text{Na}^+$  no pecíolo que no limbo foliar (Sibole et al., 2003). Desse modo, foi possível verificar certa restrição ou impedimento do  $\text{Na}^+$  de chegar às folhas através do xilema, ou seqüestrando no vacúolo os íons que chegam às folhas quando a absorção e o transporte de  $\text{Na}^+$  não são impedidos.

### 5.1.3. Transpiração

Na figura 6, pode-se observar os resultados de transpiração de plantas de caupi submetidas a concentrações crescentes de 0 a 100 mM NaCl, após 3 dias. Observou-se uma redução na transpiração de 80 % na maior concentração de NaCl. As reduções na taxa de transpiração pela salinidade, também, foram encontradas por Silva et al. (2003), Azevedo Neto et al. (2004) e Guimarães (2005).

Silva (1998) observou, também, em plantas de feijão-caupi, que a taxa de transpiração reduziu com o aumento da salinidade. Essa pode estar associada ao fechamento parcial dos estômatos devido à redução da condutividade hidráulica do sistema radicular provocada pela salinidade (Silva, 1998; Guimarães, 2005) causando uma redução no fluxo de água através das plantas e, conseqüentemente, redução da transpiração (Silva, 1998).

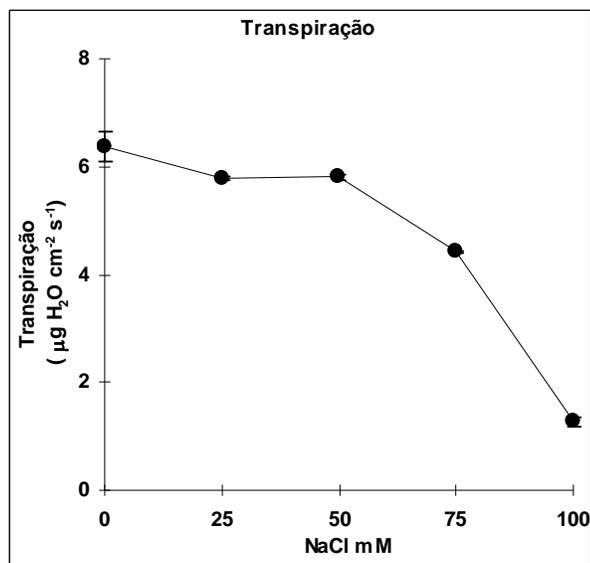


Figura 6. Medidas de transpiração de plantas jovens de feijão-caupi submetidas a concentrações crescentes de NaCl, durante 3 dias.

Baseado nos dados acima, pode-se concluir que a salinidade reduziu a produção de massa seca sem, no entanto, causar sintomas de toxicidade pelos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . Os conteúdos de sódio e cloreto aumentaram em todas as partes da planta, em resposta à salinidade, concentrando-se mais nas raízes e caule, no caso do sódio, e nas folhas, no caso do cloreto. Conforme esperado, ocorreram reduções na taxa de transpiração pela salinidade.

**5.2.1. Efeitos de tempo de exposição e recuperação de NaCl na acumulação e distribuição de massa seca.**

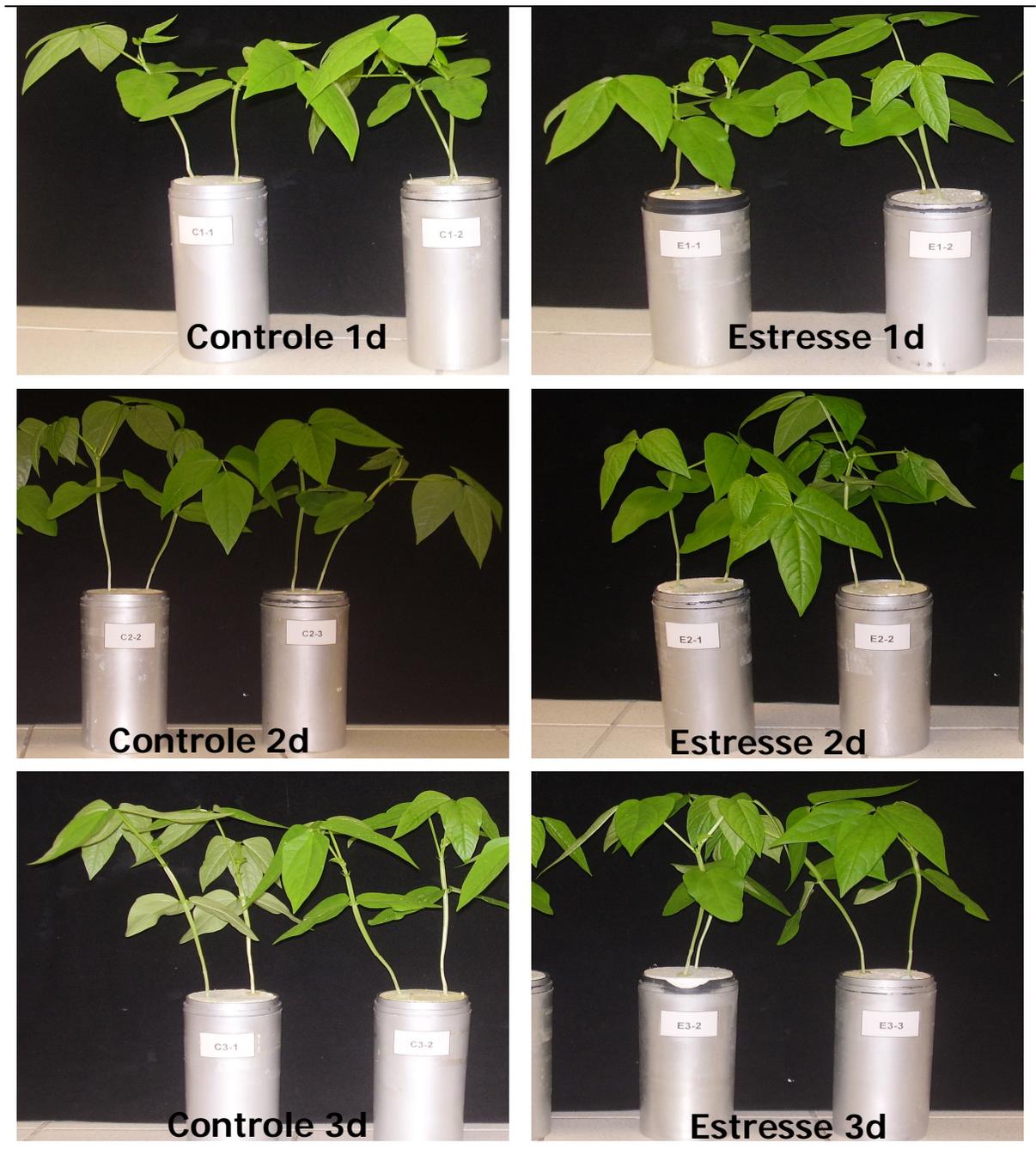


Figura 7. Aspecto visual do stand de plantas de Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) durante os tratamentos 1, 2 e 3 dias com 50mM de NaCl.

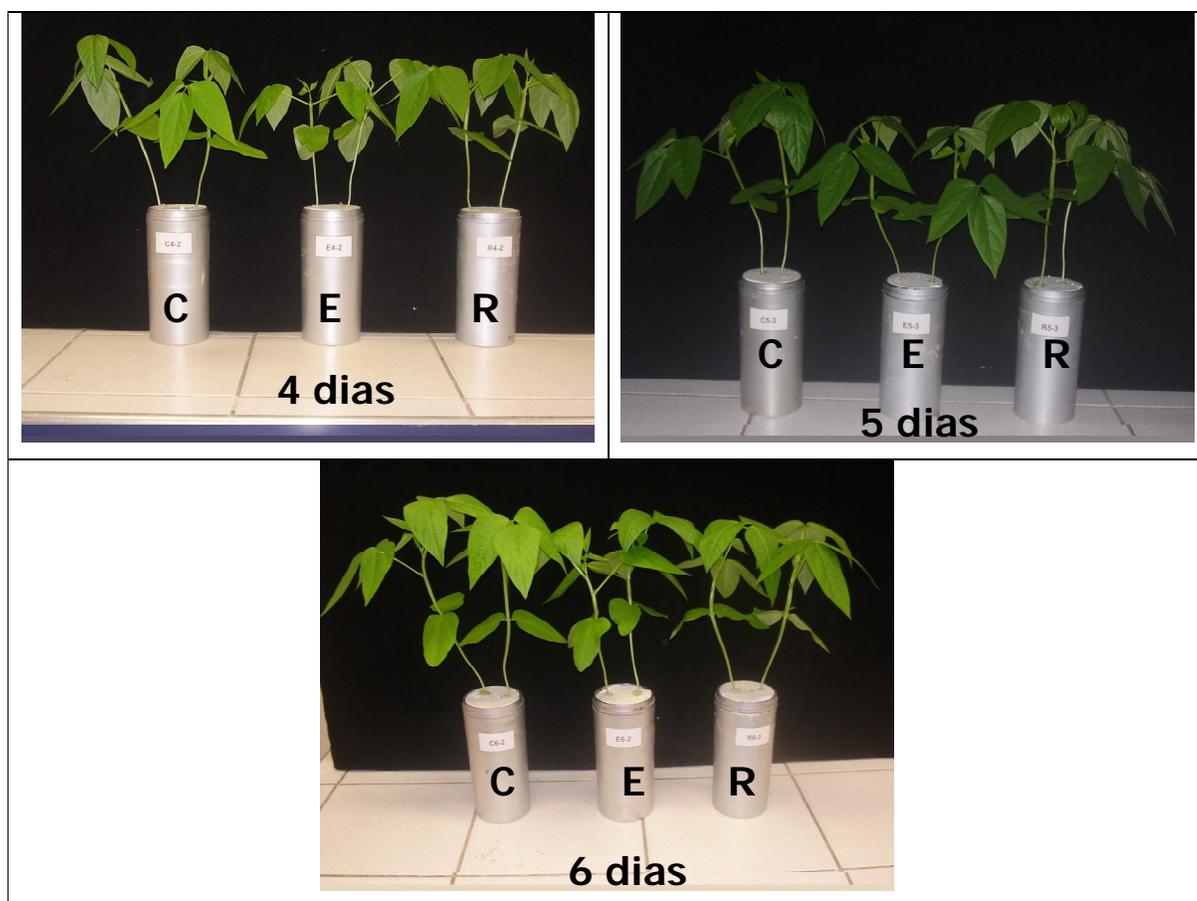


Figura 8. Aspecto visual do stand de plantas de Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), durante os tratamentos 4, 5, e 6 dias, com 50mM de NaCl e seguidos de recuperação, após o quarto dia de estresse.

Na figura 9, é visualizada a produção de massa seca de raiz e caule das plantas jovens de feijão-caupi que, aos 7 dias de idade, foram submetidas a 50 mM NaCl onde permaneceram, conforme cada dia de tratamento, atingindo um total de 6 dias em NaCl. A condição de recuperação foi iniciada no quarto dia de estresse, onde foi trocada a solução salina por solução nutritiva sem NaCl, sendo que o mesmo foi feito no quinto e sexto dia.

As análises mostraram que, nas raízes, no sexto dia de tratamento, ocorreu uma redução no conteúdo de massa seca de 24,08%, em comparação às plantas controle. Sendo que as raízes, quando submetidas à recuperação, atingiram 19,31 %, no quarto dia, 12,11 % no quinto dia e 15,35 % no sexto dia de recuperação (Fig. 9A). Enquanto que, na figura 9B, a redução da massa seca do caule foi de 8,13 % no sexto dia de estresse. Quando exposto à recuperação conseguiu atingir uma redução no conteúdo de massa seca de 7,56%, inferior à condição de estresse no sexto dia.

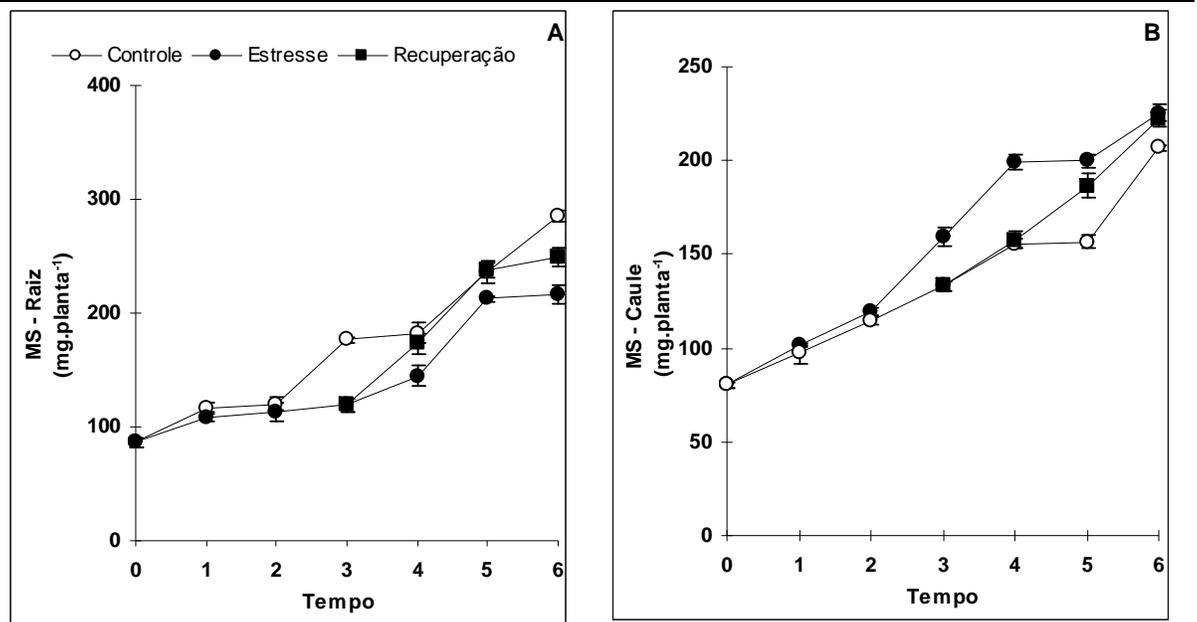


Figura 9. Produção de massa seca (MS) de raiz (A) e caule (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle e 50 mM NaCl até 6 dias e, seguidos de recuperação, após o quarto dia de estresse.

Segundo Morales et al. (2001), nem todas as partes da planta são igualmente afetadas pela salinidade, bem como, a adaptação ao estresse salino varia entre espécies, e em um mesmo genótipo, pode variar entre estádios fenológicos, sendo essa, a justificativa de que algumas partes vegetativas, após permanecer numa condição de estresse, possam atingir a condição de recuperação melhor que as outras partes, num mesmo intervalo de tempo.

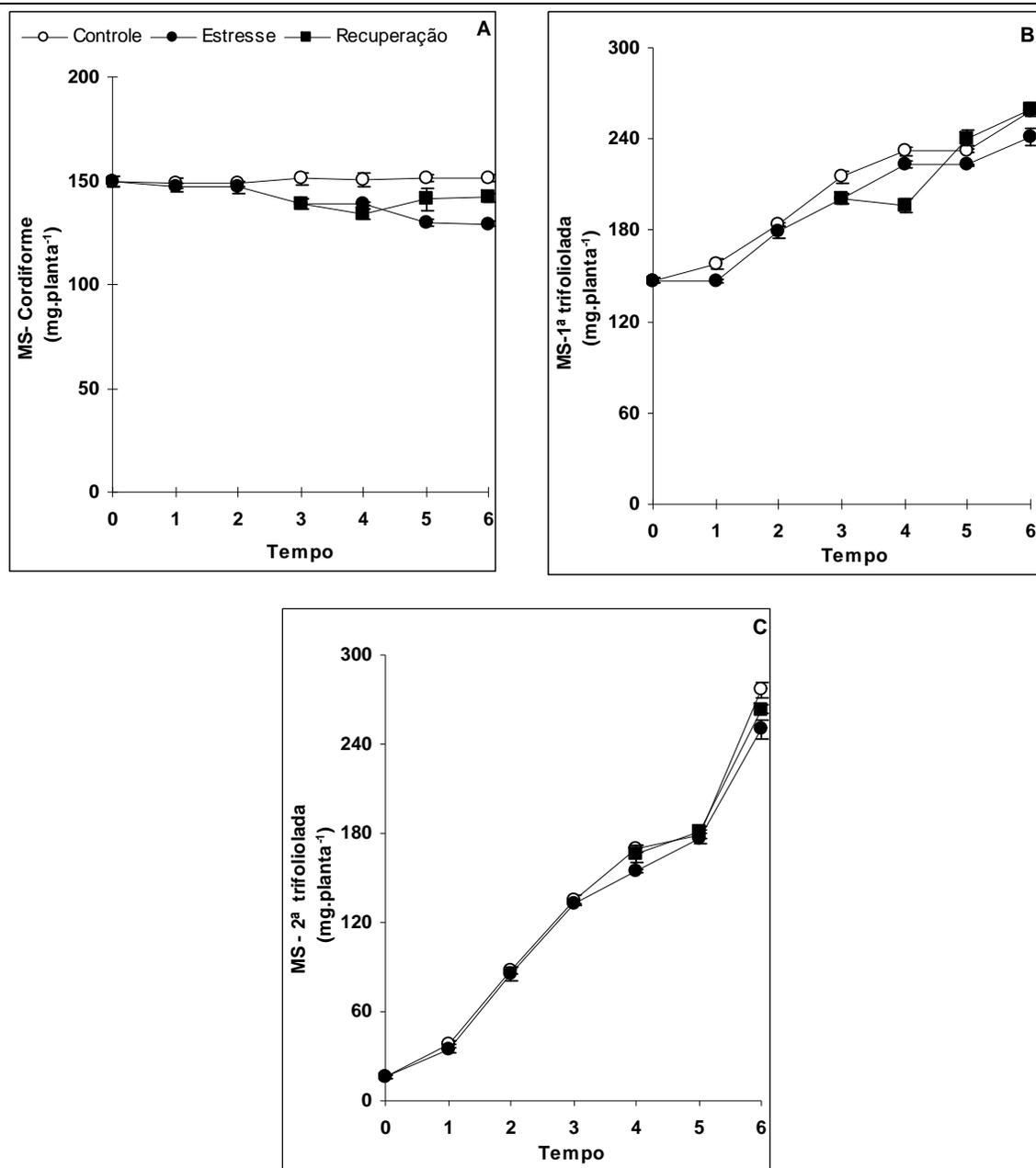


Figura 10. Produção de massa seca (MS) de tipo de folhas: Cordiforme (A), 1ª trifoliolada (B) e 2ª trifoliolada (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle e 50 mM NaCl, até 6 dias, e seguidos de recuperação, após o quarto dia de estresse.

Nas folhas cordiformes, nos primeiros três dias, ocorreu uma pequena redução no conteúdo de massa seca, em seguida, essa redução aumentou de forma gradativa até o sexto dia e atingiu 14,00 %. Quando expostas à condição de recuperação observaram-se pequenos aumentos de 3,59%, no quarto dia, de 8,71%, no quinto dia e 9,79%, no sexto dia. (Fig. 10A). Enquanto que nas 1ª folhas trifolioladas (Fig. 10B), houve

pequeno decréscimo de massa seca em todos os tratamentos. Assim, na condição de recuperação respondeu de forma positiva, no quinto e sexto dia, com acréscimos próximos de 7,00 % e conseguiu atingir a condição controle. Nas 2ª folhas trifolioladas, observou-se comportamento análogo entre controle, estresse e recuperação (Fig. 10C).

A massa seca radicular foi mais afetada por 50mM de NaCl que a massa seca da parte aérea (Fig. 11), no intervalo de tempo de 6 dias. Esse resultado difere dos obtidos por Moya et al. (1999), que sugerem que a maior redução no crescimento da raiz diminui a extração de íons potencialmente tóxicos do solo, e o que pôde ser observado foi uma redução maior na parte radícula, porém, isso não foi suficiente para inibir o transporte de sódio e cloreto.

### 5.2.2. Acumulação e distribuição de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em plantas jovens de feijão-caupi em resposta ao efeito do tempo de exposição e recuperação de NaCl

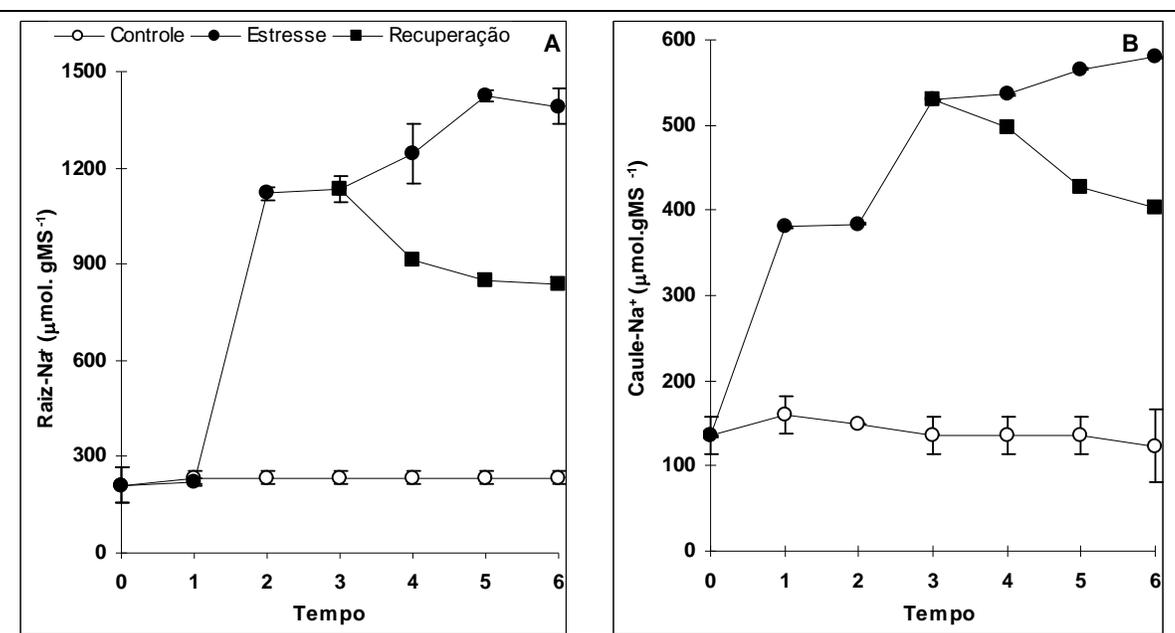


Figura 11. Conteúdo de sódio em raiz (A) e caule (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a condição controle e 50 mM NaCl, durante 6 dias, e seguidos de recuperação, após o quarto dia de estresse.

É considerado que 50mM de NaCl é baixo para induzir qualquer efeito tóxico (Tester & Davenport, 2003). Assim, um choque osmótico, em vez de toxicidade iônica, parece ser o principal componente do estresse salino, em caupi. Embora, o acúmulo de Na<sup>+</sup> ocorra, progressivamente, como uma função do tempo de exposição ao NaCl (Fig.

11A), esse chegou a, aproximadamente,  $1.422 \mu\text{mol Na}^+ \text{g}^{-1} \text{MS}$ , no quinto dia, um valor seis vezes superior ao da média da raiz. Enquanto que essa concentração de  $\text{Na}^+$ , no sexto dia, no caule, foi de  $579 \mu\text{mol Na}^+ \text{g}^{-1} \text{MS}$  (Fig. 11B).

A recuperação do tratamento aplicado, no terceiro dia, foi capaz de promover uma retirada total de NaCl. Além disso, a retirada total de NaCl induziu uma recuperação pequena na raiz (Fig. 11A), com decréscimo de 1,58 vezes em relação ao NaCl, enquanto, no caule, esse decréscimo foi de 2,03 vezes em relação ao estresse.

Em relação às folhas, também ocorreu um acúmulo proeminente de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em função do tempo de exposição ao NaCl (Fig. 12). Na folha cordiforme, esse atingiu, aproximadamente,  $850 \mu\text{mol Na}^+ \text{g}^{-1} \text{MS}$  (Fig. 12A), equivalente a um acúmulo de sódio de 5 vezes, comparando-se o sexto dia de estresse com o controle. Enquanto que, na 1ª e 2ª trifoliolada, esses valores foram de 739 e 689  $\mu\text{mol Na}^+ \text{g}^{-1} \text{MS}$  (Fig. 12B e 12C), respectivamente, referente ao acúmulo de sal de 6,14 e 3,37 vezes, comparando-se o sexto dia de estresse com o controle.

Estudos realizados por Cavalcante et al. (2004), em plantas de caupi, submetidas a 50 mM de NaCl, durante 6 dias e com recuperação após terceiro dia de estresse, mostraram resultados semelhantes em termos de recuperação, onde o tratamento de recuperação foi capaz de remover a pressão osmótica na raiz, bem como eliminar o excesso de íons  $\text{Na}^+$  no interior da planta.

Esses resultados corroboram com os obtidos na literatura, os quais mostram que, embora haja aumento nos teores de  $\text{Na}^+$  com o tempo de exposição ao NaCl, as raízes e folhas apresentaram os maiores teores deste elemento e o caule, os menores. Dentre as folhas, é observada a seguinte seqüência de acumulação: cordiforme > 1ª trifoliolada > 2ª trifoliolada (Cavalcante et al., 2004; Guimarães 2005).

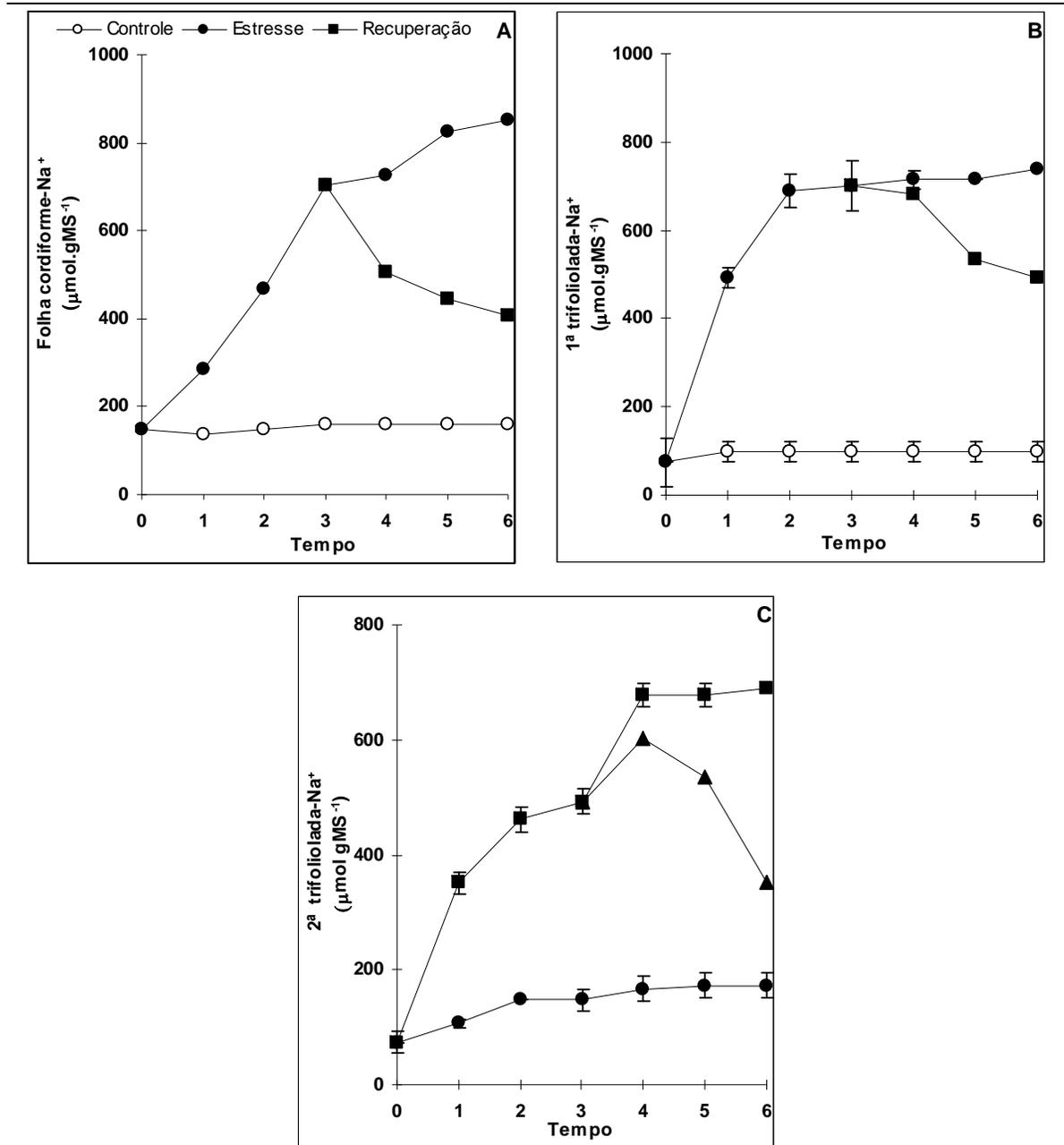


Figura 12. Conteúdo de sódio em tipos de folhas cordiforme (A), 1ª trifoliolada (B) e 2ª trifoliolada (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle, 50 mM NaCl, durante 6 dias e seguidos de recuperação, após o quarto dia de estresse.

Aparentemente, não foi verificada inibição do transporte do  $\text{Na}^+$  para a parte aérea, visto que, as folhas acumularam de forma mais acentuada. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por outros autores em outras espécies cultivadas, os quais

mostraram um aumento nos teores de sódio nas folhas em função do aumento da salinidade, em citrus (Bañuls & Primo-Millo, 1992) e goiabeira (Ferreira, 2001).

Ocorreu um acúmulo progressivo de  $\text{Cl}^-$  na raiz, em função do tempo de exposição ao NaCl (Fig. 13 e 14), que atingiu, aproximadamente,  $1.131 \mu\text{mol Cl}^- \text{g}^{-1} \text{MS}$ , no 6º dia, um valor 5,80 vezes superior à condição controle, enquanto que essa concentração de  $\text{Cl}^-$ , no 6º dia, no caule, foi de  $805 \mu\text{mol Cl}^- \text{g}^{-1} \text{MS}$  (Fig. 13B).

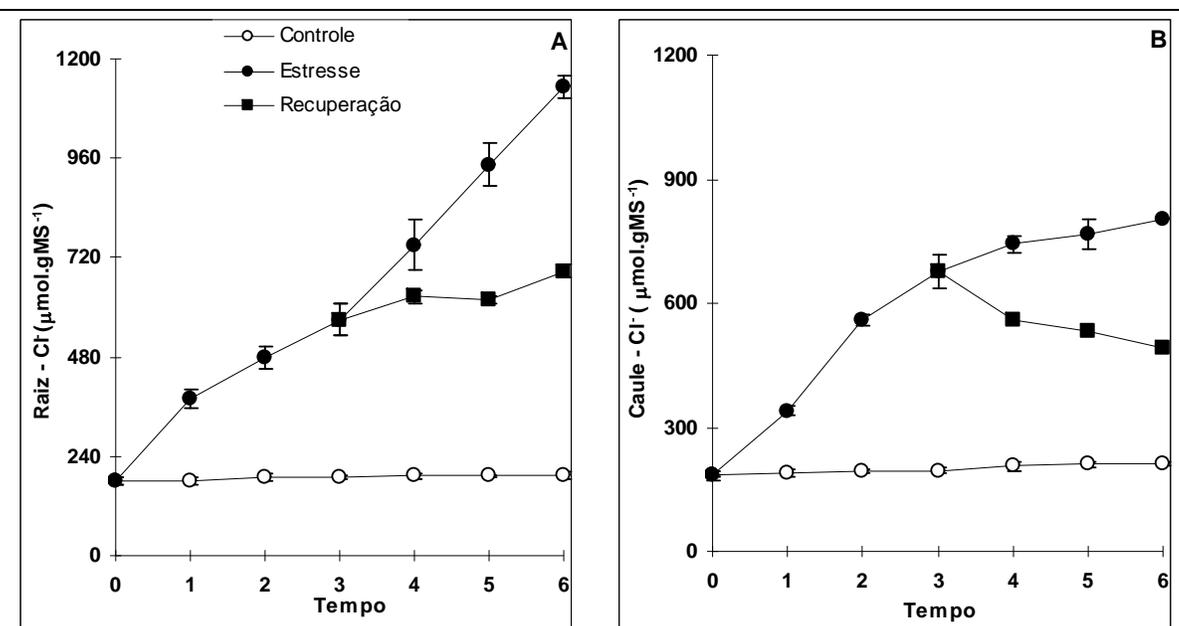


Figura 13. Conteúdo de cloreto em raiz (A) e caule (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle, 50 mM NaCl, durante 6 dias e seguido de recuperação, após o quarto dia de estresse.

O tratamento de recuperação aplicado no terceiro dia foi capaz de promover uma remoção total de NaCl. No entanto, a retirada total de NaCl induziu uma recuperação pequena na raiz (Fig. 13A) com decréscimo de 1,65 vezes, em relação ao NaCl. Enquanto que no caule esse decréscimo foi de 1,64 vezes, em relação ao estresse.

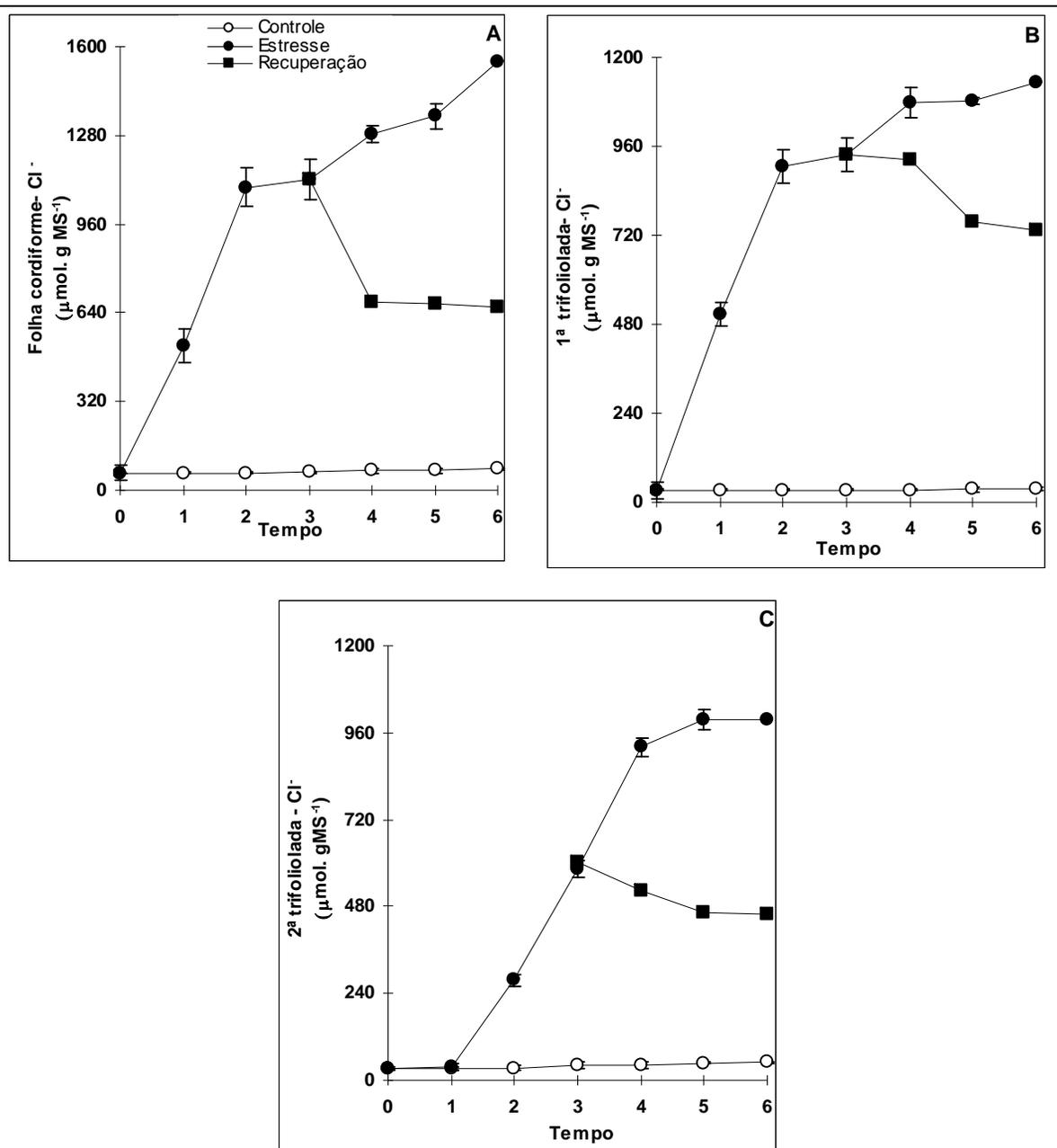


Figura 14. Conteúdo de cloreto em tipos de folhas cordiforme (A), 1ª trifoliolada (B) e 2ª trifoliolada (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle, 50 mM NaCl, durante 6 dias e seguido de recuperação e após o quarto dia de estresse

Em relação às folhas, também ocorreu um acúmulo proeminente de  $\text{Cl}^-$  em função do tempo de exposição ao NaCl (Fig. 14). Na folha cordiforme esse atingiu, aproximadamente,  $1.545 \mu\text{mol Cl}^- \text{g}^{-1} \text{MS}$  (Fig. 14A), equivalente a um acúmulo de cloreto de 2,35 vezes, comparando o 6º dia de estresse com o controle. Na 1ª e 2ª

trifoliolada foram obtidos os valores 1.133,45 e 996,66  $\mu\text{mol Cl}^- \text{g}^{-1} \text{MS}$  (Fig. 14B e 14C), respectivamente, referentes ao acúmulo de sal de 1,54 e 2,16 vezes, comparando o 6º dia de estresse com o controle.

Estes resultados corroboram com os obtidos na literatura, os quais mostram que, embora haja aumento nos teores de  $\text{Cl}^-$  com tempo de exposição a  $\text{NaCl}$ , as folhas e raízes apresentaram os maiores teores deste elemento e o caule, os menores. E, dentre as folhas, é observado a seguinte seqüência de acumulação: cordifome > 1ª trifoliolada > 2ª trifoliolada (Guimarães 2005).

### 5.2.3. Transpiração

Na figura 15, são visualizados os resultados de transpiração de plantas de feijão-caupi submetidas a 50 mM de  $\text{NaCl}$ , durante 6 dias. Observou-se uma redução constante em torno de 23,00 % até o 4º dia, em seguida, essa redução atingiu 30,28 % e 35,00 %, no 5º e 6º dia, respectivamente. Na condição de recuperação não foi obtido êxito suficiente para atingir a condição controle.

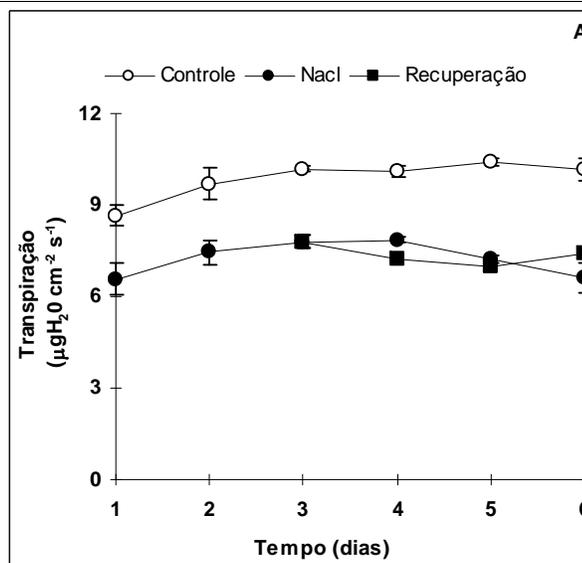


Figura 15. Medidas de transpiração (A) de plantas de feijão-caupi submetidas a 50 mM  $\text{NaCl}$ , durante 6 dias e seguido de recuperação e após o quarto dia de estresse.

O estresse salino causou uma redução na transpiração indicando que, quando submetidas a condições salinas, plantas de feijão-caupi tendem a fechar os estômatos, havendo, como consequência, redução na quantidade de água transpirada, a qual pode

contribuir para redução na absorção e carregamento de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  para o interior das plantas.

Conforme a pretensão do estudo em se escolher 50 mM de NaCl, por ser uma concentração baixa para induzir qualquer efeito tóxico (Tester & Davenport, 2003), mas sim, um choque osmótico que parece ser o principal componente do estresse salino em caupi. Embora o acúmulo dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  tenha ocorrido de forma progressiva como uma função do tempo de exposição ao NaCl, o sódio concentrou-se mais nas raízes e caule, enquanto que a concentração de cloreto ocorreu mais nas folhas. E, conforme o esperado, ocorreram reduções na taxa de transpiração pela salinidade.

### 5.3.1. Efeitos da temperatura na acumulação e distribuição de massa seca em plantas submetidas à NaCl.

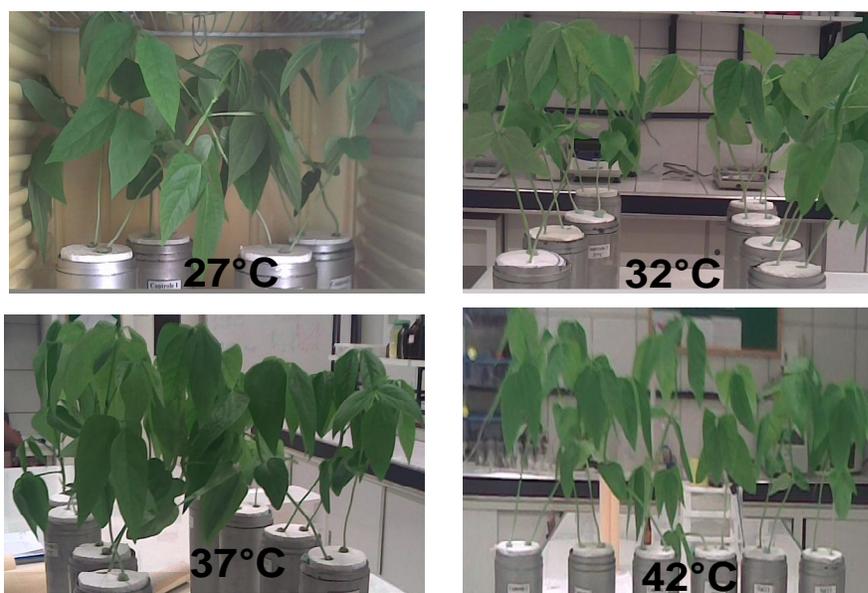


Figura 16. Aspecto visual do stand de plantas jovens de Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.

No experimento III, foi verificado que a combinação 100 mM de NaCl, por dois dias seguidos, e diferentes temperaturas, por 12 horas, influenciou na redução de massa seca de todas as partes examinadas. Na figura 17A, observa-se uma redução da massa seca da raiz, de 35,37%, enquanto que, no caule, essa redução foi de 12,97% (Fig. 17B). É importante ressaltar que o efeito inibitório da salinidade sobre o

crescimento vegetativo e, principalmente, sobre o sistema radicular, pode estar relacionado com diversos fatores, tais como, a cultivar utilizada, o estágio de desenvolvimento da planta em que o estresse foi aplicado, os níveis e a forma de aplicação de sais no ambiente radicular, o tempo e a intensidade do estresse (Guimarães, 2005), bem como, as condições ambientais nas quais as plantas são cultivadas (Yeo, 1999). A interação de fatores (NaCl e temperatura elevada) afeta diretamente o crescimento radicular, podendo o mesmo ser estimulado, inibido ou mesmo, não ser afetado como ocorre em algumas halófitas (Blanco & Folegatti, 2008).

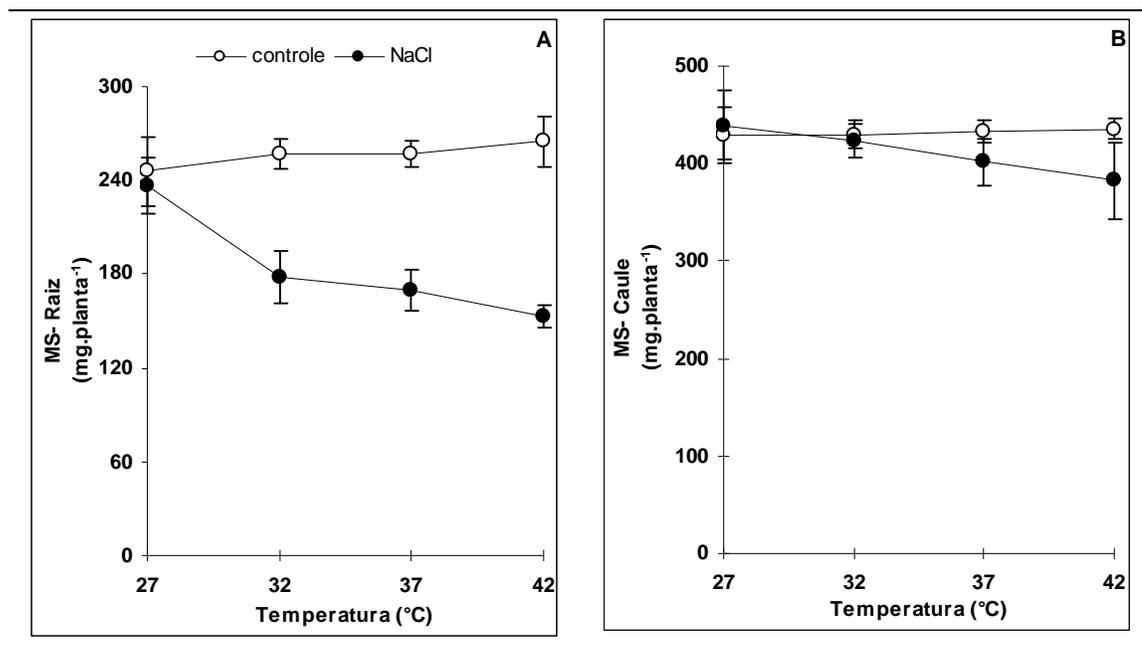


Figura 17. Produção de massa seca de raiz (A) e caule (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.

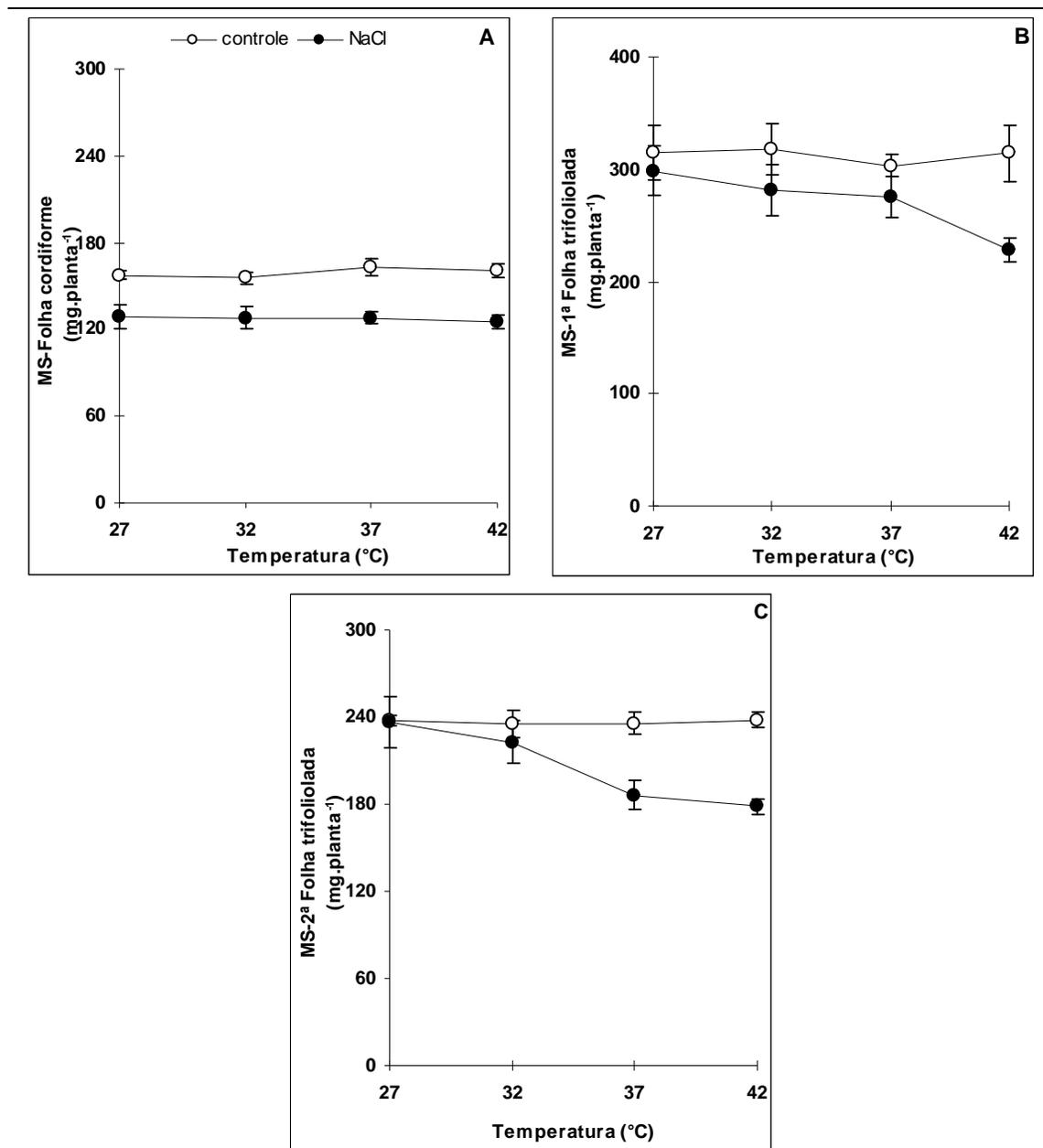


Figura 18. Produção de massa seca de folhas cordiforme (A), 1ª folha trifoliolada (B) e 2ª folha trifoliolada (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.

Pode-se observar que, dentre outros fatores, o decréscimo de massa seca em folhas (Fig. 18) pode estar relacionado com o aumento da respiração que é acelerada em condições de estresse, ganho reduzido de carbono (Greenway & Munns, 1980; Zhu, 2001) e/ou suprimento inadequado de nutrientes para a planta (Debez et al., 2004).

Nas folhas cordiformes (Fig. 18A), não teve redução na massa seca, pois, no momento da aplicação do sal, a folha já estava completamente expandida. Porém, na 1ª

folha trifoliolada (Fig. 18B) a redução foi de 23,68% e na 2ª folha trifoliolada, foi de 24,44% (Fig. 18C), porque estava em fase de desenvolvimento. Dessa forma, foi possível observar que, dentre as partes estudadas, a raiz apresentou a maior redução de massa seca, seguida das folhas e, por fim, o caule. Esses resultados corroboram com os experimentos anteriores, onde obedecem à mesma seqüência de redução de massa seca: raiz > folhas > caule, sendo que, no experimento III, as reduções foram mais acentuadas, possivelmente, em consequência da temperatura elevada.

### 5.3.2. Acumulação e distribuição de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em partes jovens de feijão-caupi em resposta a efeitos da temperatura

No experimento III, os conteúdos de sódio tiveram acréscimos significativos em todas as partes das plantas, tanto em função do NaCl, na solução nutritiva, como da temperatura de exposição. Foi possível notar que, sob condições controle, os teores de sódio nas raízes e nos caules examinados foram, em média, 278,17 e 189,71  $\mu\text{mol Na}^+$  g<sup>-1</sup> MS, respectivamente.

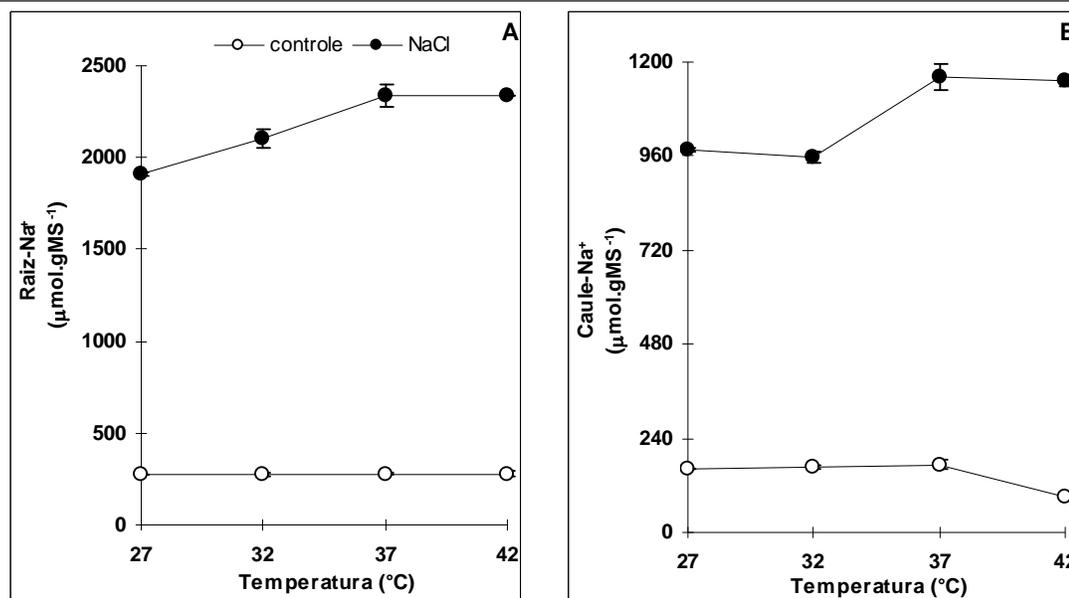


Figura 19. Conteúdo de sódio em raiz (A) e caule (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.

No entanto, observou-se um acréscimo desse íon em função da combinação de estresse. Em raízes (Fig. 19A), foi possível visualizar um aumento de 8,4 vezes, comparando a temperatura de 42°C com o controle. No caule (Fig. 19B), houve um

acréscimo de 12,8 vezes, comparando a temperatura de 42 °C com o controle. Em relação às folhas cordiformes, 1ª trifoliolada e 2ª trifoliolada, foram encontrados teores de 119,67; 108,7 e 81,50  $\mu\text{mol Na}^+ \text{g}^{-1} \text{MS}$ , respectivamente. Em folhas cordiformes (Fig. 20A), foi possível visualizar um aumento de 5,7 vezes, comparando a temperatura de 42 °C com o controle, assim como, na 1ª folha trifoliolada (Fig. 20B), onde ocorreu um acréscimo de 5,24 vezes e na 2ª folha trifoliolada (Fig. 21) o acréscimo foi de 7,05 vezes. Com base nesses resultados, é possível admitir que a temperatura influencie na acumulação de sódio, principalmente na raiz e caule.

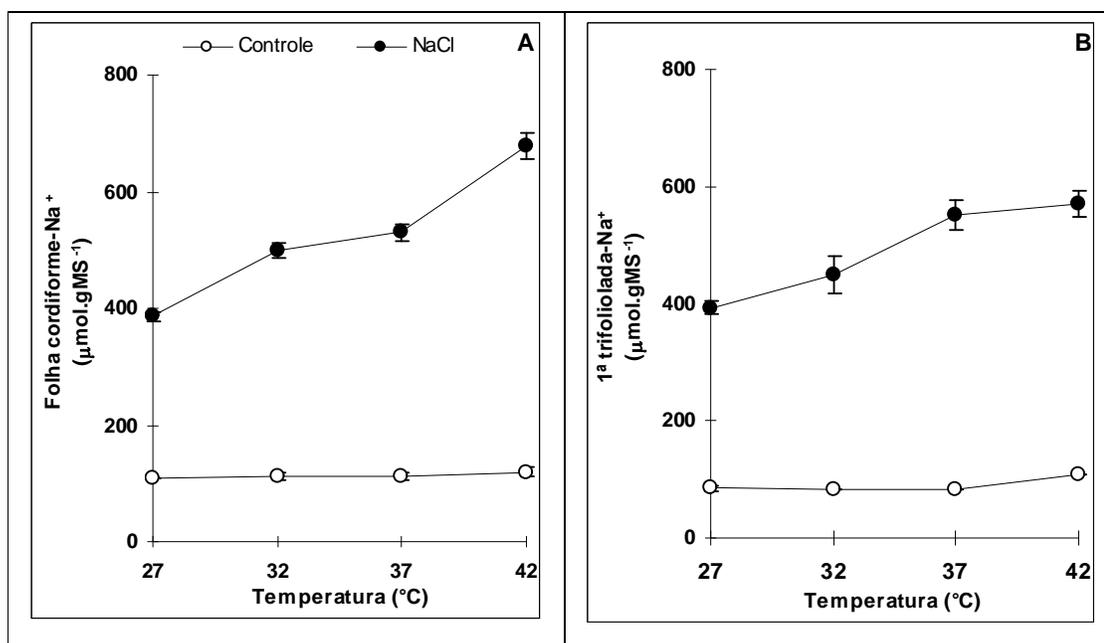


Figura 20. Conteúdo de sódio em tipos de folhas cordiforme (A) e 1ª folha trifoliolada (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias, e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.

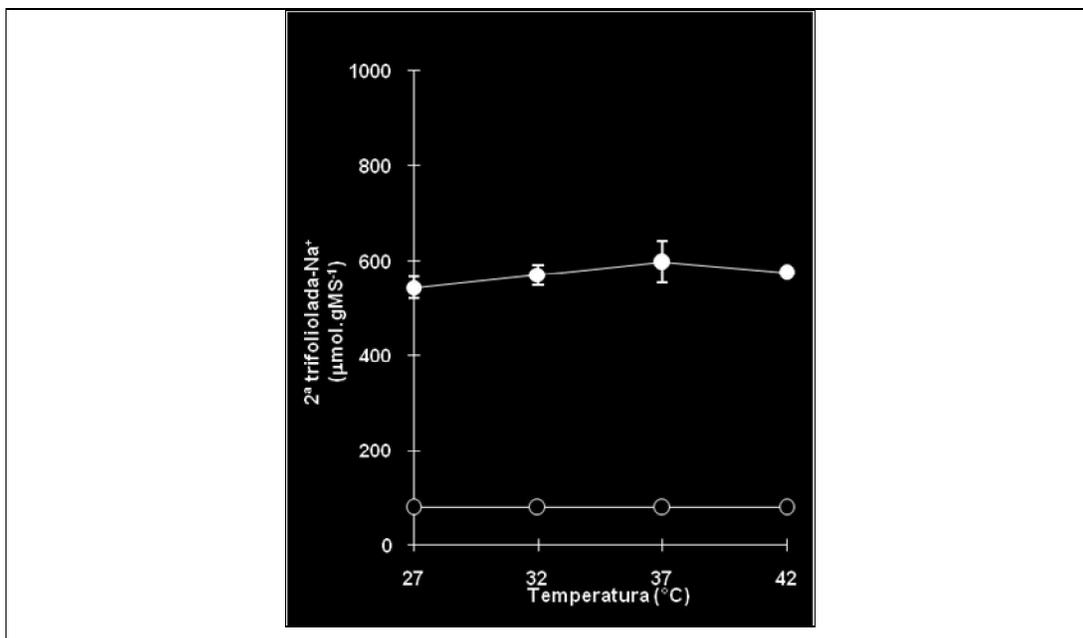


Figura 21. Conteúdo de sódio na 2ª folha trifoliolada, em função da temperatura, de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.

A acumulação de cloreto teve acréscimos significativos em todas as partes das plantas. Foi possível observar que, sob condições-controle, os teores de cloreto nas raízes e caules examinados foram de 192,50 e 366,67  $\mu\text{mol Cl}^{-1} \text{MS}$ , respectivamente. Na figura 22A, é possível visualizar um acréscimo de cloreto de 6,9 vezes, na raiz, na temperatura de 42°C, em relação ao controle e, no caule, um acréscimo de 4 vezes (Fig. 22B).

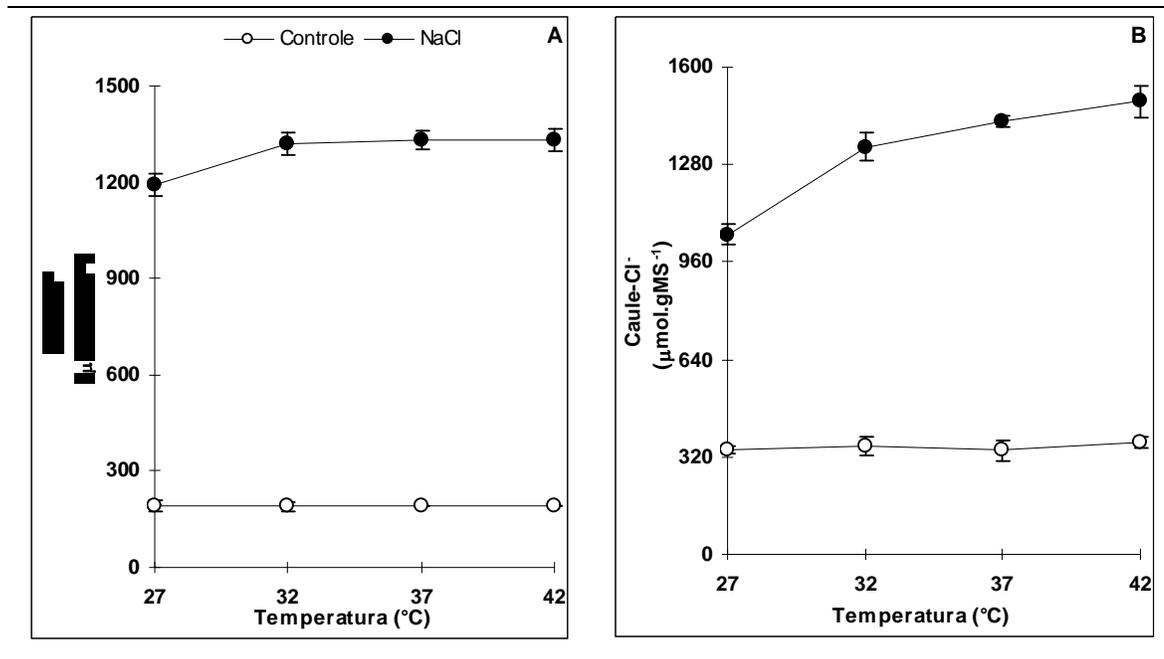


Figura 22. Conteúdo de cloreto em raiz (A) e caule (B) em função da temperatura de plantas jovens de feijão caupi aos 7 dias de idade de plantas jovens de feijão caupi aos 7 dias de idade submetidas 100 mM NaCl durante 2 dias e seguidas de níveis crescente de temperatura durante 12 horas.

Nas folhas cordiformes, 1<sup>a</sup> trifoliolada e 2<sup>a</sup> trifoliolada, a acumulação de cloreto foi de 85,88; 50,56 e 68,06  $\mu\text{mol Cl}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MS}$ , respectivamente. Contudo, foi notado um aumento desse íon em função da combinação de estresse. Em folhas cordiformes (Fig. 23A) foi possível visualizar um aumento de 11,61 vezes, comparando a temperatura de 42°C com o controle. Conforme a figura 23B, a 1<sup>a</sup> folha trifoliolada obteve um acréscimo de 26,65 vezes, comparando a temperatura de 42°C com o controle, e a 2<sup>a</sup> folha trifoliolada (Fig. 23C) alcançou valores de acréscimo de 23,14 vezes. É possível que a diferença no acúmulo desses íons nos limbos foliares, esteja associada à quantidade de água absorvida durante a aplicação do estresse (Larcher, 2000; Moya et al., 1999).

Como pode ser observado, na figura 23, na faixa de temperatura de 27 a 32°C, a absorção cresce de modo praticamente linear, com a elevação da temperatura. Isto é explicado, principalmente, pelo fato de que, dentro daqueles limites, aumenta a intensidade respiratória. O efeito da interação de temperatura costuma, entretanto, ser mais acentuado na absorção de ânions, como o cloreto, do que de cátions. Dessa forma, a corrente transpiratória que, no xilema, conduz o nutriente para a parte aérea, pode aumentar a tensão puxando os elementos contidos nos espaços intercelulares e na parede celular da raiz, havendo maior transpiração, o que aumenta o fluxo de massa para a raiz.

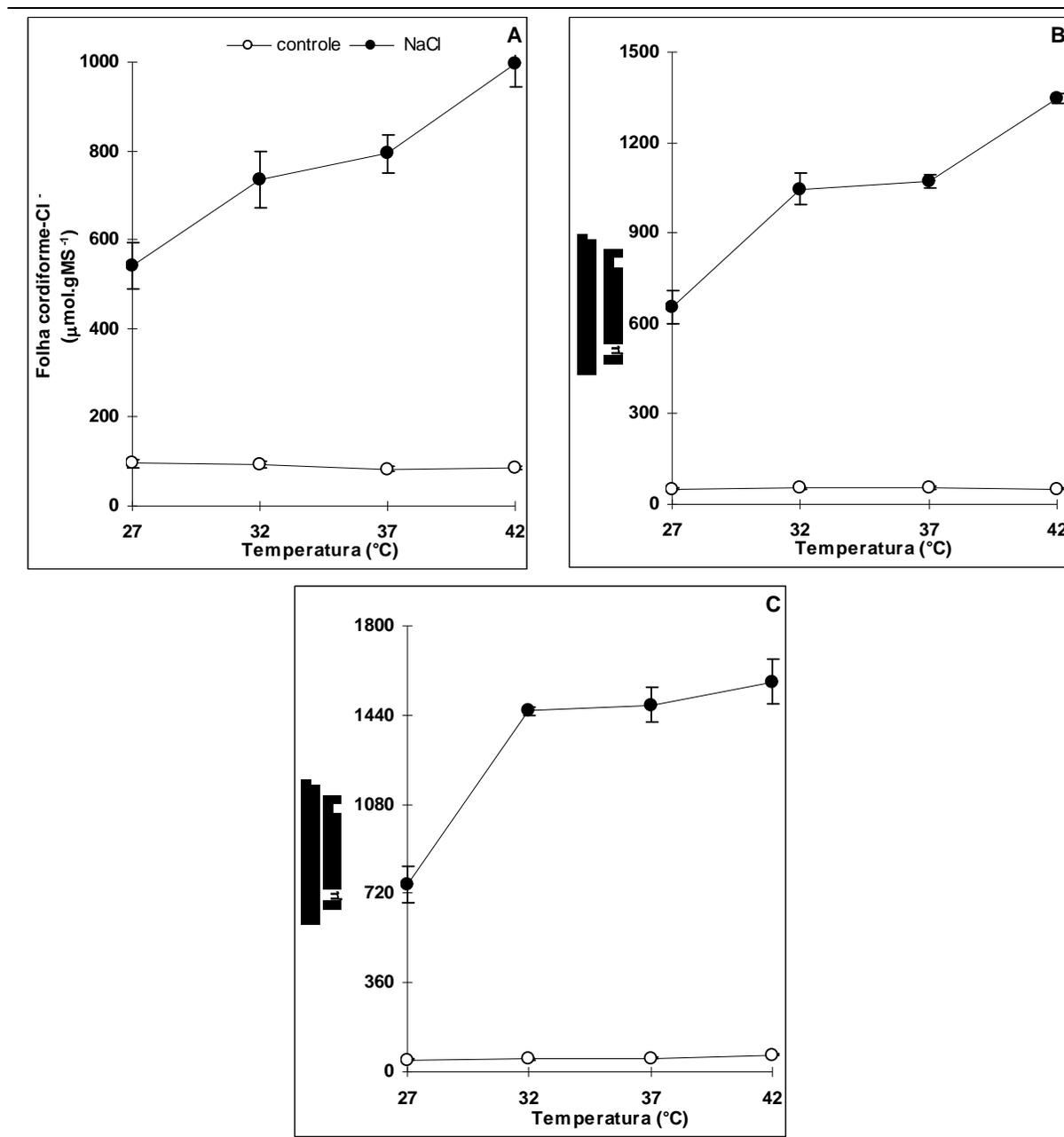


Figura 23. Conteúdo de cloreto em tipo de folhas cordiforme (A), 1ª folha trifoliolada (B) e 2ª folha trifoliolada (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.

É ressaltado que a acumulação maior é nas folhas, contribuindo para o ajustamento osmótico (Silva, 1998) e colaborando para o aumento da suculência foliar como resultado do acúmulo de água no interior das células e espaços intercelulares (Noble & Rogers, 1993; Silva, 1998).

### 5.3.3. Transpiração

As medidas de transpiração variaram de 8 a 13  $\mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-1} \text{s}^{-2}$ , nos tratamentos em que se aplicaram as temperaturas, 27 e 42°C, respectivamente, em que se observou uma redução, conforme as temperaturas de 27, 32, 37 e 42°C, em torno de 18,95; 14,16; 15,78 e 8,76 %, respectivamente (Fig. 24).

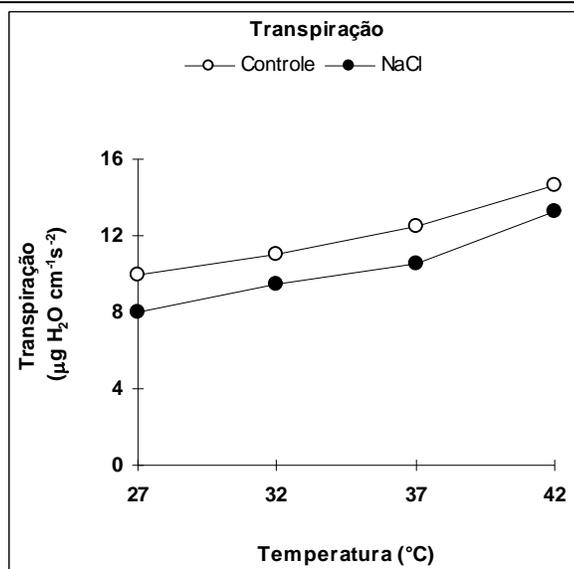


Figura 24. Medidas de transpiração de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.

O estresse salino causou uma redução na transpiração indicando que, quando submetidas a condições salinas, plantas de feijão-caupi tendem a fechar os estômatos, havendo, como consequência, redução na quantidade de água transpirada, o que pode contribuir para redução na absorção e carregamento de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  para o interior das plantas. Pela transpiração, a planta controla sua perda de água para o ambiente na forma de vapor de água. Esse processo é dominante nas relações de água na planta, em virtude do grande volume de água requerido para o controle de vários processos fisiológicos no organismo vegetal. Esse processo é, também, afetado pelos níveis de absorção mineral, uma vez que a transpiração acelera a ascensão da seiva (Kramer & Boyer, 1995).

## 6. SÍNTESE DOS RESULTADOS

- ✓ Em decorrência das concentrações e dos tempos estabelecidos no presente trabalho, não se observou sintoma de toxidez por  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ;
- ✓ O acréscimo de  $\text{NaCl}$  na solução nutritiva determinou uma redução no conteúdo de massa seca, principalmente nas raízes;
- ✓ Os teores de sódio e cloreto aumentaram, significativamente, em todas as partes da planta, com o aumento das concentrações de  $\text{NaCl}$ , sendo que, a acumulação de cloreto foi superior à de sódio;
- ✓ A distribuição de  $\text{Na}^+$  correspondeu à ordem: raiz > caule > pecíolos > folhas;
- ✓ A distribuição de  $\text{Na}^+$  + Temperatura: raiz > folhas > caule;
- ✓ A distribuição de  $\text{Cl}^-$  correspondeu à seguinte ordem: folhas > caule > raiz;
- ✓ A distribuição de  $\text{Cl}^-$  + Temperatura: folhas > raiz > caule;

- ✓ O estresse por NaCl ocasionou uma redução na transpiração sugerindo que, plantas de caupi tendem a fechar os estômatos, havendo, como resultado, redução na quantidade de água transpirada que contribui para a redução da absorção e carregamento de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  para o interior das plantas.

## 7. CONCLUSÃO

Os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  apresentam modelos diferentes de distribuição nas diversas partes de plantas de feijão-caupi, em que o sódio é mais acumulado na raiz, enquanto o cloreto acumula-se mais nas folhas. Quando submetido a tratamentos com níveis crescentes de temperatura, verificou-se que esse processo não é afetado pela temperatura e apresenta a mesma resposta.

## 8. LITERATURA CITADA

AGUIAR NETTO, A.O.; GOMES, C.C.S.A.; LINS, C.C.V.; BARROS, A.C.; CAMPECHE, L.F.S.M.; BLANCO, F.F. Características químicas e salino-sodicidade dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia, SE, Brasil. *Ciênc. Rural*, Santa Maria, 37:1640-1645, 2007.

ANDREEV, I.M. Functions of the vacuole in higher plant cells. *Russ. J. Plant Physiol.* 48: 672-680, 2001.

APSE, M.P. & BLUMWALD, E. Engineering salt tolerance in plants. *Curr. Opin. In Biotech.* 13:146-150, 2002.

ARAÚJO, J.P.P. & WATT, E.E. O caupi no Brasil. 1.ed. Brasília: EITA/EMBRAPA, 1988, 722p.

ASHRAF, M. Salt Tolerance of Cotton: Some New Advances. *Crit. Rev. in Plant Sci.* 21(1): 1-30, 2002.

AZEVEDO NETO, A.D. Aspectos fisiológicos e bioquímicos do estresse salino em plantas de milho. 2005. 149f. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

AZEVEDO NETO, A.D. & TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: II. Distribuição de macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. *R. Bras. Eng. Agríc. e Ambi.* 4:165-171, 2000.

BAÑULS, J.; PRIMO-MILLO, E. Effects of chloride and sodium on gas exchange parameters and water relations of citrus plants. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen. 86:115-123, 1992.

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

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. (ed.). Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Viçosa: MMA, SRH, ABEAS, UFV, 1997, 252 p.

BRAY, E.A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. (eds). *Biochemistry and molecular biology of plants*. Rockville: ASPP, 2000, p. 1158-1203.

BRILHANTE, J.C.A. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no potencial osmótico de folhas de *Atriplex nummularia* submetidas ao NaCl, seca e PEG. Fortaleza: UFC, 2006, 195p. (Dissertação de mestrado –Fitotecnia).

CACHORRO, P.; OTIZ, A.; CERDÁ, A. Implications of calcium nutrition on the response of *Phaseolus vulgaris* L. to salinity. *Plant and Soil*, Dordrecht. 159:205-212, 1994.

CARDOSO, B.B. Efeitos comparativos da salinidade sobre o metabolismo do nitrogênio em folhas e nódulos de feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] inoculado com *Bradyrhizobium* sp. 2000. 98 p. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

CARVALHO, J.A.; PEREIRA, G.M.; ANDRADE, M.J.B.; ROQUE, M.W. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Ciênc. Agrot., Lavras*. 24:710-717, 2000.

CAVALCANTE, F.R.; OLIVEIRA, J.T.A.; MIRANDA, A.S.M.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J.A.G. Superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities do not confer protection against oxidative damage in salt-stressed cowpea leaves. *New Phytologist*. 163:563-571, 2004.

CAVALCANTE, L.F.; CAVALCANTE, H.L.; PEREIRA, K.S.N.; DE OLIVEIRA, F.A.; GONDIM, S.C. & ARAÚJO, F.A.R. Germination and initial growth of guava plants irrigated with saline water. *R. Bras. de Eng. Agríc. e Amb*. 9:515-519, 2005.

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 à salinidade. *R. Brás. Botânica*, São Paulo, 26:289-297, 2003.

CRAMER, G.R.; EPSTEIN, E.; LAUCHLI, A. Effects of sodium, potassium and calcium on salt stressed barley. II.- Elemental analysis. *Physiol. Plant*. 81:197-202, 1991.

CRAMER, G.R.; LAUCHLI, A.; POLITO, V.P. Displacement of  $\text{Ca}^{2+}$  by  $\text{Na}^+$  from the plasmalemma of root cells. *Plant Physiol.* 79:207-211, 1985.

CRAMER, G.R.; LYNCH, J.; LÄUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Influx of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , and  $\text{Ca}^{2+}$  into roots of salt-stressed cotton seedlings: effects of supplemental  $\text{Ca}^{2+}$ . *Plant Physiology.* 83:510-516, 1987.

CRUZ, J.L.; PELACANI, C.R.; COELHO, E.F.; CALDAS, R.A.C.; ALMEIDA, A.Q.; QUEIROZ, J.R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. *Bragantia, Campinas.* 65:275-284, 2006.

DANTAS, J.P.; MARINHO, F.J.L.; FERREIRA, M.M.M.; AMORIM, M.S.N.; ANDRADE, S.I.O.; SALES, A.L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. *R. Brás. Eng. Agríc. e Amb.* 6:425-430, 2002.

DE GARCIA, G.O.; FERREIRA, P.A.; VIEIRA, M.; GLAUCO et al. Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino. *Idesia, dic.* 25:93-106, 2007.

DEANE-DRUMMOND, C.E. 1990. Biochemical and biophysical aspects of nitrate uptake and its regulation. In: YP ABROL (ed). *Nitrogen in Higher Plants*. Research Studies Press, John Wiley & Sons, New York, p.7-9.

DEBEZ, A.; HAMED, K.B.; GRIGNON, C.; ABDELLY, C. 2004. Salinity effects on germination, growth, and seed production of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant and Soil* 262: 179-189, 2004.

DIAS, N.S. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido. Piracicaba: ESALQ/USP. 2004. 110p. (Tese de Doutorado).

DIEUDONNÉ, S.; FORERO, M.E.; LLANO, L. Two different conductances contribute to the anion currents in *Coffea arábica* protoplasts. *Journal of Membrane Biology*, 159:83-94, 1997.

EHLERS, J.D.; HALL, A.E.; PATEL, P.N.; ROBERTS, P.A.; MATTHEWS, W.C. Registration of 'California Blackeye 27' Cowpea. *Crop Science*, 40:854-855, 2000.

FAO, Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/intro.htm>. Acesso em: 2006.

FERREIRA NETO, M. Desenvolvimento e produção do coqueiro sob diferentes salinidades de água de irrigação. Campina Grande: UFPB, 2001, 88p (Dissertação Mestrado).

FERREIRA, R.G.; TÁVORA, F.J.A.F.; FERREYRA HERNANDEZ, F.F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. *Pesq. Agrop. Bras., Brasília.* 36:79-88, 2001.

- FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, São Carlos, 2000, p.255-258.
- FREITAS, J.B.S. 2006. Mecanismos de resposta fisiológica ao estresse salino em duas cultivares contrastantes de feijão-caupi. Fortaleza:UFC, 2006, 134p. (Dissertação Mestrado).
- GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. Annual Review of Plant Physiology, 31:149-190, 1980.
- HASEGAWA, P.M. & BRESSAN, R.A. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 51: 463-499, 2000.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water culture method for growing plants without soil. Berkeley: University of California. 31 (Circular, 347),1950.
- HORIE, T.; COSTA, A.; KIM, T.H.; HAN, M.J.; HORIE, R.; LEUNG, H.-Y.; MIYAO, A.; HIROCHIKA, H.; An, G.; SCHROEDER, J.I. Rice Os HKT2;1 transporter mediates large Na<sup>+</sup> influx component into K<sup>+</sup>-starved roots for growth. EMBO Journal, 26:3003-3014, 2007.
- JACOBY, B.; HANSON, J.B. Controls on <sup>22</sup>Na<sup>+</sup> influx in corn roots. Plant Physiology, 77:930-934, 1985.
- KRAMER, D.; LÄUCHLI, A.; YEO, A.R. Transfer cells in roots of *Phaseolus coccineus*: ultrastructure and possible function in exclusion of sodium from the shoot. Annals of Botany, 41:1031-1040, 1977.
- KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. Evolution and agriculture. In: KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. (Eds.). Water relations of plants and soils. San Diego: Academic, 1995, p.377-404.
- KURBAN, H.; SANEOKA, H.; NEHIRA, K.; ADILLA, R.; FUJITA, K. Effect of salinity on growth and accumulation of organic and inorganic solutes in the leguminous plants *Alhagipseudoalhagi* and *Vigna radiata*. Soil Sci. Plant Nutrition, 44: 589-597, 1998.
- LACERDA, C.F. Crescimento e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos em dois genótipos de sorgo forrageiros submetidos a estresse salino. 2000. 163 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- LACERDA, C.F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M.A.O.; RUIZ, H.A. Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes, under NaCl stress. R. Bras. Fisiol. Vegetal, Lavras, 13:270-284, 2001.
- LACERDA, C.F.; CABRAIA, J.; CANO, A.O.; RUIZ, H.A.; PRISCO, J.T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. Environmental and Experimental Botany. 49:107-120, 2003.

LARCHER, W. A planta sob estresse. In: Ecofisiologia Vegetal (MARTINS, D.R.; MARTINS, P.T.), RiMa, São Carlos, p. 341-354 e 419-433, 2000.

LAURIE, S.; FEENEY, K.A.; MAATHUIS, F.J.M.; HEARD, P.J.; BROWN, S.J.; LEIGH, R.A. A role of HKT1 in sodium uptake by wheat roots. *The Plant Journal*. 32:139-149, 2002.

LEVITT, J. Responses of Plant to Environmental Stresses. 2 ed., Academic Press. New York. 2:365-488, 1980.

LEVY, Y.; SHALHEVET, J. Ranking the salt tolerance of citrus rootstocks by juice analys. *Scientia Horticulturae*, 45:89-98, 1990.

LIMA, C.J.G.S.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.; JÚNIOR, A.B.A. Resposta do feijão-caupi à salinidade da água de irrigação. *R. Verde*, 2:79-86, 2007.

LOPES JOSÉ, F.B.; ANDRADE EUNICE, M.; CHAVES LUIZ, C.G. Impacto da irrigação sobre os solos de perímetros irrigados na bacia do Acaraú, Ceará, Brasil. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, 28:34-43, 2008.

LUTTS, S.; KINET, J.M.; BOUHARMONT, J. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oriza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Ann. Bot.* 78:389-398, 1996.

MAATHUIS, F.J.M.; AMTMANN, A. K<sup>+</sup> nutrition and Na<sup>+</sup> toxicity: the basis of cellular K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> rations. *Ann. Bot.* 84:123-133, 1999.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, p.201, 1989.

MANSOUR, M.M.F.; LEE-STADELMANN, O.Y.; STADELMANN, E.J. Salinity stress and cytoplasmic factors. A comparison of cell permeability and lipid partiality in salt sensitive and salt resistant cultivars and lines of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare*. *Physol. Plant.* 88: 141-148, 1993.

MANSOUR, M.M.F. NaCl alteration of plasma membrane of *Allium cepa* epidermal cells, Alleviation by calcium. *J. Plant Physiol.* 145:726-730, 1995.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MARTEN, I.; BUSCH, H.; RASCHKE, K.; HEDRICH, R. Modulation and block of the plasma membrane anion channel of guard cells by stilbene derivatives. *European Biophysics Journal* 21:403-408, 1993.

MARTEN, I.; ZEILINGER, C.; REDHEAD, C.; LANDRY, DW.; AL-AWQATI, Q.; HEDRICH, R. Identification and modulation of a voltage-dependent anion channel in the plasma membrane of guard cells by high-affinity ligands. *EMBO Journal* 11: 3569-3575, 1992.

MIRANDA, A.S.M. Avaliação de atividades enzimáticas de PR-proteínas e de enzimas anti-oxidantes em plântulas de feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cv. Vita 7, expostas ao estresse salino. 2002. 85 f., Dissertação (Mestrado em Bioquímica) Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular. Universidade Federal Ceará, Fortaleza, 2002.

MORALES, M.A.; OLMOS, E.; TORRECILLAS, A.; ALARCON, J.J. Differences in water relations, leaf ion accumulation and excretion rates between cultivated and wild species of *Limonium* sp. grown in conditions of saline stress. *Flora*, Jena. 196:345-352, 2001.

MOYA, J.L.; PRIMO-MILLO, 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*, Logan, 22:1425-1433, 1999.

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

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59:651-681, 2008.

NOBLE, C.L.; ROGERS, M.J.E. 1993. Response of temperate forage legumes to waterlogging and salinity. In: PESSARAKLI, M. (ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress*, Marcel Dekker, Inc. New York. p. 473-496.

PARIDA, A.K.; DAS, A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60:324-349, 2005.

PARIDA, A.K.; DAS, A.B.; MITTA, B. Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy the mangrove, *Bruguiera parviflora*. *Tress*. 18:167-174, 2004.

O'LEARY, J.W. Adaptive components of salt tolerance In: PESSARAKLI, M. (ed.) *Handbook of plant and crop physiology*, Marcel Dekker, New York, p. 577-585, 1995.

RAINS, D.W.; EPSTEIN, E. Sodium absorption by barley roots: its mediation by mechanism 2 of alkali cation transport. *Plant Physiology*. 42:319-323, 1967.

RAINS, D.W.; EPSTEIN, E. Sodium absorption by barley roots: role of the dual mechanisms of alkali cation transport. *Plant Physiology*. 42:314-318, 1967.

RACAGNI, G.; PEDRANZANI, H.; ALEMANO, S.; TALEISNI, E.; ABDALA, G., MACHADO-DOMENECH, E. Effect of short-term salinity on lipid metabolism and ion accumulation in tomato roots. *Biol. Plant*. 47:373-377, 2003/4.

ROBINSON, M.F.; VÉRY, A.A.; SANDERS, D.; MANSFIELD, T.A. How can stomata contribute to salt tolerance? *Ann. Bot*. 80:387-393, 1997.

RUBIO, F.; FLORES, P.; NAVARRO, J.M.; MARTINEZ, V. Effects of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  and cGMP on  $\text{Na}^+$  uptake in pepper plants. *Plant Science*. 165:1043-1049, 2003.

SENA, A.E.S.; BISERRA, J.V. Eficiências e economicidade da irrigação por aspersão na cultura do feijão-de-corda *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Produção Científica do PDCT/NE no Ceará*. 2:588-605, 1991.

SHARMA, S.K. Soil salinity effects on transpiration and net photosynthetic rates, stomatal conductance and  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  contents in durum wheat. *Biol. Plant*. 38: 519-523, 1996.

SHANNON, M.C. The effects of salinity on cellular and biochemical processes associated with salt tolerance in tropical plants. In: DAVENPORT, T.L.; HARRINGTON, H.M. (eds.). *Proceedings in plant stress in the tropical environment*, University of Florida, Kailu-Kona, p.56-63, 1992.

SHI, H.; QUINTERO, F.J.; PARDO, J.M.; ZHU, J.-K. The putative plasma membrane  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiporter SOS1 controls long-distance  $\text{Na}^+$  transport in plants. *The Plant Cell*, 14:465-477, 2002.

SIBOLE, J.V.; CABOT, C.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELÓ, J. Ion allocation in two different salt-tolerant Mediterranean *Medicago species*. *J. Plant Physiol*. 160: 1361–1365, 2003.

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

SILVA, J.V. Efeitos do  $\text{CaCl}_2$  no crescimento e acumulação de osmorreguladores em plantas de feijão-de-corda Pitiúba estressadas com  $\text{NaCl}$ . Fortaleza: UFC, 1998, 103p. (Dissertação Mestrado).

SILVA, J.V.; LACERDA, C.F.; COSTA, P.H.; ENÉAS FILHO, J.; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J.T. Physiological responses of  $\text{NaCl}$  stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with  $\text{CaCl}_2$ . *Brazilian, J. Plant Physiol.*, Campinas. 15:99-105, 2003.

SILVA, S.L.F. Transpiração e partição de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em mudas e porta-enxertos de diferentes genótipos de cajueiro anão precoce submetidos ao estresse salino. 2004. 92p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

SILVA, F.A.M.; MELLONI, R.; MIRANDA, J.R.P.; CARVALHO, G.J. Efeito do estresse salino sobre a nutrição mineral e o crescimento de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) cultivadas em solução nutritiva. *CERNE*. 6:052-059, 2000.

SOUZA, R.A. Efeitos da salinidade e da composição iônica da água de irrigação sobre o desenvolvimento de plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba 2006. 87p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

SUBBARAO, G.V.; ITO, O.; BERRY, W.L.; WHEELER, R.M. Sodium – A Functional Plant Nutrient. *Crit.Rev. in Plant Sci.* 22(5):391-416, 2003.

SUHAYDA, C.G.; REDMANN, R.E.; HARVEY, B.L.; CIPYWNYK, A.L. Comparative response of cultivated and wild barley species to salinity stress and calcium supply. *Crop Sci.* 32:154-163, 1992.

SKERRETT, M.; TYERMAN, S.D. A channel that allows inwardly directed fluxes of anions in protoplasts derived from wheat roots. *Planta*, 192:295-305, 1994.

STOREY, R.; SCHACHTMAN, D.P.; THOMAS, M.R. Root structure and cellular chloride, sodium and potassium distribution in salinized grapevines. *Plant, Cell and Environment*, 26:789-800, 2003.

SZABOLCS, I.I. Salt affected soils and the ecosystem for halophytes. In: SQUIRES, V.R.; AYAOU, A.T. (eds). *Halophytes as a resource for livestock and for rehabilitation of degraded lands*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, p.19-24, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiol.* ARTMED, 3th ed. 2004. 719p.

TESTER, M.; DAVENPORT. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91(3): 503-527, 2003.

TYERMAN, S.D.; SKERRETT, I.M. Root ion channels and salinity. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam. 78:175-235, 1999.

TRINDADE, A.R.; LACERDA, C.F.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M.A.; PRISCO, J.T. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambi.*, Campina Grande. 10(4):804-10, 2006.

VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J.A.G.; JUNIOR, A.R.L.; QUEIROZ, J.E.; FAUSTO, M.J.M. Effects of NaCl-salinity on growth and inorganic solute accumulation in young cashew plants. *R. Bras Eng. Agríc. Ambi.* 5(2):216-222, 2001.

VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. *Testes de vigor de sementes*. Jaboticabal: FUNEP, 1994.

WEI, W.; BISBORROW, P.E.; HOOLEY, P.; FINCHAM LOMBI, E.; FORSTER, B.P. Salinity induced differences in growth, ion distribution and partitioning in barley the cultivar Maythorpe and its derived mutant Golden Promise. *Plant Soil*, 250:183-191, 2003.

WHITE, P.J.; BROADLLEY, M.R.; Chloride in Soil and its Uptake and Movement within the Plant: A Review. *Ann. Bot.*, 88:967-988, 2001.

XU, G.; MAGEN, H.; TARCHITZKY, J.; KAFKAFI, U. Advances in chloride nutrition. *Advances in Agronomy*, 68:96-150, 2000.

YAHYA, A. Salinity effects on growth and on uptake and distribution of sodium and some essential mineral nutrients in sesame. *J. Plant Nutrition*, New York, 21(7):1439-1451, 1998.

YEO, A. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *J. Exp. Bot.*, 49:915-929, 1998.

ZHU, J.K. Plant Salt Tolerance. *Trends in Plant Science*, 6:56-71, 2001.

## **ANEXOS**

**Tabela 1.** Valores médios do conteúdo de massa seca de raiz, caule, 1° pecíolo, 2° pecíolo, folha cordiforme, 1ª folha trifoliolada e 2ª folha trifoliolada de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a concentrações crescentes de NaCl, após 3 dias. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Tratamento	Raiz		Caule	
	mg/planta			
0	120,75	a	111,25	a
25	108,00	b	108,75	a
50	112,25	b	106,75	a
75	82,00	c	96,25	b
100	81,25	c	85,00	c

Tratamento	1° pecíolo		2° pecíolo	
	mg/planta			
0	27,25	a	17,07	a
25	27,17	a	15,17	a
50	26,67	a	12,67	b
75	22,00	b	7,82	c
100	21,00	b	5,50	d

Tratamento	Cordiforme		1ª trifoliolada		2ª trifoliolada	
	mg/planta					
0	143,50	a	217,00	a	67,00	a
25	137,32	a	210,25	ab	65,75	a
50	137,20	a	189,00	bc	64,00	abc
75	137,17	a	176,25	cd	55,25	ab
100	133,37	a	156,00	d	53,25	c

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, significativamente, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 2** - Valores médios do conteúdo de sódio em raiz, caule, 1° pecíolo, 2° pecíolo de plantas jovens de feijão-caupi, submetidas a concentrações crescentes de NaCl, durante 3 dias. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Tratamento	(μmol Na <sup>+</sup> g <sup>-1</sup> MS)	
	Raiz	Caule
0	231,88 c	72,68c
25	1072,97 b	580,64b
50	1170,57 ab	641,02ab
75	1309,92 a	644,50ab
100	1562,33a	802,47 a

Tratamento	(μmol Na <sup>+</sup> g <sup>-1</sup> MS)	
	1° pecíolo	2° pecíolo
0	104,17 c	158,33 b
25	701,99 b	936,93a
50	1007,70 a	1009,32 a
75	1132,25 a	1052,99 a
100	1302,08 a	1460,60 a

**Tabela 3.** Valores médios do conteúdo de sódio em folha cordiforme, 1ª folha trifoliolada e 2ª folha trifoliolada de plantas jovens de feijão-caupi submetidas a concentrações crescentes de NaCl, durante 3 dias. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Tratamento	(μmol Na <sup>+</sup> g <sup>-1</sup> MS)		
	Cordiforme	1ª trifoliolada	2ª trifoliolada
0	135,26 d	81,76 d	184,04 d
25	194,04 d	172,10 c	297,28 c
50	271,74 c	250,60 b	418,06 c
75	416,67 b	356,28 b	682,83 b
100	520,83 a	447,05 a	815,21 a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, significativamente, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4.** Valores médios do conteúdo de cloreto em raiz, caule, folha cordiforme, 1ª folha trifoliolada e 2ª folha trifoliolada de plantas jovens de feijão-caupi, submetidas a concentrações crescentes de NaCl, durante 3 dias. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Tratamento	(μmol Cl <sup>-</sup> g <sup>-1</sup> MS)	
	Raiz	Caule
0	144,06d	81,02 c
25	440,98 c	683,33 b
50	779,17 b	875,00 a
75	886,88 a	980,25 a
100	893,50 a	1100,00 a

Tratamento	(μmol Cl <sup>-</sup> g <sup>-1</sup> MS)		
	Cordiforme	1ª trifoliolada	2ª trifoliolada
0	61,50 a	32,19 d	39,77 d
25	460,93 d	590,47 c	378,25 c
50	798,79 c	955,63 b	573,91 bc
75	1017,91 b	1171,25 b	737,94 b
100	1585,07 a	1961,39 a	1486,50 a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, significativamente, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 5.** Medidas de transpiração de plantas jovens de feijão-caupi, submetidas a concentrações crescentes de NaCl, durante 3 dias. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Tratamento	Transpiração (μg H <sub>2</sub> O/cm <sup>2</sup> /s <sup>-1</sup> )
0	6,37
25	5,78
50	5,81
75	4,42
100	1,27

**Tabela 6.** Valores médios do conteúdo de massa seca de raiz, caule, folha cordiforme, 1ª folha trifoliolada e 2ª folha trifoliolada de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle e 50 mM NaCl, durante 6 dias, e recuperação após o quarto dia de estresse. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Raiz (mg/planta)			
Tempo	Controle	Estresse	Recuperação
0	86,33 e		
1	116,75 d	108,00 c	
2	120,00 d	112,62 c	
3	176,50 c	119,33 c	
4	182,71 c	145,00 b	173,00 b
5	235,62 b	212,50 a	238,25 a
6	285,19 a	216,50 a	249,75 a

Caule (mg/planta)			
Tempo	Controle	Estresse	Recuperação
0	80,33 f		
1	101,33 e	97,33 e	
2	119,66 d	115,33 d	
3	159,33 c	133,33 c	
4	199,33 b	156,00 b	158,00 c
5	200,00 b	156,66 b	187,00 b
6	225,33 a	207,00 a	222,66 a

Folha cordiforme (mg/planta)			
Tempo	Controle	Estresse	Recuperação
0	149,00 a		
1	149,33 a	147,00 a	
2	149,00 a	147,00 a	
3	150,33 a	139,00 b	
4	151,00 a	139,00 b	134,00 b
5	151,33 a	130,00 c	141,33 a
6	151,33 a	129,33 c	142,00 a

1ª Folha trifoliolada (mg/planta)			
Tempo	Controle	Estresse	Recuperação
0	147,00 f		
1	158,00 e	146,66 e	
2	184,00 d	179,00 d	
3	215,33 c	203,33 c	
4	232,33 b	223,33 b	196,66 c
5	232,33 b	223,33 b	241,00 b
6	259,00 a	241,66 a	259,00 a

2ª Folha trifoliolada (mg/planta)			
Tempo	Controle	Estresse	Recuperação
0	16,66 g		
1	38,00 f	35,00 f	
2	88,33 e	85,33 e	
3	135,33 d	132,33 d	
4	169,66 c	154,66 c	166,66 c
5	179,66 b	177,00 b	180,66 b
6	276,66 a	250,00 a	263,33 a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, significativamente, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 7** - Valores médios do conteúdo de sódio de raiz, caule, folha cordiforme, 1ª folha trifoliolada e 2ª folha trifoliolada de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle e 50mM NaCl, durante 6 dias, e recuperação a após o quarto dia de estresse. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Raiz ( $\mu\text{mol Na}^+ \text{g}^{-1} \text{MS}$ )			
Tempo	Controle	Estresse	Recuperação
0	210,41 a	210,41 d	
1	234,06 b	219,2754 d	
2	234,06 b	1121,014 c	
3	234,06 b	1133,333 c	1133,33 b
4	234,06 b	1244,203 b	911,59 b
5	234,06 b	1422,82 a	850,00 a
6	234,06 b	1392,029 a	837,68 a

Caule ( $\mu\text{mol Na}^+ \text{g}^{-1} \text{MS}$ )			
Tempo	Controle	Estresse	Recuperação
0	135,50 a	135,50 d	
1	160,14 b	380,43 c	
2	147,82 b	384,05 c	
3	135,50 a	528,98 b	528,98 a
4	135,50 a	536,23 b	496,38 a
5	135,50 a	565,21 a	427,54 b
6	123,18 a	579,71 a	402,17 c

Folha cordiforme ( $\mu\text{mol Na}^+ \text{g}^{-1} \text{MS}$ )			
Tempo	Controle	Estresse	Recuperação
0	147,82 b	147,82 e	
1	135,50 c	283,33 d	
2	147,82 b	466,74 c	
3	160,14 a	702,17 b	702,17 a
4	160,14 a	726,81 b	505,07 b
5	160,14 a	825,36 a	443,48 c
6	160,14 a	850,00 a	406,52 c

1ª Folha Trifoliolada ( $\mu\text{mol Na}^+ \text{g}^{-1} \text{MS}$ )			
Tempo	controle	Estresse	Recuperação
0	73,91 b	73,91 e	
1	98,55 a	492,75 d	
2	98,55 a	689,86 c	
3	98,55 a	702,17 c	702,17 a
4	98,55 a	714,49 b	683,70 b
5	98,55 a	714,49 b	535,87 c
6	98,55 a	739,13 a	492,75 d

2ª Folha Trifoliolada ( $\mu\text{mol Na}^+ \text{g}^{-1} \text{MS}$ )			
Tempo	controle	Estresse	Recuperação
0	73,91 e	73,91 d	
1	106,76 d	351,08 c	
2	147,83 c	461,95 b	
3	147,83 c	492,75 b	492,75 c
4	166,30 b	677,54 a	603,62 a
5	172,46 a	677,54 a	535,87 b
6	172,46 a	689,86 a	351,09 d

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, significativamente, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 8** – Valores médios do conteúdo de cloreto em raiz, caule, folha cordiforme, 1ª folha trifoliolada e 2ª folha trifoliolada de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle e 50mM NaCl, durante 6 dias, e recuperação após o quarto dia de estresse. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Raiz ( $\mu\text{mol Cl}^- \text{g}^{-1}\text{MS}$ )			
Tempo	controle	Estresse	Recuperação
0	179,17 c	179,17 g	
1	179,17 c	378,00 f	
2	189,58 b	477,00 e	
3	189,79 b	570,00 d	570,00 c
4	192,19 a	750,00 c	625,00 b
5	192,67 a	945,00 b	619,79 b
6	194,79 a	1131,00 a	687,50 a

Caule ( $\mu\text{mol Cl}^- \text{g}^{-1}\text{MS}$ )			
Tempo	controle	Estresse	Recuperação
0	182,92 b	182,92 f	
1	189,58 b	340,00 e	
2	192,71 b	560,00 d	
3	195,31 b	675,00 c	675,00 a
4	205,58 a	743,33 b	558,00 b
5	210,94 a	766,50 b	531,00 c
6	211,69 a	805,00 a	490,50 d

Folha cordiforme ( $\mu\text{mol Cl}^- \text{g}^{-1}\text{MS}$ )			
Tempo	Controle	Estresse	Recuperação
0	61,67 c	61,67 e	
1	63,17 c	522,5 d	
2	63,33 c	1093,13 c	
3	64,24 c	1121 c	1121 a
4	70,1 b	1283,25 b	678,44 b
5	70,31 b	1350 b	670,32 b
6	76,39 a	1545 a	658,13 b

1ª Folha Trifoliolada ( $\mu\text{mol Cl}^- \text{g}^{-1}\text{MS}$ )			
Tempo	controle	Estresse	Recuperação
0	32,50 a	32,5 f	
1	32,99 a	508,68 e	
2	32,92 a	906,17 d	
3	32,99 a	937,50 c	937,5 a
4	32,99 a	1078,13 b	921,88 b
5	34,72 a	1083,33 b	757,81 c
6	36,08 a	1133,54 a	734,25 c

2ª Folha Trifoliolada ( $\mu\text{mol Cl}^- \text{g}^{-1}\text{MS}$ )			
Tempo	controle	Estresse	Recuperação
0	32,99 c	32,99 g	
1	32,99 c	36,41 f	
2	34,72 c	276,15 e	
3	41,67 b	585,52 d	601,56 a
4	41,71 b	920,10 c	523,44 b
5	48,61 a	996,14 b	461,29 c
6	48,92 a	996,66 a	460,88c

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, significativamente, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 9.** Medidas de transpiração em folhas de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a condição controle e 50mM NaCl, durante 6 dias, e recuperação após o quarto dia de estresse. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Tratamento	Transpiração ( $\mu\text{g H}_2\text{O}/\text{cm}^2/\text{s}^{-1}$ )		
	Controle	Estresse	Recuperação
1	8,66	6,56	
2	9,70	7,45	
3	10,19	7,80	
4	10,12	7,86	7,25
5	10,40	7,25	7,01
6	10,17	6,60	7,38

**Tabela 10.** Valores médios do conteúdo de massa seca de raiz, caule, folha cordiforme, 1ª folha trifoliolada e 2ª folha trifoliolada de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias, e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Temperatura	Raiz (mg/planta)		Caule (mg/planta)	
	Controle	NaCl	Controle	NaCl
27	246,00 Aa	236,33 Ba	429,25 Aa	439,50 aB
32	257,00 Aa	178,25 Bb	430,00 Aa	423,66 aB
37	257,00 Aa	170,00 Bb	433,25 Aa	402,00 aB
42	264,75 Aa	152,75 Bb	435,25 Aa	382,50 aB

Temperatura	Folha cordiforme (mg/planta)		1ª Folha trifoliolada (mg/planta)	
	Controle	NaCl	Controle	NaCl
27	157,67 Aa	129,00Ba	315,00 Aa	298,75 Ba
32	155,50 Aa	127,75 Ba	318,25 Aa	281,00 Ba
37	163,50Aa	127,75 Ba	303,25 Aa	275,00 Ba
42	160,75 Aa	125,50 Ba	314,25 Aa	228,00 Bb

Temperatura	2ª Folha trifoliolada (mg/planta)	
	Controle	NaCl
27	237,33 Aa	236,25 Ba
32	235,50 Aa	222,69 Bb
37	235,50 Aa	186,00 Bb
42	238,00 Aa	178,50 Bb

\*Valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas, para tratamento, e pelas mesmas letras maiúsculas, para sal, dentro de cada temperatura, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

**Tabela 11.** Valores médios do conteúdo de sódio de raiz, caule de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias, e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Temperatura	Raiz ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MS}$ )		Caule ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MS}$ )	
	Controle	NaCl	Controle	NaCl
27	274,00 Aa	1908,12 Bb	163,04 Bb	975,17 Aa
32	275,13 Aa	2101,45 Bab	166,52 Bb	957,88 Aa
37	277,49 Aa	2336,96 Ba	173,23 Bb	1161,68 Aa
42	278,17 Aa	2336,47Ba	189,71 Ba	1150,36 Aa

**Tabela 12.** Valores médios do conteúdo de sódio em folha cordiforme, 1ª folha trifoliolada e 2ª folha trifoliolada de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias, e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Temperatura	Folha cordiforme ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MS}$ )		1ª Folha trifoliolada ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MS}$ )	
	Controle	NaCl	Controle	NaCl
27	108,70 Ba	386,46 Ac	84,57 Bb	393,51 Ac
32	113,17 Ba	498,14 Ab	81,52 Bb	449,88 Ac
37	112,02 Ba	529,89 Aa	81,52 Bb	552,54 Ab
42	119,67 Ba	679,35 Aa	108,7 Ba	570,65 Aa

Temperatura	2ª Folha trifoliolada ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MS}$ )	
	Controle	NaCl
27	81,52 Ba	543,48 Ab
32	81,52 Ba	570,61 Ab
37	81,53 Ba	597,83 Aa
42	81,50 Ba	574,79 Aa

\*Valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas, para tratamento, e pelas mesmas letras maiúsculas, para sal, dentro de cada temperatura, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

**Tabela 13.** Valores médios do conteúdo de cloreto de raiz, caule, folha cordiforme, 1ª folha trifoliolada e 2ª folha trifoliolada de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias, e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Temperatura	Raiz ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MS}$ )		Caule ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MS}$ )	
	Controle	NaCl	Controle	NaCl
27	192,50 Ba	1190,00 Aa	342,22 Ba	1050,00 Ab
32	191,50 Ba	1321,00 Ab	353,75 Ba	1338,75 Aa
37	193,75 Ba	1330,00 Ab	341,25 Ba	1423,33 Aa
42	192,50 Ba	1330,00 Ab	366,67 Ba	1487,50 Aa

Temperatura	Folha cordiforme ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MS}$ )		1ª Folha trifoliolada ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MS}$ )	
	Controle	NaCl	Controle	NaCl
27	96,25 Bb	542,50 Ac	50,56 Ba	653,33 Ab
32	93,33 Ba	735,00 Ab	54,44 Ba	1046,11 Aa
37	82,92 Ba	793,33 Ab	55,83 Ba	1069,44 Aa
42	85,88 Ba	997,50 Aa	50,56 Ba	1347,50 Aa

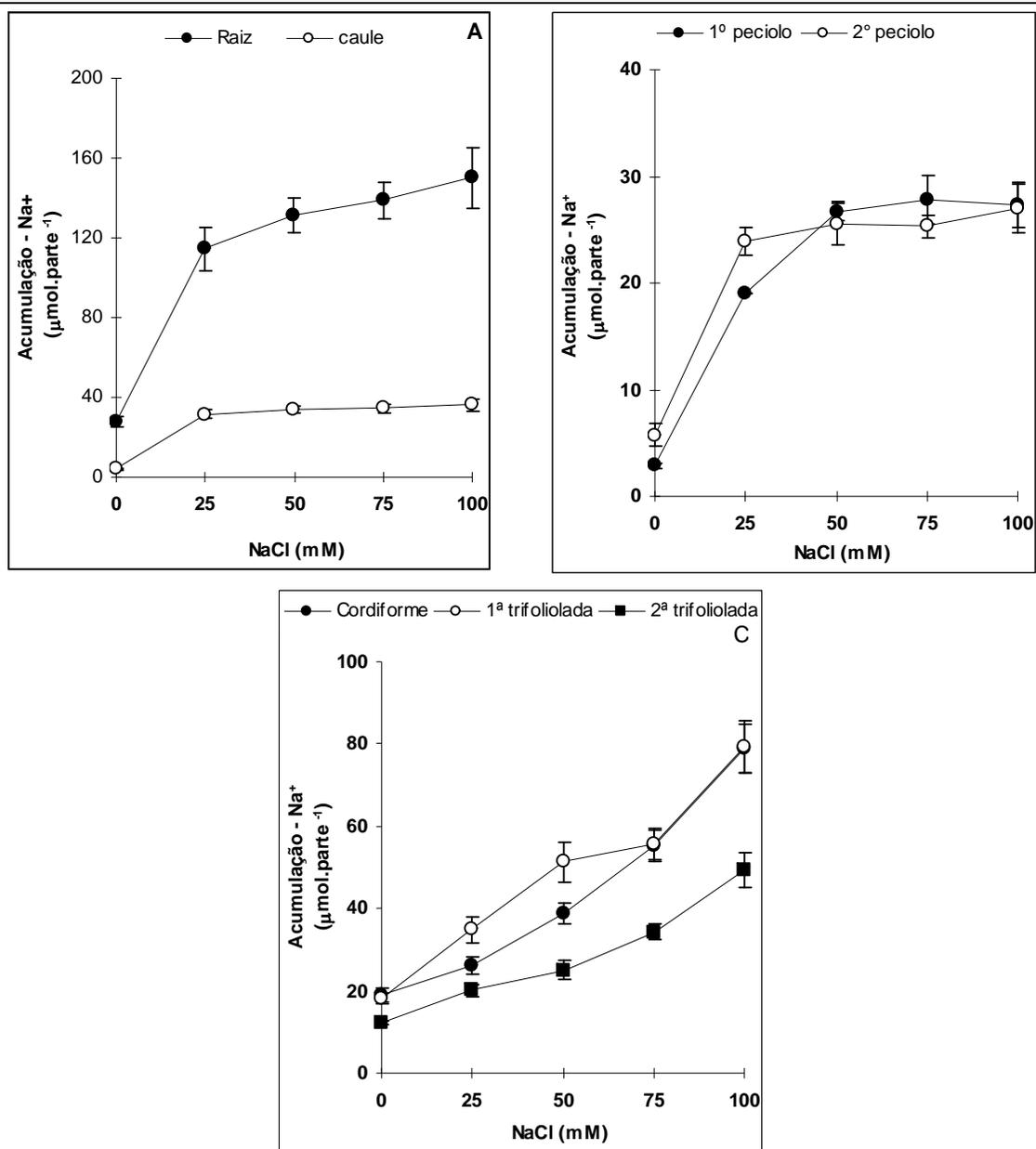
Temperatura	2ª Folha trifoliolada ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{MS}$ )	
	Controle	NaCl
27	48,13 Ba	758,33 Ab
32	51,41 Ba	1458,33 Aa
37	54,44 Ba	1481,75 Aa
42	68,06 Ba	1575,00 Aa

\*Valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas, para tratamento, e pelas mesmas letras maiúsculas, para sal, dentro de cada temperatura, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

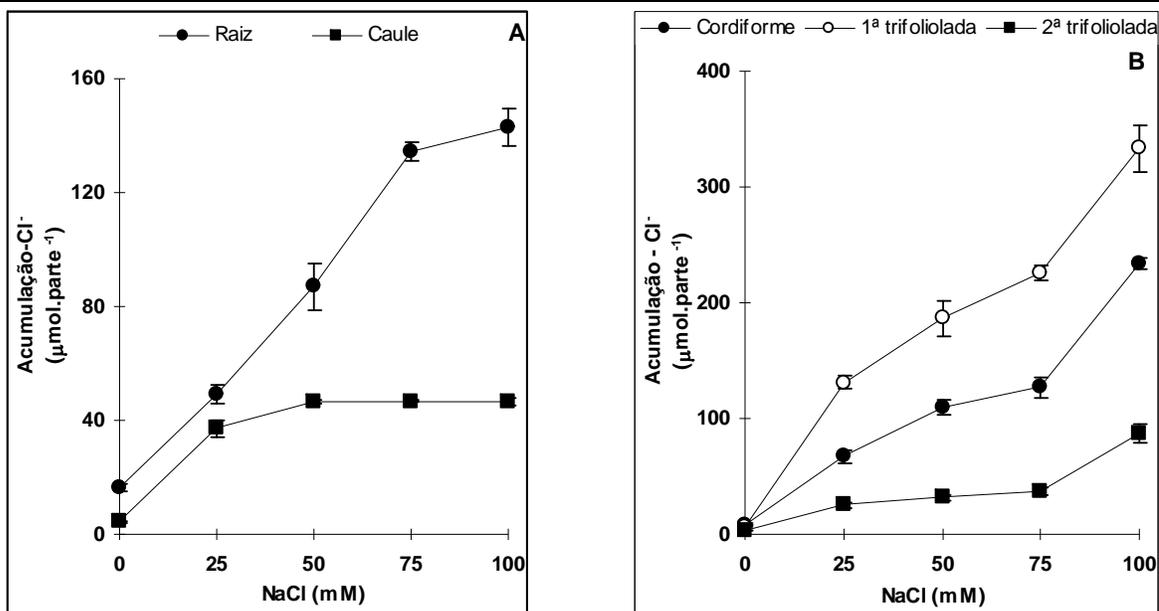
**Tabela 14.** Medidas de transpiração em folhas de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas. UFC, Fortaleza – CE, 2008.

Tratamento	Transpiração ( $\mu\text{g H}_2\text{O}/\text{cm}^2/\text{s}^{-1}$ )	
	Controle	NaCl
27	9,92	8,04
32	11,01	9,45
37	12,48	10,51
42	14,60	13,32

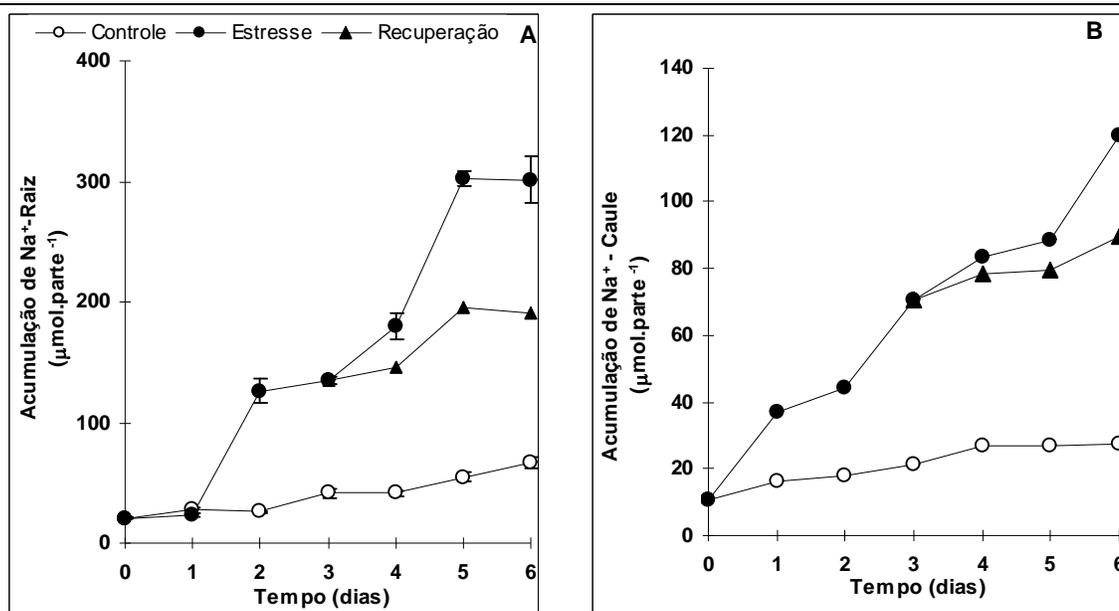
## Gráficos de acumulação



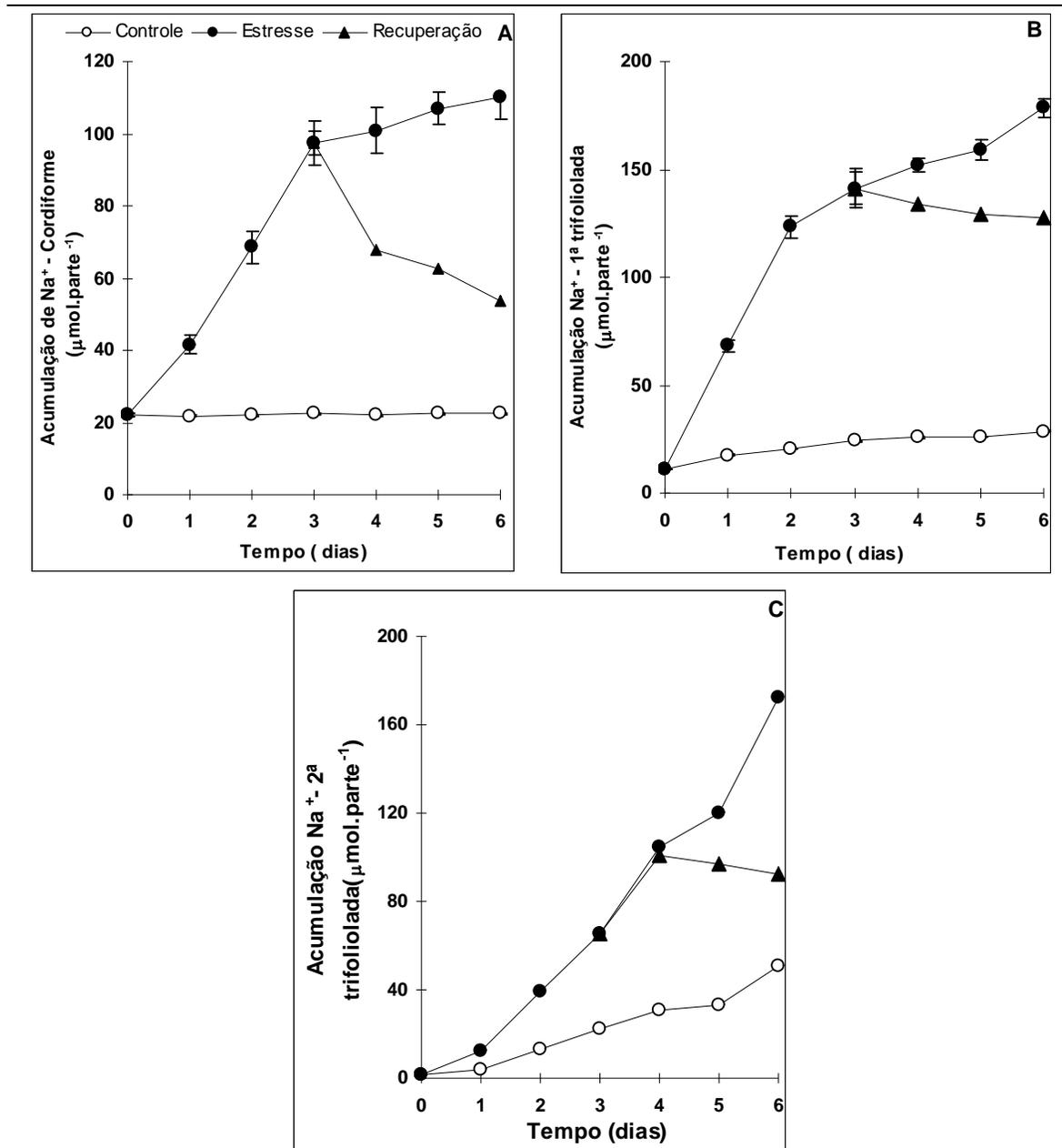
**Figura 24.** Acumulação de sódio em raiz e caule (A), pecíolos (B) e tipos de folhas (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a concentrações crescentes de NaCl, durante 3 dias.



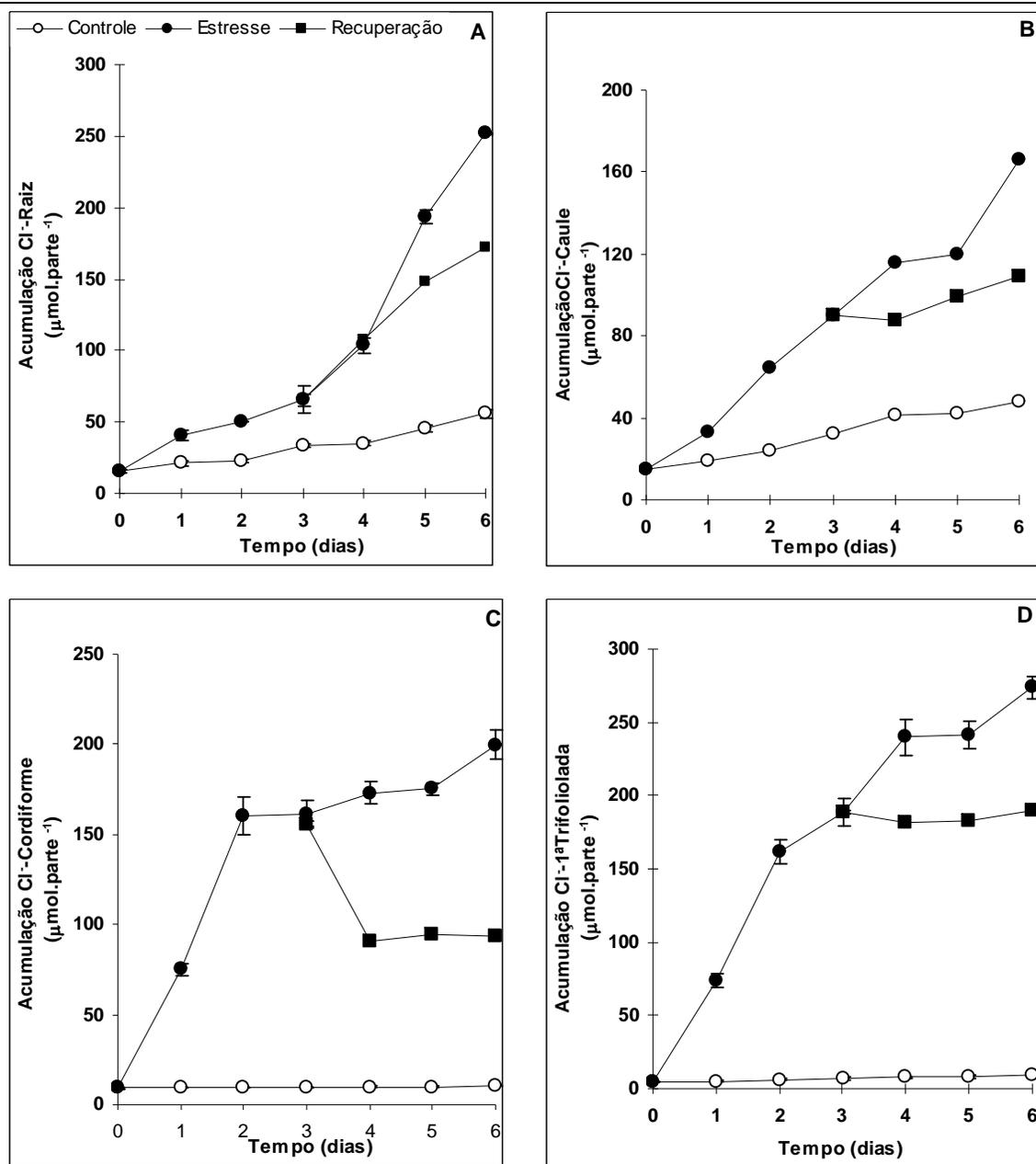
**Figura 25.** Acumulação de cloreto em raiz e caule (A), tipos de folhas (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a concentrações crescentes de NaCl, durante 3 dias.



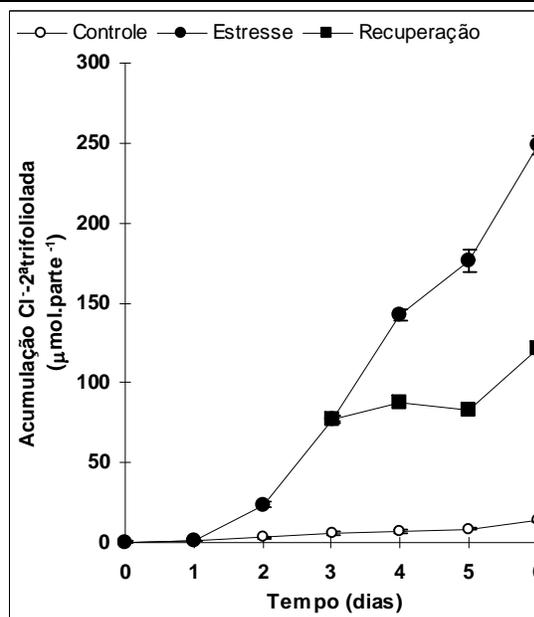
**Figura 26.** Acumulação de sódio em raiz (A) e caule (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle e 50 mM NaCl, até 6 dias, e recuperação após o quarto dia de estresse.



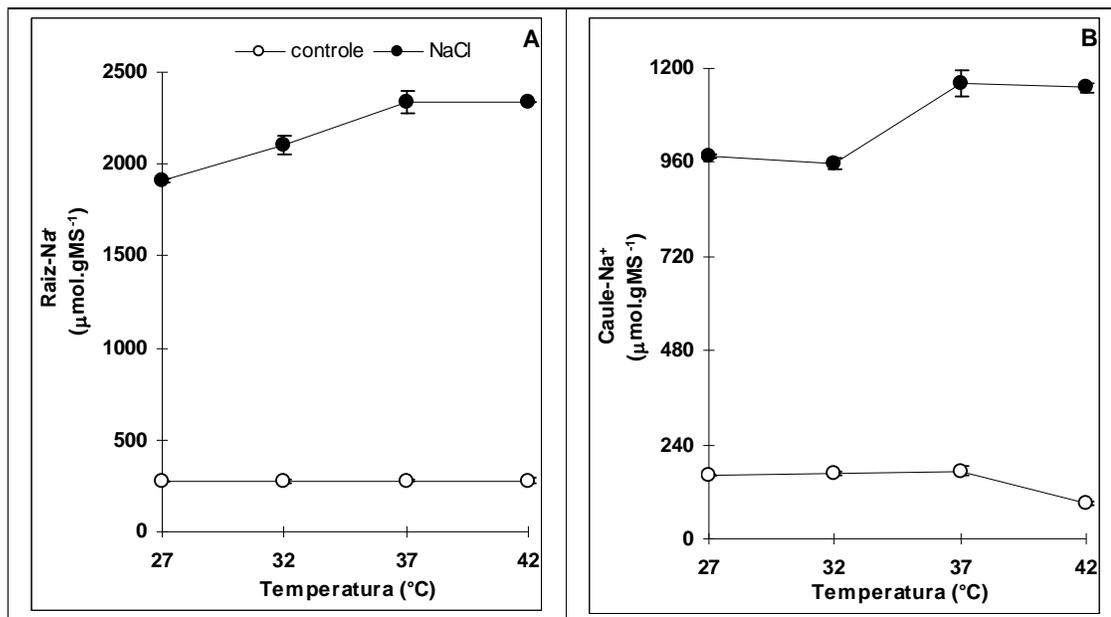
**Figura 27.** Acumulação de sódio em folha cordiforme (A), 1ª folha trifoliolada (B) e 2ª folha trifoliolada (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle e 50 mM NaCl, até 6 dias, e recuperação após o quarto dia de estresse.



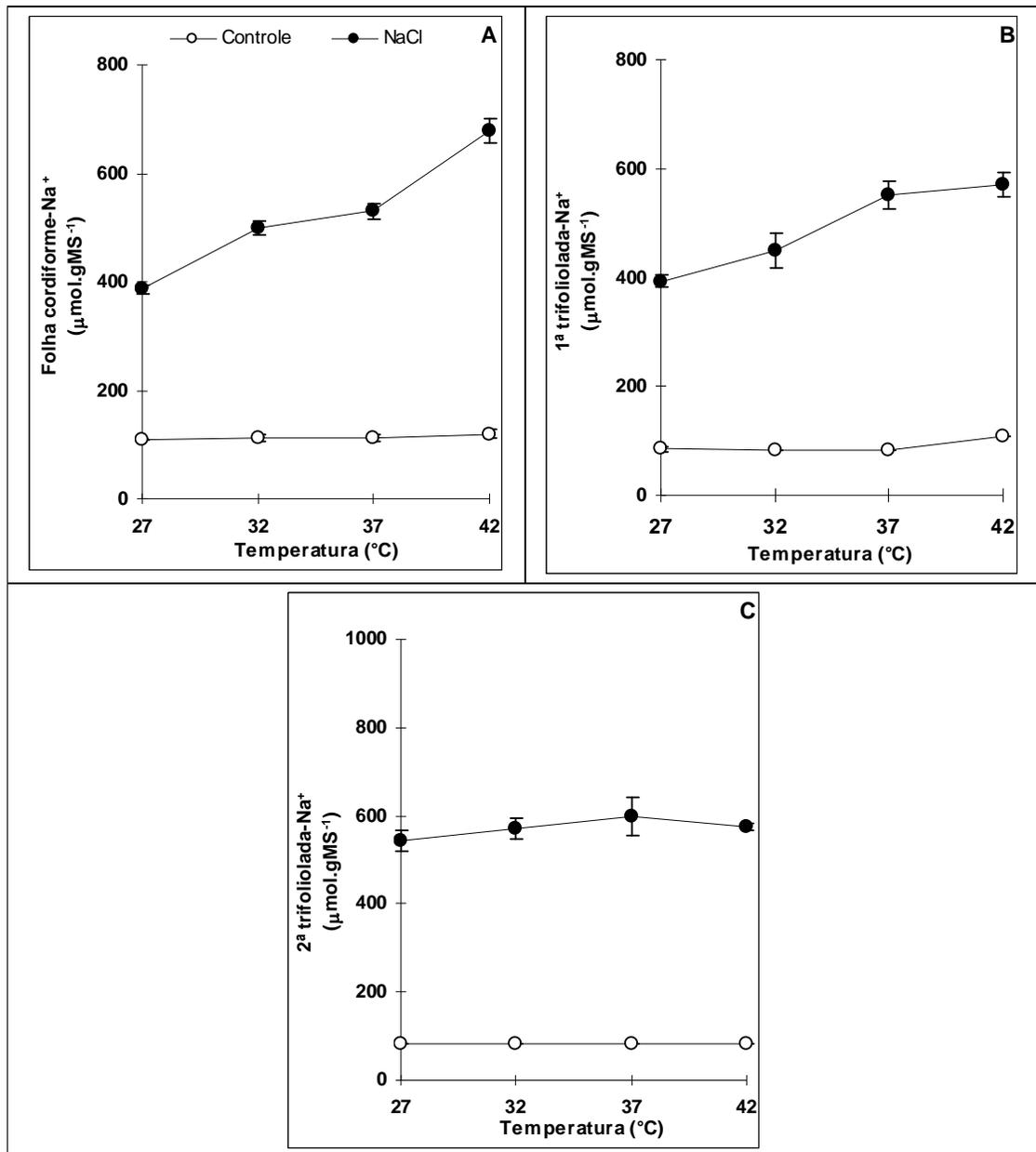
**Figura 28.** Acumulação de cloreto em raiz (A), caule (B), folha cordiforme (C) e 1ª folha trifoliolada (D) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle e 50 mM NaCl, até 6 dias, e recuperação após o quarto dia de estresse.



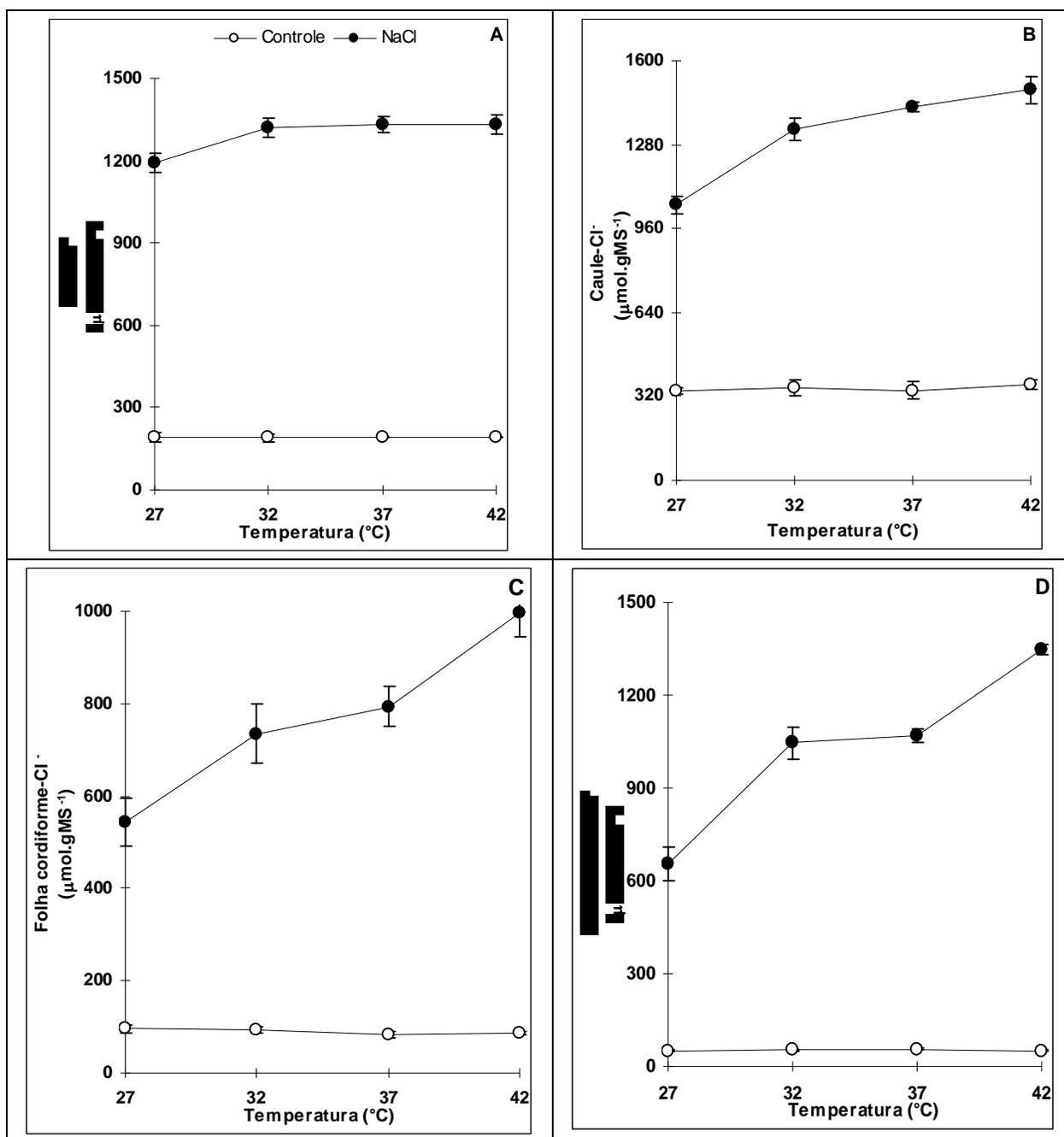
**Figura 29.** Acumulação de cloreto na 2<sup>a</sup> folha trifoliolada de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas à condição controle e 50 mM NaCl, até 6 dias, e recuperação após o quarto dia de estresse.



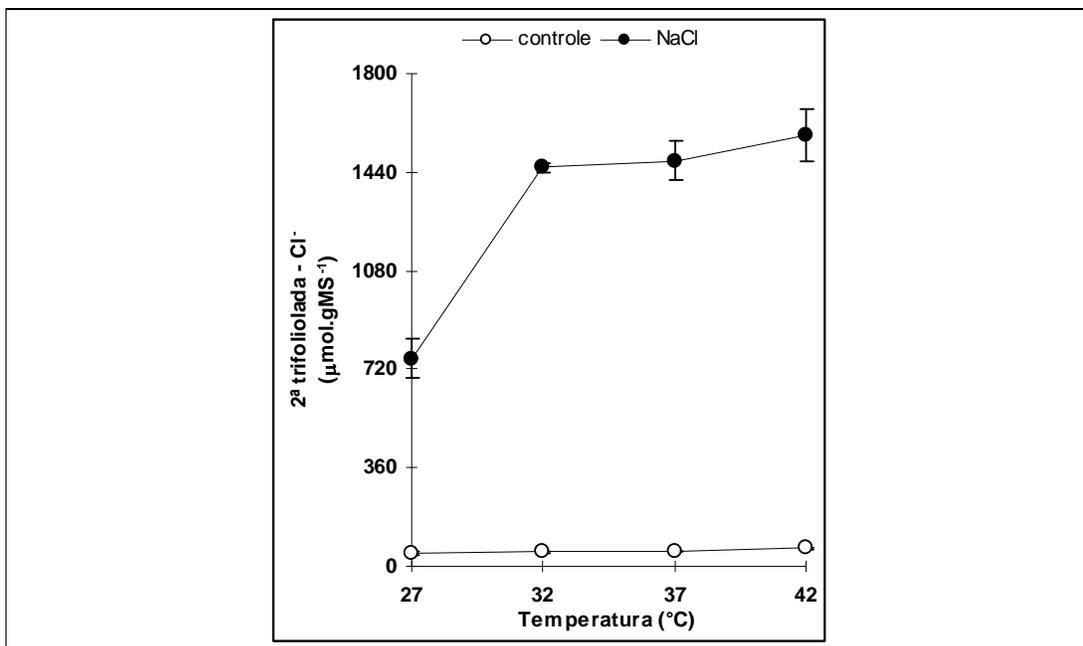
**Figura 30.** Acumulação de sódio em raiz (A) e caule (B) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.



**Figura 31.** Acumulação de sódio em tipos de folhas cordiforme (A), 1ª folha trifoliolada (B) e 2ª folha trifoliolada (C) de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.



**Figura 32.** Acumulação de cloreto em raiz (A), caule (B), folha cordiforme (C), 1ª folha trifoliolada (D) em função da temperatura, de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.



**Figura 33.** Acumulação de cloreto em 2ª folha trifoliolada em função da temperatura, de plantas jovens de feijão-caupi, aos 7 dias de idade, submetidas a 100 mM NaCl, durante 2 dias e seguidas de níveis crescentes de temperatura, durante 12 horas.