UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

MICHELE CAMPOS BESSA

ESTABELECIMENTO DE PLANTAS NATIVAS DA CAATINGA EM UM GRADIENTE DE SALINIDADE DO SOLO, SOB CONDIÇÕES CONTROLADAS

FORTALEZA - CEARÁ
2012

MICHELE CAMPOS BESSA

ESTABELECIMENTO DE PLANTAS NATIVAS DA CAATINGA EM UM GRADIENTE DE SALINIDADE DO SOLO, SOB CONDIÇÕES CONTROLADAS

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

Orientador: Prof. Claudivan Feitosa de Lacerda, Dr.

FORTALEZA - CEARÁ

2012

B465e Bessa, Michele Campos

Estabelecimento de plantas nativas da Caatinga em um gradiente de salinidade do solo, sob condições controladas / Michele Campos Bessa. -- 2012.

90 f. ; il. color. enc. ; 30cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Depto. de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2012.

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem

Orientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda

1. Irrigação. 2. Estresse salino. 3. Plantas lenhosas. 4. Fotossíntese. 5. Solutos orgânicos. I. Título.

CDD 630

MICHELE CAMPOS BESSA

ESTABELECIMENTO DE PLANTAS NATIVAS DA CAATINGA EM UM GRADIENTE DE SALINIDADE DO SOLO, SOB CONDIÇÕES CONTROLADAS

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

Aprovada em: 10/08/2012

BANCA EXAMINADORA

Claudivan Feitosa de Lacerda

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

Prof. Antônio Marcos Esmeraldo Bezerra, Dr.
Universidade Federal do Ceará - UFC

Aiala Vieira Amorim

Profª. Aiala Vieira Amorim, Dra.
UNILAB

Prof. José Francisco de Carvalho Gonçalves, Dr.
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA

À minha família: pai, irmãos, sobrinhos, meu namorado Itallo, pelo apoio nesta caminhada.

OFEREÇO

Aos meus pais, Gerardo Fernandes Bessa e Maria Orlene Campos Bessa (in memorian), por serem meu maior estímulo para todas as minhas realizações, pelo amor e dedicação.

DEDICO

“A melhor de todas as coisas é aprender. O dinheiro pode ser perdido ou roubado, a saúde e força podem falhar, mas o que você dedicou à sua mente é seu para sempre.”

Louis L.Amour

AGRADECIMENTOS

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

A minha família, pelo amor, incentivo, apoio, confiança, dedicação. Presentes divinos que me guiam no caminho do respeito ao próximo e do amor.

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

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

Ao José Itallo Cavalcante Mascena pelo carinho, companheirismo, atenção, paciência e ajuda.

A Mayra Vanessa, Alyne Martins, Kernya Urbano, Fernanda Pinheiro e Valéria Lopes pela força e eterna amizade.

Ao Magnum Pereira, Adriano Silva, Fuad Nogueira, Edilson Sousa , Auxiliadora Freitas, Alan Diniz, e aos bolsistas de graduação do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana – NEPAU/UFC e do Departamento de Engenharia Agrícola – DENA/UFC pelo apoio na montagem, condução do experimento de campo e análises laboratoriais e também pela amizade.

Aos meus colegas de curso Leila Neves, Nayara Luna, Thiago Mesquita, Monikuely Mourato, Daniel Rodrigues, Silvia Ferreira, Mariana Menezes, Alexandre Reuber pelo incentivo, apoio e amizade.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC, pela atenção, e ensinamentos transmitidos.

Ao Professor Dr. Antonio Marcos Esmeraldo Bezerra, do Departamento de Fitotecnia - UFC, pela concessão da casa de vegetação do NEPAU para realização do experimento.

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

A Dra. Aiala Vieira Amorim, que tanto me ajudou na condução das análises, pela participação na banca e também pelo exemplo de dedicação, pela amizade, apoio, carinho e ensinamentos, toda minha admiração.

Ao Professores José Francisco de Carvalho Gonçalves pela participação na banca e pelas valiosas contribuições.

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológco - CNPq pelo apoio financeiro.

Muito obrigada!

ESTABELECIMENTO DE PLANTAS NATIVAS DA CAATINGA EM UM GRADIENTE DE SALINIDADE DO SOLO, SOB CONDIÇÕES CONTROLADAS

RESUMO

A salinidade é um dos estresses abióticos que mais limita a produção vegetal em razão de seus efeitos negativos no crescimento e desenvolvimento das plantas. Em áreas degradas por sais verifica-se que o estabelecimento de espécies arbóreas não é fácil, principalmente em cultivos de sequeiro e em regiões com precipitações muito baixas. O objetivo do presente trabalho consiste em avaliar o estabelecimento de doze espécies de plantas lenhosas nativas da Caatinga em um gradiente de salinidade do solo, em ambiente protegido, com vistas à obtenção de subsídios para estabelecimento de espécies promissoras em condições de campo. O trabalho foi dividido em duas etapas: 1. Crescimento e grau de tolerância à salinidade de doze espécies nativas da Caatinga em ambiente protegido - O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas tendo na parcela mudas de doze espécies nativas da Caatinga (Aroeira, Ipê roxo, Mororó, Mulungu, Sabiá, Pau-mocó, Angico, Catanduva, Frei Jorge, Jurema branca, Tamboril, e Jurema preta) e na subparcela, os cinco níveis de salinidade do solo (1,2; 2,7; 4,7; 6,7; 8,4 dS m^{-1}), com cinco repetições. Para os níveis moderados de salinidade do solo verificou-se que todas as espécies se comportaram como tolerantes ou moderadamente tolerantes à salinidade. Considerando-se os graus de redução na produção de matéria seca total, no maior nível de salinidade, observou-se que apenas a aroeira mostrou-se tolerante à salinidade (T); o ipê roxo e mulungu responderam como moderadamente tolerantes (MT); o mororó e o pau mocó moderadamente sensíveis (MS); a maioria das espécies, sabiá, angico, catanduva, frei jorge, jurema branca, jurema preta e tamboril, foram classificadas como sensíveis (S), com reduções superiores a 60%; 2. Trocas gasosas e teores de solutos orgânicos e inorgânicos em seis espécies nativas da Caatinga sob condições de salinidade - O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas tendo na parcela seis mudas de espécies nativas da Caatinga (Aroeira, Ipê roxo, Mororó, Mulungu, Sabiá e Pau-mocó,), as quais apresentaram diferentes graus de tolerância à salinidade (etapa 1), e na subparcela os cinco níveis de salinidade do solo (1,2; 2,7; 4,7; 6,7; 8,4 dS m^{-1}), com cinco repetições. A salinidade provocou redução nas trocas gasosas foliares, sendo esse efeito independente da espécie estudada. No entanto, se observa um maior controle estomático e maior eficiência intrínseca no uso da água nas espécies que apresentaram maiores graus de tolerância à salinidade, ou seja, aroeira, ipê roxo e mulungu. No presente estudo não foi possível estabelecer um relacionamento claro entre o acúmulo dos solutos orgânicos estudados e a tolerância à salinidade das seis espécies nativas da Caatinga. Porém, observou-se forte relação entre a relação Na/K e os teores de Na nas folhas e o grau de tolerância das espécies estudadas, com as espécies mais tolerantes apresentando menores variações e menores valores com o aumento da salinidade do solo.

Palavras-chave: Irrigação, estresse salino, plantas lenhosas, fotossíntese, solutos orgânicos, relação Na/K.

ESTABLISHMENT OF NATIVE PLANTS OF CAATINGA UNDER A SOIL SALINITY GRADIENT AT CONTROLLED CONDITIONS

ABSTRACT

Salinity is one of the abiotic stresses that most limits crop production because of its negative effects on plant growth and development. In areas degraded by salts it appears that the establishment of tree species is not easy, especially in rainfed crops and regions with very low precipitation. The objective of this study is to evaluate the establishment of twelve species of woody plants native to the Caatinga in a gradient of soil salinity in greenhouse, in order to obtain grants for the establishment of promising species under field conditions. The work was divided into two steps: 1. Growth and degree of salinity tolerance of twelve native species of Caatinga in a protected environment - The experimental design was randomized blocks in split plots with seedlings in the plot of twelve native species of the Caatinga (Aroeira, Ipê roxo, Mororó, Mulungu, Sabiá, Pau-mocó, Angico, Catanduva, Frei Jorge, Jurema branca, Tamboril, e Jurema preta) and subplots, the five levels of soil salinity (1.2, 2.7, 4.7, 6.7, 8,4 dS m^{-1}), with five replicates. For moderate levels of soil salinity was found that all species are as tolerant or moderately tolerant to salinity. Considering the degree of reduction in total dry matter production, the highest level of salinity, it was observed that only the mastic proved to be tolerant to salinity (T); The Ipê and mulungu behaved as moderately tolerant (MT); the mororó and pau-mocó moderately susceptible (MS); most species, sabiá, angico, catanduva, frei jorge, jurema branca, jurema preta and tamboril, were classified as sensitive (S), with reductions of more than 60%. 2. Gas exchange and concentration of organic and inorganic solutes in six species native to the Caatinga under saline conditions - The design was randomized blocks in split plots with the plot six native species of Caatinga (Aroeira, Ipê roxo, Mororó, Mulungu, Sabiá e Pau-mocó,), which showed different degrees of salinity tolerance (step 1), and subplot five levels of soil salinity (1.2, 2.7, 4.7, 6.7, 8.4 dS m^{-1}), with five replicates. Salinity caused reduction in leaf gas exchange, and this effect is independent of the species studied. However, observe a greater stomatal control and greater intrin efficiency of water use in species with higher degrees of salt tolerance, ie, aroeira, ipê roxo and mulungu. In the present study could not establish a clear relationship between the accumulation of organic solutes studied and salt tolerance of six species native to the Caatinga. However, observed a strong correlation between the Na/K and Na in the leaves and the degree of tolerance of species with species more tolerant of minor variations and presenting lower values with increasing soil salinity.

Keywords: Irrigation, salinity, woody plants, photosynthesis, organic solutes, Na/K ratio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Solo transportado do Perímetro Irrigado de Morada Nova-Ce para o NEPAU e exposto ao sol para secagem; destorroamento do solo seco; solo peneirado em malha de 5 mm; medição da condutividade elétrica no extrato de saturação do solo..... 34

Figura 2 Semeadura em bandejas de isopor de 128 células contendo areia+húmus de minhoca na proporção 2:1..... 35

Figura 3 Abertura das covas para plantio das mudas; covas prontas para receber areia lavada de rio..... 36

Figura 4 Mudas transplantadas em covas com areia lavada de rio..... 36

Figura 5 Altura de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 43

Figura 6 Diâmetro do caule de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 44

Figura 7 Área foliar de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas em sob condições controladas..... 45

Figura 8 Massa seca da parte aérea, de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 47

Figura 9 Massa seca da raiz de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 47

Figura 10 Relação massa seca de da parte aérea / massa seca da raiz de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 48

Figura 11 Condutância estomática em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga (A) e em função dos níveis de salinidade (B), aos 90 dias após a repicagem, cultivadas sob condições controladas..... 56

Figura 12 Transpiração líquida em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga (A) e em função dos níveis de salinidade (B), aos 90 dias após a repicagem, cultivadas sob condições controladas..... 57

Figura 13 Fotossíntese líquida (*A*) em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga (A) e em função dos níveis de salinidade (B), aos 90 dias após a repicagem, cultivadas sob condições controladas..... 58

Figura 14 Eficiência intrínseca no uso da água (A/gs), em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga (A) e em função dos níveis de salinidade (B), aos 90 dias após a repicagem, cultivadas sob condições controladas..... 58

Figura 15 Relação entre fotossíntese líquida (*A*) e transpiração (*E*) em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga (A) e em função dos níveis de salinidade (B), aos 90 dias após a repicagem, cultivadas sob condições controladas..... 59

Figura 16 Teores foliares de clorofila em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 61

Figura 17 Teores foliares de N-aminossolúveis em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 63

Figura 18 Teores foliares de carboidratos solúveis em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 64

Figura 19 Teores foliares de prolina em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 65

Figura 20 Teores de Na^+ em folhas (A) e hastes (B) de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 68

Figura 21 Teores de K^+ em folhas (A) e hastes (B) de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 70

Figura 22 Teores de Cl^- em folhas (A) e hastes (B) de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 71

Figura 23 Relação entre teores de íons Na^+ e K^+ nas folhas (A) e hastes (B) de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 73

Figura 24 Relação entre teores do íon Na^+ nas hastes e folhas de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 75

Figura 25 Relação entre teores do íon K^+ nas hastes e folhas de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 76

Figura 26 Relação entre teores do íon Cl^- nas hastes e folhas de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Descrição das espécies utilizadas no experimento em ambiente protegido (nome popular, nome científico e sigla)..... 32

Tabela 2 Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento..... 33

Tabela 3 Classificação das espécies vegetais quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução do crescimento ou produtividade..... 38

Tabela 4 Resumo da análise de variância para altura, diâmetro do caule, área foliar, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e relação MSPA/MSR em mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 42

Tabela 5 Redução percentual da área foliar em mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 50

Tabela 6 Redução percentual da massa seca da parte aérea de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 51

Tabela 7 Redução percentual da massa seca das raízes de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 52

Tabela 8 Redução percentual da massa seca total de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas em sob condições controladas..... 53

Tabela 9 Resumo da análise de variância para os valores de condutância estomática, transpiração, fotossíntese, índice relativo de clorofila, relação Fv/Fm, relação A/gs e relação A/E em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 55

Tabela 10 Resumo da análise de variância para os teores de N-aminossolúveis, carboidratos e prolina em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 62

Tabela 11 Resumo da análise de variância para os teores de Na^+, K^+ e Cl^- nas folhas e hastes de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 67

Tabela 12 Resumo da análise de variância para a relação Na^+/K^+ nas folhas e nas hastes, e as relações entre hastes e folhas dos teores de Na^+, K^+ e Cl^- em mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas..... 72

SUMÁRIO

RESUMO
ABSTRACT
LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABELAS
1 INTRODUÇÃO..... 17
2 REFERENCIAL TEÓRICO..... 20
2.1 Espécies nativas da Caatinga..... 20
2.2 Salinização do solo..... 23
2.3 Utilização de espécies nativas da Caatinga em áreas salinizadas..... 24
2.4 Efeito da salinidade no crescimento das plantas..... 25
2.5 Efeito da salinidade nas trocas gasosas..... 27
2.6 Efeito da salinidade nos solutos orgânicos e inorgânicos..... 28
3 MATERIAL E MÉTODOS..... 31
3.1 Local do experimento..... 31
3.2 Delineamento experimental..... 31
3.2.1 Crescimento e grau de tolerância à salinidade de doze espécies nativas da Caatinga em ambiente protegido..... 31
3.2.2 Trocas gasosas e teores de solutos orgânicos e inorgânicos em seis espécies nativas da Caatinga sob condições de salinidade..... 32
3.3 Tratamentos..... 32
3.4 Obtenção do material vegetal..... 34
3.5 Variáveis de crescimento..... 37
3.6 Tolerância à salinidade..... 37
3.7 Trocas gasosas, teores relativos de clorofila e fluorescência..... 38
3.8 Determinação de solutos orgânicos..... 38
3.8.1 Carboidratos solúveis..... 39
3.8.2 N-aminossolúveis..... 39
3.8.3 Prolina..... 40
3.9 Determinação de solutos inorgânicos..... 40
3.10 Análises estatísticas..... 41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 42
4.1 Crescimento..... 42
4.2 Tolerância das espécies à salinidade..... 49
4.3 Trocas gasosas..... 54
4.4 Teores de solutos orgânicos..... 61
4.5 Teores de solutos inorgânicos..... 66
5 CONCLUSÕES..... 78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 80

1 INTRODUÇÃO

A salinidade é um dos estresses abióticos que mais limita a produção vegetal em razão de seus efeitos negativos no crescimento e desenvolvimento das plantas. Estima-se que 19,5% das áreas irrigadas em todo o mundo, o que corresponde a 45 milhões de hectares, enfrentem problemas devido à salinidade (FAO, 2006), sendo algumas destas áreas recuperáveis (BEZERRA, 2006). Dentre as causas da salinização destas áreas destacam-se o manejo inadequado da irrigação, a deficiência ou inexistência do sistema de drenagem e a qualidade da água utilizada na irrigação (COSTA *et al*., 2010; RIBEIRO, 2010).

Na região semiárida brasileira é comum a ocorrência de solos com caráter sódico e solódico, associados com materiais de origem do Pré-Cambriano como gnaisses e granito (salinização natural ou primária) (OLIVEIRA, 1997). Além disso, ocorre a salinização secundária de solos, principalmente nos chamados perímetros irrigados localizados nos vales aluviais. De acordo com Bezerra (2006), existem doze perímetros de irrigação em operação no Estado do Ceará, dos quais sete apresentam problemas de salinização dos solos, como é o caso do perímetro de Morada Nova. Ainda de acordo com esse autor, do total de solos com problemas de salinidade nos perímetros de irrigação do Estado do Ceará, aproximadamente 66,17% podem ser recuperados e retornados ao sistema de produção. Em função dos elevados custos, a recuperação e o aproveitamento desses solos têm sido historicamente negligenciados, sendo que muitas áreas foram abandonadas e estão sem uso por cerca de 30 anos (COSTA *et al*., 2010).

As condições de solos afetados pelo acúmulo de sais podem ser melhoradas mediante o uso de diversas práticas de manejo, incluindo o cultivo de espécies tolerantes, o rebaixamento do lençol freático, a aplicação de melhoradores químicos e o uso de rotação de culturas (TYAGI; MINHAS, 1998). Além disso, o cultivo de plantas tolerantes permite o aproveitamento dessas áreas, garantindo a obtenção de colheitas satisfatórias e o retorno econômico durante o processo de recuperação (GOMES; GHEYI; SILVA, 2000; MURTAZA; GHAFOOR; QADIR, 2006; OSTER; HOFFMAN; ROBINSON, 1984; SHARMA; RAO, 1998).

Apesar do conhecimento incipiente e das informações escassas sobre o uso sustentável e os meios de recuperação nas regiões semiáridas, sabe-se que a Caatinga apresenta espécies de elevado potencial madeireiro com grande adaptabilidade a diversas condições de solo, além das adversidades naturais das condições de semiaridez (PEREIRA, 2011). Essas espécies podem constituir uma importante alternativa para o aproveitamento e

recuperação das áreas salinizadas ou em processos de salinização, onde a exploração de muitas espécies agrícolas é inviável economicamente (SILVA *et al*., 2009; NAVAS, 2011).

Vários autores relatam o efeito da salinidade no crescimento de mudas de plantas (PATEL; BHENSDADIA; PANDEY, 2009; RAMOLIYA; PANDEY, 2003). No entanto, o grau com que a salinidade afeta o crescimento depende de fatores intrínsecos à planta (espécie, cultivar e estádio de desenvolvimento), fatores relacionados ao estresse (tipo de sal, concentração salina, tempo de exposição aos sais e seu modo de aplicação) e fatores ambientais (luz, temperatura e umidade relativa do ar), bem como da interação entre eles (BRAY; BAILEY-SERRES; WERETILNYK, 2000; SHANNON; GRIEVE, 1999; SOUZA; CARDOSO, 2003).

O excesso de sais no solo pode perturbar as funções fisiológicas e bioquímicas da célula conduzindo a planta à morte (MANSOUR; SALAMA, 2004). Plantas expostas a altas concentrações de sais enfrentam, geralmente, dois problemas: o primeiro é a absorção de água a partir de um solo com um potencial osmótico baixo; o segundo resulta do acúmulo de íons tóxicos no citoplasma, os quais inibem muitas reações metabólicas (SALISBURY; ROSS, 1992). É esse desequilíbrio osmótico e iônico que pode reduzir o crescimento da planta, bem como a absorção de nutrientes, além de inibir a fotossíntese e a transpiração (HASEGAWA *et al*., 2000; NEUMANN, 1997). A inibição dos dois últimos fatores tem sido atribuída a reduções na condutância estomática (BRUGNOLI; LAUTERI, 1991), bem como ao acúmulo dos íons Na^+ e/ou Cl^-, que afetam desfavoravelmente os processos bioquímicos e fotoquímicos envolvidos na fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2010).

Em plantas adaptadas à salinidade, a maior parte dos íons provenientes dos sais acumula-se nos vacúolos. O equilíbrio osmótico entre o vacúolo e o citoplasma é restabelecido através da síntese de solutos orgânicos com atividade osmótica (LARCHER, 2000). O aumento da concentração de solutos orgânicos, como açúcares, prolina e N-aminossolúveis, tem a função de balancear os potenciais osmótico e hídrico do citoplasma com os do vacúolo (BINZEL *et al*., 1988) e também manter o gradiente de potencial hídrico entre o ambiente externo e a planta. Esses solutos são substâncias de baixa massa molecular, que podem se acumular em grandes quantidades nos compartimentos celulares, sob condições de estresses ambientais, favorecendo o influxo de água (LARCHER, 2000) sem prejudicar o metabolismo do vegetal (SAIRAM; TYAGI, 2004).

Os pesquisadores brasileiros reconhecem a necessidade de utilização de espécies tolerantes como estratégia para enfrentar os problemas de salinidade, a grande maioria das pesquisas no Brasil sobre esse tema são realizadas em condições de casa-de-vegetação.

Tratando-se de espécies lenhosas e fruteiras perenes, alguns estudos foram realizados em condições de campo, como no caso do coqueiro (FEREIRA NETO *et al*., 2002; FERREIRA NETO *et al*., 2007; MARINHO *et al*., 2006; MOURA *et al*., 2008), sendo que a maioria dos estudos se concentram nos estádios iniciais de desenvolvimento, como, por exemplo, trabalhos com jucá, nim indiano, cumaru, turco, leucena, citrus, dentre outras espécies (FERNANDES *et al*., 2011; FREIRE; SOUZA; FREIRE, 2010; HOLANDA *et al*., 2007; NÓBREGA NETO *et al*., 1999; NOGUEIRA *et al*., 2008). Essas tendências são explicadas, em parte, pela deficiência de infraestruturas adequadas e falta de apoio para realização de pesquisas de campo.

Em outros países os estudos de campo de longo prazo relativos às respostas de plantas à salinidade são mais comuns, e geralmente estão associados ao emprego de estratégias de manejo que visam à sustentabilidade do ambiente e redução dos impactos da salinidade sobre as plantas, principalmente na fase de estabelecimento do estande (CSSRI, 2004; MALASH; FLOWERS; RAGAB, 2008; MURTAZA; GHAFOOR; QADIR, 2006), em muitos desses estudos utilizam-se espécies lenhosas (BENNETT; GEORGE, 1995; COLLOPY, 1999; CSSRI, 2004; FEIKEMA; BAKER, 2011; MORRIS; MARCAR *et al*., 2002; SINGH; SINGH; TOMAR, 1993; SUN; DICKINSON, 1995; TYAGI; MINHAS, 1998; ZOHAR; SCHILLER, 1998).

Apesar da importância destacada, o estabelecimento de espécies arbóreas não é fácil, principalmente em cultivos de sequeiro e em regiões com precipitações muito baixas (PANNELL; EWING, 2006). De acordo com esses autores, a transição de um sistema agrícola baseado em culturas anuais para outro com culturas perenes é uma mudança revolucionária em termos conceituais, e depende de muitos esforços, particularmente sob condições adversas como nas áreas afetadas pelo acúmulo de sais. Por outro lado, Dunin (2002) afirma que a integração de espécies perenes, arbóreas e herbáceas, com culturas tradicionais, pode melhorar as condições de drenagem e reduzir os problemas de encharcamento e de salinidade em ambientes com esses problemas.

A partir do exposto verifica-se que em áreas irrigadas do Estado do Ceará, particularmente no perímetro irrigado de Morada Nova, torna-se urgente a realização de pesquisas, bem como o desenvolvimento de uma consciência que vislumbre não somente a recuperação, mas, também, a prevenção à salinização nas áreas atualmente cultivadas. Portanto, o objetivo geral do presente trabalho é avaliar o estabelecimento de doze espécies de plantas lenhosas nativas da Caatinga em um gradiente de salinidade do solo, em casa de

vegetação, com vistas à obtenção de respostas biométricas, fisiológicas e bioquímicas como subsídios para estabelecimento de espécies promissoras em condições de campo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Espécies nativas da Caatinga

O Nordeste do Brasil tem a maior parte de seu território ocupado pela Caatinga, caracterizada por uma vegetação xerófila, de fisionomia e florística variada, ocupando cerca de 11% do território nacional. Na cobertura vegetal das áreas da região Nordeste, a caatinga representa cerca de 800.000 km², o que corresponde a 70% da região (DRUMOND *et al*., 2000).

A vegetação da Caatinga é constituída, especialmente, de espécies lenhosas e herbáceas, de pequeno porte, comumente dotadas de espinhos, sendo, geralmente, caducifólias, perdendo suas folhas no início da estação seca, e de cactáceas e bromeliáceas (KOZLOWSKI; KRAMER; PALLARDY, 1991; LARCHER, 1995). O valor extrativista desta vegetação é particularmente crucial em regiões onde atividades agrícolas são comuns como as queimadas constantes, uso do solo e extração de madeira para diferentes finalidades (DRUMOND *et al*., 2000), apresentando grande valor sócio-econômico, no tocante a alimentação humana e animal, medicina alternativa, produção de madeira para o fornecimento de lenha, carvão e produtos industriais, além da preservação do solo, dos recursos hídricos e da fauna (LIMA, 1989).

A densidade, freqüência e dominância das espécies da Caatinga são determinadas pelas variações topográficas, tipo de solo e pluviosidade (SARMIENTO, 1972). As plantas mais freqüentes, encontradas nas mais diferentes situações edafoclimáticas deste bioma, são das famílias Caesalpinaceae, Mimosaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae e Cactaceae, sendo os gêneros Senna, Mimosa e Pithecellobium associados ao maior número de espécies. A catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), as juremas (*Mimosa* spp.) e os marmeleiros (*Croton* spp.) são as plantas mais abundantes na maioria dos trabalhos de levantamento realizados em áreas deste bioma (DRUMOND *et al*., 2000).

Com a necessidade de mostrar cientificamente o potencial dessas espécies para que sejam exploradas de forma racional, proporcionando sua fixação de maneira ordenada,

bem como, a fixação do homem do sertão nordestino, Lorenzi (2002), Maia (2004) e Pereira (2011), entre outros autores, destacam algumas espécies predominantes de elevado potencial madeireiro, são elas:

a) Angico [*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan] é uma leguminosa que ocorre em todos os estados do Nordeste, na Mata Atlântica, no Cerrado, no Pantanal Matogrossense, além de outros países. É uma planta arbórea decídua com galhos bastante dispersos. Sua madeira possui múltiplos usos, suas folhas constituem forragem de ótima qualidade, e possui vários usos medicinais;

b) Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr Allemão), da família Anacardiaceae, é encontrada desde o Ceará até os Estados do Paraná e Mato Grosso do Sul, podendo atingir até 30 m de altura (PEREIRA, 2011). É uma espécie florestal de grande valor econômico, cuja madeira é muito utilizada em propriedades rurais por sua qualidade e resistência (BARBOSA, 1994). É utilizada como forrageira e possui alto valor medicinal;

c) Catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.) pertence à família Leguminosae (Mimosoideae), de ocorrência nos Estados do Maranhão, Piauí, Ceará, e até no Rio de Janeiro. Como destaca Lorenzi (2002), seu rápido crescimento possibilita sua utilização para reflorestamento com fins preservacionistas. Apresenta potencial madeireiro, forrageiro e melífero;

d) Ipê roxo [*Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex. DC.) Standl.], da família Bignoniaceae, ocorre em todos os Estados do Nordeste além de Goiás, São Paulo e ocasionalmente no Cerrado, podendo atingir até 30 m de altura em florestas preservadas, com potencial madeireiro e servindo para uso medicinal, arborização urbana, recuperação de áreas degradadas e ainda como quebra vento;

e) Mororó (*Bauhinia unguculata* L.) da família Leguiminosae (Caesalpinioideae) é nativa da região sudeste do Brasil, mas de comum ocorrência no sertão nordestino. É uma espécie arbustiva de pequeno porte e caule muito rígido. Suas principais utilizações são madeireira, forrageira e medicinal;

f) Mulungu (*Erythrina velutina* Willd.) pertencente à família Leguminosae (Papilionoideae) é uma espécie encontrada desde o semiárido nordestino até a orla marítima de Pernambuco e florestas de Minas Gerais e São Paulo. Pode atingir até 15 m de altura, possui espinhos e alto potencial medicinal e ornamental;

g) Sabiá (*Mimosa caesalpiniifolia* Benth.) é pertencente à família Leguminosae (Mimosoideae) e nativa, exclusiva da Caatinga, ocorrendo em todos os Estados, em menor escala no Maranhão. Apresenta características ornamentais, madeireiras, forrageiras

(constituindo alimento de alto teor protéico para os animais) e é bastante resistente a estiagens prolongadas;

h) Tamboril [*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong] pertence à família Leguminosae (Mimosoideae), ocorre nos Estados do Pará, Maranhão, Piauí até o Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul. É uma árvore de grande porte podendo atingir até 35 m de altura e se plantada isolada das demais espécies sua copa pode atingir até 35 m de largura. Desta espécie utiliza-se a madeira, os frutos (na fabricação de sabão) e as sementes (através de uma proteína eficiente para controle biológico).

Outros autores relatam as características de outras espécies das quais destacam-se:

i) Pau-mocó [*Luetzelburgia auriculata* (Allemao) Ducke] é uma planta que, comumente, cresce em regiões de quebradas pedregosas e serrotes sertanejos, principalmente do Ceará e Piauí, podendo chegar a uma altura de 4 m, apresentando raízes tuberosas e feculentas e folhas verdes até na mais rigorosa seca (BRAGA, 1976);

j) Frei Jorge [*Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud.] é uma planta decídua, heliófita, que ocorre desde o Ceará até o Rio Grande do Sul, apresenta madeira moderadamente pesada de boa durabilidade em ambientes secos e que pode ser empregada na confecção de mobiliário de luxo;

k) Jurema branca [*Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke] é uma arvore pequena, fortemente armada por acúleos vigorosos que ocorrem na caatinga desde o Piauí até a Bahia. A madeira é amplamente utilizada na marcenaria, como estacas e lenha industrial para fabricação de carvão. A planta apresenta propriedades medicinais e apícolas, fornecendo pólen e néctar mesmo na estação seca;

l) Jurema preta (*Mimosa hostilis* Benth.) é uma leguminosa arbustiva que ocorre em larga escala na Caatinga, atinge cerca de 4 m de altura, apresenta espinhos, é resistente a estiagem. Em seu habitat natural, tem sido explorada para produção de madeira além de alimento para os caprinos, ovinos e bovinos, seja com a planta verde ou fenada, especialmente as rebrotas mais jovens no início das chuvas, bem como as folhas e vagens secas durante o período de estiagem (PEREIRA FILHO *et al*., 2005).

No entanto, as conseqüências do modelo extrativista predatório para a obtenção de produtos de origens pastoril, agrícola e madeireiro se fazem sentir principalmente nos recursos naturais renováveis da Caatinga. Nesse sentido, já se observam perdas irrecuperáveis da diversidade florística e faunística, aceleração do processo de erosão e declínio da fertilidade do solo e da qualidade da água pela sedimentação. No que diz respeito à vegetação, pode-se afirmar que acima de 80% das espécies da caatinga são sucessionais, cerca de 40%

são mantidas em estado pioneiro de sucessão secundária e a desertificação se faz presente em, aproximadamente, 15% da área (DRUMOND *et al*., 2000).

2.2 Salinização do solo

Estimativa da FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (2006) revela que em termos mundiais cerca de 19,5% das terras irrigadas (45 milhões de hectares) e 2,1% das não irrigadas (32 milhões de hectares) estejam afetadas pelos sais. A salinização dos solos é particularmente evidente nas regiões áridas e semiáridas, atingindo cerca de 25% das áreas irrigadas. Atualmente, estima-se que ocorra uma perda de cerca de 1,5 milhões de hectares de terras aráveis a cada ano devido ao acúmulo de sais. Dessa forma, a salinização tem sido identificada como um dos principais processos de degradação dos solos.

Um solo pode ser considerado salino quando a quantidade de sais existentes for capaz de prejudicar o desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA; GOMES FILHO; ENÉAS FILHO, 2010). Segundo Holanda *et al*. (2010) em grande parte das culturas isso ocorre quando a condutividade elétrica do extrato de saturação é igual ou superior a 2 dS m^{-1}. Na classificação do "United States Salinity Laboratory" (1958), solos salinos são os que possuem pH inferior a 8,5, condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) superior a 4 dS m^{-1} e percentagem de sódio trocável (PST) inferior a 15%; os salinos-sódicos possuem pH próximo de 8,5, CE_{es} superior 4 dS m^{-1} e PST superior a 15% e os solos sódicos possuem pH em geral de 8,5 a 10, CE_{es} inferior a 4 dS m^{-1} e PST superior a 15% (DAKER, 1988).

Por sua vez, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SiBCS) separa a salinidade e sodicidade em níveis hierárquicos mais baixos, com base nos seguintes atributos: *Caráter Salino* - presença de sais, mais solúveis em água fria que $CaSO_4$ em quantidades expressas por CE> 4 e < 7 dS m^{-1}; *Caráter Sálico* - presença de sais, mais solúveis em água fria que $CaSO_4$, em quantidades expressas por CE> 7 dS m^{-1}; *Caráter solódico* - termo usado para distinguir horizontes ou camadas de PST variando de 6 a <15%; *Caráter sódico* – termo usado para distinguir horizontes ou camadas de PST >15% (RIBEIRO, 2010).

A salinização dos solos pode ter origem natural ou artificial. Dentre os fatores naturais destacam-se a intemperização química dos minerais e rochas da crosta terrestre, responsáveis pela liberação e distribuição dos íons (DAKER, 1988), bem como pelos íons presentes na água do mar (AYERS; WESTCOT, 1999). Já os fatores artificiais podem ter

origem antrópica, devido ao manejo inadequado do solo e da água, especialmente nos sistemas de cultivo irrigados (AYERS; WESTCOT, 1999). Em regiões que apresentam condições de semiaridez, comumente identificam-se solos com elevadas concentrações de sais. Os solos dessas regiões são mais susceptíveis à salinização pela alta intensidade da evaporação e baixos índices de precipitação, provocando um movimento ascendente de sais e concentrando-os na superfície do solo (BEZERRA, 2006).

O problema com a salinização é agravado principalmente em áreas irrigadas em consequência de manejo inadequado da irrigação e problemas de drenagem, refletindo assim na produção agrícola que passa a ser limitada, reduzindo a produtividade das culturas a níveis antieconômicos (RIBEIRO, 2010). Isso pode ser observado no Nordeste do Brasil, onde os perímetros irrigados apresentam cerca de 30% de suas áreas com problemas de salinização; inclusive algumas já não produzem, pois a salinização do solo afeta a germinação, a densidade e o desenvolvimento vegetativo das culturas, reduzindo suas produtividades e, nos casos mais intensos, levam as plantas à morte (BERNARDO, 1997; HOLANDA *et al*., 2007).

Para minimizar os efeitos decorrentes da salinidade do solo são várias as técnicas utilizadas, dentre elas destacam-se as práticas de recuperação, as quais são bastante onerosas sendo muitas vezes inviáveis do ponto de vista econômico e as práticas alternativas de convivência, as quais ainda não estão disponíveis em grande escala para que se possa avaliar sua rentabilidade em termos econômicos e seus efeitos na melhoria da qualidade de vida do solo. Outra alternativa para se conviver com os problemas da salinidade e, incorporar os solos salinizados ao processo de produção agrícola, é a utilização de espécies adaptadas a níveis elevados de salinidade (LIMA JUNIOR; SILVA, 2010).

2.3 Utilização de espécies nativas da Caatinga em áreas salinizadas

As espécies nativas da Caatinga são adaptadas às severas condições climáticas predominantes neste ambiente, e quando associadas ao uso de corretivos do solo podem constituir uma importante alternativa para o aproveitamento e recuperação das áreas salinizadas ou em processos de salinização, condições em que a exploração de muitas espécies agrícolas é inviável economicamente (SANTOS; HERNANDEZ, 1997; SILVA *et al*., 2009). Os efeitos benéficos da implantação dessas espécies nesses solos explicam-se pelo fato do seu sistema radicular atingir camadas mais profundas do solo, aumentando a sua

permeabilidade. Em geral, as espécies arbóreas possibilitam melhorias nas propriedades físico-químicas dos solos (SHUKLA; MISRA, 1993).

Os plantios planejados de espécies arbóreas nativas de regiões áridas e semiáridas podem resultar em grandes avanços para resolver o problema da inutilização de áreas salinizadas (MORA; GARCIA, 2000), o que mostra a importância do estímulo à revegetação da Caatinga com plantas nativas perenes, visando à implantação de sistemas silvipastoris direcionados a população de baixa renda, na tentativa de preservar o agrosistema e diminuir as pressões de desertificação que as regiões semiáridas sofrem. Para isso, é importante conhecer os fatores que afetam o desenvolvimento destas plantas (AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2009).

A utilização de áreas salinizadas com a implantação de atividades florestais pode ter reflexos diretos sobre a oferta de produtos de origem vegetal na região Nordeste e na redução da pressão sobre a vegetação nativa, contribuindo também para a recuperação de solos degradados pela salinidade (SILVA *et al.,* 2000). Entretanto, o sucesso dos reflorestamentos é dependente, entre outros fatores, da produção de mudas capazes de resistirem às condições adversas do meio (BARBOSA, 1994).

Embora existam estudos que relatam as respostas de plantas nativas do semiárido brasileiro à salinidade (HOLANDA *et al*., 2007; NOGUEIRA *et al*., 2008; SOUSA *et al*., 2012), praticamente inexistem estudos que buscam avaliar os graus relativos de tolerância ao excesso de sais e do potencial dessas espécies na revegetação de áreas afetadas por sais. Esses estudos poderão apresentar melhores resultados se o processo de revegetação for acompanhado de estratégias de manejo que reduzam os impactos sobre as plantas, principalmente na fase de estabelecimento do estande. Vale salientar, que o uso de espécies lenhosas em áreas degradadas poderá ser mais uma alternativa para essas áreas afetadas por sais, considerando a necessidade de mecanismos de desenvolvimento limpo, que contribuam para o sequestro de carbono e redução dos impactos do aquecimento global sobre a terra (NAVAS, 2011).

2.4 Efeito da salinidade no crescimento das plantas

De acordo com Fuller, (1967) as plantas respondem diferentemente em relação à salinidade. Algumas culturas podem tolerar concentrações relativamente elevadas de sais, outras são extremamente sensíveis mesmo a baixas concentrações. A tolerância varia não só

com a concentração salina, mas, também, com práticas de manejo, clima e proporções relativas dos diversos íons na solução do solo.

A classificação das espécies vegetais em halófitas (tolerantes à salinidade) e glicófitas (não tolerantes à salinidade) depende da capacidade de absorção e/ou exclusão de sódio pelas raízes, compartimentalização em nível celular (vacúolo) e de órgãos (tecidos menos sensíveis). O grau de tolerância das espécies depende ainda da magnitude de restrição do transporte dos íons Na^+ e Cl^- para a parte aérea, da capacidade de síntese de solutos orgânicos (ajustamento osmótico), da presença de glândulas excretoras de sais, e finalmente de suas respostas de crescimento e desenvolvimento (MUNNS; TESTER, 2008). Além disso, a tolerância das culturas à salinidade varia com condições climáticas, de solo, bem como com diversas práticas de cultivo, o que implica na possibilidade de desenvolvimento das plantas sem grandes reduções na produção, mesmo sendo cultivadas em solo salino ou irrigadas com água salina (LACERDA *et al.*, 2010).

Os efeitos negativos da salinidade estão diretamente relacionados ao crescimento e rendimento das plantas e, em casos extremos, na perda total da cultura (LIMA JUNIOR; SILVA, 2010). O grau com que a salinidade afeta o crescimento depende de fatores intrínsecos à planta (espécie, cultivar e estádio de desenvolvimento), fatores relacionados ao estresse (tipo de sal, concentração salina, tempo de exposição aos sais e seu modo de aplicação) e fatores ambientais (luz, temperatura e umidade relativa do ar), bem como da interação entre eles (BRAY; BAILEY-SERRES; WERETILNYK, 2000; GREENWAY; MUNNS, 1980; MUNNS; TERMAAT, 1986; SHANNON; GRIEVE, 1999).

Um fato relevante é que a maioria das espécies cultivadas tem seu crescimento inibido mesmo em baixas concentrações de sais (GREENWAY; MUNNS, 1980; WILLADINO; CÂMARA, 2005). Segundo Prisco (1980) a provável redução no crescimento das espécies cultivadas em condições de salinidade se deve à menor taxa fotossintética diária em virtude do fechamento mais cedo dos estômatos, em consequência da seca fisiológica, fato comum em plantas que ocorrem em solos com altas concentrações de sais em ambiente com alta demanda evaporativa e luz solar intensa, situação típica do semiárido brasileiro.

O crescimento vegetativo das plantas é influenciado pelo estado de energia livre das moléculas de água, denominado potencial hídrico, e é resultante da interação entre o potencial de pressão e o potencial osmótico das células (XIONG; ZHU, 2002). Uma planta exposta a altas concentrações de sais enfrenta um déficit na absorção de água a partir de um solo com potencial osmótico baixo; Além disso, as plantas enfrentam problemas resultantes do acúmulo de íons tóxicos no citoplasma, os quais inibem muitas reações metabólicas

(HASEWAGA *et al.*, 2000; MUNNS; TESTER, 2008). Pina (2007) explica ainda que dependendo do grau de salinidade, a planta, em vez de absorver, poderá até perder a água que se encontra em seu interior; este processo que pode resultar na plasmólise da célula, ocorre quando uma solução altamente concentrada é colocada em contato com a célula vegetal e se deve ao movimento da água que passa das células para a solução mais concentrada.

Na maioria das espécies o sintoma mais aparente do desequilíbrio osmótico e iônico causado pelo estresse salino é a redução do crescimento. À medida que a concentração de sal no ambiente aumenta acima de um determinado nível, tanto a taxa de crescimento como o tamanho da maioria das plantas é reduzido progressivamente (LUCENA, 2009). Segundo Kozlowski (1991), as plantas lenhosas usualmente mostram maior tolerância aos sais durante a fase de germinação do que durante a de estabelecimento da plântula, quando a sensibilidade aos sais aumenta Além disso, essas plantas tornam-se progressivamente mais tolerantes à medida que vão atingindo o estádio adulto até a etapa reprodutiva, embora a salinidade possa ter um efeito negativo durante a floração (antese).

2.5 Efeito da salinidade nas trocas gasosas

As respostas celulares e fisiológicas distintas entre cultivares que permitem discriminar quais apresentam tolerância às condições salinas podem ocorrer após semanas ou meses de exposição ao estresse (MUNNS, 1993). A determinação das trocas gasosas se constitui um parâmetro fisiológico importante para o diagnóstico de estresse em plantas, o qual apresenta respostas ao estresse salino em curto espaço de tempo (LUCENA, 2009). Chaves, Flexas e Pinheiro (2009) e Glynn, Fraser e Gillian (2003) destacam que a fotossíntese ocupa uma posição central na biossíntese de plantas fornecendo uma ligação entre o metabolismo interno da planta e o ambiente externo e, junto com o crescimento celular, está entre os processos primários a ser afetado pelo estresse salino.

De acordo com diversos autores, a salinidade inibe os processos de fotossíntese e transpiração (ROBINSON *et al*. 1997; TAIZ; ZEIGER, 2010). Essa inibição tem sido atribuída a reduções na condutância estomática (BRUGNOLI; LAUTERI, 1991) e no conteúdo total de clorofila e carotenóides (GREENWAY; MUNNS, 1980; PARIDA; DAS, 2005), bem como ao acúmulo nos cloroplastos dos íons Na^+ e/ou Cl^-, que afetam desfavoravelmente os processos bioquímicos e fotoquímicos envolvidos na fotossíntese (PLAUT, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2010). Apesar desses efeitos da salinidade serem observados

na maioria das plantas, existem relatos de que a salinidade (NaCl a 100 mM) estimula a fotossíntese na halófita *Bruguiera parviflora*, com correspondente aumento no seu crescimento (PARIDA; DAS; MITTRA, 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 (NEUMANN, 1997; ROBINSON *et al*, 1997). No entanto, Parida e Das (2005), 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. Além disso, Hasegawa *et al*. (2000) apontaram que, pela necessidade da planta fixar o CO_2, esta seria uma estratégia insustentável a longo prazo.

Parte da energia luminosa absorvida pelos pigmentos dos cloroplastos da folha durante a fotossíntese é emitida como fluorescência (GLYNN; FRASER; GILLIAN, 2003). A utilização de parâmetros de fluorescência tem sido difundida em estudos de fotossíntese por ser um método que não é destrutivo e permite análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa e possíveis relações com a capacidade fotossintética (NETTO *et al*., 2005).

A fluorescência das clorofilas tem provado ser um método útil na seleção genética de tolerância à salinidade (AZEVEDO *et al*., 2011; JIMENEZ *et al*., 1997). O uso dos parâmetros de fluorescência permite avaliar o efeito de vários tipos de estresses sobre a fotossíntese, entre eles a salinidade, seca, calor e poluição em plantas. Dentre estes, a salinidade reduz a taxa fotossintética e o transporte de elétrons, distúrbios dirigidos pela luz via emissão de calor ou fluorescência (WEST, 1986; ZANANDREA *et al.*, 2006). Outros autores (AZEVEDO *et al*., 2011; GLYNN; FRASER; GILLIAN, 2003; PERCIVAL; FRASER, 2001) usaram fluorescência das clorofilas como uma ferramenta para identificar genótipos tolerantes aos sais.

2.6 Efeito da salinidade nos solutos orgânicos e inorgânicos

Algumas plantas, quando submetidas a estresse hídrico ou salino, mantêm o gradiente de potencial hídrico entre o ambiente radicular e a planta graças à absorção de íons e ao acúmulo de solutos orgânicos de baixa massa molecular. Os íons tendem a se acumular no vacúolo, enquanto que outros solutos orgânicos, como aminoácidos, compostos N-

aminossolúveis e carboidratos solúveis acumulam-se no citosol. A este fenômeno deu-se o nome de ajustamento osmótico (ASHRAF; HARRIS, 2004; CHINNUSAMY; JAGENDORF; ZHU, 2005), que, além de manter o gradiente de potencial hídrico no sistema solo-planta, é apontado como responsável pela manutenção da turgescência das células, de forma a permitir o crescimento celular (SMIRNOFF, 1998).

Nos estádios iniciais de crescimento das plantas, a maior parte dos nutrientes está presente nas folhas sendo que, com o aumento da idade das folhas o peso seco e o teor de nutrientes variam (RAMOS, 2006). Como afirmam Dias e Blanco (2010), geralmente as plantas sensíveis à salinidade tendem a excluir os sais na absorção da solução do solo, porém não são capazes de realizar o ajuste osmótico descrito e começam a sofrer com decréscimo de turgor, o que leva as plantas ao estresse hídrico. Outro mecanismo utilizado por algumas plantas para minimizar os efeitos deletérios da salinidade é a retenção de íons nas raízes e nos caules, limitando a salinidade da seiva xilemática e reduzindo a quantidade deles que chega às folhas (TRINDADE *et al*., 2006).

Os problemas relacionados à toxicidade nas plantas surgem quando certos íons, constituintes do solo ou da água são absorvidos e acumulados em seus tecidos em altas concentrações, suficientes para provocar danos e reduzir rendimentos (AYERS; WESTCOT, 1999). Estes problemas 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 (SMEDEMA; RYCROFT, 1988).

Os íons que mais freqüentemente causam toxicidade são o cloreto (necrose nas folhas), o sódio (queimaduras ou necrose ao longo das bordas das folhas) e o boro (manchas secas nas bordas e no ápice das folhas mais velhas) (AYERS; WESTCOT, 1999). Entretanto, muitos outros oligoelementos são tóxicos mesmo estando em pequenas concentrações (DIAS; BLANCO, 2010). Estes mesmos autores relatam que os efeitos tóxicos destes íons nas plantas acontecem quando estas absorvem excessivamente os sais do solo juntamente com a água, promovendo assim um desbalanceamento e danos ao citoplasma, e resultando em danos principalmente na bordadura e no ápice das folhas, que é de onde a planta perde água por transpiração, e o sal que foi translocado do solo se acumula podendo reduzir significativamente os rendimentos.

Espécies halófitas, sob condições salinas, geralmente acumulam grande quantidade de íons nas folhas, e estes são mantidos compartimentalizados nos vacúolos das células, onde contribuem para o potencial osmótico sem afetar os sistemas enzimáticos do citoplasma (TAIZ; ZEIGER, 2010). Convém salientar, que freqüentemente, elas acumulam

também aminoácidos, especialmente prolina, bem como outros compostos orgânicos que são de importância fundamental para o ajustamento osmótico do citosol (BUCHANAM; GRUISSEM, JONES, 2000).

Quanto às espécies glicófitas, em geral, retém grande quantidade de sais nos caules e nas raízes, e assim, o ajuste osmótico nas folhas passa a depender mais do acúmulo de solutos orgânicos (GREENWAY; MUNNS, 1980; LACERDA *et al*., 2003). A capacidade de acumular solutos orgânicos é uma importante característica fisiológica que pode favorecer o crescimento das plantas em ambientes salinos (SERRANO; GAXIOLA, 1994).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido no Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana (NEPAU) do departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará – UFC, situada em Fortaleza – CE, localizada na latitude 3º 44´S, longitude 38º 33´ W, na altitude de 20 m, no período de setembro de 2011 a janeiro de 2012. O clima da região é do tipo Aw' (tropical chuvoso), com precipitação de verão-outono pela classificação de Köppen. A média anual de precipitação é de 1.523 mm, a evapotranspiração potencial é de 1.747,2 mm, a temperatura média anual igual a 26,9ºC e a umidade relativa de 69% (SOUSA *et al*., 2010).

3.2 Delineamento experimental

3.2.1 Crescimento e grau de tolerância à salinidade de doze espécies nativas da Caatinga em ambiente protegido

A etapa do experimento que avaliou o crescimento e o grau de tolerância à salinidade em doze espécies nativas da Caatinga em ambiente protegido foi conduzida seguindo um delineamento em blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, tendo na parcela as doze espécies de plantas nativas da Caatinga, descritas na tabela 1, e na subparcela os cinco níveis de salinidade do solo, com cinco repetições, totalizando 300 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi composta por 2 vasos, contendo uma planta cada um.

Tabela 1 - Descrição das espécies utilizadas no experimento em ambiente protegido (nome popular, nome científico e siglas utilizadas no texto).

Nome popular	**Nome científico**	**Sigla**
Angico	[*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan];	ANG
Aroeira	(*Myracrodruon urundeuva* Fr Allemão);	ARO
Catanduva	(*Piptadenia moniliformis* Benth.);	CAT
Ipê roxo	[*Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex. DC.) Standl.];	IPE
Mororó	(*Bauhinia unguculata* L.);	MOR
Mulungu	(*Erythrina velutina* Willd.);	MUL
Sabiá	(*Mimosa caesalpinicfolia* Benth.);	SAB
Tamboril	[*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong];	TAM
Pau-mocó	[*Luetzelburgia auriculata* (Allemao) Ducke];	PM
Frei Jorge	(*Cordia goeldiana*);	FRJ
Jurema branca	(*Mimosa tenuiflora*);	JUB
Jurema preta	(*Mimosa hostilis* Benth).	JUP

3.2.2 Trocas gasosas e teores de solutos orgânicos e inorgânicos em seis espécies nativas da Caatinga sob condições de salinidade

A etapa do experimento que avaliou as trocas gasosas e os teores de solutos orgânicos em seis espécies nativas da Caatinga sob condições de salinidade foi conduzida seguindo um delineamento em blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, tendo na parcela as seis espécies de plantas nativas da Caatinga e na subparcela, os cinco níveis de salinidade do solo, com cinco repetições, totalizando 150 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi composta por 2 vasos, contendo uma planta cada um.

As seis espécies de plantas da Caatinga utilizadas foram: Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr Allemão); Ipê roxo [*Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex. DC.) Standl.]; Mororó (*Bauhinia unguculata* L.); Mulungu (*Erythrina velutina* Willd.); Sabiá (*Mimosa caesalpinicfolia* Benth.); Pau-mocó [*Luetzelburgia auriculata* (Allemao) Ducke].

3.3 Tratamentos

Para compor os tratamentos salinos coletou-se, em cinco diferentes pontos do Perímetro Irrigado de Morada Nova, um solo classificado como Neossolo Flúvico (EMBRAPA, 2006). Os pontos foram selecionados com base na análise *in situ* da condutividade elétrica do solo, na camada de 0 a 20 cm, utilizando-se o um sensor modelo

Wet Jet (Delta T – Devices, Cambridge, England). Após a coleta esse solo foi destorroado, passado em peneira de malha de 5 mm e em seguida mediu-se a condutividade elétrica do solo saturado (CE) resultando nos cinco tratamentos salinos utilizados (1,2; 2,7; 4,7; 6,7; 8,4 dS m^{-1}) (Figura 1). A medição da CE foi realizada diretamente na pasta saturada, utilizando-se um sensor modelo Wet Jet (Delta T – Devices, Cambridge, England). Em seguida, foram realizadas análises químicas em laboratório, as quais constam na tabela 2. A CE medida com o sensor apresentou alta correlação (r = 0,99) com a condutividade elétrica do extrato de saturação, expressa pela seguinte equação:

$$CE_{es} = 0{,}84CE \quad (1)$$

Tabela 2 – Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento.

Amostra	K	Ca	Mg	Na	CTC	PST
	mmolc dm^{-3}					%
CE1	2,76	41,5	46,5	8,91	109,6	8
CE2	2,17	74,0	38,5	25,00	142,2	18
CE3	2,56	96,5	74,0	51,74	238,8	22
CE4	4,14	131,5	108,5	121,74	370,0	33
CE5	3,76	94,0	75,0	127,83	302,3	42

Fonte: Laboratório de solos, água e tecido vegetal, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia/Ceará – IFCE, Limoeiro do Norte (2011).

Figura 1 - (A) Solo transportado do Perímetro Irrigado de Morada Nova-Ce para o NEPAU e exposto ao sol para secagem; (B) destorroamento do solo seco; (C) solo peneirado em malha de 5 mm; (D) medição da condutividade elétrica no extrato de saturação do solo.

3.4 Obtenção do material vegetal e condução do experimento

Para a realização do experimento utilizou-se 12 espécies de plantas nativas da Caatinga (descritas no item anterior). O material vegetal para a produção das mudas foi proveniente do banco de sementes do NEPAU. As mudas foram produzidas em casa de vegetação com 50% de sombreamento, por meio de semeadura em bandejas de isopor com 128 células e substrato de areia+húmus de minhoca na proporção de 2:1 (Figura 2), onde permaneceram por 20 dias, sendo irrigadas diariamente com água de poço de condutividade elétrica de 0,7 dS m^{-1} utilizando-se um sistema de microaspersão.

Figura 2 - Semeadura em bandejas de isopor de 128 células contendo areia+húmus de minhoca na proporção 2:1.

Aos 20 dias após a semeadura (DAS) as mudas foram selecionadas de acordo com a uniformidade, sendo em seguida repicadas para os vasos pretos de polietileno com capacidade de 5 L contendo uma camada inferior de 3 cm de brita e logo em seguida os solos com diferentes níveis de salinidade. Para reduzir o impacto do contato direto do sistema radicular das mudas com o solo salino, especialmente nos tratamentos com maiores níveis de salinidade, adicionou-se nas covas de cada vaso um volume adequado de areia lavada de rio (Figuras 3 A e B, 4). Após a repicagem as plantas permaneceram nos vasos por um período de 90 dias, sendo irrigadas diariamente, com água de poço de condutividade elétrica de 0,7 dS m^{-1}, utilizando-se um sistema de microaspersão.

Figura 3 - (A) Abertura das covas para plantio das mudas; (B) covas prontas para receber areia lavada de rio.

Figura 4 – Mudas transplantadas em covas com areia lavada de rio.

Aos 30 e 60 dias após a repicagem (DAR) foi aplicado óleo de extrato Neen (*Rotenat* CE®) com a finalidade de combater pulgões e cochonilhas. Para corrigir sintomas de

deficiência nutricional realizou-se 2 aplicações de biofertilizante líquido, a primeira aos 45 DAR e a segunda aos 65 DAR.

3.5 Variáveis de crescimento

Aos 90 DAR foram medidas a altura das plantas (com o auxílio de uma régua graduada) e o diâmetro da haste (com um paquímetro digital). Logo após, a parte aérea das plantas foi coletada separando-se o limbo foliar da haste+pecíolo. Os limbos foliares foram utilizados para medições de área foliar (AF) por meio de um medidor de superfície (LI – 3100, Área Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, 87 Nebraska, USA). Em seguida, os limbos e as hastes+pecíolos foram acondicionadas separadamente em sacos de papel previamente identificados e levados à estufa de circulação forçada de ar, a 80°C até atingir peso constante para a obtenção da massa seca da folha (MSF) e da haste+pecíolo (MSH) expressas em g planta^{-1}. De posse desses dados, determinou-se a massa seca da parte aérea (MSPA) oriunda do somatório da MSF e MSH.

Após a coleta da parte aérea das plantas, o substrato de cultivo dos vasos foi coletado, sendo o seu conteúdo (solo + raízes) peneirado a fim de se separar as raízes do solo. Para a determinação da massa seca, as raízes foram lavadas, acondicionadas separadamente em sacos de papel previamente identificados e levadas à estufa de circulação forçada de ar, a 80°C até atingir peso constante para a obtenção da massa seca da raiz (MSR) expressa em g planta^{-1}.

De posse dos dados de massa seca de cada órgão vegetal, determinou-se a relação MSR/MSPA.

3.6 Tolerância à salinidade

Com os dados de área foliar e de massa seca obtiveram-se as curvas de regressão que mais se ajustaram em relação aos níveis de salinidade do solo. Em seguida, foram calculadas as perdas percentuais em relação ao menor nível de salinidade (redução em %), as quais foram utilizadas como índices para comparar a tolerância das doze espécies nativas (Tabela 3), conforme Fageria, Soares Filho e Gheyi (2010).

Tabela 3 - Classificação de espécies vegetais quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução do crescimento ou produtividade .

Redução da Produção (%)	Classificação
0 – 20	Tolerante (T)
20 – 40	Moderadamente Tolerante (MT)
40 – 60	Moderadamente Sensível (MS)
> 60	Sensível (S)

Fonte: Fageria, Soares Filho e Gheyi (2010)

3.7 Trocas gasosas, teores relativos de clorofila e fluorescência

Aos 90 DAR foram realizadas medições da condutância estomática (gs), da taxa de transpiração (E), da taxa fotossintética (A) em folhas completamente expandidas, utilizando-se um IRGA (Modelo ADC System, ADC, UK). As duas medições foram realizadas no horário entre 8:00 e 11:00 horas sob condição de luz artificial acoplada, com intensidade de aproximadamente 1.500 μmol m^{-1} s^{-1}. A partir das medições obtidas foram estimadas a eficiência intrínseca no uso da água (A/gs) e a eficiência momentânea no uso da água (A/E).

Por ocasião das medições das trocas gasosas também foram realizadas análises da eficiência fotoquímica do fotossintema 2, utilizando um fluorímetro (Plant Efficiency Analyser, Hansatech Instruments LTD, Norfolk, England), e medições o índice relativo de clorofila (IRC), utilizando-se o medidor portátil SPAD 502 (Minolta). Essas medições foram realizadas nas mesmas folhas utilizadas nas medições das trocas gasosas.

3.8 Determinação de solutos orgânicos

Para obtenção dos teores de solutos orgânicos (carboidratos, N-aminossolúveis e prolina) amostras dos limbos foliares foram liofilizadas, trituradas e posteriormente utilizados para determinação dos teores de solutos orgânicos. Os extratos brutos foram preparados de acordo com o método de Cataldo *et al*. (1975). Amostras de 200 mg de massa seca foram homogeneizadas em 10 mL de água desionizada e colocadas em tubos hermeticamente fechados. Os tubos foram levados ao banho-maria a 45 °C, onde foram agitados em intervalos

de 15 minutos, durante 1hora. Após esse tempo os tubos foram centrifugados a 3000 x g por 10 minutos, à temperatura ambiente. O sobrenadante foi filtrado, utilizando-se papel filtro, e armazenado em freezer, para a realização das análises de solutos orgânicos.

3.8.1 Carboidratos solúveis

A concentração de carboidratos solúveis foi determinada com base no método desenvolvido por Dubois *et al*. (1956), sendo adicionados a cada tubo de ensaio 40 µL de extrato diluído em 60 µL de água deionizada, 100 µL de fenol a 5% e 500 µL de ácido sulfúrico concentrado, seguido de agitação vigorosa da mistura de reação. Após resfriamento, os carboidratos solúveis foram quantificados em espectrofotômetro a 490 nm, sendo usado como branco uma mistura formada de 100 µL de água, com 100 µL de fenol a 5% e 500 µL de ácido sulfúrico concentrado. Os teores de carboidratos solúveis foram determinados por meio de uma curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de glicose anidra. Os resultados obtidos foram expressos em µmol g^{-1} de matéria seca.

3.8.2 N-aminossolúveis

Para a quantificação de N-aminossolúveis foi utilizado o método descrito por Yemm e Cocking (1955). Foi adicionado em tubos de ensaio com tampas rosqueadas, 300 µL do extrato diluído em 200 µL de água deionizada, 250 µL do tampão citrato de sódio (pH 5,0) a 0,2 M, 500 µL de KCN a 0,1 M e 100 µL de ninhidrina a 5% em metilcelosolve a 100%. Após homogeneização, os tubos fechados foram deixados em banho-maria a 100ºC, por um período de 20 minutos. A reação foi interrompida por meio de resfriamento dos tubos de ensaio em banho de gelo. Em seguida, foi adicionado 650 µL de etanol a 60% para fixar a cor desenvolvida (violeta). As leituras foram efetuadas em espectrofotômetro a 570 nm, sendo o branco preparado com 500 µL de água deionizada adicionada aos reagentes utilizados para o preparo da leitura da amostra. Os teores de N-aminossolúveis, foram determinados com base em uma curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de L-glicina, e os resultados foram expressos em µmol g^{-1} de matéria seca.

3.8.3 Prolina

A concentração de prolina foi obtida a partir da adição de 1 mL do extrato, 1 mL ninhidrina ácida e 1 mL de ácido acético glacial em tubos de ensaio com tampa rosqueável. Os tubos de ensaio foram hermeticamente fechados e agitados vigorosamente, para homogeneização da mistura e, levados ao banho-maria a 100°C durante 1 hora. Em seguida a mistura da reação foi interrompida colocando-se os tubos em banho de gelo e adicionado 2 mL de tolueno. Após a agitação vigorosa dos tubos de ensaios, foi realizada a extração da fase menos densa da mistura com o auxílio de pipeta Pasteur e a absorbância lida em 520 nm, tendo como "branco" um tubo de ensaio contendo tolueno (BATES, WALDREN; TEARE, 1973). Como referência foi utilizado uma curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de prolina e, os resultados foram expressos em μmol g^{-1} de matéria seca.

3.9 Determinação de solutos inorgânicos

As amostras vegetais da parte aérea (folhas e hastes), secas em estufa, foram trituradas em moinho tipo Willey, e armazenadas em recipientes de vidro à temperatura ambiente. Os extratos brutos foram preparados de acordo com o método de Cataldo *et al*. (1975). Amostras de 200 mg de massa seca foram homogeneizadas em 10 mL de água desionizada e colocadas em tubos hermeticamente fechados. Os tubos foram levados ao banho-maria a 45 °C, onde foram agitados em intervalos de 15 minutos, durante 1h. Após esse tempo os tubos foram centrifugados a 3000 x g por 10 minutos, à temperatura ambiente. O sobrenadante foi filtrado, utilizando-se papel filtro, e armazenado em freezer, para a realização das análises de Na^+, K^+ e Cl^-.

Os teores de Na^+ e K^+ foram determinados em fotômetro de chama (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989), calibrado com solução padrão de 20 ppm de Na^+ e 20 ppm de K^+. Os conteúdos de Na^+ e de K^+ foram expressos em g kg^{-1} de massa seca dos tecidos vegetais amostrados.

Para a determinação do Cl^-, foi utilizado uma alíquota do extrato, completada para 3,0 mL com água deionizada. Em seguida, foi adicionado 0,5 mL de mistura de Hg $(SCN)_2$ a 13,2 mM, em metanol, e de $Fe(NO_3)_3$ a 20,2% (4 + 1) lendo-se a absorbância a 460 nm após 10 minutos, sendo usado como branco uma mistura de 3 mL de água deionizada mais 0,5 mL do reagente $Hg(SCN)_2$ – $Fe(NO_3)_3$. Os teores de Cl^- foram determinados por meio de uma

curva de calibração, utilizando-se o NaCl como padrão, preparada nas condições anteriores (GAINES; PARKER; GASCHO, 1984). Cada repetição foi dosada por uma amostra simples, e os resultados foram expressos em g kg^{-1} de massa seca dos tecidos vegetais amostrados.

3.10 Análises estatísticas

Os dados de cada característica avaliada foram submetidos à análise de variância e posteriormente, quando significativos pelo teste F, foram submetidos ao teste de médias de Tukey com $P < 0,05$ (comparação entre as espécies) e à análise de regressão (efeitos isolados da salinidade e da interação entre os fatores). Como ferramenta para análise utilizou o programa “ASSISTAT versão 7.6 beta”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Crescimento

Analisando as variáveis de crescimento verificou-se que tanto os fatores isolados (espécies e salinidade) quanto a interação entre estes fatores influenciaram significativamente as variáveis de crescimento ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 4), com exceção da relação MSPA/MSR que não foi influenciada pela interação.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para altura (ALT), diâmetro do caule (DIAM), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e relação MSPA/MSR em mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios					
		ALT	DIAM	AF	MSPA	MSR	MSPA/MSR
Bloco	4	165,89^{ns}	0,32^{ns}	138946,57^{ns}	4,66^{ns}	1,17^{ns}	3,33^{ns}
Espécies (A)	11	32898,06**	364,95**	2615678,30**	703,91**	42,63**	104,84**
Resíduo (A)	44	179,21	0,68	79712,97	3,47	0,94	0,97
Salinidade (B)	4	1865,13**	789,26**	347765,12**	120,85**	40,36**	9,59**
Int. A x B	44	292,98**	131,56**	72775,13**	25,59**	3,88**	1,33^{ns}
Resíduo B	192	133,10	0,51	39033,09	3,70	0,56	0,96
Total	299	-	-	-	-	-	-
CV (A)		38,59	17,65	101,02	58,34	43,16	39,35
CV (B)		33,25	15,33	70,69	45,04	44,58	39,23

**, * e ^{ns} – significativo a 1% e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente. CV – coeficiente de variação em porcentagem.

Na análise dos valores absolutos verificou-se que algumas espécies apresentavam diferenças bem marcantes em termos de crescimento, de modo que para melhor visualização as mesmas foram divididas em dois gráficos, para cada variável. As espécies com maiores taxas de crescimento (sabiá, jurema branca, mulungu, jurema preta e tamboril) estão apresentadas nas figuras com subtítulo A, enquanto as espécies com menores taxas de crescimento (aroeira, ipê roxo, mororó, pau mocó, angico, catanduva e frei jorge) estão apresentadas nas figuras com subtítulo B.

Com exceção do mulungu (MUL), todas as espécies se ajustaram a uma equação de regressão com R^2 superior a 50% (Figura 5). Apenas as plantas de aroeira (ARO) e pau - mocó (PM) se ajustaram a um modelo polinomial cúbico, representando variações irregulares nos níveis de salinidade intermediários (CE 2,7; 4,7 e 6,7 dS m^{-1}). Comparando os solos com CE 1,2 e 8,4 dS m^{-1} observa-se que para a espécie angico (ANG) houve maior redução na altura (70%) enquanto a menor redução desta variável foi observada na espécie pau-mocó (PM) com decréscimo inferior a 1%.

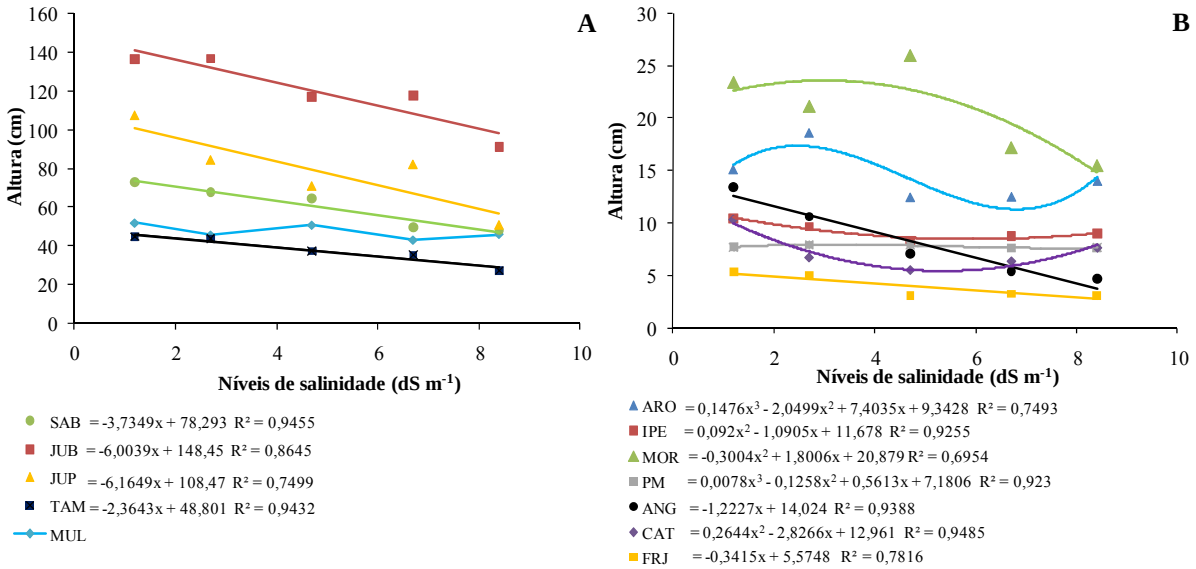

Figura 5 - (A e B) Altura de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas em ambiente protegido.

Na figura 6 observam-se respostas do diâmetro do caule das 12 espécies estudadas, destacando-se a espécie mulungu (MUL), que obteve maior diâmetro em todos os níveis de sal em relação às outras espécies estudadas. Observa-se que com exceção do frei jorge (FRJ) todas as espécies se ajustaram a uma equação de regressão com R^2 superior a 50%. Algumas espécies apresentaram variações irregulares nos níveis intermediários de salinidade ajustando-se a um modelo polinomial cúbico. As espécie pau-mocó (PM) aumentou em 5,06%, o diâmetro do caule no nível mais alto de salinidade (CE 8,4 dS m^{-1}) quando comparado ao menor nível (CE 1,2 dS m^{-1}). Para os mesmos níveis de salinidade todas as outras espécies apresentaram redução no diâmetro do caule, sendo a maior de 35,17% observada nas plantas de jurema preta (JUP).

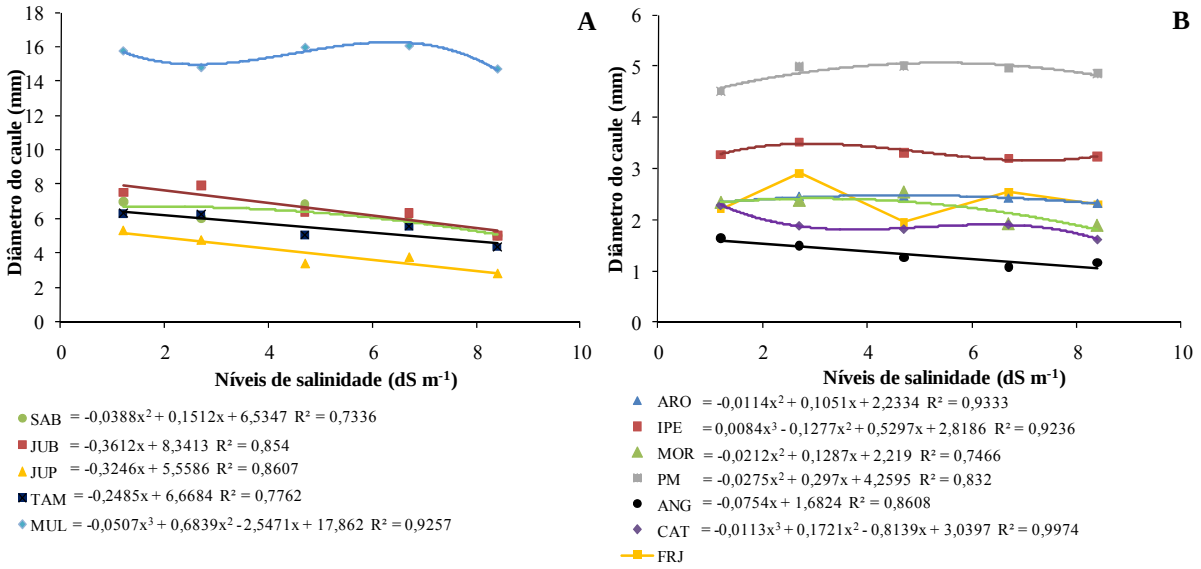

Figura 6 - (A e B) Diâmetro do caule de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas em ambiente protegido.

Na figura 7A todas as espécies se ajustaram a regressões lineares evidenciando um decréscimo na área foliar com o aumento da salinidade do solo. Estes resultados mostram uma resposta mais regular do que aquelas apresentadas na figura 7B que, além de ajuste linear das espécies angico (ANG), catanduva (CAT) e frei jorge (FRJ) também se ajustaram a regressões polinomiais quadráticas (mororó – MOR) e cúbicas (pau-mocó – PM). As espécies aroeira (ARO) e ipê roxo (IPE) não ajustaram-se a nenhuma equação de regressão com R^2 superior a 50%. Todas as espécies apresentaram perdas em área foliar, no entanto, foram mais acentuadas nas plantas de catanduva (CAT) chegando a 84,96% ao comparar-se os níveis de salinidade extremos (CE 1,2 e 8,4 dS m^{-1}), por outro lado, as menores perdas, da ordem de 10,68%, foram observadas nas plantas de ipê roxo (IPE).

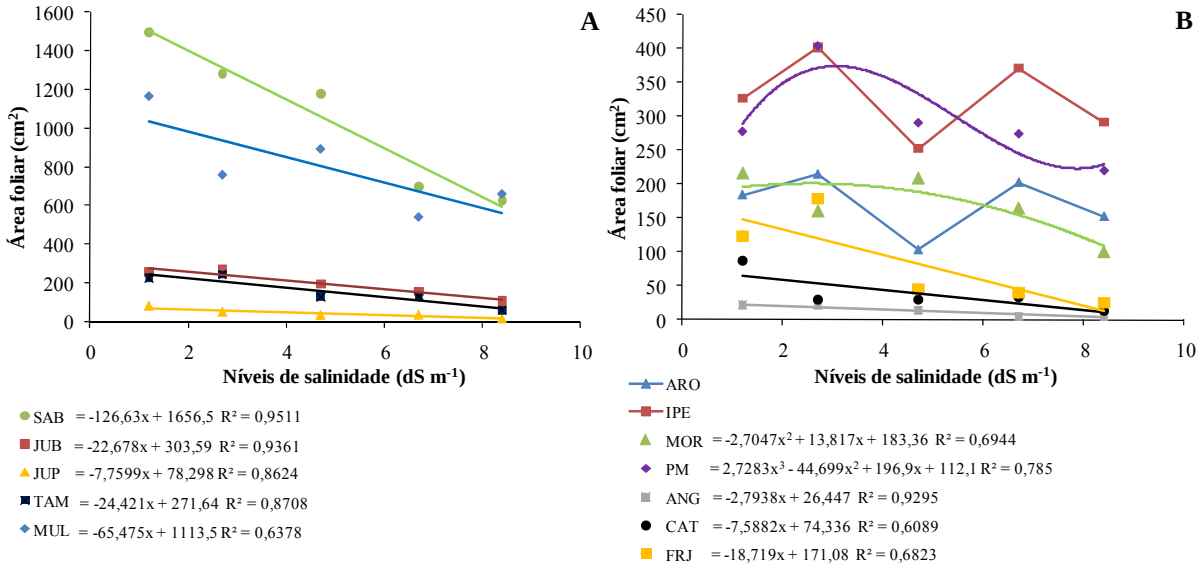

Figura 7 - (A e B) Área foliar de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas em ambiente protegido.

Resultados semelhantes em termos de altura de plantas foram verificados em mudas de *Cordia rothii* (RAMOLIYA; PANDEY, 2003), em mudas de *Delonix regia* (Hook.) Raf. (PATEL; BHENSDADIA; PANDEY, 2009) e porta-enxertos de maçã (YIN *et al*., 2010). Segundo Mass (1990), a redução no crescimento da planta é um dos efeitos mais evidentes do estresse salino, sendo decorrente dos componentes osmótico (causando déficit hídrico) e iônico (toxicidade e desbalanceamento nutricional) desencadeados pelo estresse. Estes efeitos podem operar a nível celular, bem como em níveis mais elevados de organização e influenciar todos os aspectos do metabolismo da planta (RAMOLIYA; PATEL; PANDEY, 2004). Em contraste com estes resultados Patel e Pandey (2007), em estudo conduzido em casa de vegetação com o objetivo de avaliar os efeitos da salinidade do solo sobre emergência de plântulas, prolina e acumulação mineral em mudas de uma espécie Leguminosa (*Cassia montana*), observaram que a altura de plantas, dentre outras variáveis de crescimento, foi estimulada pela salinidade, sugerindo tratar-se de uma espécie halófita, atribuindo esse crescimento ao ajustamento osmótico e ao aumento da área foliar.

O crescimento celular é provavelmente a resposta mais sensível das plantas ao estresse hídrico causado pela salinidade (SILVA *et al*., 2005). Segundo Moreira e Moreira (1996) o diâmetro do coleto é uma variável reconhecida como um dos melhores indicadores de qualidade de mudas, sendo sugerida por Daniel *et al.* (1997) como o mais indicado para determinar a capacidade de sobrevivência de mudas no campo. No presente trabalho os resultados de diâmetro do caule se assemelham aos obtidos por Ramoliya e Pandey (2003)

que relataram uma redução de componentes caulinares de *Cordia rothii* sob condições de salinidade. Marcar *et al*. (2002) também observaram que altura e diâmetro do caule em espécies de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill) diminuíram em resposta ao aumento da salinidade. Por outro lado, Holanda *et al*. (2007), observaram que o diâmetro das mudas de espécies arbóreas não apresentou diferença de médias entre os tratamentos não salinos, salino, salinos mais gesso e salino mais rejeito de mineração.

Corroborando com o presente estudo, a espécie *Cordia rothii* mostrou redução no crescimento da parte aérea e o desenvolvimento da área foliar com o aumento da concentração salina em estudo realizado por Ramoliya e Pandey (2003). Mehari, Ericsson e Weih (2005) trabalhando com espécies lenhosas amplamente distribuídas em ambientes secos da África e da Ásia observaram que as plantas perderam parte de suas folhas devido ao aumento da salinidade, porém, constataram que as epécies *Acacia nilotica* e *Acacia tortilis* são adequadas para o cultivo em ambientes salinizados. Patel, Bhensdadia e Pandey (2009), verificaram que uma relação negativa foi obtida entre a área foliar e concentração de sal em mudas da leguminosa *Delonix regia* (Hook.). Chen *et al*. (2002) avaliando o efeito da salinidade em três espécies do gênero *Populus* durante 30 dias, verificou que apenas a *P. euphratica* não teve a área foliar significativamente inibida pela salinidade.

A redução no crescimento vegetativo pela exposição à salinidade é uma característica das glicófitas e halófitas, porém as primeiras são afetadas mesmo a níveis relativamente baixos de salinidade (FLOWERS; TROKE; YEO, 1977; GREENWAY; MUNNS, 1980).

Dentre as doze espécies estudadas, as que apresentaram maiores valores de massa seca da parte aérea (MSPA) foram observadas na figura 8A, havendo, exceto para mulungu (MUL), ajuste a um modelo polinomial com R^2 superior a 50%. Já na figura 8B, somente as plantas de aroeira (ARO) e ipê-roxo (IPE) não se ajustaram a nenhuma curva de regressão com os mesmos valores de R^2, porém as outras espécies apresentaram ajustes polinomiais lineares, com exceção do pau-mocó que teve um ajuste quadrático. Por meio de comparação da produção de matéria seca da parte aérea em função dos níveis extremos de salinidade do solo (CE 1,2 e 8,4 dS m^{-1}), as plantas de jurema preta (JUP) apresentaram um decréscimo linear da ordem de 97,7%, destacando-se como a espécie com maior perda. Por outro lado, a espécie que mostrou ser menos influenciada pelo aumento da salinidade foi a aroeira (ARO), sendo a única que apresentou ganho em MSPA, da ordem de 3,4%.

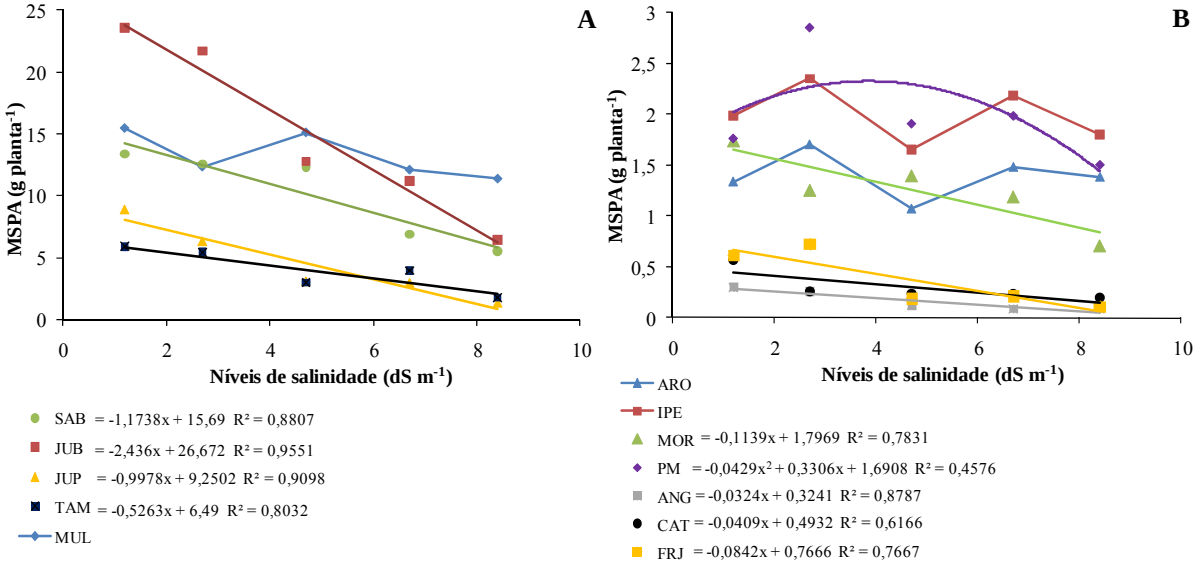

Figura 8 - (A e B) Massa seca da parte aérea (MSPA), de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas em ambiente protegido.

Quanto à massa seca das raízes, observou-se que as espécies apresentadas na figura 9A tiveram maior redução desta variável em relação às espécies apresentadas na figura 9B dentro do menor nível de salinidade do solo. Neste caso, todas as espécies se ajustaram a uma equação de regressão linear com R^2 superior a 50%. Comparando os níveis de salinidade extremos (CE 1,2 e 8,4 dS m^{-1}) todas as espécies apresentaram redução na massa seca das raízes, sendo jurema preta (JUP) e aroeira (ARO) as espécies que se destacaram pela maior e menor redução, respectivamente, com 97,72% e 39,4%.

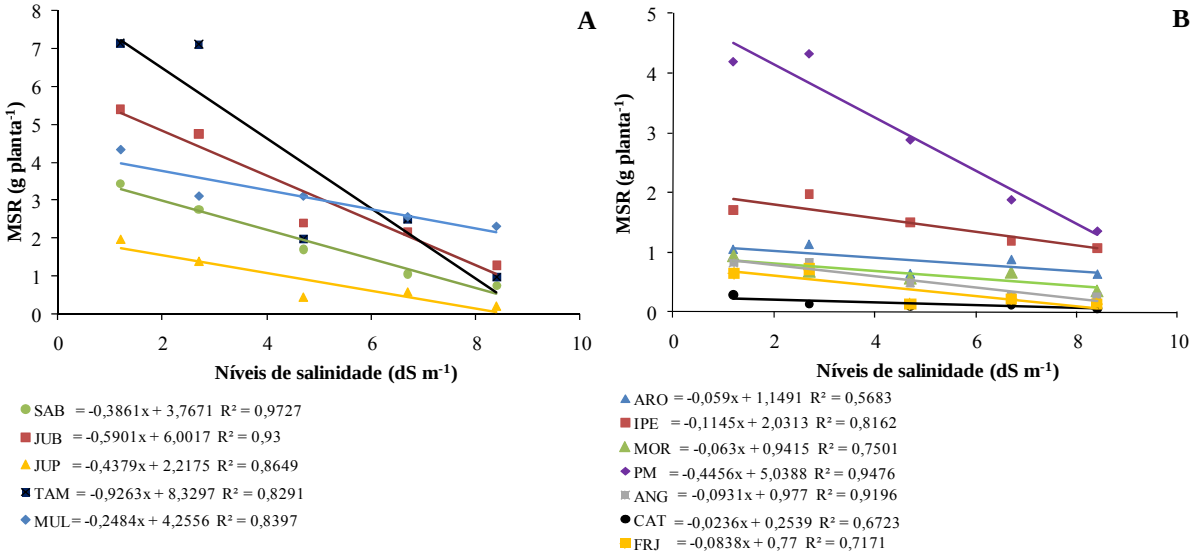

Figura 9 - (A e B) Massa seca da raiz (MSR) de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas em ambiente protegido.

A relação MSPA/MSR nas doze espécies de plantas (Figura 10) se ajustou a modelos de regressão com R² superior a 50%, com exceção da espécie jurema preta (JUP). O menor valor da relação MSPA/MSR entre as doze espécies e os cinco níveis de salinidade é 0,25 encontrado em angico (ANG) com uma CE de 4,7 dS m^{-1}, enquanto o maior é 7,48 encontrado em sabiá (SAB) com uma CE de 8,4 dS m^{-1}. Na figura 10B as plantas de angico (ANG) destacam-se por possuir menores valores dessa relação, mostrando um decréscimo de 3,43 % quando os níveis extremos de salinidade do solo são comparados; por outro lado, o aumento mais acentuado ocorre em sabiá (81,0%).

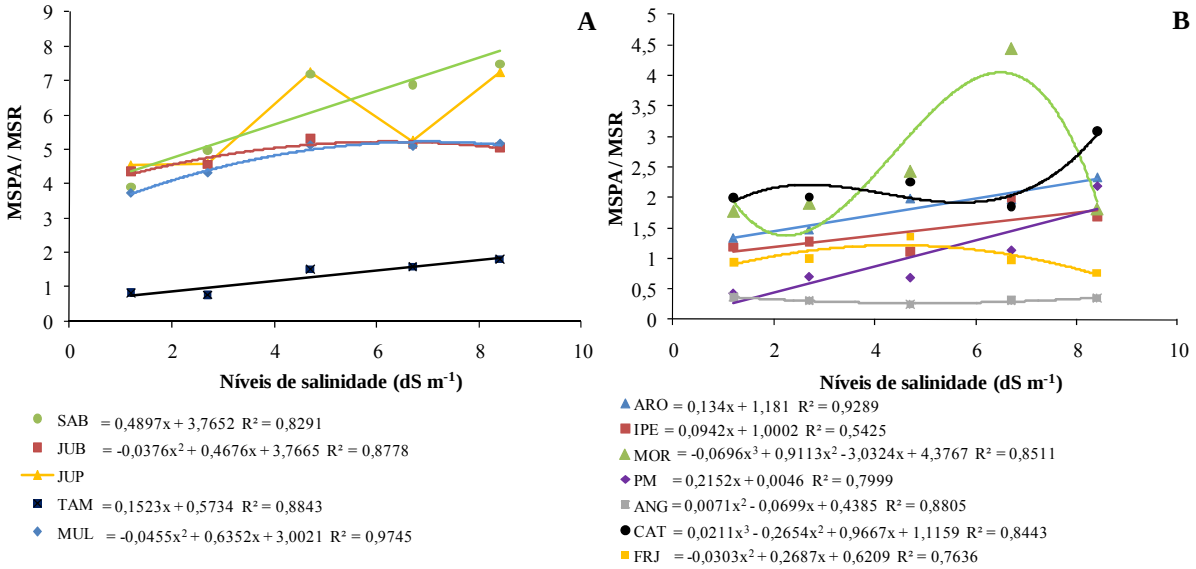

Figura 10 - (A e B) Relação massa seca de da parte aérea / massa seca da raiz de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas em ambiente protegido.

Semelhante ao presente trabalho Marcar *et al*. (2002) verificaram reduções de massa seca das folhas, massa seca de raízes e área foliar de mudas de *Eucalyptus grandis* (W. Hill), observando que o peso seco da parte aérea, com o tratamento salino, reduziu 49% em comparação com o tratamento controle, e a massa seca da raiz sofreu efeito significativo tanto da salinidade quanto da interação desta com alagamento do solo. Uma redução significativa na massa seca da parte aérea e massa seca de raízes de *Cordia rothii* também foi verificada por Ramoliya e Pandey (2003) em resposta a concentrações crescentes de sal no solo tanto sob condições de umidade quanto de seca. Resultados semelhantes, também podem ser obervados por Ramoliya, Patel e Pandey (2004) em *Salvadora persica* Linn. (Salvadoraceae). Silva *et al*. (2009) verificaram em plantas de *Mimosa caesalpiniifolia* Benth. aos 120 dias de aplicação dos tratamentos salinos, um decréscimo de 16,79% na massa seca da parte aérea para cada incremento de 1 dS m^{-1} na salinidade da água de irrigação. Patel, Bhensdadia e

Pandey (2009) realizando adição de sais no solo, observaram que houve redução significativa no peso seco de raízes em mudas de *Delonix regia* (Hook.) Raf. , em resposta à crescente concentração de sal. Sousa *et al*. (2012) verificaram redução da produção de massa seca de espécies vegetais nativas da Caatinga e explicaram essa redução pelos prováveis fatores de estresse osmótico e acúmulo excessivo de íons tóxicos nos tecidos da planta.

No presente estudo o sistema radicular das mudas de espécies nativas da Caatinga mostrou-se ser mais sensível do que a parte aérea. Resultado contrário foi observado por Silva *et al*. (2009) na espécie *Mimosa caesalpiniifolia* Benth. Estes autores ao compararem *os* tratamentos com maior e menor nível de sal aplicado, verificaram que a acumulação de massa seca da parte aérea foi mais afetada que a massa seca da raiz, mostrando que a salinidade afetou de forma diferenciada a partição de fotoassimilados. Isso pode ser explicado por Munns (2002), que afirma que apesar das raízes estarem diretamente expostas ao agente responsável pelo estresse, elas são menos vulneráveis aos sais do que a parte aérea. Por outro lado, Patel, Bhensdadia e Pandey (2009) verificaram que a razão massa seca da raiz/parte aérea não foi alterada com aumento da salinidade do solo, concluindo que a espécie arbórea *Delonix regia* (Hook.) Raf. é uma planta moderadamente tolerante ao sal (glicófita).

4.2 Tolerância das espécies à salinidade

Na tabela 5 pode-se observar a redução da área foliar das espécies nativas submetidas a níveis crescentes de salinidade no solo, em relação ao menor nível de salinidade (CE_1= 1,2 dS m^{-1}). Verifica-se que para a CE_2 2,7 dS m^{-1} todas as espécies estudadas apresentaram- se tolerantes (T), e para CE_3 (4,7 dS m^{-1}) as espécies angico (ANG), catanduva (CAT) e frei jorge (FRJ) já apresentam moderada sensibilidade (MS) enquanto as outras são tolerantes ou moderadamente tolerantes. Para CE_4 (6,7 dS m^{-1}) as espécies de angico (ANG), catanduva (CAT), frei jorge (FRJ) e jurema preta (JUP) já apresentam sensibilidade à salinidade reduzindo sua área foliar em 66,54; 63,98; 69,27 e 61,87%, respectivamente. No maior nível de salinidade (CE_5=8,4 dS m^{-1}) observa-se que as plantas de aroeira (ARO) e ipê-roxo (IPE) apresentaram maior tolerância à salinidade quando avaliada sua área foliar, reduzida em 15,97 e 11,58%, respectivamente. Ainda mostraram-se moderadamente tolerantes as plantas de pau-mocó (PM), com redução na área foliar da ordem de 32,51%.

Tabela 5 - Redução percentual da área foliar em mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

			Redução em relação ao controle (%)			
Espécies	Equações	R^2	CE_2	CE_3	CE_4	CE_5
ARO	y = -4,1167x + 190,55	0,07	$3,33^{T}$	$7,76^{T}$	$12,20^{T}$	$15,97^{T}$
IPE	y = -5,6073x + 355,23	0,075	$2,41^{T}$	$5,63^{T}$	$8,85^{T}$	$11,58^{T}$
MOR	$y=2,7047x^2+13,817x+183,36$	0,6944	$-2,50^{T}$	$3,82^{T}$	$21,18^{MT}$	$44,62^{MS}$
MUL	y = -65,475x + 1113,5	0,6378	$9,49^{T}$	$22,14^{MT}$	$34,80^{MT}$	$45,55^{MS}$
PM	y = -14,383x + 360,97	0,5835	$-7,90^{T}$	$-6,42^{T}$	$8,79^{T}$	$32,51^{MT}$
SAB	y = -126,63x + 1656,5	0,9511	$12,62^{T}$	$29,46^{MT}$	$46,29^{MS}$	$60,60^{S}$
ANG	y = -2,7938x + 26,447	0,9295	$18,15^{T}$	$42,34^{MS}$	$66,54^{S}$	$87,10^{S}$
CAT	y = -7,5882x + 74,336	0,6089	$17,45^{T}$	$40,72^{MS}$	$63,98^{S}$	$83,76^{S}$
FRJ	y = -18,719x + 171,08	0,6823	$18,89^{T}$	$44,08^{MS}$	$69,27^{S}$	$90,69^{S}$
JUB	y = -22,678x + 303,59	0,9361	$12,31^{T}$	$28,72^{MT}$	$45,13^{MS}$	$59,08^{MS}$
JUP	y = -7,7599x + 78,298	0,8624	$16,87^{T}$	$39,37^{MT}$	$61,87^{S}$	$80,99^{S}$
TAM	y= -24,421x + 271,64	0,8708	$15,12^{T}$	$35,27^{MT}$	$55,43^{MS}$	$72,56^{S}$

^{T}, ^{MT}, ^{MS} e ^{S} – Tolerante, moderadamente tolerante, moderadamente sensível e sensível, respectivamente.

A tabela 6 apresenta a redução da massa seca da parte aérea (MSPA) das espécies nativas submetidas a níveis crescentes de salinidade no solo em relação ao menor nível de salinidade (CE_1), onde a classificação de tolerância é feita de acordo com a tabela 3 proposta por Fageria, Soares Filho e Gheyi (2010). Percebe-se que, para a CE_2 = 2,7 dS m^{-1} todas as espécies estudadas apresentaram-se tolerantes (T), e para CE_3 = 4,7 dS m^{-1} apenas as espécies aroeira (ARO), ipê-roxo (IPE), mulungu (MUL) e pau-mocó (PM) ainda apresentam-se tolerantes com uma redução máxima de 12,24% na MSPA de mulungu (MUL). Com a CE_4 (6,7 dS m^{-1}) as menores reduções, da ordem de 4,03; 8,29; 17,84 e 2,26%, classificam ainda como tolerantes (T) as espécies de aroeira (ARO) e ipê-roxo (IPE) e mulungu (MUL), e pau-mocó (PM), respectivamente, e as espécies angico (ANG), frei Jorge (FRJ) e jurema preta (JUP) mostram alta sensibilidade (S), com perdas na MSPA de 62,48; 69,58 e 68,15%, respectivamente. Já com a CE_5 (8,4 dS m^{-1}) as espécies mais tolerantes foram aroeira (ARO) e ipê-roxo (IPE) com reduções de 5,28 e 10,86%, respectivamente, seguidas das moderadamente tolerantes mulungu (MUL) e pau-mocó (PM) com suas respectivas porcentagens de perda de 22,61 e 26,62%.

Tabela 6 - Redução percentual da massa seca da parte aérea de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Espécies	Equações	R^2	Redução em relação ao controle (%)			
			CE_2	CE_3	CE_4	CE_5
ARO	y = -0,0105x + 1,4448	0,0188	$1,10^{T}$	$2,57^{T}$	$4,03^{T}$	$5,28^{T}$
IPE	y = -0,0318x + 2,1467	0,1126	$2,26^{T}$	$5,28^{T}$	$8,29^{T}$	$10,86^{T}$
MOR	y= -0,1139x + 1,7969	0,7831	$10,29^{T}$	$24,01^{MT}$	$37,73^{MT}$	$49,40^{MS}$
MUL	y= -0,427x + 15,604	0,4652	$6,64^{T}$	$12,24^{T}$	$17,84^{T}$	$22,61^{MT}$
PM	$y= -0,0429x^2 + 0,3306x +1,6908$	0,4576	$-12,09^{T}$	$-13,39^{T}$	$2,26^{T}$	$28,87^{MT}$
SAB	y = -1,1738x + 15,69	0,8807	$12,33^{T}$	$28,77^{MT}$	$45,20^{MS}$	$59,18^{MS}$
ANG	y= -0,0324x + 0,3241	0,8787	$17,04^{T}$	$39,76^{MT}$	$62,48^{S}$	$81,79^{S}$
CAT	y = -0,0409x + 0,4932	0,6166	$13,81^{T}$	$32,23^{MT}$	$50,65^{MS}$	$66,31^{S}$
FRJ	y= -0,0842x + 0,7666	0,7667	$18,98^{T}$	$44,28^{MS}$	$69,58^{S}$	$91,09^{S}$
JUB	y= -2,436x + 26,672	0,9551	$15,39^{T}$	$35,90^{MT}$	$56,42^{MS}$	$73,85^{S}$
JUP	y = -0,9978x + 9,2502	0,9098	$18,59^{T}$	$43,37^{MS}$	$68,15^{S}$	$89,21^{S}$
TAM	y = -0,5263x + 6,49	0,8032	$13,48^{T}$	$31,44^{MT}$	$49,41^{MS}$	$64,68^{S}$

^{T}, ^{MT}, ^{MS} e ^{S} – Tolerante, moderadamente tolerante, moderadamente sensível e sensível, respectivamente.

Na Tabela 7 pode-se observar a redução da matéria seca das raízes das espécies nativas submetidas a níveis crescentes de salinidade no solo em relação ao menor nível de salinidade (CE_1). Percebe-se que para a CE_2 = 2,7 dS m^{-1} todas as espécie responderam de forma tolerante (T) com exceção da espécie jurema preta (JUP) sendo classificada como moderadamente tolerante (MT). Para CE_3 (4,7 dS m^{-1}) apenas a espécie aroeira mostra ainda tolerância (T). Para CE_4 (6,7 dS m^{-1}) observa-se que as espécies aroeira (ARO), ipê-roxo (IPE), e mulungu (MUL) apresentam ainda moderada tolerância, com o aumento da salinidade (CE_5 = 8,4 dS m^{-1}), a maioria das espécies é classificada como sensível.

Tabela 7 - Redução percentual da massa seca das raízes de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Espécies	Equações	R^2	Redução em relação ao controle (%)			
			CE_2	CE_3	CE_4	CE_5
ARO	y = -0,059x + 1,1491	0,5683	$8,21^{T}$	$19,15^{T}$	$30,09^{MT}$	$39,40^{MS}$
IPE	y = -0,1145x + 2,0313	0,8162	$9,07^{T}$	$21,16^{MT}$	$33,25^{MT}$	$43,53^{MS}$
MOR	y= -0,063x + 0,9415	0,7501	$10,91^{T}$	$25,46^{MT}$	$40,02^{MS}$	$52,38^{MS}$
MUL	y= -0,2484x + 4,2556	0,8397	$9,41^{T}$	$21,97^{MT}$	$34,52^{MT}$	$45,19^{MS}$
PM	y= -0,4456x + 5,0388	0,9476	$14,84^{T}$	$34,63^{MT}$	$54,41^{MS}$	$71,23^{S}$
SAB	y= -0,3861x + 3,7671	0,9727	$17,53^{T}$	$40,90^{MS}$	$64,28^{S}$	$84,14^{S}$
ANG	y= -0,0931x + 0,977	0,9196	$16,14^{T}$	$37,66^{MT}$	$59,18^{MS}$	$77,47^{S}$
CAT	y= -0,0236x + 0,2539	0,6723	$15,69^{T}$	$36,62^{MT}$	$57,54^{MS}$	$75,33^{S}$
FRJ	y= -0,0838x + 0,77	0,7171	$18,78^{T}$	$43,81^{MS}$	$68,85^{S}$	$90,13^{S}$
JUB	y= -0,5901x + 6,0017	0,93	$16,72^{T}$	$39,02^{MT}$	$61,31^{S}$	$80,26^{S}$
JUP	y= -0,4379x + 2,2175	0,8531	$20,36^{MT}$	$47,50^{MS}$	$74,65^{S}$	$97,72^{S}$
TAM	y= -0,9263x + 8,3297	0,8291	$19,25^{T}$	$44,92^{MS}$	$70,58^{S}$	$92,40^{S}$

^{T}, ^{MT}, ^{MS} e ^{S} – Tolerante, moderadamente tolerante, moderadamente sensível e sensível, respectivamente.

Pode-se observar na tabela 8, a redução percentual da massa seca total de mudas de doze espécies de plantas nativas submetidas a níveis crescentes de salinidade no solo em relação ao menor nível de salinidade (CE_1). Verifica-se que para a CE_2 = 2,7 dS m^{-1}, as dozes espécies em estudo apresentaram resposta semelhante às variáveis estudadas anteriormente, ou seja, responderam de forma tolerante (T) a este nível de salinidade, destacando-se com um menor percentual de redução, aroeira (ARO), ipê roxo (IPE) e mulungu (MUL), tanto para esta variável em estudo como para as anteriores. Para o nível de salinidade CE_3 (4,7 dS m^{-1}), percebe-se que apenas o frei forge (FRJ) e a jurema jreta (JUP) apresentaram-se moderadamente sensíveis (MS), com reduções percentuais de 44,35 e 43,91% dos valores de massa seca total. Com relação à salinidade CE_4, verifica-se que algumas espécies já se apresentam moderadamente sensíveis (MS), tais como: pau-mocó (PM), sabiá (SAB), angico (ANG), catanduva (CAT) e jurema branca (JUB); e outras sensíveis (S): frei jorge (FRJ), jurema preta (JUP) e tamboril (TAM), estas últimas com reduções de 69,69; 69,0 e 61,13%, respectivamente. Para o último nível de salinidade analisado, observa-se que apenas a aroeira (ARO) mostrou-se tolerante (T), com reduções de massa seca total de 19,99%, sendo a

maioria das espécies, sabiá (SAB), angico (ANG), catanduva (CAT), frei jorge (FRJ), jurema branca (JUB), jurema preta (JUP) e tamboril (TAM), classificadas como sensíveis (S), com reduções percentuais que variam de 63,36 a 91,23%.

Tabela 8 - Redução percentual da massa seca total de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Espécies	Equações	R2	Redução em relação ao controle (%)			
			CE_2	CE_3	CE_4	CE_5
ARO	y = -0,0696x + 2,5907	0,242	4,16 ^{T}	9,72 ^{T}	15,27 ^{T}	19,99 ^{T}
IPE	y= -0,1462x + 4,1706	0,6065	5,49 ^{T}	12,81 ^{T}	20,13 ^{MT}	26,35 ^{MT}
MOR	y= -0,1707x + 2,6987	0,776	10,74 ^{T}	24,36 ^{MT}	37,98 ^{MT}	49,55 ^{MS}
MUL	y= -0,6664x + 19,803	0,6005	5,26 ^{T}	12,27 ^{T}	19,29 ^{T}	25,25 ^{MT}
PM	y=-0,5261x + 7,3918	0,846	11,67 ^{T}	27,24 ^{MT}	42,80 ^{MS}	56,03 ^{MS}
SAB	y=-1,5303x + 19,226	0,937	13,20 ^{T}	30,80 ^{MT}	48,40 ^{MS}	63,36 ^{S}
ANG	y= -0,1241x + 1,2874	0,9355	16,35 ^{T}	38,15 ^{MT}	59,95 ^{MS}	78,48 ^{S}
CAT	y = -0,0616x + 0,7302	0,6097	14,08 ^{T}	32,85 ^{MT}	51,62 ^{MS}	67,58 ^{S}
FRJ	y= -0,1678x + 1,5256	0,7706	19,01 ^{T}	44,35 ^{MS}	69,69 ^{S}	91,23 ^{S}
JUB	y= -2,984x + 32,295	0,9606	15,59 ^{T}	36,37 ^{MT}	57,16 ^{MS}	74,82 ^{S}
JUP	y = -1,208x + 11,078	0,8954	18,82 ^{T}	43,91 ^{MS}	69,00 ^{S}	90,33 ^{S}
TAM	y= -1,4383x + 14,666	0,8525	16,67 ^{T}	38,90 ^{MT}	61,13 ^{S}	80,03 ^{S}

^{T}, ^{MT}, ^{MS} e ^{S} – Tolerante, moderadamente tolerante, moderadamente sensível e sensível, respectivamente.

De acordo com Bai *et al*. (2008) pelo fato das plantas diferirem no seu crescimento, mecanismos de resistência e morfologia, esses parâmetros são mais objetivos do que os parâmetros fisiológicos e bioquímicos, para avaliar a tolerância. No presente estudo, as pronunciadas reduções em matéria seca dos tecidos das plantas corroboram com os resultados obtidos por Silva *et al*. (2009) que trabalharam com plantas da espécie sabiá (*Mimosa caesalpiniifolia* Benth.) e observaram que o estresse salino inibiu significativamente a produção de massa seca das raízes (MSR) e da massa seca da parte aérea (MSPA), particularmente no maior nível de salinidade da água de irrigação (T6= 6 dS m^{-1}). Holanda *et al*. (2007) considerando o crescimento relativo das espécies angico, aroeira, cumaru, gliricídia, nim e turco nos diferentes tratamentos de correção da salinidade do solo, observam que, tomando como referência o crescimento sob condições não salinas, as espécies, angico,

aroeira, cumaru e gliricídia não cresceram em solos salinizados sem tratamentos, indicando que essas espécies apresentam alta sensibilidade às condições salinas. É importante destacar que estes autores trabalharam com nível de salinidade bem superior aos do presente estudo. Sousa *et al*. (2012) também verificaram que a produção de matéria seca total (MST) de todas as espécies vegetais estudadas (*Anadenanthera macrocarpa* (Vell.) Brenan – angico; *Myracrodruon urundeuva* –aroeira; *Caesalpinia pyramidalis* Tul. – catingueira; *Caesalpinia ferrea* - pau-ferro) correlacionou-se negativamente com o excesso de sais.

Patel, Bhensdadia e Pandey (2009) observaram que o crescimento de *Delonix regia* (Hook.) Raf. não diminuiu em condições naturais e essas plantas foram tolerantes ao sal. No entanto, a tolerância moderada para a salinidade (6,0 dS m^{-1}) e redução no crescimento das folhas, caules e raízes, sugerem que esta espécie de árvore pode ser agrupada como exclusora de sal. Estes mesmo autores afirmam que a princípio, a tolerância ao sal pode ser conseguida por exclusão ou de inclusão de sal. As plantas exclusoras de sal apresentam conteúdo de água que reduz o déficit de crescimento da planta. A adaptação por exclusão requer mecanismos de prevenção contra um déficit interno de água . Já a adaptação por inclusão de sal exige a tolerância do tecido a elevadas concentrações de Na^+ e Cl^-. Greenway e Munns (1980) relataram que, em glicófitas a exclusão do sal é o mecanismo predominante de prevenção aos efeitos do mesmo. Segundo Hasewaga *et al*. (2000) Em algumas espécies de plantas, a tolerância ao sal é associada com a acumulação de solutos orgânicos no citoplasma para equilibrar a pressão osmótica de íons nos vacúolos.

4.3 Trocas gasosas

Analisando-se os efeitos dos fatores isolados apresentados na tabela 9, verifica-se que somente a relação Fv/Fm não sofreu influência de nenhum dos fatores, enquanto as demais sofreram influências significativas do fator A (espécies) e do fator B (salinidade) aos níveis de 1 e 5% pelo teste F. Quanto à interação apenas a variável índice relativo de clorofila (IRC) apresentou diferença significativa a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância para os valores de condutância estomática (g_s), transpiração (E), fotossíntese (*A*), índice relativo de clorofila (IRC), relação Fv/Fm, relação A/gs e relação A/E em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios						
		g_s	*E*	*A*	A/g_s	A/E	IRC	Fv/Fm
Bloco	4	$0,02^{ns}$	$6,71^{ns}$	$15,19^{ns}$	$351,49^{ns}$	$1,65^{ns}$	$11,09^{ns}$	$0,00^{ns}$
Espécies (A)	5	0,40**	17,81**	98,55**	3020,22**	0.81*	93,54**	$0,010^{ns}$
Resíduo (A)	20	0,01	0,48	5,07	98,24	0.26	11,65	0,006
Salinidade (B)	4	0,09**	3,77**	46,42 **	436,89**	0.23*	99,46**	$0,005^{ns}$
Int. A x B	20	$0,01^{ns}$	$0,46^{ns}$	$5,98^{ns}$	$84,71^{ns}$	0.17^{ns}	35,47**	$0,004^{ns}$
Resíduo B	96	0,01	0,35	4,34	79,39	0.150	11,67	0,004
Total	149	-	-	-	-	-	-	-
CV (A)	-	38,99	21,89	25,24	23,02	17.87	11,06	9,68
CV (B)	-	39,97	18,63	23,34	20,69	13.61	11,07	7,99

**, * e ^{ns} – significativo a 1% e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente. CV – coeficiente de variação em percentagem.

Na figura 11A observam-se os efeitos isolados das espécies na condutância estomática (gs) de seis espécies nativas estudadas neste experimento (aroeira - ARO, ipê roxo - IPE, mororó - MOR, mulungu - MUL, pau mocó - PM e sabiá - SAB). Verifica-se que a espécies mororó (MOR) e sabiá (SAB) não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância apresentando os maiores valores de gs, 0,436 e 0,371 mol m^{-2} s^{-1}, respectivamente. Os menores valores foram observados nas espécies aroeira (ARO) e ipê roxo (IPE) onde a condutância estomática apresentou-se com 0,131 e 0,133 mol m^{-2} s^{-1}. Por outro lado, verifica-se que a salinidade, independente da espécie estudada, provocou redução linear na condutância estomática, com redução de 0,0192 mol m^{-2} s^{-1} para cada aumento unitário da condutividade elétrica do solo (Figura 11B).

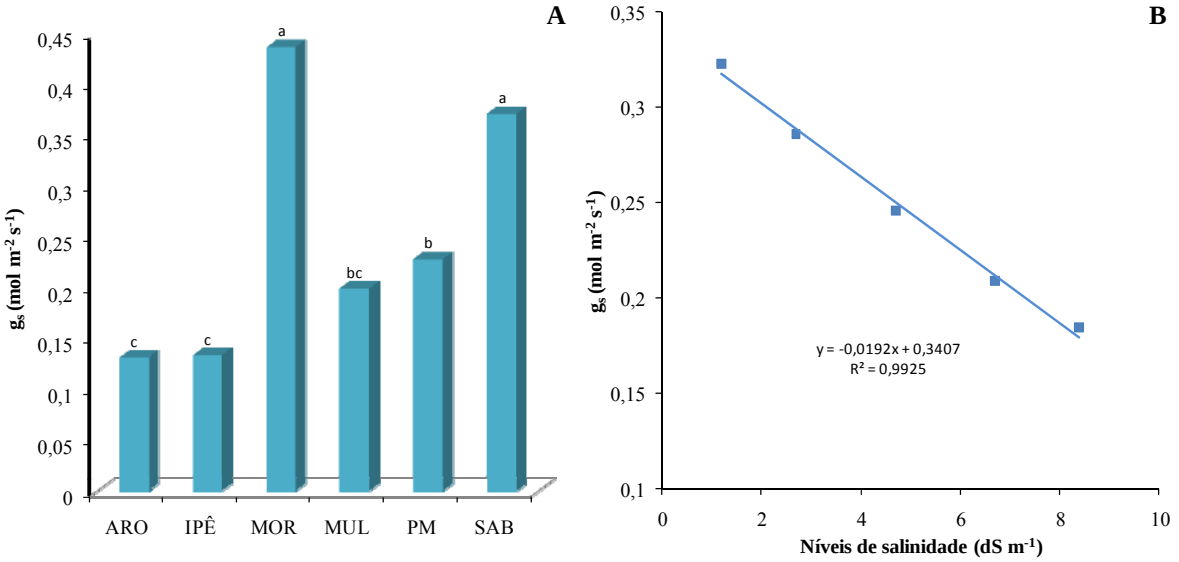

Figura 11 - Condutância estomática (g_s) em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga (A) e em função dos níveis de salinidade (B), aos 90 dias após a repicagem, cultivadas em ambiente protegido.

Na figura 12A observam-se os dados médios das taxas de transpiração das seis espécies nativas. Verifica-se que a espécies mororó (MOR) e mulungu (MUL) não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância apresentando os maiores valores de E, 4,374 e 3,877 mmol m^{-2} s^{-1}, respectivamente, seguidas das espécies pau mocó (PM) e sabiá (SAB) e, por fim, as espécies aroeira (ARO) e ipê roxo (IPE) que apresentaram os menores valores observados na transpiração, 2,188 e 2,364 mmol m^{-2} s^{-1}, respectivamente. A salinidade, por sua vez, provocou redução linear na transpiração, independente da espécie estudada, com redução de 0,1208 mmol m^{-2} s^{-1} para cada aumento unitário da condutividade elétrica do solo (Figura 12B).

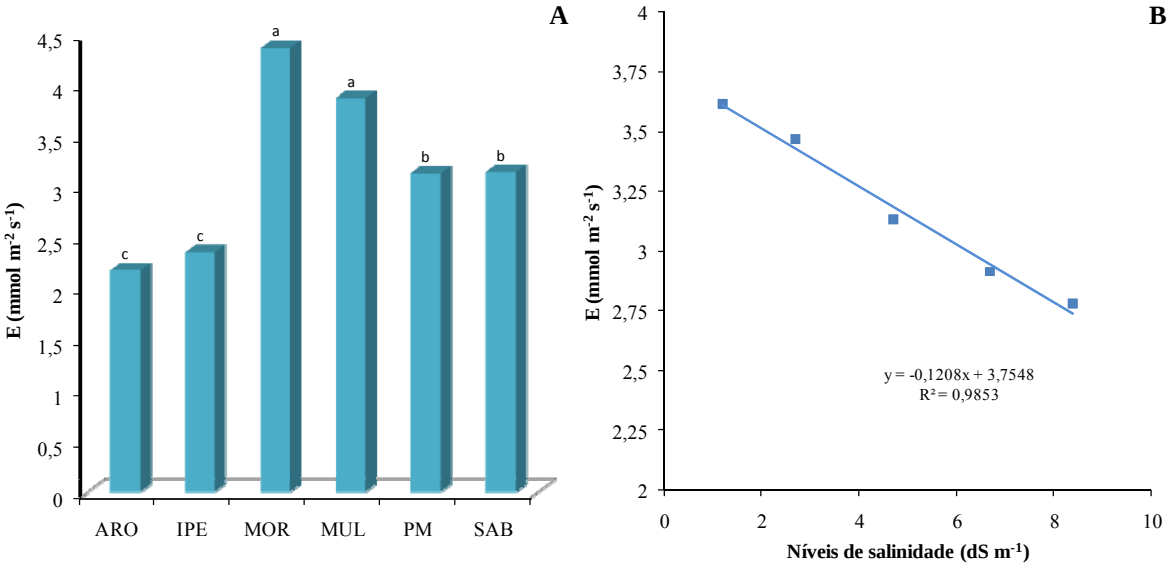

Figura 12 - Transpiração líquida (E) em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga (A) e em função dos níveis de salinidade (B), aos 90 dias após a repicagem, cultivadas em ambiente protegido.

Na figura 13A observam-se os dados médios das taxas de fotossíntese líquida das seis espécies nativas. Verifica-se que as espécies mororó (MOR), mulungu (MUL), pau-mocó (PM) e sabiá (SAB) não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância apresentando valores de A de 11,056; 10,897; 9,278 e 9,150 µmol m^{-2} s^{-1}, respectivamente. Os menores valores foram observados nas espécies aroeira (ARO) e ipê-roxo (IPE) onde a fotossíntese apresentou-se com 6,331 e 6,831 µmol m^{-2} s^{-1}, respectivamente. Na figura 13B observa-se que a salinidade provocou redução linear na taxa de fotossíntese líquida, independente da espécie estudada, com redução de 0,4242 µmol m^{-2} s^{-1} para cada aumento unitário da condutividade elétrica do solo.

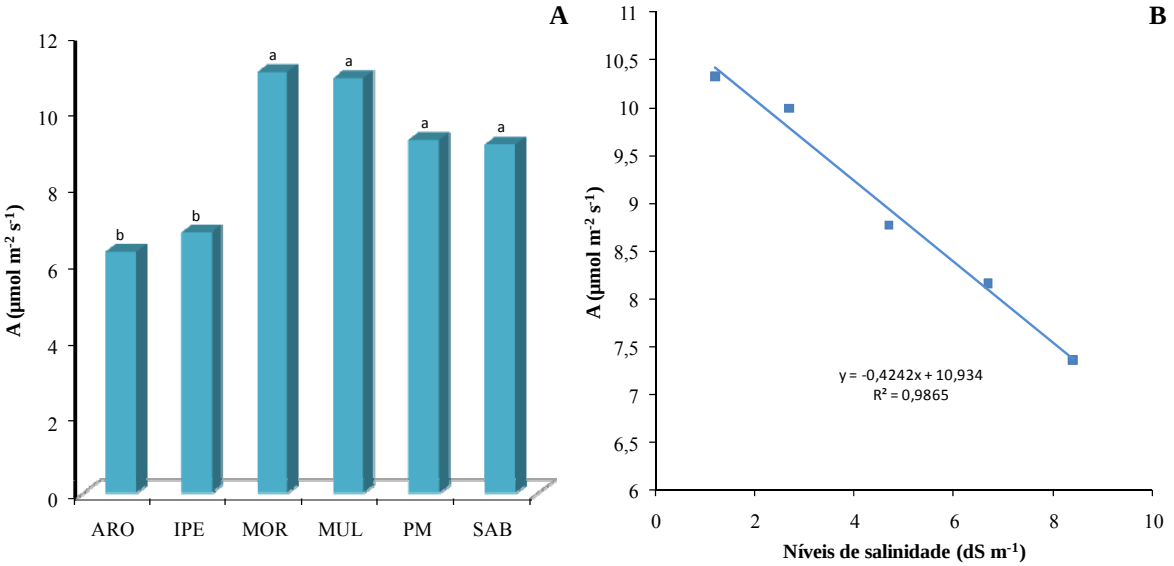

Figura 13 - Fotossíntese líquida (*A*) em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga (A) e em função dos níveis de salinidade (B), aos 90 dias após a repicagem, cultivadas sob condições controladas.

Na figura 14A observam-se os efeitos isolados das espécies sobre a eficiência intrínseca no uso da água (A/gs) de seis espécies nativas estudadas neste experimento. Observa-se que as espécies aroeira (ARO), ipê roxo (IPE) e mulungu (MUL) apresentaram os maiores valores de A/gs, seguidas do pau mocó (PM) e sabiá (SAB). Por outro lado, verifica-se que a salinidade, independente da espécie estudada, provocou aumento linear na relação A/gs (Figura 14B).

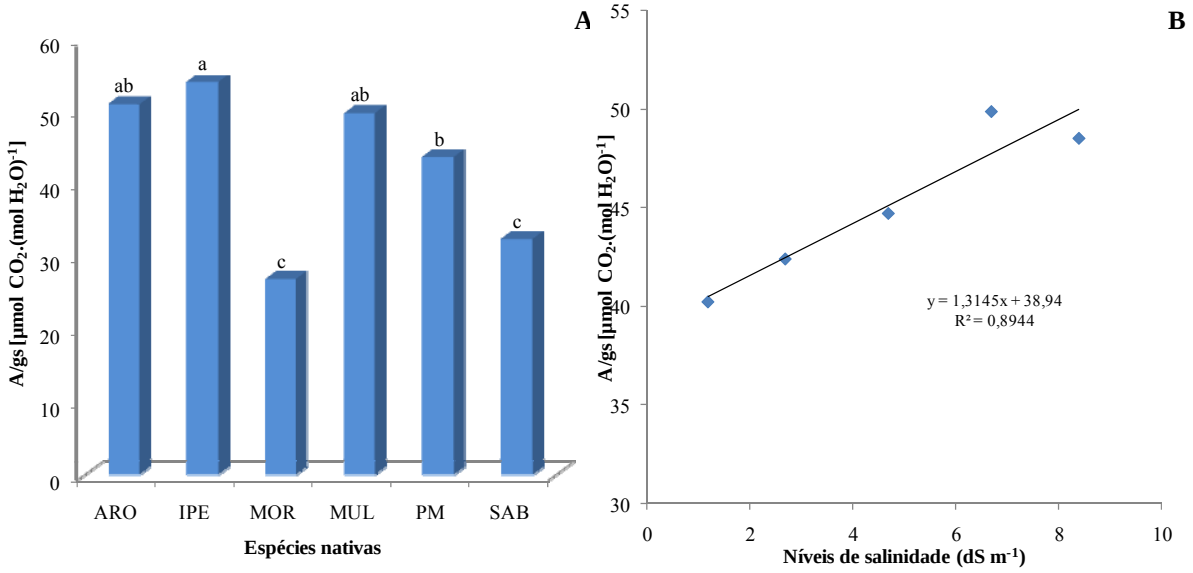

Figura 14 – Eficiência intrínseca no uso da água (A/gs), em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga (A) e em função dos níveis de salinidade (B), aos 90 dias após a repicagem, cultivadas sob condições controladas.

Na figura 15A observam-se os efeitos isolados das espécies sobre a eficiência momentânea no uso da água (A/E) de seis espécies nativas estudadas neste experimento. Observa-se que as espécies aroeira (ARO), ipê roxo (IPE), mulungu (MUL), pau mocó (PM) e sabiá (SAB) não diferiram entre si e apresentaram os maiores valores de A/E, com a espécie mororó apresentando o menor valor. Por outro lado, verifica-se que a salinidade, independente da espécie estudada, provocou redução linear na relação A/E (Figura 15B).

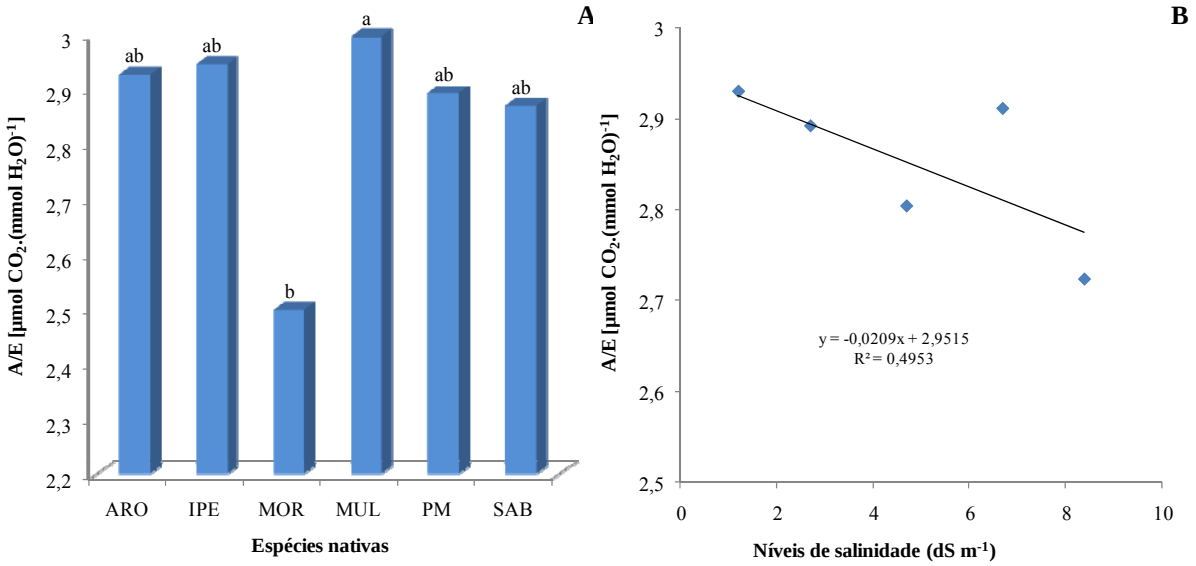

Figura 15– Relação entre fotossíntese líquida (*A*) e transpiração (*E*) em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga (A) e em função dos níveis de salinidade (B), aos 90 dias após a repicagem, cultivadas sob condições controladas.

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 (NEUMANN, 1997; ROBINSON *et al*, 1997). No entanto, Parida e Das (2005) 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.

Ramoliya e Pandey (2003), comparando o menor e o maior nível de salinidade do solo, no qual as sementes de *Cordia rothii* germinaram e as mudas se desenvolveram (4,8 e 10,6 dS m^{-1}, respectivamente), verificaram que as plantas não apresentaram diferenças em atributos fisiológicos medidos, observando baixos valores para a área foliar específica, número de estômatos, abertura estomática e transpiração, enquanto o conteúdo relativo de água nas folhas foi elevado. Já em estudos conduzidos por Stiller (2009) utilizando a espécie

Taxodium distichum (L.) Rich., os resultados apresentaram redução de 50% nas taxas de trocas gasosas de plantas submetidas à salinidade, devido ao fechamento dos estômatos.

Conforme Yin *et al.* (2010) os processos fisiológicos e bioquímicos em plantas devem adaptar-se as diferentes condições de crescimento, que são refletidas pelas mudanças nas suas características morfológicas. A salinidade do solo afeta tais processos, incluindo o funcionamento da membrana, a fotossíntese, e atividade estomática (KARABAL; YUCEL; OKTEM, 2003). O grau de estabilidade em membrana celular está correlacionado com a tolerância a estresses abióticos.

Stiller (2009) verificou que o estresse salino moderado não afetou a bioquímica da fotossíntese das folhas de *Taxodium distichum* (L.) Rich., mas reduziu bastante a transpiração devido ao fechamento dos estômatos. Para Taiz e Zeiger (2010), com a salinidade o potencial hídrico do solo apresenta valores cada vez mais negativos, acarretando um retardamento na expansão celular, onde a redução no crescimento da folha é o primeiro sintoma aparente, seguido pelo fechamento dos estômatos como um mecanismo de aclimatação ao estresse salino, reduzindo a quantidade de água transpirada e a conseqüente restrição na assimilação de CO_2.

Meloni, Gulotta e Martínez (2008) relataram que o aumento na salinidade diminuiu a taxa de fotossíntese líquida em plantas da espécie *Schinopsis quebracho-colorado* de 5,6 para 0,5 mmol CO_2 m^{-2} s^{-1} na maior concentração de NaCl adicionado em comparação do controle. Após quatro semanas a fotossíntese líquida das folhas em todos os tratamentos foi grandemente reduzida em resposta à salinidade comparada com o controle. Santos *et al.* (2012) atribuíram o as maiores reduções nas taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração de *Jatropha curcas* L. às condições desfavoráveis de disponibilidade de água no solo, em função do efeito osmótico dos sais.

A inexistência de interação entre os fatores analisados em relação às trocas gasosas indica que essas variáveis não explicam os diferentes graus de tolerância das seis espécies avaliadas, conforme resultados apresentados no tópico 4.3. No entanto, se observa um maior controle estomático e maior eficiência intrínseca no uso da água nas espécies que apresentaram maiores graus de tolerância à salinidade, ou seja, aroeira, ipê roxo e mulungu.

A figura 16 apresenta as concentrações de clorofila nas folhas. Com exceção da espécie ipê-roxo (IPE) todas as espécies se ajustaram a modelos de regressão com R^2 superior a 50%. Verifica-se uma tendência ao decréscimo quando se compara os níveis extremos de salinidade do solo (CE 1,2 e 8,4 dS m^{-1}), mesmo havendo resposta diferente nos níveis intermediários (CE 2,7; 4,7 e 6,7 dS m^{-1}). A espécie pau-mocó (PM) destaca-se como a única

que registrou acréscimo nos teores de clorofila no maior nível de salinidade, da ordem de 14,3%. Nas espécies aroeira (ARO) e ipê roxo (IPE), consideradas, respectivamente, como tolerante e moderadamente tolerante nos maiores níveis de salinidade, verificam-se, também, pequenas variações nos teores de clorofila. Por outro lado, o aumento da salinidade resultou em perdas de 29,5% de clorofila para a espécie mulungu (MUL).

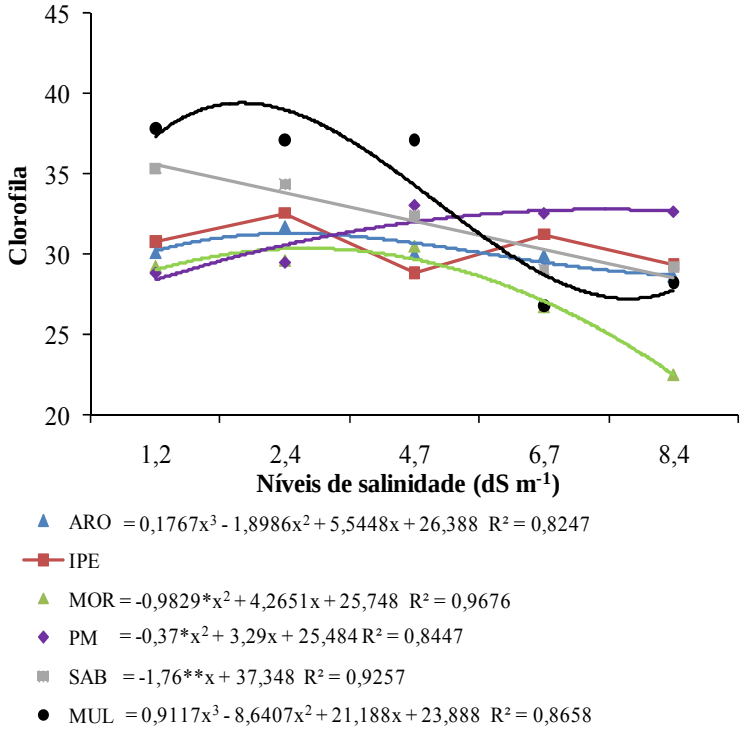

Figura 16 - Teores foliares de clorofila em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Meloni, Gulotta e Martínez (2008) relataram que plântulas de *Schinopsis quebracho* apresentaram uma capacidade de exclusão de sódio, e houve uma correlação inversa entre a concentração Cl^- e a concentração de clorofila total. Assim como a fotossíntese, a clorofila foi também diminuiu com o aumento da salinidade.

4.4 Teores de solutos orgânicos

O resumo da análise de variância (Tabela 10) mostra que entre os solutos orgânicos avaliados, todos (N – aminossolúveis, carboidratos e prolina) não foram influenciados pelo bloco. O fator isolado A (espécie) influenciou significativamente os teores

de solutos orgânicos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Já o fator isolado B (salinidade) não teve influência significativa os teores de solutos orgânicos. Porém, a interação destes fatores (espécies e salinidade), influenciou significativamente os teores dos solutos orgânicos N-aminossolúveis e Prolina ao nível de 1% e Carboidratos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ..

Tabela 10 - Resumo da análise de variância para os teores de N-aminossolúveis, carboidratos e prolina em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios		
		N - aminossolúveis	Carboidratos	Prolina
Bloco	4	18,78^{ns}	612,07^{ns}	1,24^{ns}
Espécies (A)	5	8261,40**	249111,96**	94,40**
Resíduo (A)	20	19,15	839,04	4,34
Salinidade (B)	4	80,85^{ns}	1955,52^{ns}	19,05^{ns}
Int. A x B	20	90,77**	2086,45*	12,91**
Resíduo B	96	40,05	1027,96	5,43
Total	149	-	-	-
CV (A)	-	12,94	8,99	50,15
CV (B)	-	18,71	9.95	56,11

**, * e ^{ns} – significativo a 1% e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente. CV – coeficiente de variação em percentagem.

A figura 17 apresenta as concentrações de N-aminossolúveis nas folhas das plantas. As espécies mororó (MOR), pau-mocó (PM) e sabiá (SAB) ajustaram-se a modelos de regressão polinomiais quadráticos, e apenas mulungu (MUL) com ajuste linear, todos estes com R^2 superiores a 50%. A aroeira (ARO) e o ipê-roxo (IPE) não se ajustaram a nenhuma equação de regressão e foram as espécies que apresentaram os menores valores em todos os níveis de salinidade. Os maiores acúmulos deste soluto orgânico são observados nas espécies mulungu (MUL) e pau-mocó (PM). De modo geral, os teores de N-aminosolúveis ou não foram alterados ou aumentaram em resposta ao aumento da salinidade do solo, com os maiores aumentos tendo sido verificados na espécie sabiá (SAB - 29%), comparando-se os níveis extremos de salinidade do solo (CE 1,2 e 8,4 dS m^{-1})

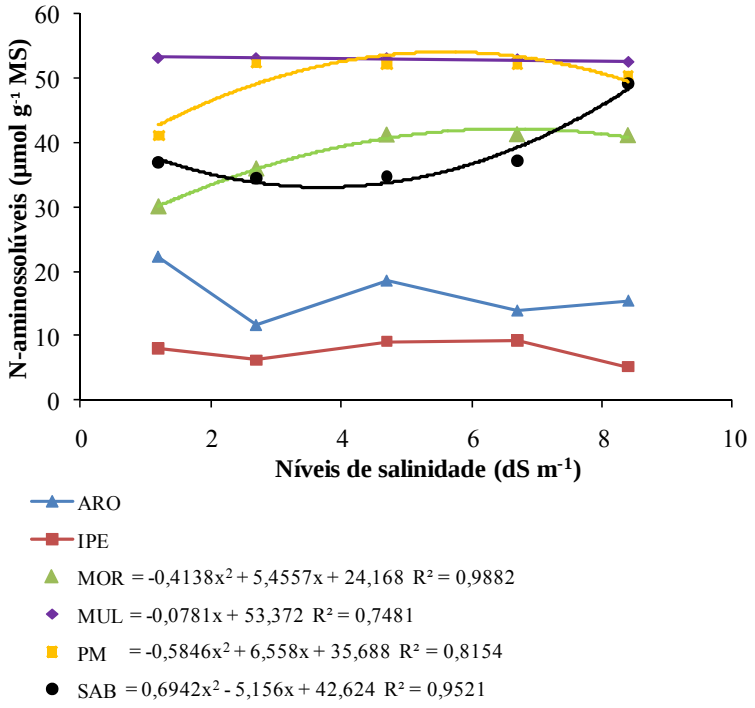

Figura 17 - Teores foliares de N-aminossolúveis em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Na figura 18 é possível observar as concentrações de carboidratos solúveis nas folhas das plantas. A espécie aroeira (ARO) destaca-se por apresentar maiores teores deste soluto orgânico. Por outro lado, a espécie sabiá (SAB) mostrou menores teores. A resposta das plantas ajustou-se a equações polinomiais quadráticas, exceto para as espécies aroeira (ARO) e sabiá (SAB) que tiveram ajustes cúbico e linear, respectivamente, com R^2 superior a 50%. A espécie aroeira (ARO) apresentou perdas de 7,4% nos teores carboidratos em função do aumento na salinidade do solo, comparando-se os níveis extremos (CE 1,2 e 8,4 dS m^{-1}), enquanto que a espécie mulungu obteve um ganho de 19,8% na mesma condição.

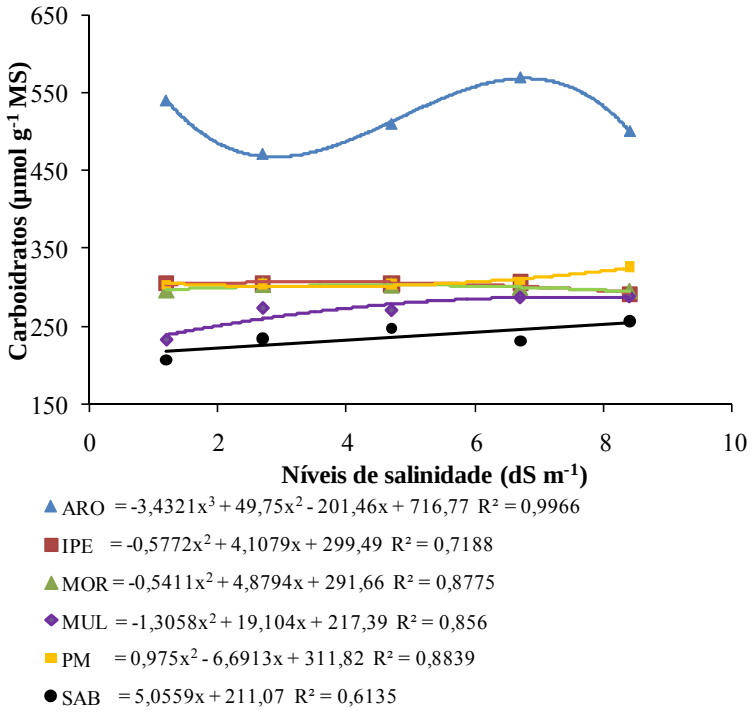

Figura 18 - Teores foliares de carboidratos solúveis em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Para os níveis de prolina nas folhas (Figura 19), todas as curvas de regressão ajustaram-se a modelos polinomiais quadráticos ou cúbicos com R^2 superior a 50%. Dentre as seis espécies destaca-se a aroeira (ARO) que apresentou um decréscimo de 70,81% no teor de prolina na comparação entre os níveis extremos de salinidade do solo (CE 1,2 e 8,4 dS m^{-1}), enquanto as outras espécies revelaram ganhos, onde a espécie pau-mocó (PM) obteve maior aumento, de 79,8%.

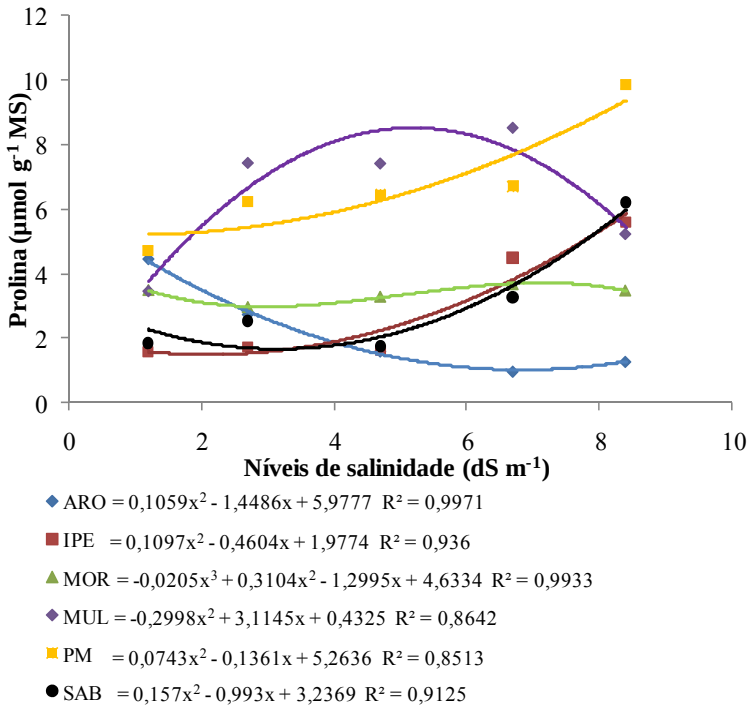

Figura 19 - Teores foliares de prolina em mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

De acordo com Rhodes e Hanson (1993), o acúmulo ou o aumento, induzidos pela salinidade, na concentração de N-aminossolúveis, glicina-betaina, prolina-betaina entre outros, correlacionam-se com uma maior tolerância ao estresse salino. Além de seu papel na osmorregulação, tem sido proposto que os N-aminossolúveis participam na redução do nível de peroxidação dos lipídios de membranas e na proteção de macromoléculas a diversos estresses ambientais (CHEN; MURATA, 2002).

A participação de açúcares solúveis na tolerância à seca e à salinidade nas plantas tem sido documentada (LACERDA *et al.*, 2003; NASCIMENTO, 2010). O acúmulo de carboidratos é muito variável entre as espécies e quando em larga escala, provoca inibição da fotossíntese (GOLDSCHMIDT; HUBER, 1992). Para Carvalho *et al.* (1998), as raízes são depósitos mais expressivos para os carboidratos de reserva e que o caule, que pode servir apenas como uma passagem para os carboidratos mobilizados pelas raízes. Tal acúmulo de carboidratos também pode ser uma forma da planta se adaptar as condições hídricas desfavoráveis do solo, por meio de osmorregulação (LAWLOR; CORNIC, 2002).

A prolina é, comumente, um dos compostos que se acumulam no citoplasma sem causar efeitos prejudiciais sobre as atividades das enzimas citosólicas (STEWART; LEE, 1974). Além disso, o papel principal da prolina pode não ser unicamente como um osmólito,

mas também ajuda as células a superar o stress oxidativo em plantas submetidas à salinidade (RAJENDRAKUMAR; REDDY; REDDY, 1994) O aumento significativo da prolina nas raízes de *Schinopsis quebracho* verificado por Meloni, Gulotta e Martínez (2008) sugere o papel positivo deste aminoácido como um soluto compatível para equilibrar a acumulação de Na^+ e Cl^- como resultado da salinidade. Patel, Bhensdadia e Pandey (2009) verificaram que em mudas *Delonix regia* (Hook.) Raf. o conteúdo de prolina nos tecidos era muito baixo, porém houve aumento significativo em toda a planta (folhas, caules, raízes) com aumento da salinidade do solo, e ainda assim os teores foram considerados baixos, o que pode ser uma das razões para a tolerância baixo teor de sal desta espécie. A acumulação de solutos orgânicos no citoplasma se faz necessária ao equilíbrio da pressão osmótica de íons nos vacúolos.

O maior acúmulo em N-aminossolúveis e prolina pela salinidade pode representar uma vantagem adaptativa das plantas, tendo em vista o reconhecido papel desses solutos no ajustamento osmótico e na proteção de estrutura celulares sob condições de estresse salino (ASHRAF; HARRIS, 2004; RHODES; HANSON 1993; TESTER; DAVENPORT, 2003). No entanto, de acordo com alguns autores o acúmulo de prolina pode ser uma resposta ao dano causado pelo estresse salino aos tecidos foliares (LACERDA *et al*., 2003).

No presente estudo não foi possível estabelecer um relacionamento claro entre o acúmulo dos solutos orgânicos estudados e a tolerância à salinidade. Destaca-se, no entanto, o fato da espécie aroeira (ARO), que apresentou maior grau de tolerância (ver capítulo 2), ter apresentado maiores teores de carboidratos solúveis, independente do nível de salinidade, e redução nos teores de prolina com o aumento da condutividade elétrica do solo. Destaca-se ainda o elevado acúmulo de prolina na espécie sabiá (SAB), a qual apresentou maior sensibilidade ao estresse salino imposto, corroborando com outros autores que também encontraram correlação inversa entre teores de prolina e a tolerância ao estresse salino (LACERDA *et al*., 2003).

4.5 Teores de solutos inorgânicos

O resumo da análise de variância (Tabela 11) mostra que entre os solutos inorgânicos avaliados (sódio, potássio e cloreto, nas folhas e hastes) não foram influenciados pelo bloco, porém tanto os fatores isolados (espécies e salinidade) quanto a interação destes,

influenciaram significativamente os teores de solutos inorgânicos aos níveis de 1 e 5% pelo teste F.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância para os teores de Na^+, K^+ e Cl^- nas folhas e hastes de mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios					
		Na folha	Na haste	K folha	K haste	Cl folha	Cl haste
Bloco	4	0,89^{ns}	0,40^{ns}	11,10^{ns}	3,88^{ns}	282,18^{ns}	28,42^{ns}
Espécies (A)	5	42,36**	91,47 **	105,42**	351,80**	905,61**	333,79**
Resíduo (A)	20	4,38	0,59	4,04	3,59	59,27	13,68
Salinidade (B)	4	9,99**	7,25**	16,20**	13,08**	325,86**	76,91**
Int. A x B	20	5,28**	2,14**	6,22*	4,35**	138,76*	42,77**
Resíduo B	96	2.34	0,46	3,63	1,63	75,05	17,06
Total	149	-	-	-	-	-	-
CV (A)	-	56,05	30,28	19,55	27,44	31,58	17,99
CV (B)	-	40,95	26,53	18,54	18,53	35,53	20,09

**, * e ^{ns} – significativo a 1% e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente. CV – coeficiente de variação em porcentagem.

O teor de sódio (Na^+) nas folhas e hastes das plantas nativas (Figura 20A e B) seguiu modelos lineares, polinomiais quadráticos e cúbicos com R^2 superior a 50%, com exceção das espécies aroeira (ARO) e ipê roxo (IPE) nas folhas, e ipê roxo (IPE) e mulungu (MUL) nas hastes. De modo geral, o maior acréscimo nos teores de Na^+ nas folhas é de 288,1% observado nas plantas de pau-mocó (PM) quando comparados o menor e maior nível de salinidade do solo. Por outro lado, a espécie mulungu (MUL) demonstra redução no acúmulo de Na^+ nas folhas da ordem de 16,9%. Nas hastes observou-se maior acréscimo nos teores de Na^+ de 74,8 % nas plantas de sabiá (SAB) quando se compara o menor e o maior nível de salinidade do solo. A espécie que representa o menor acúmulo deste íon nas hastes é a aroeira (ARO), porém ainda com valor de 45,9%.

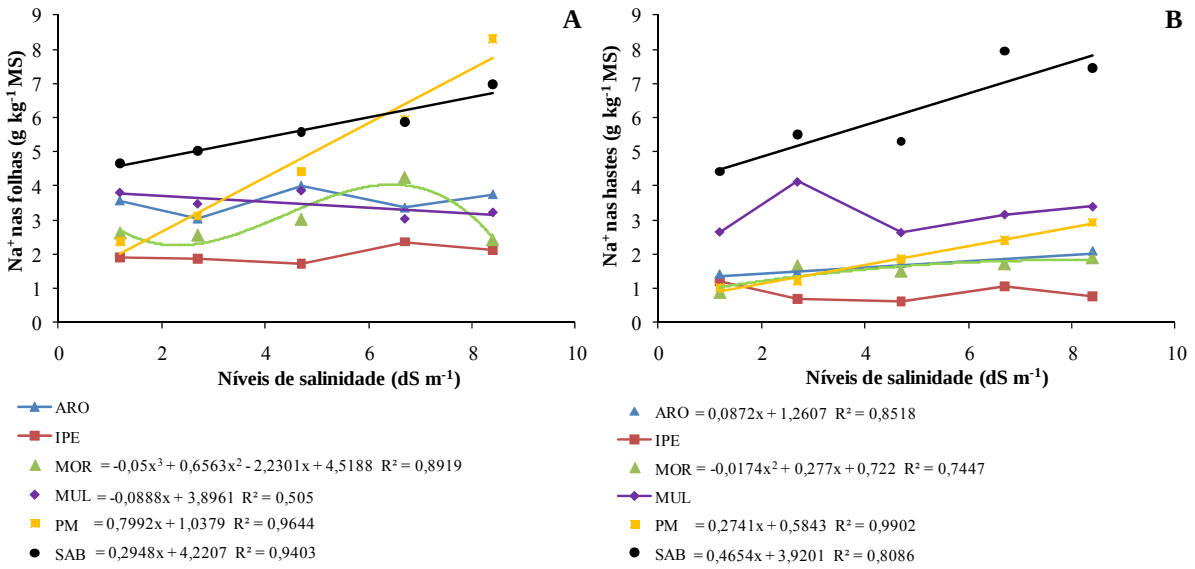

Figura 20- Teores de Na^+ em folhas (A) e hastes (B) de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

O controle do transporte de íons para a parte aérea da planta, por meio do seu acúmulo nas raízes, tem sido proposto como uma característica de tolerância, particularmente importante em glicófitas (MUNNS, 2002). Esse controle envolve processos que minimizam o efluxo de sais das raízes para a parte aérea ou que maximizam sua reabsorção no xilema radicular e caulinar (PARANYCHIANAKIS; CHARTZOULAKIS, 2005; TESTER; DAVENPORT, 2003).

No presente estudo, verificou-se boa correlação entre os teores foliares de Na e a tolerância à salinidade, conforme relatado por outros autores (LACERDA *et al*., 2003). Observam-se pequenas variações nos teores desse íon nas plantas de aroeira (ARO), ipê roxo (IPE) e mulungu (MUL), as quais se comportaram como tolerantes ou moderadamente tolerantes á salinidade. Por outro lado, as espécies sabiá (SAB) e pau mocó (PM) apresentaram os maiores incrementos e a espécie mororó (MOR) também teve elevação nos teores de Na^+ no nível de salinidade de 6,7 dS m^{-1}. Isso pode indicar que o controle na absorção de sódio seja uma característica importante para discriminar o grau de tolerância entre essas espécies lenhosas.

Estudos apresentados por Gebauer *et al*. (2004), Marcar *et al*. (2002), Patel, Bhensdadia e Pandey (2009) e Sousa *et al*. (2012) mostraram que o teor de sódio nos diversos tecidos das espécies de plantas lenhosas aumentou significativamente com o incremento na salinidade do solo. Ramoliya, Patel e Pandey (2004) verificaram que em cultivo de *Salvadora persica* Linn. (Salvadoraceae) as plantas exibiram um aumento gradual no teor de sódio nas

folhas, ao mesmo tempo em que aumentou rapidamente em raízes, em resposta à adição de sais no solo. Além do efeito tóxico direto do sódio interferindo no metabolismo vegetal, seu efeito negativo também se expressa pela inibição competitiva com íons como o cálcio, magnésio e potássio, diminuindo sua absorção, principalmente deste último. Por outro lado, Ramoliya, Patel, Pandey (2004) observaram que a concentração de Na^+ não se alterou nas hastes em resposta ao tratamento de baixa umidade ou aumento da salinidade do solo em comparação com o controle. Esses mesmos autores concluíram também que tecidos do caule funcionaram como barreira para translocação de Na^+ da raiz às folhas.

Segundo Trindade *et al*. (2006) as plantas podem reter íons nas raízes e nos caules, limitando a salinidade da seiva xilemática e reduzindo a quantidade deles que chega às folhas. Podem ainda manter a concentração de sais constante por longos períodos, desde que a absorção de água seja proporcional à absorção deles, resultando em aumento no grau de suculência (Aquino *et al*., 2007). Muitos desses mecanismos são bastante eficientes principalmente nas halófitas, mas também têm sido observados em glicófitas; nestas espécies, o mecanismo de exclusão de íons dos tecidos fotossintetizantes parece ser o mais eficiente (Lacerda *et al*., 2003).

Analisando o teor de K^+ nas folhas, com exceção do mulungu (MUL), pau-mocó (PM) e sabiá (SAB) as espécies se ajustaram a equações de regressão com R^2 superior a 50% (Figura 21A). Para o teor de K^+ nas hastes, todas as espécies se ajustaram a equações de regressão com R^2 superior a 50% (Figura 21B). Comparando os níveis de salinidade extremos (CE 1,2 e 8,4 dS m^{-1}) o maior acúmulo de K^+ nas folhas foi de 22,2% observado na espécie aroeira (ARO). Por outro lado, observou-se um decréscimo no acúmulo deste íon de 29,8% na espécie mororó (MOR). Nas hastes a diferença entre os níveis extremos de salinidade revelou que a espécie que apresentou maior redução do teor de K^+ das hastes foi ipê roxo (IPE) com 51,6%, e a menor redução, de 3,5% foi observada em mororó (MOR).

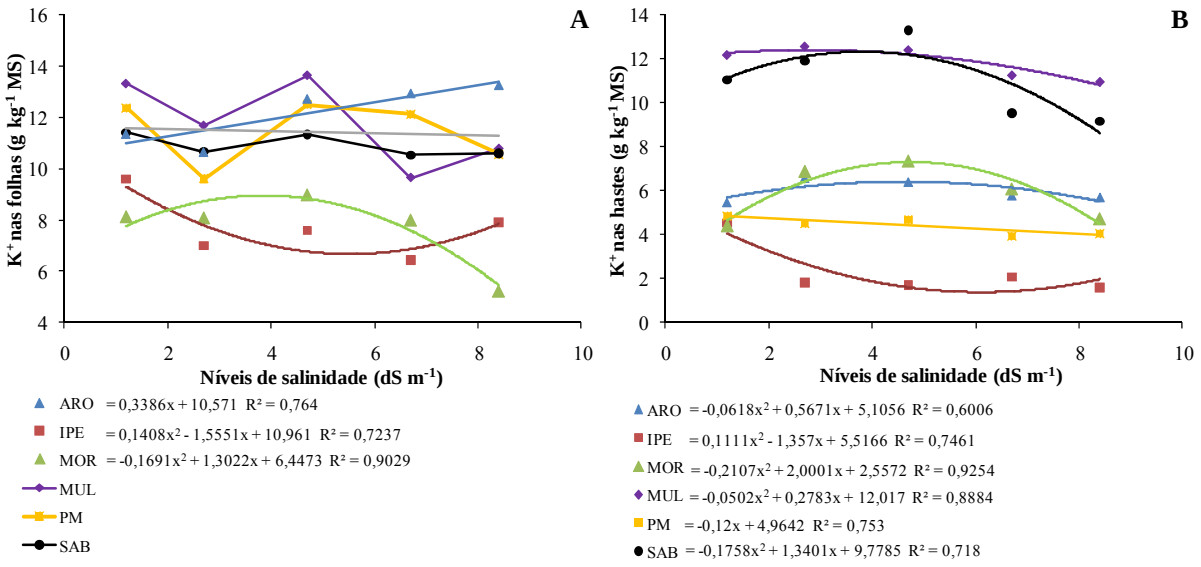

Figura 21 - Teores de K^+ em folhas (A) e hastes (B) de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Marcar *et al*. (2002) em estudos com a espécie *Eucalyptus grandis* e Patel, Bhensdadia e Pandey (2009) com *Delonix regia* (Hook.) Raf., relataram que a concentração de K^+ nos tecidos destas espécies foi significativamente menor na presença de sal. Já Gebauer *et al*. (2004) verificaram que a concentração de K^+ foi mantida nas folhas das plantas de *Tamarindus indica* L. submetidas ao estresse salino. Morais *et al*. (2007) obtiveram aumentos na concentração interna de K^+ em plantas de cajueiro por efeito da salinidade, justificando que este fato pode ser indicativo de melhorias no status hídrico atual da planta, induzido, em parte, por reduções no potencial osmótico celular. Contudo, apesar do aumento no teor de $K^{+,}$ na parte aérea, não se observaram efeitos benéficos em relação ao crescimento da espécie em estudo. Aquino *et al*. (2007) defendem a provável existência de mecanismos específicos de acúmulo de íons nas células dos colmos, favorecendo a retenção de íons potencialmente tóxicos e o transporte do K^+ para os tecidos foliares.

Observando-se os teores de cloreto (Cl^-) nas folhas das plantas na figura 22A, onde todas as espécies se ajustaram a equações de regressão com R² superior a 50% , destaca-se a espécie mulungu (MUL) que apresentou um decréscimo de 21,7% na quantidade de Cl^- nas folhas, ao contrário das outras espécies que apresentaram acréscimo, onde o maior foi de 83,2% na espécie mororó (MOR). Nas hastes (Figura 22B) verifica-se que a espécie mulungu (MUL) não apresentou ajuste a nenhum tipo de regressão. A espécie sabiá (SAB) reduziu o acúmulo de Cl^- nas hastes em 8,9%, enquanto a espécie mororó (MOR) aumentou em 6,4%

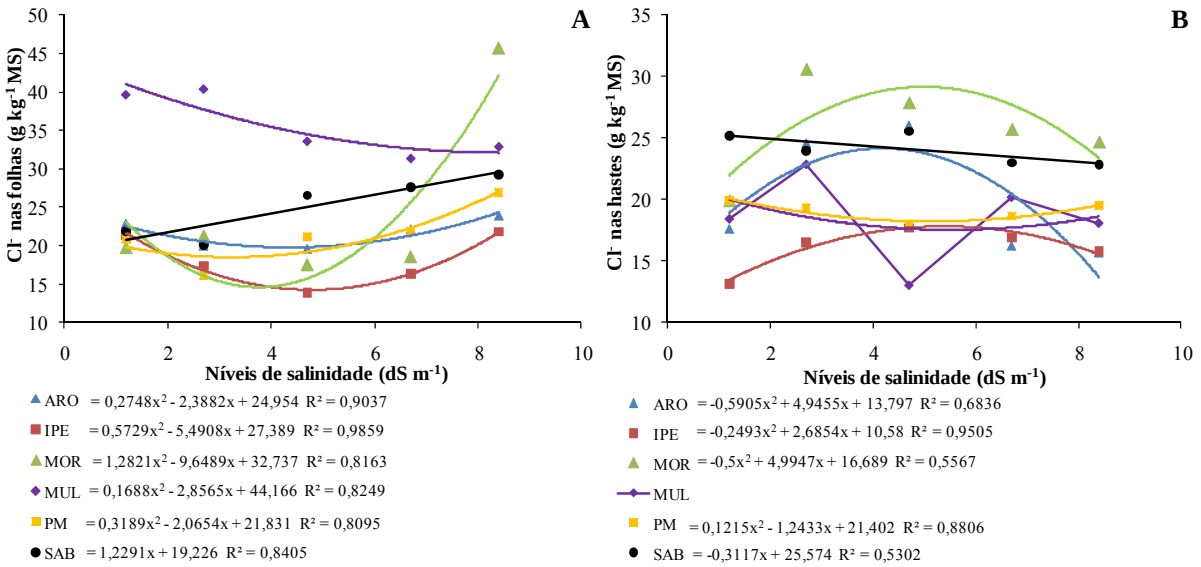

Figura 22 - Teores de Cl^- em folhas (A) e hastes (B) de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Marcar *et al*. (2002) observaram que os teores de cloreto, bem como o de sódio, em todas as partes da planta de *Eucalyptus grandis* (W. Hill) tiveram um aumento significativo com o incremento da salinidade. Gebauer *et al*. (2004) adiconando NaCl à solução nutriente para mudas de *Tamarindus incdica* L., observaram um aumento na concentração tanto de Cl^- quanto de Na^+ em todas as partes da planta, além do transporte para as folhas ser mantido com o aumento da salinidade. Chen *et al*. (2002) relataram aumento significativo na concentração de Cl^- nos tecidos de mudas das espécies *Populus euramericana* (cv. Italica) e *Populus popularis* após 4 dias de exposição à salinidade do solo, seguido por um aumento acentuado, e atingindo o nível mais elevado aos 30 dias de exposição ao estresse.

Das relações entre os teores de sódio e potássio tanto em folhas quanto em hastes (Na/K folha e Na/K haste), e as relações de cada um destes íons entre hastes e folhas (Na haste/Na folha, K haste/K folha e Cl haste/Cl folha), nenhuma teve efeito significativo de blocos (Tabela 12). O fator isolado A (espécies) influenciou todas as relações com nível de 1% de significância pelo teste F, e o fator isolado B (salinidade) não influenciou significativamente nenhuma das relações. A interação destes fatores (espécies e salinidade) influenciou significativamente as relações Na/K em folhas e hastes, Na^+haste/folha e K^+haste/folha ao nível de 1%, e Cl^- hastes/folha ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F (Tabela 12).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância para a relação Na^+/K^+ nas folhas e nas hastes, e as relações entre hastes e folhas dos teores de Na^+, K^+ e Cl^- em mudas de doze espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios				
		Na/K folha	Na/K haste	Na haste/Na folha	K haste/K folha	Cl haste/Cl folha
Bloco	4	$0,03^{ns}$	$0,08^{ns}$	$0,02^{ns}$	$0,03^{ns}$	$0,11^{ns}$
Espécies (A)	5	2,69**	0,44**	2,37**	2,21**	1,87**
Resíduo (A)	20	0,08	0,06	0,10	0,10	0,11
Salinidade (B)	4	$0,46^{ns}$	$0,06^{ns}$	$0,21^{ns}$	$0,06^{ns}$	$0,81^{ns}$
Int. A x B	20	0,09**	0,35**	0,11**	0,08**	0,29*
Resíduo B	96	0,04	0,04	0,04	0,05	0,16
Total	149	-	-	-	-	-
CV (A)	-	59,85	61,55	47,05	51,18	33,73
CV (B)	-	44,59	51,23	30,85	32,90	40,29

**, * e ^{ns} – significativo a 1% e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente. CV – coeficiente de variação em porcentagem.

De modo geral, verifica-se que os maiores valores da relação Na^+/K^+, tanto nas folhas quanto nas hastes, foram obtidos pela espécie sabiá (SAB), indicando ter menor capacidade de controle na absorção desses íons (Figura 23A e B), embora no nível mais alto de salinidade (CE 8,4 dS m^{-1}) a espécie pau-mocó (PM) tenha se destacado no valor da referida relação nas folhas, para esta espécie o maior valor foi de 1,04 (Figura 23A) observado no tratamento com CE 8,4 dS m^{-1} . O menor valor da referida relação foi de 0,19, encontrado na mesma espécie no menor nível salino (CE 1,2 dS m^{-1}), onde observou-se que o acréscimo ocorrido para esta espécie entre os níveis extremos de salinidade do solo (CE 1,2 e 8,4 dS m^{-1}) foi da ordem de 291,1%.

Para as relações obtidas nas hastes (Figura 23B) o menor valor foi apresentado pela espécie mororó (MOR) no menor nível de salinidade (CE 1,2 dS m^{-1}), aumentando 146,7% no nível mais salinizado (CE 8,4 dS m^{-1}), por outro lado o maior valor é observado na espécie sabiá (SAB) no maior nível de salinidade (CE 8,4, dS m^{-1}), que aumentou 137,4% em relação ao menor nível de salinidade do solo. Nas folhas, com exceção da aroeira (ARO), as espécies se ajustaram a uma equação de regressão polinomial quadrática ou cúbica, com R^2 superior a 50%. Já nas hastes a única espécies que não mostrou ajuste foi o mulungu (MUL).

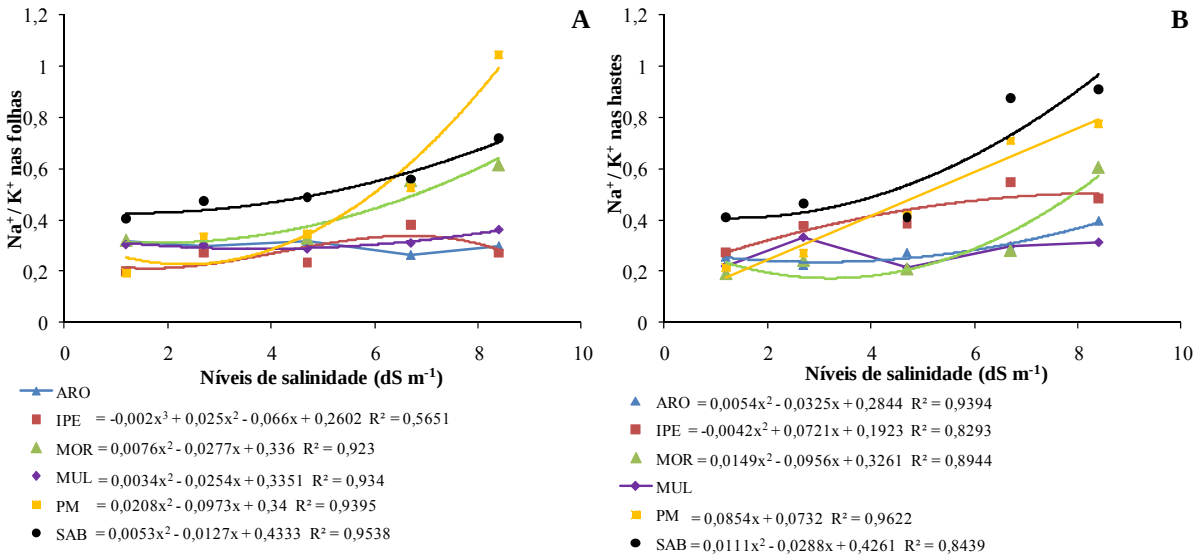

Figura 23 - Relação entre teores de íons Na^+ e K^+ nas folhas (A) e hastes (B) de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Aquino *et al*. (2007) trabalhando com sorgo irrigado com água salina, verificaram que a salinidade influenciou significativamente as razões entre os teores de Na^+ , além de K^+ e Cl^- nos colmos e bainhas em relação aos seus teores nos limbos foliares, concluindo que esse resultado é um bom indicativo da capacidade de retenção de íons com potencial tóxico, principalmente Na^+, sugerindo que essa espécie exporta pouco Na^+ do colmo para as folhas, e com isso, evita o excesso desse íon nos tecidos fotossintetizantes (AZEVEDO NETO; TABOSA, 2000). Segundo estes mesmos autores a relação Na^+/K^+ pode ser utilizada como critério de seleção de materiais sensíveis e tolerantes ao estresse salino, pois muitos autores relatam que existe uma correlação entre a tolerância à salinidade e a manutenção adequada da nutrição potássica. Experimento conduzido por Sousa *et al*. (2012) revelou que para espécies arbóreas nativas da Caatinga as mais baixas relações Na^+/K^+ foram observadas no tratamento com solo não salino, independentemente da espécie vegetal, e as plantas responderam ao excesso de sais no solo elevando os teores de Na^+ e, consequentemente, a relação entre Na^+ e K^+ na parte aérea. No presente estudo observou-se uma forte relação entre a relação Na/K nas folhas e o grau de tolerância das espécies estudadas, com as espécies mais toelrantes apresentandos menores variações e menores valores com o aumento da salinidade do solo.

Patel, Bhensdadia e Pandey (2009) observaram um decréscimo significativo na relação inversa K^+/Na^+ nos tecidos de *Delonix regia* (Hook.) Raf., onde subtende-se um aumento de Na^+. A diminuição significativa da concentração de K^+ em todos os tecidos de mudas com o aumento da salinidade do solo sugere que a absorção de Na^+ fez com que o

K^+ fosse reprimido. Gebauer *et al*. (2004) observaram que devido ao elevado acúmulo de Na^+ nas folhas das plantas de *Tamarindus indica* L. submetidas ao maior nível de salinidade em estudo, a razão entre K^+/Na^+ foi reduzida de 3,45 para 0,19. Morais *et al*, (2007) verificaram que a salinidade provocou redução expressiva na relação K^+/Na^+ em mudas de cajueiro anão, e afirmaram que algumas espécies de plantas sensíveis à toxicidade iônica também exibem incremento na acumulação de K^+ nas folhas em condições de estresse salino, e então concluíram que os efeitos de toxicidade por íons de Na^+ (além de Cl^-) e, sobretudo, uma ruptura da homoeostase iônica, tenham prevalecido sobre qualquer efeito benéfico originado a partir do aumento da concentração foliar de K^+.

Ramoliya, Patel, Pandey (2004) verificaram que a relação K^+/Na^+ não foi alterada em caules de *Salvadora persica* Linn. em resposta ao tratamento de umidade baixa e salinização do solo. É provável que o sistema de absorção de K^+ alcance um estágio com alta afinidade por este íon e, com isto, estabeleça uma redução, ao menos relativa, no influxo de Na^+ (MORAIS *et al*, 2007). Segundo Silveira *et al*. (2010) os mecanismos de captação tanto K^+ e Na^+ são semelhantes. Conforme Patel, Bhensdadia e Pandey (2009) as plantas utilizam dois sistemas de aquisição de K^+, mecanismos de captação de baixa e de alta afinidade. O íon Na^+ não pode mover-se através da bicamada lipídica da membrana plasmática, mas é transportado através de ambos os sistemas de baixa e de alta afinidade de transporte, que são necessários para a aquisição do K^+. Como consequência, Na^+ poderia entrar na célula através de alta afinidade de transportadores K^+ ou através dos canais de baixa afinidade chamados canais catiónicos não seletivos, que são fortemente influenciados por Ca^{2+}.

As plantas de sabiá (SAB) apresentaram um aumento linear na relação Na^+ haste/ Na^+ folha, enquanto as demais espécies ajustaram-se a equações de regressão polinomiais quadráticas ou cúbicas, com exceção das plantas de mulungu (MUL), que não se ajustaram a nenhum modelo com R^2 superior a 50% (Figura 24). O maior e o menor valor da relação do íon Na^+ entre hastes e folhas são apresentados pelas espécies sabiá (SAB) e mororó (MOR), respectivamente com 1,38 (CE 6,7 dS m^{-1}) e 0,33 (CE 1,2 dS m^{-1}), nos níveis extremos de salinidade do solo (CE 1,2 e 8,4 dS m^{-1}) a maior diferença desta relação é representada pelo acréscimo de 134,3% observado na espécie mororó (MOR), enquanto uma redução de 31,1% é verificado na espécie ipê roxo (IPE) (Figura 24)

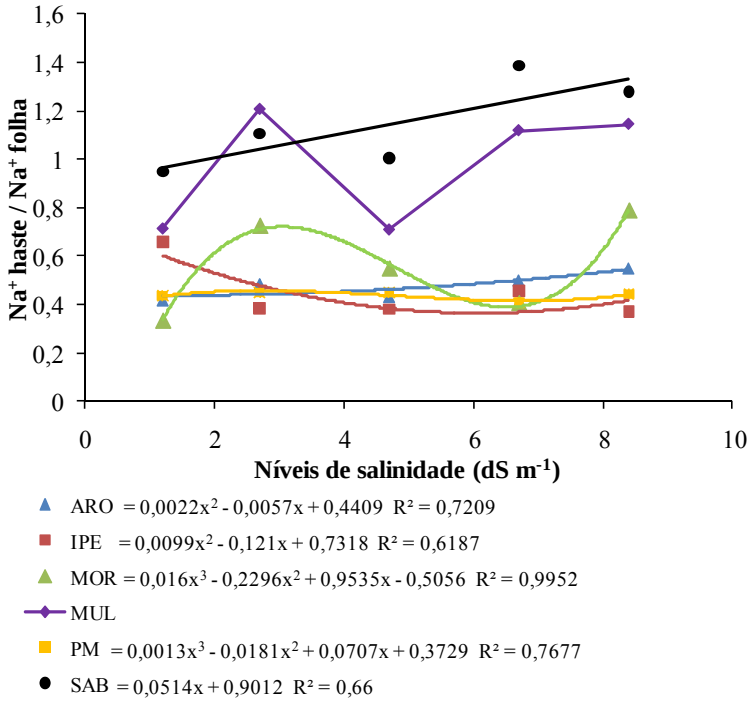

Figura 24 - Relação entre teores do íon Na^+ nas hastes e folhas de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Em resultados obtidos por Aquino *et al*. (2007) a salinidade aumentou cerca de 12 vezes a relação entre os teores de Na^+ nos colmos e nos limbos foliares de plantas de sorgo, o que mostra grande capacidade de retenção de Na^+ nos colmos das plantas de sorgo, com a bainha exercendo papel importante nesse mecanismo, apresentando, também, relações crescentes entre os teores deste íon em seus tecidos e aqueles nos limbos foliares, com a salinidade.

No que concerne à relação K^+ haste/ K^+ folha, verifica-se que apenas as plantas de mulungu (MUL) e pau-mocó (PM) não tiveram ajuste polinomial enquanto as outras espécies ajustaram-se a equações de regressão polinomiais quadráticas com R^2 superior a 50% (Figura 25). O maior valor da relação (1,17) foi encontrado nas plantas de sabiá (SAB) no nível de salinidade de 4,7 dS m^{-1} e o menor (0,2) na espécie ipê roxo (IPE), com o maior nível salino (CE 8,4 dS m^{-1}). O valor relação K^+ haste/ K^+ folha da espécie mororó (MOR) aumentou 68,8% comparando-se os níveis extremos de salinidade. O contrário aconteceu com ipê roxo (IPE) que diminuiu 43,0%. Tais resultados revelam a maior capacidade da espécie mororó em acumular íons K^+ na haste das plantas a medida que a salinidade do solo aumentou.

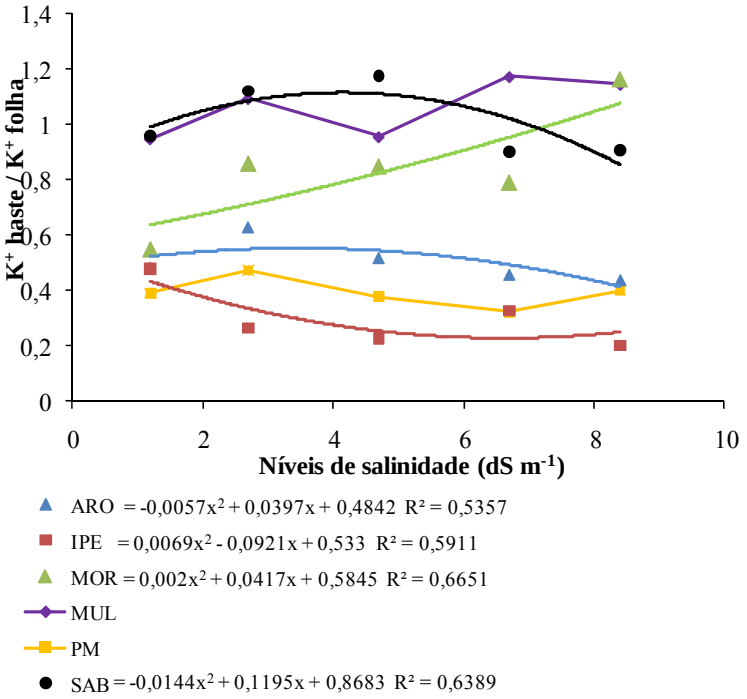

Figura 25 - Relação entre teores do íon K^+ nas hastes e folhas de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Aquino *et al.* (2007) conduzindo estudos com sorgo verificaram que a menor relação entre os teores de K^+ nos colmos e nos limbos foliares sugere que o genótipo da cultivar na qual obteve-se esse valor apresenta maior capacidade de distribuição de K^+ para as folhas, o que pode ser considerado uma característica importante para a tolerância à salinidade.

Avaliando a relação Cl^- haste/ Cl^- folha é possível constatar que apenas a espécie mulungu (MUL) não ajustou-se a nenhuma regressão, as demais espécies ajustaram-se a equações de regressão polinomiais quadráticas com R^2 superior a 50% (Figura 26). O valor da relação Cl^- haste/ Cl^- folha da espécie ipê roxo (IPE) aumentou 15,4% comparando-se os níveis extremos de salinidade, verificando-se efeito inverso para a espécie mororó (MOR) que diminuiu 39,6%. Já o maior valor da relação (1,96) foi encontrado nas plantas de mororó (MOR) no nível de salinidade de 4,7 dS m^{-1} e o menor (0,39) na espécie mulungu (MUL), no menor nível salino (CE 1,2 dS m^{-1}) constatando-se a maior capacidade da espécie mororó (MOR) em acumular íons Cl^- nas hastes de suas plantas.

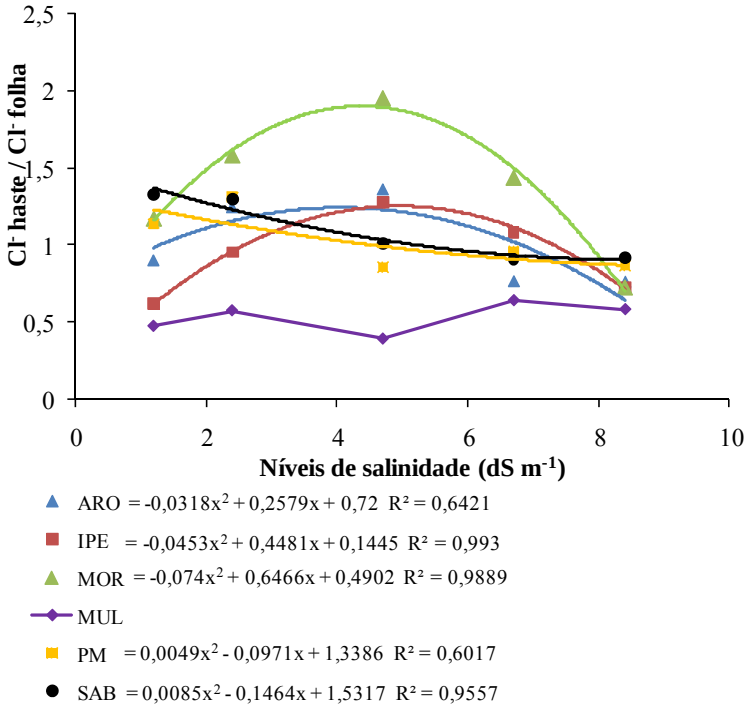

Figura 26- Relação entre teores do íon Cl^- nas hastes e folhas de mudas de seis espécies de plantas nativas da Caatinga, aos 90 dias após a repicagem, submetidas a diferentes níveis de salinidade do solo e cultivadas sob condições controladas.

Marcar *et al*. (2002) apresentam resultados de concentrações de Cl^- nas folhas e caules de *Eucalyptus grandis* aumentando significativamente mais do que os de Na^+. Porém o aumento desses íons reduziu significativamente as concentrações de K^+ nos tecidos. Por outro lado a capacidade de retenção de Cl^- em plantas de sorgo estudadas por Aquino *et al*. (2007) foi bem menor que a de Na^+, sendo maior nos colmos do que nas bainhas. O controle no transporte de Cl^- até a parte aérea parece ser essencial para a tolerância à salinidade, pois plantas lenhosas são mais sensíveis ao Cl^- do que ao Na^+ (MAAS, 1996).

5 CONCLUSÕES

O solo salinizado, de um modo geral, inibiu o crescimento das mudas das doze espécies de plantas arbóreas nativas da Caatinga, sendo o crescimento das raízes a variável mais afetada;

A massa seca da parte aérea foi menos afetada do que a massa seca de raízes, indicando que o estresse salino altera a partição de fotoassimilados na planta;

Para os níveis moderados de salinidade do solo verificou-se que todas as espécies responderam como tolerantes ou moderadamente tolerantes à salinidade;

Considerando-se os graus de redução na produção de matéria seca total, no maior nível de salinidade, observou-se que apenas a aroeira mostrou-se tolerante à salinidade (T); o ipê roxo e mulungu responderam como moderadamente tolerantes (MT); o mororó e o pau mocó moderadamente sensíveis (MS); a maioria das espécies, sabiá, angico, catanduva, frei jorge, jurema branca, jurema preta e tamboril, foram classificadas como sensíveis (S), com reduções superiores a 60%;

A salinidade provocou redução nas trocas gasosas foliares, sendo esse efeito independente da espécie estudada. No entanto, se observa um maior controle estomático e maior eficiência intrínseca no uso da água nas espécies que apresentaram maiores graus de tolerância à salinidade, ou seja, aroeira, ipê roxo e mulungu;

De modo geral, houve decréscimo no teor de clorofila total nas folhas das espécies em estudo com o aumento da salinidade do solo, exceto para o pau-mocó que registrou acréscimo;

No presente estudo não foi possível estabelecer um relacionamento claro entre o acúmulo dos solutos orgânicos estudados nas folhas e a tolerância à salinidade das seis espécies nativas da Caatinga;

Observou-se forte relação entre Na/K e os teores de Na nas folhas e o grau de tolerância das espécies estudadas, com as espécies mais tolerantes apresentando menores variações e menores valores com o aumento da salinidade do solo;

De modo geral, as espécies nativas estudadas apresentaram baixa capacidade de retenção de íons potencialmente tóxicos (Na^+ e Cl^-) nos caules.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. de S. B.; ARAÚJO, E. de L. Fenologia de espécies lenhosas da caatinga do Seridó, RN. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 491-499, 2009.

AQUINO, A. J. S. de; LACERDA, C. F. de; BEZERRA, M. A.; GOMES FILHO, E.; COSTA, R. N. T. Crescimento, partição de matéria seca e retenção De Na^+, K^+ e Cl^- em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 31:961-971, 2007.

ASHRAF, M.; HARRIS, P.J.C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v. 166, p. 3-16, 2004.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. H. R. GHEYI et al., Campina grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: irrigação e Drenagem, 29).

AZEVEDO NETO, A. D. de; PEREIRA, P. P. A.; COSTA, D. P.; SANTOS, A. C. C dos. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade em girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 893-897, out-dez, 2011. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II. Distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. **Revista Brasileira de Engeharia Agrícola e Ambiental**, 4:165-171, 2000.

BAI, T. H.; LI, C. Y.; MA, F. W.; SHU, H. R.; HAN, M.Y., 2008. Physiological responses and analysis of tolerance of apple rootstocks to root-zone hypoxia stress. **Agric. Sci. China** 41 (12), 4140–4148.

BARBOSA, Z. **Efeito do P e do Zn na nutrição e crescimento de *M. Urundeuva* (aroeira do sertão)**. Lavras, 1994. 105p. Dissertação (Mestrado) ESAL, UFLA.

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

BENNETT, D. L.; GEORGE, R. J. Using the EM38 to measure the effect of soil salinity on *Eucalyptus globulus* in south-western Australia. **Agricultural Water Management**, v. 27, p. 69-86, 1995.

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

BEZERRA, E. **A salinização de solos aluviais em perímetros irrigados no estado do ceará.** Fortaleza: DNOCS (Série conViver, 2), 2006. 136p.

BINZEL M.; HESS F.; BRESSAN R.; HASEGAWA P. Intracellular compartmentation of ions in salt adapted tobacco cells. **Plant Physiology**, v. 86, p. 607-614, 1988.

BRAGA, R. **Plantas do nordeste, especialmente do Ceará.** 3º ed. Comemorativa ao II Congresso Brasileiro de Florestas Tropicais - Mossoró. 1976. 548p.

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK. Responses to abiotic stress. In: Buchanan, B. B.; Gruissem, W.; Jones, R. L. (eds.). **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. Mariland: American Society of Plant Physiologist, 2000, p.1158-1203.

BRUGNOLI, E.; LAUTERI, M. Effects of salinity on stomatal conductance, photosintetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt tolerant (*Gossypium hirsitum* L.) and salt sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C_3 non-halophytes. **Plant Physiology**, v. 95, p. 628-635, 1991.

BUCHANAM, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville, Maryland: American Society of Plant Physiologists, 2000. 1367p.

CARVALHO, F. C; ARAÚJO FILHO, J. A.; RÊGO, M. C.; TELES, F. F. F. Flutuações dos Níveis dos Carboidratos de Reserva Disponíveis nas Raízes e no Caule do Marmeleiro (Croton sonderianus Muell. Arg.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.4, p.670-675, 1998.

CATALDO, D. A.; HARRON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, p.71-80, 1975.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drougth and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany,** v. 103, n. 4, 2009.

CHEN, S.; LI, J.; FRITZ, E.; WANG, S.; HÜTTERMANN, A. Sodium and chloride distribution in roots and transport in three poplar genotypes under increasing NaCl stress. **Forest Ecology and Management**, v. 168, p. 217-230, 2002.

CHEN, T. H. H.; MURATA, N. Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. **Current Opinion in Plant Biology**. v.5, p. 250-257, 2002.

CHINNUSAMY, V.; JAGENDORF, A.; ZHU, J. K. Understanding and improving salt tolerance in plants. **Crop Science**, v. 45, p. 437-448, 2005.

COSTA, R. N. T.; LACERDA, C. F.; SILVA, L. A. C.; ARAÚJO, A. P. B. Indicadores de rentabilidade da recuperação de solos sódicos. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de. (Org.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: estudos básicos e aplicados**. 1 ed. Fortaleza: INCTSal, 2010, v. 1, p. 449-458.

CSSRI - CENTRAL SOIL SALINITY RESEARCH INSTITUTE. **Reclamation and management of salt-affected soils**. CSSRI Karnal, 2004.160 p.

DAKER, A. **A água na agricultura**; Manual de Hidráulica Agrícola. 7.ed. Rio de Janeiro, RJ: Freitas Bastos, 1988. 543p.

DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; ALOVISI, A. A.; MAZZACHIN, L.; TOKURA, A. M.; PINHEIRO, E. R.; SOUZA. E. F. Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* willd. **Revista Árvore**, v.21. 1997.

DRUMOND, M. A.; KILL, L. H. P.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, M. C. de; OLIVEIRA, V. R. de; ALBUQUERQUE, S. G. de; NASCIMENTO, C. E. S.; CAVALCANTI, J. **Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga.** Documento para discussão no GT Estratégias para o Uso Sustentável. Petrolina, 2000.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 350-356, 1956.

DUNIN, F. X. Integrating agroforestry and perennial pastures to mitigate water logging and secondary salinity. **Agricultural Water Management**, v. 53, p. 259–270, 2002.

DIAS, N. da S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEY, H.R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F de. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza-CE, INCSal, 2010. 472 p.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasilia: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

FAGERIA, N. K.; SOARES FILHO, W. dos S.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, 2010 472 p.

FAO. **Water in agriculture: opportunity untapped.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.

FEIKEMA, P. M.; BAKER, T. G. Effect of soil salinity on growth of irrigated plantation Eucalyptus in south-eastern Australia. Agricultural Water Management, v. 98, p. 1180–1188, 2011.

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; GHEYI, H. R.; SOARES FILHO, W. S.; MELO, A. S.; CARNEIRO, P. T. Crescimento de híbridos e variedades porta-enxerto de citros sob salinidade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 259-267, 2011

FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; HOLANDA, J. S.; BLANCO, F. F. Emissão foliar, relações iônicas e produção do coqueiro irrigado com água salina. **Ciência Rural**, v.37, n.6, p 1675-1681, 2007.

FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H.R.; HOLANDA, J.S. de; MEDEIROS, J.F. de; FERNANDES, P.D. Qualidade do fruto verde de coqueiro em função da irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.69-75, 2002

FLOWERS, T. J.; TROKE, P. F.; YEO, A. R. The mechanism of salt tolerance in halophytes. **Annual Review in Plant Physiology**, v. 28, p. 89-121, 1977.

FREIRE, M. B. G. S.; SOUZA, E. R.; FREIRE, F. J. Fitoremediação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de. (Org.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: estudos básicos e aplicados**. 1 ed. Fortaleza: INCTSal, 2010, v. 1, p. 459-471.

FULLER, W. H. **Water soil and crop management, principles for the control of salts**. Tucson: University of Arizona. 1967. 21 p. (University of Arizona. Bulletin, A – 23).

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

GEBAUER, J.; EL-SIDDIG, K.; SALIH, A.A.; EBERT, G. Tamarindus indica L. seedlings are moderately salt tolerant when exposed to NaCl-induced salinity. **Scientia Horticulturae** v.103. p.1–8. 2004.

GLYNN, P.; FRASER, C.; GILLIAN, A. Foliar salt tolerance of Acer genotypes using chlorophyll fluorescence. **Journal of Arboriculture**, Urbana, v.29, p.61-65, 2003.

GOLDSCHIMIDT, E. E.; HUBER, S. Regulation of photosynthesis by end-product accumulation in leaves of plants storing starch, sucrose, and hexose sugars. **Plant Physiology**, v.99, p.1443-1448, 1992.

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

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Ann. Rev. Plant Physiol.,** v.31, p.149-190, 1980.

HASEGAWA, P. M., BRESSAN, R. A. , ZHU, J. K., BOHNERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol**. 2000. 51:463-499.

HOLANDA, A. C.; SANTOS, R. V. dos; SOUTO, J. S.; ALVES, A. R. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 39-50, 2007.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. C. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 43-61.

JIMENEZ, M. S.; GONZALEZ-RODRIGUEZ, A. M.; MORALES, D.; CID, M. C.; SOCORRO, A. R.; CABALLERO, M. Evaluation of chlorophyll fluorescence as a tool for salt stress detection in roses. **Photosynthetica**, Prague, v.33, p.291-301, 1997.

KARABAL, E.; YUCEL, M.; OKTEM, H. A. Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity. 2003. **Plant Sci.** 164, 925–930.

KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J. ; PALLARDY, S. G. **Physiological ecology of woody plants.** Academic Press, New York. 1991.

LACERDA, C. F. de; CAMBRAIA, J.; CANO, M.A.O.; RUIZ, H.A.; PRISCO, J.T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environ. Exp. Bot.**, 47:107- 120, 2003.

LACERDA, C. F. de; COSTA, R.N.; BEZERRA, M.A.; GHEY, H.R. Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. In: GHEY, H. R.; DIAS, N. S da; LACERDA, C. F. de **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza-CE, INCSal, 2010. 472 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Trad. de C.H.B.A. Prado. São Carlos: Rima, 2000. 531p.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups**. 3 ed. Springer, Berlin/ London. 1995.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**. v.25, p.275-290, 2002.

LIMA, D. A. **Plantas da Caatinga.** Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro. 275 p. 1989.

LIMA JUNIOR, J.A. de; SILVA, A.L.P. da. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; 2010.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. V.1, 4ª Ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002. p. 512.

LUCENA, C. C. **Crescimento vegetativo, absorção de nutrientes e trocas gasosas de mangueiras submetidas a estresse salino**. Dissertação. Viçosa, MG. 2009.

MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: D&Z Computação Gráfica e Editora, 2004. 413p.

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

MALASH, N.; FLOWERS, T. J.; RAGAB R. Effect of irrigation methods, management and salinity water on tomato yield, soil moisture and salinity distributiion. **Irrigation Science**, v. 26, p. 313-323. 2008.

MANSOUR, M. M. F.; SALAMA K. H. A. Cellular basis of salinity tolerance in plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 52, p. 113-122, 2004.

MARCAR, N. E.; CRAWFORD, D, F.; SAUNDERS, A.; MATHESON, A. C; ARNOLD, R. A. Genetic variation among and within provenances and families of Eucalyptus grandis W. Hill and E. globulus Labill. subsp. globulus seedlings in response to salinity and waterlogging. **Forest Ecology and Management**, v. 162, p.231–249, 2002.

MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H, R; FERNANDES, P. D.; HOLANDA, J. S.; FERREIRA NETO, M. Alterações fisiológicas em coqueiro irrigado com água salina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.8, p.1277-1284, 2006.

MASS, E. V. Crop salt tolerance. In: TANJI, K. K (Ed.), Agricultural Salinity Assessment and Management. **Manuals and Reports on Engineering**, vol. 71. Am. Soc. Civil. Engr., New York, 1990. p. 202–304.

MASS, E. V. Plant response to soil salinity. In: Promaco Conventions PTY LTD (eds). **Produtive use and rehabilitation of saline lands**. Albany: 1996, p. 385-391.

MEHARI, T.; ERICSSON, M.; WEIH. **Effects of NaCl on seedling growth, biomass production and water status of Acacia nilotica and A. tortilis.** Journal of Arid Environments 62 (2005) 343–349.

MELONI, D. A.; GULOTTA, M. R.; MARTÍNEZ, C. A. Salinity tolerance in Schinopsis quebracho colorado: Seed germination, growth, ion relations and metabolic responses. **Journal of Arid Environments**. v. 72. p. 1785– 1792. 2008.

MORA, A. L; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil, São Paulo**, SBS, p.112, 2000.

MORAIS, D. L. de; VIÉGAS, R. A.; SILVA, L. M. M.; LIMA JR., A. R.; COSTA, R. C. L. da; ROCHA, I. M. A.; SILVEIRA, J. A. G. Acumulação de íons e metabolismo de N em cajueiro anão em meio salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.11, n.2, p.125-133, 2007, Campina Grande, PB.

MOREIRA, F. M. S.; MOREIRA, F. W. Características de germinação de 64 espécies de leguminosas florestais nativas da Amazônia, em condições de viveiro. **Acta Amazônica**, v. 26, n.1, 2. 1996.

MORRIS, J. D.; COLLOPY, J. J. Water use and salt accumulation by Eucalyptus camaldulensis and Casuarina cumminghamiana on a site with shallow saline groundwater. **J. Agric. Water Mngt.** 1999.

MOURA, P. C.; GUERRA, H. O. C.; HOLANDA, J. S.; FARUAS, C. H. A.; SILVA, I. R. Eficiência flora e biomassa dos frutos de coqueiro sob diferentes lâminas de irrigação e níveis salinos. **Caatinga**. v.21. n.5 (Número Especial), p.113-122, 2008.

MUNNS, R. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypothesis**. Plant, cell and environment**, v. 16, n. 1, p. 15-24, 1993.

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

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

MUNNS, R.; TESTER, M., Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annu. Rev. Plant Biol**. n. 59, p.651-681. 2008. Disponível em: www.annualreviews.org. Acesso em 16/06/12.

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

NASCIMENTO, A. H. C. A**spectos fisiológicos e produtivos de clones de cajueiro anão precoce cultivado sob dois regimes hídricos**. 2010. Dissertação. UFC. Fortaleza, Ce.

NAVAS, L. M. Proyecto de mecanismo de desarrollo limpio para la eficiencia energética de los perímetros irrigados de Brasil. **DNOCS**, Fortaleza, 2011 (PALESTRA).

NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, G. J.*;* BRESSAN-SMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae, Amsterdan**, v.104, p.199-209, 2005.

NEUMANN, P. Salinity resistance and plant growth revisited. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, p. 1193-1198, 1997.

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

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, F. P.; MELO, F. N.; AZEVEDO NETO, A. D. Physiological responses to salt stress in young umbu plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 63, p. 147-157, 2008.

OLIVEIRA, A. B de; GOMES FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11, 2010.

OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: **SIMPÓSIO MANEJO E CONTROLE DA SALINIDADE NA AGRICULTURA IRRIGADA**, Campina Grande - PB. Anais... Campina Grande: UFPB, 1997, p. 3 – 35.

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

PANNELL, D. J.; EWING, M. A. Managing secondary dryland salinity: Options and challenges. **Agricultural Water Management**, v. 80, p. 41–56, 2006.

PARANYCHIANAKIS, N. V.; CHARTZOULAKIS, K. S. Irrigation of mediterranean crops with saline water: from physiology to management practices. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 106, p. 171-187, 2005.

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

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

PATEL, A. D.; BHENSDADIA, H.; PANDEY, A. N. Effect of salinisation of soil on growth, water status and general nutrient accumulation in seedlings of Delonix regia (Fabaceae). **Acta Ecologica Sinica**, 29 (2009), 109–115.

PATEL, A. D.; PANDEY, A. N. Effect of soil salinity on growth, water status and nutrient accumulation in seedlings of Cassia montana (Fabaceae). **Journal of Arid Environments.** 70 (2007) 174–182.

PERCIVAL, G.C.; FRASER, G.A. Measurement of the salinity and freezing tolerance of Crataegus genotypes using chlorophyll fluorescence. **Journal Arboriculture**, Urbane, v.27, p.233–245, 2001.

PEREIRA, M. S. **Manual técnico**: Conhecendo e produzindo sementes e mudas da caatinga. Fortaleza-CE, Associação Caatinga, 2011. 86 p.

PEREIRA FILHO, J. M.; VIEIRA, E. L.; KAMALAK A.; SILVA, A. M. A.; CEZAR, M. F.; BEELEN, P. M. G. Correlação entre o teor de tanino e a degradabilidade ruminal da matéria seca e proteína bruta do feno de jurema-preta (Mimosa tenuiflora Wild) tratada com hidróxido de sódio**. Livestock Research for Rural Development**, v. 17, n. 8, 2005.

PINA, A. P. S. A. de. A experiência cabo-verdiana como instrumento de gestão das Bacias Hidrográficas Mosteiros, Ribeira do Paul e Ribeira Fajã servindo de apoio à agricultura irrigada. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2007.

PLAUT, Z. Photosynthesis in plant/crops under water and salt stress. In: Mohammad Pessarakli (eds), **Handbook of Plant and Crop Physiology**. Arizona: Marcel Dekker, Inc., 1995, p. 587-603.

PRISCO, J. T. Alguns aspectos da fisiologia do “stress” salino. **Revista Brasileira de Botânica**, v.3, p.85-94, 1980.

RAJENDRAKUMAR, C. S.; REDDY, B. V.; REDDY, A. R. Proline-protein interaction: protection of structural and functional integrity of M4 lactate dyhydrogenase, Biochem. Biophys. Res. Commun. 201 (1994) 957–963.

RAMOLIYA, P. J.; PANDEY, A. N. Effect of salinization of soil on emergence, growth and survival of seedlings of *Cordia rothii.* **Forest Ecology and Management.** Volume 176, Issues 1–3, 17 March 2003, Pages 185–194.

RAMOLIYA, P. J.; PATEL, H. M.; PANDEY, A. N. Effect of salinization of soil on growth and macro- and micro-nutrient accumulation in seedlings of *Salvadora persica* (Salvadoraceae). **Forest Ecology and Management**. 202 (2004), 181–193.

RAMOS, R. S dos S. **Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em diferentes compartimentos de uma floresta secundária na Amazônia Oriental**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2006.

RHODES, D.; HANSON, A. D. Quaternary ammonium and terciary sulfonium compounds in higher plants. **Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 44, p. 357-384, 1993.

RIBEIRO, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEY, H.R.; DIAS, N.S da; LACERDA, C.F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCSal, 2010. 472 p.

ROBINSON, M. F.; VÉRY, A. A.; SANDERS, D.; MANSFIELD, T.A. How can stomata contribute to salt tolerance?. **Annals of Botany**, vol. 80, p. 387-393, 1997.

SAIRAM, R. K.; TYAGI, A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. **Current Science**, v. 86, p. 407-421, 2004.

SALISBURY F., ROSS C. **Plant Physiology**. Fourth edition**.** California: Wadsworth Publishing Company, 1992, 682 p.

SANTOS, C. M. dos; VERÍSSIMO, V.; WANDERLEY FILHO, H. C. L.; FERREIRA, V. M.; CAVALCANTE, P. G. S.; ROLIM, E. V.; ENDRES, L. Seasonal variations of photosynthesis, gas exchange, quantum efficiency of photosystem II and biochemical responses of Jatropha curcas L. grown in semi-humid and semi-arid areas subject to water stress. **Industrial Crops and Products** 41 (2012) 203– 213.

SANTOS R. V.; HERNANDEZ F. F. F. Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R; QUEIROZ J. E; MEDEIROS, J. F. (ed.), **Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 383p. 1997.

SARMIENTO, G. Ecological and floristics convergences between seasonal plant formations of tropical and subtropical South America. **Journal of Ecology.** 60: 367-410. 1972.

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

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

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

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

SHUKLA, A. K.; MISRA, P. N. Improvement of sodic soil under tree cover. **The Indian Forester**. New Delhi. v.119, n.1, p. 43-52. 1993.

SILVA, F. A. de M.; MELLONI, R.; MIRANDA, J. R. P de; CARVALHO, J. G de. Efeito do estresse salino sobre a nutrição mineral e o crescimento de mudas de aroeira (*Myracrodruom urundeuva*) cultivadas em solução nutritiva. **Cerne**, v.6, n.1, p.052-059, 2000.

SILVA, M. B. R; BATISTA, R. C.; LIMA, V. L. A de; BARBOSA, E. M.; BARBOSA, M. de F. N. Crescimento de plantas jovens da espécie florestal Favela (*Cnidosculus phyllacanthus* Pax & K. Hoffm) em diferentes níveis de salinidade da água. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n.2. 2005

SILVA, M. B. R.; VIÉGAS, R. A.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, S. A. R. **Estresse salino em plantas da espécie florestal Sabiá**. CAMINHOS DE GEOGRAFIA -. Instituto de Geografia UFU. Programa de Pós-graduação em Geografia. Caminhos de Geografia Uberlândia v. 10, n. 30, p. 120 – 127. Jun/2009. Disponível em: <revistaonline.http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. Acesso em: 3 ago 2011.

SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, S. L. F.; SILVA, E. N.; VIEGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de. (Org.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: estudos básicos e aplicados**. 1 ed. Fortaleza: INCTSal, 2010, v. 1, p. 166-185.

SINGH, G.; SINGH, N. T.; TOMAR, O. S. **Agroforestry in salt affected soils**. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, 1993. 65p.

SMEDEMA, L. K.; RYCROFT, D. W. **Land drainage: Planing and design of agricultural drainage systems.** London: Bastfort, 1988. 376p.

SMIRNOFF, N. Plant resistance to environmental stress. (1998) **Curr Opin Biotechnol**. 9:214–219.

SOUSA, A. E. C.; BEZERRA, F. M. L. SOUSA, C. H. C de; SANTOS, F. S. S. dos. Produtividade do meloeiro sob lâmina de irrigação e adubação potássica**. Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.271-278, mar./abr. 2010.

SOUSA, F. Q. de; ARAÚJO, J. L.; SILVA, A. P da; PEREIRA, F. H. F.; SANTOS, R. V. dos; LIMA, G. S de. Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas em solo salinizado tratado com corretivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB. v.16, n.2, p.173–181, 2012.

SOUZA, G. M.; CARDOSO. V. J. M. Toward a hierarchical concept of plant stress. **Journal of Plant Sciences**, v. 51, n. 01, p. 29-37. 2003.

STEWART, G. R.; LEE, J. A. The role of proline accumulation in halophytes, **Planta**. 120 (1974) 279–289.

STILLER, V. Soil salinity and drought alter wood density and vulnerability to xylem cavitation of baldcypress (*Taxodium distichum* (L.) Rich.) seedlings. **Environmental and Experimental Botany**. 67 (2009) 164–171.

SUN, D; DICKINSON, G. R. Salinity effects on tree growth, root distribution and transpiration of Casuarina cunninghamiana and Eucalyptus camaldulensis planted on a saline site in tropical north Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 77, p. 127-138, 1995.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5. ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 2010. 782 p.

TESTER M.; DAVENPORT R. Na^+ tolerance and Na^+ tansport in higher plants. **Annals of Botany**, v. 91, p. 503-527, 2003.

TRINDADE, A. R.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimatação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb**, 10:804-810, 2006.

TYAGI, N. K.; MINHAS, P. S. **Agricultural salinity management in Índia**. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, 1998. 526p.

UNITED STATES SALINITY LABORATORY – USSL STAFF. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, U.S. Department of agriculture, 1954. 160 p.

WEST, D. W. Stress physiology in trees-salinity. **Acta Horticulture.** Hague, v.175, p.322-329, 1986.

WILLADINO, L.; CÂMARA, T. R. Aspectos fisiológicos do estresse salino em plantas. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. de L.; WILLADINO, L.; CAVALCANTE, U. M. T. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005, 500p.

XIONG, L., ZHU, J. K. Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. **Plant Cell Environ** (2002). **25,** 131–139.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, p. 209-213, 1955.

YIN, R.; BAIA, T.; MA, F.; WANGA, X.; LI, Y.; YUEA, Z. Physiological responses and relative tolerance by Chinese apple rootstocks to NaCl stress. **Scientia Horticulturae**, 126 (2010), 247–252.

ZANANDREA, I; NASSI, F.de L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B; PETERS, J. A.; BACARIN, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris.* **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 2, p. 157-161, 2006.

ZOHAR, Y.; SCHILLER, G. Growth and water use by selected seed sources of Eucalyptus under high water table and saline conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 69, p. 265-277, 1998.