

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ALAN DINIZ LIMA

**CRESCIMENTO E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE MUDAS DE QUATRO
ESPÉCIES LENHOSAS SOB CONDIÇÕES DE SALINIDADE,
ENCHARCAMENTO DO SOLO E DÉFICIT HÍDRICO**

FORTALEZA – CE

2015

ALAN DINIZ LIMA

**CRESCIMENTO E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE MUDAS DE QUATRO
ESPÉCIES LEHOSAS SOB CONDIÇÕES DE SALINIDADE,
ENCHARCAMENTO DO SOLO E DÉFICIT HÍDRICO**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola

Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda

FORTALEZA – CE

2015

ALAN DINIZ LIMA

**CRESCIMENTO E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE MUDAS DE QUATRO
ESPÉCIES LEHOSAS SOB CONDIÇÕES DE SALINIDADE,
ENCHARCAMENTO DO SOLO E DÉFICIT HÍDRICO**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola

Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Aprovada em 31 de março de 2015

BANCA EXAMINADORA

Prof. DSc. Claudivan Feitosa de Lacerda
UFC/DENA - Orientador

Prof. DSc. Antonio Marcos Esmeraldo Bezerra
UFC/FITOTECNIA – Co-orientador

Prof. DSc. Francisco Marcus Lima Bezerra
UFC/DENA - Conselheiro

Prof. DSc. Evandro Nascimento da Silva
UECE - Conselheiro

Prof. DSc. Waleska Martins Eloi
IFCE - Conselheira

Aos meus pais Manoel Correia Lima e Janete Diniz Lima, pelo carinho, atenção, dedicação, por sempre acreditarem em mim mais do que eu e por tudo que me proporcionaram para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus irmãos, pelo amor fraternal.

A minha esposa Rousilene Silva, pelo amor, incentivo, orações, compreensão e paciência dedicadas a mim.

OFEREÇO

Ao Professor Claudivan Feitosa de Lacerda, pelos momentos de descontrações, pelas orientações e ensinamentos, por todo tempo que se dedicou ao meu trabalho, por ter sido um excelente orientador e ter acreditado em mim.

AGRADEÇO

A DEUS, pela graça da vida, por ter iluminado e guiado os meus primeiros passos da vida e ter colocado pessoas maravilhosas no decorrer desta e pela concessão das vitórias em minha caminhada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus;

À Universidade Federal do Ceará;

Ao Professor Claudivan Feitosa de Lacerda pela inestimada amizade, compreensão e orientações no decorrer do doutorado;

Ao Dr. Carlos Henrique e Dra. Leila que em momento algum mediram esforços para ajudar tanto na parte experimental como na escrita.

Aos professores Marcos Bezerra, Marcus Bezerra, Marlos Bezerra pelas orientações e prestações de serviços no decorrer dos experimentos.

Aos conselheiros que muito colaboraram para com a finalização deste trabalho: conselheiros Professores Evandro e Waleska.

Agradeço imensamente ao amigo e companheiro José Adriano da Silva, que contribuiu em todos os momentos para desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola e aos seus professores Thales Vinícius de Araújo Viana, Benito Azevedo, Raimundo Nonato e José Carlos por todo apoio, incentivo e amizade;

Aos funcionários do DENA, em especial, ao Maurício Chocolate, Aninha, Willa, Fátima e excelentíssimo Jacó.

Aos amigos da graduação e Pós-Graduação: Daniel Rodrigues (Soneca), Ramyro, Lobato, Haroldo Ferreira, Alan Bernad, Newdmar, Jefferson, André Henrique, André Rufino, Elivânia, Michele Bessa, Leandro, Aglodoaldo, Bruno, Mário, Hernandez, Eraldo, Ana Paula, Adriana, Humberto, Alexandre Reuber, João Valdenor, Clênio, Firmino, Geocleber, Luiz Alves, Wanderley, Limeira, Guilherme, Inêz, Alexandre, Robervânia, Nayara, Rafaela Caetano, Fernandinho, Júlio, pela amizade construída ao longo desses anos, pelas brincadeiras, descontrações, incentivos e pelas palavras de conforto e carinho a mim dirigidas;

A todos que deram sua contribuição, para que eu chegasse até aqui.

A UFC, CNPq e a CAPES pela concessão de bolsa e financiamento da pesquisa durante a minha pós-graduação.

**“... Mil cairão ao teu lado, e dez mil à tua direita,
mas tu não serás atingido...”**

Salmo 91 – Bíblia Sagrada

RESUMO

Objetivou-se com essa pesquisa ampliar o conhecimento sobre os mecanismos fisiológicos e de crescimento de espécies lenhosas submetidas à salinidade, encharcamento e déficit hídrico, em condições de casa de vegetação, com intuito de fornecer subsídios para utilização dessas espécies em áreas degradadas. Como estratégia experimental foram realizado dois experimentos e dividido em dois capítulos para cada experimento. Os experimentos foram 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. Para a realização utilizou-se quatro espécies florestais, sendo três nativas da Caatinga (Aroeira, Sabiá e Ipê roxo) e uma espécie exóticas (Nim). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial triplo, com quatro espécies florestais (Aroeira, Ipê, Sabiá e Nim), dois níveis de salinidade (1,2 e 8,6 dS m⁻¹) e dois regimes hídricos (com e sem encharcamento do solo) para o primeiro experimento e para o segundo experimento diferenciou-se apenas o regime hídrico adotado (sem e com restrição hídrica). Ao final do experimento foram medidos a altura da planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), a área foliar (AF), a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST) e tolerâncias das espécies. Antes e depois de cada período de encharcamento e no início e final do experimento da restrição hídrica foram realizadas medições da condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E) e taxa de fotossintética (A), eficiência instantânea no uso da água (EUA), eficiência potencial do fotossistema II (Fv/Fm) e o índice relativo de clorofila (IRC). De posse dos dados tabulados, os mesmos foram submetidos à análise de variância e, após verificada a significância estatística dos fatores avaliados, fez a comparação das medias utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as análises foi utilizado o programa “ASSISTAT versão 7.6 beta” e para confecção dos gráficos o EXCEL 2007. Para todos os capítulos dessa tese percebeu-se pela análise de variância que houve os mais variados níveis de significância estatísticas para as variáveis analisadas em função dos fatores avaliados, seja pelo fator isolado, pela interação de dois fatores ou até mesmo pela interação tripla, de tal forma que no capítulo 1, concluiu-se que as variáveis de crescimento analisadas não sofreram influencia da interação conjunta dos três fatores, espécies florestais, salinidade e regime hídrico, em contrapartida houve influencia desses fatores isoladamente ou interagindo em duplicidade. Para a maioria das espécies o fator encharcamento isoladamente provocou maiores danos às plantas do que o fator salinidade. As maiores reduções no crescimento foram verificadas quando as plantas foram submetidas à salinidade e aos ciclos de encharcamento. O Nim apresentou maior estabilidade em termos de produção de matéria seca, quando submetidas aos fatores de estresse de forma isolada ou conjuntamente, enquanto o Ipê roxo foi a espécie que apresentou maior sensibilidade à salinidade e à ação conjunto da salinidade e encharcamento. No capítulo 2, o encharcamento do solo foi o fator que mais contribui com redução das variáveis analisadas. A salinidade do solo, apesar de reduzir os valores de algumas variáveis, não afetou de forma significativa as trocas gasosas e a eficiência potencial do fotossistema II. A interação do maior nível salino e do encharcamento do solo (CSCE) causou maiores reduções nas trocas gasosas, sendo que o Ipê roxo foi a espécie que apresentou maior sensibilidade aos dois fatores de estresse estudados. No capítulo 3, a redução de 50% da reposição de água para as mudas das quatro espécies estudadas não foi suficiente para provocar danos significativos ao crescimento das

plantas, com redução média na produção de matéria seca inferior a 10%.As espécies Nim, Aroeira e Ipê roxo se mostraram moderadamente sensíveis à salinidade, enquanto a espécie Sabiá se mostrou sensível com redução na produção de biomassa seca superior a 75%. A restrição hídrica combinada com o estresse salino somente alterou negativamente a produção de matéria seca da espécie aroeira, aumentando a sensibilidade desta espécie em relação ao efeito isolado da salinidade. No capítulo 4, a redução de 50% da reposição de água para as mudas das quatro espécies estudadas não foi suficiente para afetar de forma significativa as trocas gasosas e a eficiência potencial do fotossistema II. A salinidade do solo reduziu as trocas gasosas foliares nas espécies aroeira e sabiá, porém nenhum efeito significativo foi observado em plantas de Nim e Ipê roxo. A restrição hídrica combinada com o estresse salino não afetou de forma significativa as variáveis estudadas.

Palavras-chave: Revegetação. Áreas degradadas. Ambiente protegido. Trocas gasosas.

ABSTRACT

The objective of this research was to increase knowledge about the physiological (and growth) mechanisms of woody species subjected to salinity, flooded soil and drought in greenhouse conditions, aiming at obtaining knowledge for managing these species in degraded areas. As an experimental strategy, we conducted two experiments, each divided into two parts (totalling four parts). The experiments were conducted at the Center for Teaching and Research in Urban Agriculture (NEPAU) of the Plant Science Department of the Federal University of Ceará - UFC, located in Fortaleza - CE. For the realization we used four “forest” species, that is, three caatinga species (Aroeira, Sabiá and Ipê Roxo) and one exotic species (Nim). The experimental design was that of complete randomization in a triple factorial arrangement, with four forest species (Aroeira, Ipê, Sabiá and Nim), two salinity levels (1.2 and 8.6 dS m⁻¹) and two watering regimes (normal soil and flooded soil) for the first part. The second part of the experiment differed only in the watering regimes (with and without water restriction). At the end of the experiment, were measured plant height (ALT), stem diameter (DC), number of leaves (NF), leaf area (AF), shoot dry matter (MSPA), root dry matter (MSR) and total dry matter (MST) and tolerances of the species. Before and after each flooding period and at the beginning and at the end of the water restriction period, were measured the stomatal conductance (gs), the transpiration rate (E) and photosynthetic rate (A), the instantaneous water use efficiency (EUA), potential efficiency of photosystem II (Fv/ Fm) and the relative chlorophyll index (CRI). Having acquired and tabulated the data, it was subjected to analysis of variance and after verified the statistical significance of the assessed factors, it was performed the comparison of means by the Tukey test at 5% probability. For the statistical analysis we used the program "ASSISTAT version 7.6 beta" and the graphs were elaborated by EXCEL 2007. For all parts of this thesis, it was concluded from the analysis of variance that there were various levels of statistical significance for the variables examined, in the light of the factors evaluated, either by a single factor, or by the interaction of two factors, or even by triple interaction, such that in first part, it was concluded that, while the growth variables did not suffer influence of joint interaction of three factors, forest species, salinity and water regime, on the other hand there were influences from these factors, either from each factor alone or from combined interaction. For most species, the flooding factor alone caused more plant damage than the salinity factor. The highest growth decrease happened when plants were subjected to salinity and flooding cycles. The Nim showed greater stability in terms of dry matter production when subjected to stress factors, separately or not, while the Ipê Roxo was the species that showed higher salinity sensitivity and higher sensitivity to combined salinity and flooding. In part 2 (of the experiment) flooding was the factor that most contributed to decrementing the analyzed variables. Soil salinity, despite lowering the values of some variables, did not affect significantly the gas exchange and the potential efficiency of photosystem II. The interaction of salinity increase and flooded soil (CSCE) caused the largest gas exchange decrements, and Ipê Roxo was the most sensitive species to both studied stressors. In part 3, the decrease in 50% of the supplied water for the seedlings of the four studied species was not enough to cause significant decrement to plant growth, with less than 10% average decrement in dry matter production. The Nim, Aroeira and Ipê Roxo species proved moderately sensitive to salinity, while the Sabiá species showed

sensitivity by lowering dry matter production in more than 75%. The water restriction combined with the salt stress decreased the dry matter production of only the Aroeira species, increasing the sensitivity of this species, as compared to its sensitivity to salinity alone. In part 4, the 50% decrease in supplied water for the seedlings of the four species studied was not enough to significantly affect gas exchange and the potential efficiency of photosystem II. Soil salinity reduced the leaf gas exchange in the Aroeira and Sabiá species, but no significant effect was observed in the Nim and Ipê Roxo plants. The water restriction combined with the salinity stress did not affect significantly the studied variables.

Keywords: Revegetation. Degraded areas. Protected environment. Gas exchange.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1 – Altura de planta em função das espécies avaliadas.....45
- Figura 2 – Diâmetro do caule de plantas de Nim, Aroeria, Sabiá e Ipê roxo em função da salinidade (A) e do regime hídrico (B).....46
- Figura 3 – Número de folha de plantas de Nim, Aroeria, Sabiá e Ipê roxo em função da salinidade (A) e do regime hídrico (B).....47
- Figura 4 – Área foliar de plantas de Nim, Aroeria, Sabiá e Ipê roxo em função da salinidade (A) e do regime hídrico (B).....48
- Figura 5 – Massa seca parte área em função de plantas de Nim, Aroeria, Sabiá e Ipê roxo (A), salinidade (B) e do regime hídrico (C). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$).....49
- Figura 6 – Massa seca das raízes de plantas de Nim, Aroeria, Sabiá e Ipê roxo em função da salinidade (A) e do regime hídrico (B).....49
- Figura 7 – Massa seca total de plantas de Nim, Aroeria, Sabiá e Ipê roxo em função da salinidade (A) e do regime hídrico (B).....50

CAPÍTULO 2

- Figura 1 - Representação gráfica do teste de média da condutância estomática (g_s) para as espécies estudadas (A) e para a interação salinidade e regime hídrico (B), antes dos ciclos de encharcamento do solo.....65
- Figura 2 - Representação gráfica do teste de média para taxa de assimilação de CO_2 (A) para as espécies estudadas (A) e para a interação salinidade e regime hídrico (B) antes dos ciclos de encharcamento do solo.....67
- Figura 3 - Representação gráfica do teste de média da transpiração (E) para as espécies estudadas (A) e para a interação salinidade e do regime hídrico (B) antes dos ciclos de encharcamento do solo.....69
- Figura 4 - Representação gráfica do teste de média da eficiência instantânea do uso da água (EUA) em função da salinidade do solo antes dos ciclos de encharcamento do solo.....72
- Figura 5 - Representação gráfica do teste de média da eficiência instantânea do uso da água (EUA) em função das espécies (A) e da interação salinidade versus regime hídrico (B) depois dos ciclos de encharcamento do solo.....72

Figura 6 - Representação gráfica do teste de média para fluorescência da clorofila (Fv/Fm) em função das espécies florestais estudadas, antes (A) e depois do encharcamento do solo (B).....75

Figura 7 - Representação gráfica do teste de média para fluorescência da clorofila (Fv/Fm) em função das interações espécies florestais x salinidade do solo nas leituras realizadas antes dos ciclos de encharcamento do solo.....76

CAPÍTULO 3

Figura 1 – Representação gráfica do teste de média para altura de planta em função das espécies avaliadas (A) e do fator salinidade (B).....85

Figura 2 – Representação gráfica do teste de média para diâmetro do caule em função da interação entre espécies e regime hídrico (A) e do fator salinidade (B).....86

Figura 3 – Representação gráfica do teste de média para número de folhas em função das espécies avaliadas (A) e do fator salinidade (B).....87

Figura 4 – Representação gráfica do teste de média para área foliar em função da interação entre espécies e regime hídrico (A) e do fator salinidade (B).....88

Figura 5 – Representação gráfica do teste de média para massa seca da parte aérea em função das espécies (A) e para a interação entre salinidade e regime hídrico (B).....89

Figura 6 – Representação gráfica do teste de média para massa seca das raízes em função das espécies avaliadas (A) e do fator salinidade (B).....90

Figura 7 – Representação gráfica do teste de média para massa seca total em função da interação entre espécies e regime hídrico (A) e do fator salinidade (B).....91

CAPÍTULO 4

Figura 1 - Representação gráfica da condutância estomática (g_s) para interação espécies e salinidade no início (A) e no final (B) das leituras realizadas.....103

Figura 2 - Representação gráfica do teste de média para transpiração (E) em função da interação espécies e salinidade do solo na leitura inicial.....104

Figura 3- Representação gráfica do teste de média para taxa de assimilação de CO_2 (A) em função da interação espécies e salinidade do solo na leitura inicial.....105

Figura 4 - Representação gráfica do teste de média para taxa de assimilação de CO_2 (A) da interação espécies e salinidade na leitura final para as espécies estudadas (A) e para a interação salinidade e déficit hídrico (B) na leitura final.....106

Figura 5 - Representação gráfica do teste de média para Eficiência instantânea do uso da água (*EUA*) em função das espécies florestais estudadas (a) na leitura inicial.....108

Figura 6 - Representação gráfica do teste de média para índice relativo da clorofila (*IRC*) em função das espécies florestais estudadas (A) e para salinidade (B) na leitura inicial...109

Figura 7 - Representação gráfica do teste de média para índice relativo da clorofila (*IRC*) em função das espécies florestais estudadas (a) e para salinidade (b) na leitura final.....110

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

- Tabela 1 - Descrição das espécies utilizadas no experimento em ambiente protegido (nome popular, nome científico).....42
- Tabela 2 - Classificação de espécies vegetais quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução do crescimento ou produtividade.....44
- Tabela 3 – Resumo da análise de variância para altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST) das quatro espécies estudadas em função da salinidade e do regime hídrico.....45
- Tabela 4 - Redução na produção de matéria seca total (%) das espécies avaliadas, em função da interação salinidade e do regime hídrico.....51

CAPÍTULO 2

- Tabela 1 - Descrição das espécies utilizadas no experimento em ambiente protegido (nome popular, nome científico).....62
- Tabela 2 – Resumo da análise variância para condutância estomática (g_s), taxa de assimilação de CO_2 (A) e transpiração (E) antes ($_{ANT}$) e depois ($_{DEP}$) dos encharcamentos do solo salino em quatro espécies florestais.....64
- Tabela 3 - Teste de média para a condutância estomática (g_s) depois dos ciclos de encharcamento do solo em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico.66
- Tabela 4 - Teste de média para taxa de assimilação de CO_2 (A) em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico do solo depois dos ciclos de encharcamento do solo.....68
- Tabela 5 - Teste de média para transpiração (E) em função da interação das espécies, salinidade e do regime hídrico depois dos ciclos de encharcamento do solo.....70
- Tabela 6 - Resumo da análise de variância para a eficiência instantânea do uso da água (EUA), índice relativo da clorofila (IRC) e eficiência potencial do fotossistema II (F_v/F_m) antes ($_{ANT}$) e depois ($_{DEP}$) dos encharcamentos do solo salino em quatro espécies florestais.....71
- Tabela 7 - Teste de média para o índice relativo da clorofila (IRC) antes dos encharcamentos em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico.....73

Tabela 8 - Teste de média para o índice relativo da clorofila (IRC), após os ciclos de encharcamento em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico.....74

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Descrição das espécies utilizadas no experimento em ambiente protegido (nome popular, nome científico).....82

Tabela 2 - Classificação de espécies vegetais quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução do crescimento ou produtividade.....83

Tabela 3–Resumo da análise de variância para altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST) das quatro espécies estudadas em função da salinidade e do regime hídrico.....84

Tabela 4 - Redução na produção de matéria seca total (%) das espécies avaliadas, em função da interação salinidade e regime hídrico.....92

CAPÍTULO 4

Tabela 1 - Descrição das espécies utilizadas no experimento em ambiente protegido (nome popular, nome científico).....100

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para taxa de assimilação de CO₂ (A), transpiração (E) e condutância estomática (Gs) no início (INI) e no final (FIN) das leituras de trocas gasosas em quatro espécies florestais em função da salinidade e regime hídrico.....102

Tabela 3 - Teste de média para transpiração (E) em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico na leitura final.....104

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para eficiência do uso da água (EUA), índice relativo da clorofila (IRC) e eficiência potencial do fotossistema II (Fv/Fm) no início (INI) e no final (FIN) das leituras de trocas gasosas em quatro espécies florestais em função da salinidade e regime hídrico.....107

Tabela 5 - Teste de média para eficiência do uso da água (EUA) no final das leituras de trocas gasosas em quatro espécies florestais em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico.....109

Tabela 6 - Teste de média para eficiência potencial do fotossistema II (Fv/Fm) no final das leituras de trocas gasosas em quatro espécies florestais em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico.....112

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	QUESTÕES, HIPÓTESES E OBJETIVOS	20
2.1	Questões técnico-científicas	20
2.2	Hipóteses.....	20
2.3	Objetivo geral.....	20
2.4	Objetivos específicos.....	20
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	22
3.1	Espécies nativas e exóticas	22
3.1.1	Nim.....	22
3.1.2	Aroeira.....	22
3.1.3	Ipê.....	23
3.1.4	Sabiá.....	24
3.2	Salinidade	24
3.3	Encharcamento do solo	27
3.4	Défict hídrico.....	30
	Referências	33
4	ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL	39
	CAPÍTULO 1 – CRESCIMENTO DE QUATRO ESPÉCIES LENHOSAS SOB CONDIÇÕES DE SALINIDADE E ENCHARCAMENTO.....	40
	Introdução.....	40
	Material e métodos	42
	Resultados.....	44
	Discussão.....	51
	Conclusão	55
	Referências	56
	CAPÍTULO 2 – TROCAS GASOSAS E FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA DE MUDAS DE QUATRO ESPÉCIES LENHOSAS SOB CONDIÇÕES DE SALINIDADE E ENCHARCAMENTO.....	60
	Introdução.....	60
	Material e métodos	61

Resultados e Discussão.....	64
Conclusão	77
Referências	77
CAPÍTULO 3 – CRESCIMENTO INICIAL DE QUATRO ESPÉCIES LENHOSAS SOB CONDIÇÕES DE SALINIDADE E DÉFICIT HÍDRICO.	80
Introdução.....	80
Material e métodos	81
Resultados e Discussão.....	84
Conclusão	93
Referências	94
CAPÍTULO 4 – TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DE MUDAS DE QUATRO ESPÉCIES LENHOSAS SOB CONDIÇÕES DE SALINIDADE E DÉFICIT HÍDRICO.....	98
Introdução.....	98
Material e métodos	99
Resultados e Discussão.....	101
Conclusão	112
Referências	112

INTRODUÇÃO

Em áreas irrigadas é comum o surgimento de solos afetados por sais causados pelo manejo inadequado da irrigação, principalmente, e de outras práticas, de modo que importantes extensões de terras férteis e agricultáveis, no muito inteiro, vêm cada vez mais se tornando salinas. Isso se verifica, no entanto, em decorrência de práticas de manejo que não visam à conservação da capacidade produtiva do solo, como inexistência de sistema de drenagem eficiente, uso de águas em quantidade e com qualidade não adequadas, além do emprego incorreto e excessivo de adubos químicos.

Dentre as várias práticas existentes e que visam à utilização dessas áreas salinizadas, bem como o uso sustentável da biodiversidade local, é essencial conhecer algumas espécies nativas e até mesmo exóticas, com potencial econômico e tolerante a solos salinizados. Nesse sentido algumas espécies nativas e exóticas vêm sendo estudadas, de maneira ainda tímida, mas com resultados promissores quanto à adaptação das mesmas a áreas degradadas por sais.

Outro fato que favorece o uso de tais espécies é o valor econômico que as mesmas oferecem como produto final, sejam elas utilizadas para fins alimentício, cosméticos, farmacêuticos, madeireiros ou até mesmo para preservação. Para tanto, há a necessidade de estudos que busquem aprimoramento no sistema de produção de mudas, já que as mesmas podem ser utilizadas para os mais variados fins.

Não bastasse o problema da salinidade nos solos, outra problemática que também é recorrente em áreas salinizadas e que causam grandes problemas ao desenvolvimento vegetal é o encharcamento do solo, que por sua vez surgem devido à baixa condutividade hidráulica do solo, drenagem ineficiente, precipitações elevadas, elevações do lençol freático, ou seja, surge de todas as características que são inerentes de solos salinizados. Esse encharcamento do solo pode afetar o crescimento de raízes e da parte aérea das plantas, tanto pela inibição do alongamento dos entrenós, quanto pela inibição da expansão das folhas, podendo também acelerar a senescência e abscisão destas.

Em regiões como o Nordeste Brasileiro é comum também à frequência irregular das precipitações tanto temporalmente como espacialmente, acarretando na probabilidade de ocorrência de períodos de veranicos que vão ocasionar déficit hídrico para as plantas. O déficit hídrico é outra variável que reduz a taxa fotossintética afetando a abertura estomática devido a mudanças no *status* de água da folha, o que reduz a transpiração e aumenta a

possibilidade de morte por dessecação das plantas. Dessa forma, várias são as pesquisas que utilizam plantas nativas e exóticas buscando resposta das mesmas quanto a adaptação a solos com carência hídrica.

Frente ao exposto, faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que busquem o aperfeiçoamento de técnicas de manejo e produção de espécies lenhosas em solos afetados por sais, encharcamento e déficit hídrico, com o intuito de corrigi-los para que o mesmo seja reintegrado ao sistema de produção, garantindo a permanência do agricultor na zona semiárida evitando, ao mesmo tempo, aumento do êxodo-rural.

Nesse sentido a análise de espécies lenhosas quanto ao crescimento, trocas gasosas e eficiência potencial, submetidas à salinidade, encharcamento e déficit hídrico do solo podem subsidiar conhecimento de como as plantas geneticamente diferentes se adaptam ao mesmo ambiente.

2 QUESTÕES, HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 Questões técnico-científicas

A pesquisa baseia-se em algumas questões técnico-científicas:

1. Como será o desenvolvimento das espécies lenhosas quanto à interação salinidade-encharcamento do solo?
2. Como será o desenvolvimento das espécies lenhosas quanto à interação salinidade e déficit hídrico do solo?
3. Qual espécie será a mais adaptada às condições expostas?
4. Os resultados encontrados poderão ser aplicados em áreas degradadas por sais?

2.2 Hipóteses

Baseando-se nas questões técnico-científicas expõe a seguinte hipótese:

A utilização de espécies lenhosas pode ser uma alternativa para revegetação de áreas degradadas por sais, com problemas de encharcamento e déficit hídrico.

2.3 Objetivo geral

Ampliar o conhecimento sobre os mecanismos fisiológicos e de crescimento de espécies lenhosas submetidas à salinidade, encharcamento e déficit hídrico, em condições de casa de vegetação, com intuito de fornecer subsídios para utilização dessas espécies em áreas degradadas por sais.

2.4 Objetivos específicos

Caracterizar o comportamento das espécies no que diz respeito à altura das plantas, número de folhas, diâmetro do caule, massa seca parte aérea e raiz e massa seca total;

Caracterizar o comportamento das espécies quanto às trocas gasosas e eficiência potencial do fotossistema II.

Determinar a tolerância das espécies quanto à salinidade, encharcamento e déficit hídrico, em condições de casa de vegetação, para gerar subsídios para projetos que visem à recuperação de áreas afetadas por sais;

Verificar, com base nos resultados finais, quais espécies mostraram potencial a se adaptarem a solos degradados por sais e com problemas de encharcamento e déficit hídrico.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Caracterização das espécies nativas e exóticas

3.1.1 Nim

O Nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) é uma árvore pertencente à família Meliaceae originária do Sudeste da Ásia (BISWAS et al., 2002; KIEFER, 2011), que abrange cerca de 51 gêneros e pelo menos 550 espécies. É uma árvore nativa da Índia, de clima tropical, que foi introduzida no Brasil oficialmente em 1984 e é encontrada atualmente em todo o território nacional.

Esta espécie pode ser usada para uma intensa lista de finalidades tais como uso medicinal, indústria de cosméticos, matéria prima para fertilizantes, produção e utilização de biomassa, reflorestamento, produção de inseticida, de sementes e de madeira de excelente qualidade também para sombreamento (NEVES et al., 2003; MARTINEZ, 2002; ARAÚJO et al., 2000), além de constitui-se de excelente opção para o reflorestamento de áreas degradadas.

Nesse contexto, Gahukar (2000) comenta que os produtos derivados das folhas e sementes do nim têm se tornado popular em programas de controle de pragas, principalmente, pelos efeitos indesejados dos produtos químicos sintéticos e por serem eficientes e econômicos no controle de diversas pragas, atuando tanto de forma sistêmica quanto por contato.

3.1.2 Aroeira

Pertencente à família das Anarcadiaceae, a aroeira (*Schinus terebinthifolia* Raddi), também popularmente conhecida como, aroeira-preta, aroeira do sertão, aroeira-vermelha, aroeira-mansa, aroeira-branca, aroeira-da-praia e etc, é uma essência florestal nativa que possui atributos importantes para usos múltiplos. É originada da América do Sul, precisamente do Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina. No Brasil, a sua ocorrência vai desde Pernambuco até o Rio Grande do Sul (DEGÁSPARI, 2004).

É uma espécie de distribuição numa ampla faixa de variação climática, ocorrendo em matas subcaducifólias e caducifólias, frequentemente em agrupamentos densos, em geral associados a afloramentos calcários (FLÖRSHEIM e TOMAZELLO FILHO, 1994).

A aroeira pode ser utilizada para os mais variados fins, dentre eles: madeira e energia, forragem para abelhas, forragem para cabras, cercas vivas, ornamentação, medicinal, arborização de pastos. Lorenzi (2008) relata a importância da aroeira devido à mesma apresentar madeira de excelente qualidade e por ser valorizada para obras externas (mourões, estacas, dormentes, vigas, linhas e caibros, etc.) e ainda em peças torneadas. Além disso, a aroeira ainda é usado pelas suas propriedades terapêuticas e medicinais.

3.1.3 Ipê

Conhecida popularmente como: ipê roxo, pau-d'arco, ipê roxo da mata, ipê preto, ipê rosa, ipê comum, ipê cavatã, lapacho, peúva, piúva e pertencente à família das Bignoniaceae, o ipê (*Tecoma Impetiginosa* Mart.) é uma das espécies nativas bastante pesquisada atualmente no país.

O ipê roxo possui uma ampla distribuição e exploração, conseqüentemente apresenta uma grande importância sócio-econômica e ecológica. A espécie apresenta habitat característico de Floresta Estacional Semidecidual e Decidual, sendo frequente no cerrado, cerrado, caatinga e mata seca (CARVALHO, 1994), com ocorrência desde o Piauí e Ceará, até Minas Gerais, Goiás e São Paulo (LORENZI, 1992). É classificada como secundária tardia a clímax (CARVALHO, 1994) e muito utilizada para recuperação de áreas degradadas (LORENZI, 1992).

Está espécie possui grande potencial madeireiro, ornamental, paisagístico e medicinal. No que diz respeito ao potencial madeireiro, sua importância é conferida nos diversos usos na indústria moveleira, na construção civil (carpintaria), confecção de artigos esportivos e instrumentos musicais. No quesito ornamental e paisagístico, Pott e Pott (1994) relatam que o ipê-roxo também é muito utilizado na arborização urbana, principalmente devido as suas flores serem muito utilizadas no paisagismo e na recomposição vegetal de áreas degradadas. Quanto ao seu potencial medicinal, a casca do caule possui propriedades medicinais, e são usadas em xaropes e banhos (LORENZI, 2008).

3.1.4 Sabiá

Sabiá ou sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) é uma espécie florestal nativa da família Leguminosae-Mimosoideae. É uma planta pioneira, decídua, heliófila, característica da caatinga no Nordeste do país.

Essa espécie tem sua madeira usada na produção de moirões, estacas, postes, lenha e carvão e, devido a sua forma entouceirada, também é empregada como cerca viva (LORENZI, 1998). Além disso, de acordo com Silva *et al.* (2009), a espécie pode proporcionar melhoria na estrutura do solo, incorporar matéria orgânica ao solo e servir como cobertura vegetal.

É planta de rápido crescimento, ideal para reflorestamentos destinados à recomposição de áreas degradadas. Possui ainda boa capacidade de regeneração natural e se propaga facilmente por sementes. Suas folhas, verdes ou secas, assim como as vagens, são forrageiras. Sua folhagem é considerada uma valiosa fonte de alimento para grandes e pequenos ruminantes, principalmente na época seca.

3.2 Salinidade

O processo de salinização dos solos e das águas subterrâneas e superficiais é um dos mais importantes problemas de degradação ambiental, com seus efeitos prejudiciais sendo mais pronunciados nas áreas de regiões áridas e semiáridas, e que vem crescendo rapidamente em diversas partes do globo, causando problemas de grandes proporções na produtividade das culturas agrícolas.

Assim como outras propriedades químicas e físicas, a salinidade do solo e da água é um atributo bastante variável no espaço e no tempo. Os fatores mais diretamente responsáveis por esta salinidade são: a natureza química dos solos, as interações com outros fatores, aumentando na perda de permeabilidade, elevação do nível do lençol freático e as variáveis climáticas, como pluviosidade, irregularidade de distribuição das chuvas, além das perdas hídricas por evaporação e evapotranspiração. Além disso, os efeitos dependem de muitos outros fatores, como espécie, cultivar, estágio fenológico, características dos sais, intensidade e duração do estresse salino, manejo cultural e da irrigação e condições edafoclimáticas (ALIAN *et al.*, 2000; TESTER; DAVENPORT, 2003).

Taiz e Zeiger (2013) relatam que as plantas de ambientes salinos podem ser divididas em dois grandes grupos de tolerância: glicófitas – as que apresentam menor resistência à salinidade e halófitas - as que vivem em solos com alta concentração de sais. As halófitas possuem a capacidade de acumular, de compartimentalizar sais nas suas folhas, sem prejuízo para a planta. Essa acumulação iônica permite a manutenção de elevado conteúdo hídrico na célula, mesmo na presença de valores elevados concentrações de salinidade o que resulta em baixo potencial hídrico.

Para o estágio fenológico, a tolerância de plantas à salinidade é variável em função do ciclo fenológico ou do seu estágio de desenvolvimento. Algumas espécies são afetadas na fase inicial, já outras espécies, são bastante sensíveis durante a floração e a frutificação.

Em se tratando dos sais, os principais sais solúveis encontrados nos solos salinos são cloretos, sulfatos e bicarbonatos de Na, Ca e Mg. Em menor quantidade podem ocorrer potássio (K^+), amônio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-) e carbonatos (CO_3^{2-}). As fontes fornecedoras dos sais solúveis são, primordialmente, os minerais primários formadores das rochas, por intemperismo químico, sendo a água o principal agente carreador (RIBEIRO, 2010). A intensidade e duração, em parte, esta relacionada com condições de restrição de drenagem, envolvendo lençol freático alto ou baixa permeabilidade, que impedem a lavagem dos sais em profundidade.

A adubação é uma prática que quando superestimada adiciona grandes quantidades de sais no solo, somado-se à irrigação e condições edafoclimáticas desfavoráveis maximizam o processo de salinização do solo.

Numa escala mundial, existe uma área de aproximadamente 400 milhões de hectares de terras utilizada com agricultura, nas quais a produção vem sendo severamente restringida pela salinidade (BOT *et al.*, 2000). Sairam e Tyagi (2004) relatam que estimativas levam a informação que 20% das terras cultivadas no mundo e aproximadamente metade das terras irrigadas estejam afetadas por sais. No Brasil, as áreas salinas concentram-se na sua maior parte na Região Nordeste, principalmente nos perímetros irrigados, os quais, juntos, somam mais de 57% da área total da região semiárida (HOLANDA *et al.*, 2007).

O efeito dessa salinidade no solo causam algumas alterações químicas e físicas, tais como: diminuição da disponibilidade de nutrientes e do potencial da água no solo; dispersão de partículas, encrostamento e compactação do solo; aumento da resistência a penetração de raízes; toxicidade de íons específicos (inibição competitiva). Já na planta, os efeitos são

expressados pelo estresse hídrico, alterações no metabolismo geral das plantas, toxidez de íons específicos (Cl^- , Na^+), inibição competitiva (Cl^- vs NO_3^- ; Na^+ vs K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), redução da taxa de crescimento, redução da produtividade.

Por consequência, a salinidade, tanto de solos como de águas, é uma das principais causas de queda do rendimento das plantas, devido aos efeitos de natureza osmótica, tóxica e/ou nutricional, afetando processos metabólicos vitais, como fotofosforilação, cadeia respiratória, assimilação do nitrogênio e metabolismo das proteínas (MUNNS e TESTER, 2008; TESTER; DAVENPORT, 2003).

Uma forma de tolerar esse estresse salino é através de uma série de adaptações integradas envolvendo sistemas celulares e metabólicos. Entre os mecanismos mais conhecidos relacionados à resistência à salinidade, está a capacidade de exclusão de Na^+ e Cl^- do citosol da célula, que é fundamental para a caracterização da resistência ao estresse salino em espécies ou genótipos de interesse (WAHOME *et al.*, 2001; ESTAÑ *et al.*, 2005; PARANYCHIANAKIS; ANGELAKIS, 2008).

Para tanto, as plantas ampliaram seus mecanismos bioquímicos e moleculares para tolerar o estresse salino através de produtos e processos alternativos. As estratégias bioquímicas utilizadas incluem acumulação ou exclusão seletiva de íons, controle da entrada de íons pelas raízes e transporte para as folhas, compartimentalização de íons a nível celular (vacúolos) e estrutural (folhas), síntese de osmólitos, alterações nas vias fotossintéticas, modificações na estrutura de membrana, indução de enzimas antioxidantes e hormônios.

Nesse sentido, Lima *et al.* (2012) avaliando a tolerância de seis espécies nativas (Aroeira, Ipê roxo, Mororó, Mulungu, Pau mocó e Sabiá) a seis níveis de salinidade, observaram que as espécies ipê, aroeira e mulungu apresentaram maiores graus de tolerância aos diferentes níveis de sais avaliados na pesquisa e que a espécie sabiá apresentou a maior sensibilidade à salinidade do solo, dentre as seis espécies avaliadas.

Já Silva *et al.* (2009) estudando o efeito de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação (1, 2, 3, 4, 5 e 6 dSm^{-1}) em plantas jovens de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) cultivadas em condições de casa-de-vegetação com o objetivo de avaliar o crescimento verificaram que a salinidade afetou de forma diferenciada cada variável estudada (altura, diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea e das raízes) sugerindo que os efeitos deletérios da salinidade, não foram igualmente distribuídos.

Sousa *et al.* (2012) avaliando o efeito de corretivos sobre a recuperação de um solo afetado por excesso de sais e sódio e sobre o crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas nativas da Caatinga, [(*Anadenanthera macrocarpa* (Vell.) Brenan - angico), (*Myracrodruon urundeuva* - aroeira), *Caesalpinia pyramidalis* Tul. - catingueira), *Caesalpinia ferrea* - pau-ferro)] verificaram que a aplicação de sulfato de cálcio, enxofre elementar ou ácido sulfúrico, diminuiu a salinidade e a sodicidade do solo salino-sódico, tendo os dois últimos proporcionado as melhores condições químicas de solo para o crescimento das espécies avaliadas.

3.3 Encharcamento do solo

O encharcamento do solo é considerado um estresse abiótico que interfere no desenvolvimento das culturas agrícolas (AHMED *et al.*, 2013) e seu efeito é potencializado quando o lençol freático permanece próximo da superfície após a semeadura e estabelecimento das culturas. Sob tais condições o solo passa do estado de hipoxia (baixa pressão de oxigênio) para anoxia (ausência de oxigênio no ambiente radicular) e sofre ação de toxinas produzidas por bactérias anaeróbicas do solo, ao longo do tempo, com a intensificação do excesso de água no solo provocado, pela baixa condutividade hidráulica do solo, drenagem ineficiente, precipitações elevadas, elevações do lençol freático. Plantas que se desenvolvem nessas condições têm os crescimentos vegetativo e reprodutivo reduzidos, de forma que a permanência prolongada sob deficiência de oxigênio pode levá-las à morte.

Estima-se que, somente na América do Sul, haja em torno de dois milhões de km² de áreas inundáveis, o que representa, aproximadamente, 11% de toda a área desta vasta região (JUNK, 1993). Contudo, frente a essa vasta área alagada, as plantas submetidas a esse estresse apresentam algumas respostas fisiológicas variadas dependendo de cada espécie. Plantas sob estresse anaeróbico possuem uma limitação nas trocas gasosas pelo fechamento estomático. A baixa disponibilidade de oxigênio pode afetar a condutância estomática, diminuindo a perda de água pela transpiração e também a assimilação de carbono (FERNÁNDEZ, 2006). As plantas sensíveis ao alagamento apresentam uma diminuição na fotossíntese (CHEN *et al.*, 2005), devido a fatores não-estomáticos (bioquímicos), tais como redução da atividade da rubisco (YARDANOVA *et al.*, 2005). Já as plantas tolerantes conseguem manter maior atividade fotossintética, mesmo em ambientes hipóxicos (LI *et al.*, 2004).

A concentração interna de O₂ nas plantas decresce drasticamente sob condição de anoxia somente se a água estiver estagnada (LENSSSEN *et al.*, 2004). A baixa concentração de O₂ no solo compromete o desenvolvimento do sistema radicular e a planta pode emitir raízes adventícias, que promovem o aumento da superfície de contato entre as raízes e o meio ambiente, restabelecendo, em parte, a absorção de água, oxigênio e nutrientes. Estas modificações morfo-anatômicas permitem a difusão do oxigênio da parte aérea da planta para as raízes, mantendo temporariamente o processo de respiração aeróbica (SÁ *et al.* 2004). Essa é uma resposta comum em plantas tolerantes (ARMSTRONG *et al.*, 1994; LIAO; LIN, 2001).

A elevação excessiva e prolongada do nível freático do solo, quando coincidente com a época de maior sensibilidade da cultura, tem sido um dos fatores considerados mais adversos à produção em terras baixas (HADDAD *et al.*, 2000). Os períodos de inundação em que a lâmina d'água cobre o solo por períodos e níveis maiores produzem nas plantas diferenças na estrutura e densidade, podendo levar à morte as plântulas (SOARES; OLIVEIRA, 2009).

O excesso de umidade do solo interfere negativamente na disponibilidade de oxigênio para as plantas, resultando em baixa disponibilidade de trifosfato de adenosina (ATP), na redução do potencial de oxi-redução do solo e no aumento da concentração de substâncias fitotóxicas como dióxido de carbono, etileno, ferro reduzido, metano, sulfetos e outros compostos.

Em resposta as modificações que ocorrem em decorrência da deficiência de oxigênio e do aumento da concentração de gases tóxicos no solo, a planta apresenta uma série de sintomas que afetam severamente o crescimento e a produtividade. Por consequência, a extensão dos danos decorrentes do encharcamento do solo depende de vários fatores, incluindo a duração do período de saturação, o estágio de desenvolvimento da planta, a espécie e as condições ambientais (SEVERINO *et al.*, 2005).

Por outro lado, plantas que se desenvolvem em solos sujeitos ao encharcamento se beneficiam da ação de mecanismos adaptativos envolvendo estruturas que propiciam a tolerância das plantas a esses ambientes. Contudo, os mecanismos que permitem a sua sobrevivência são complexos e envolvem múltiplas interações entre adaptações morfológicas, anatômicas e fisiológicas e essas interações são influenciadas pela velocidade da água de inundação, que é essencial já que a água estagnada causa muito mais injúrias do que a água corrente. Também a época e a duração dos eventos são importantes, pois se ocorrem na

estação de dormência (inverno) e por curtos períodos, não causam tantos problemas quanto os de longa duração, na estação de crescimento (primavera-verão) (KOZLOWSKI, 1997).

Mesmo alagadas, algumas espécies arbóreas perenes são fotossinteticamente ativas, enquanto outras podem continuar crescendo e produzindo folhas, flores e frutos durante o alagamento (WORBES, 1997; SCHÖNGART et al., 2002).

Alguns trabalhos já foram realizados observando o efeito do encharcamento do solo em algumas espécies. Carvalho e Ishida (2002) observaram em plantas com seis meses de idade de pupunheiras (*Bactris gasipaes* Kunth) submetidas ao alagamento das raízes por períodos contínuos de sete, 14 e 21 dias, redução dos teores de clorofila total, N orgânico, P e principalmente K nos tecidos foliares e redução significativa da biomassa das raízes.

Em plantas de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae), Medri et al. (2012) observaram que houve mortalidade de 33,3% das plantas alagadas. Dentre as 66,7% sobreviventes, a taxa de crescimento relativo (TCR) de raízes, caule, folhas e da planta inteira foi inferior à TCR das plantas cultivadas em solo drenado. O alagamento provocou ainda a redução na condutância estomática e na taxa fotossintética.

Martinez et al., (2011) avaliando as respostas morfofisiológicas de plantas de açacu (*Hura crepitans*) com diferentes idades (90 e 120 dias) sob a anoxia do solo e com diferentes períodos de inundação (0, 10, 20 e 30 dias) verificou que as plantas desenvolveram mecanismos adaptativos (estruturas morfológicas como lenticelas hipertróficas e raízes adventícias) e apresentaram comportamento fisiológico que lhes propiciaram tolerância à anoxia. O mesmo autor observou ainda que as respostas das plantas ao excesso de água no solo incluíram inibição do crescimento vegetativo, clorose e senescência foliar.

Sousa (2008) avaliando os desenvolvimentos iniciais de nove espécies de leguminosas, observou que a saturação hídrica do solo afetou o desenvolvimento inicial das raízes e também da parte aérea da maioria das nove espécies testadas, reduzindo o crescimento inicial, dificultando a sobrevivência das plantas e levando-as a morte a maioria das espécies principalmente após o período de alagamento.

Barddal (2006) trabalhou com 8 espécies de arbóreas, *Araucaria angustifolia* (pinheiro-do-paraná), *Erythrina crista-galli* (corticeira-do-banhado), *Luehea divaricata* (açoita-cavalo), *Matayba elaeagnoides* (miguel-pintado), *Salix humboldtiana* (salseiro), *Schinus terebinthifolius* (aroeira), *Sebastiania commersoniana* (branquilho), *Vitex megapotamica* (tarumã), colocadas em água estacionária, trocada a cada semana, durante os períodos de 14,

28 e 56 dias de alagamento, verificou que *E. crista-galli* e *S. humboldtiana* foram as que melhor se comportaram sob alagamento, pois praticamente não tiveram seu crescimento reduzido. *S. commersoniana* teve todos os descritores relacionados à raiz prejudicados, enquanto *M. elaeagnoides* pouco se desenvolveu nos parâmetros avaliados e não formou nenhuma estrutura morfológica adaptativa. *A. angustifolia*, *L. divaricata*, *S. terebinthifolius* e *V. megapotamica* tiveram o desenvolvimento prejudicado na maior parte dos parâmetros avaliados, relacionados à raiz e à porção aérea.

3.4 Déficit hídrico

O déficit hídrico consiste em uma forma de estresse, que através de qualquer fator externo, exerce influência desvantajosa sobre a planta, induzindo respostas em todos os níveis do organismo, podendo ser reversíveis ou permanentes (SALAMONI, 2008). Lechinoski *et al.*, (2007) definem o estresse como uma pressão excessiva de algum fator adverso que apresenta a tendência de inibir o normal funcionamento dos sistemas.

Farias (2005) comenta que, dentre os elementos do clima o que se apresenta como mais limitante às culturas de verão é a água e que a disponibilidade hídrica durante a estação de crescimento é a principal limitação à expressão do potencial de rendimento das culturas, independente do ciclo da cultivar, época da semeadura e do local.

O déficit hídrico para a planta pode ser considerado como um estresse causado pelo conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação, ou seja, fora da quantidade ótima requerida, e afetando a planta proporcionalmente à quantidade e intensidade do déficit (TAIZ; ZEIGER, 2004; LARCHER, 2006).

No Nordeste brasileiro é comum a ocorrência de déficit hídrico nas culturas devido à escassez das precipitações, além da distribuição irregular da mesma. Esse tipo de estresse ocorre em qualquer período em que exista a deficiência de água, seja aguda ou crônica, devido ao processo mais intenso de evaporação e transpiração do que os índices de precipitações, afetando assim o crescimento das plantas.

Em condições de baixa disponibilidade de água no solo, vários processos metabólicos das plantas podem ser influenciados, como abertura estomática, a fotossíntese e transpiração, levando ao declínio da taxa de crescimento (SILVA *et al.*, 2002; GOMES *et al.*, 2004;

PORTES et al., 2006), pois compromete a produção de matéria seca e o crescimento da planta (LARCHER, 2006). Essas informações são confirmadas por Seki et al., (2007) e Tardieu; Tuberosa (2010) que relatam que a deficiência hídrica reduz a área foliar e o acúmulo de biomassa na planta, devido à diminuição da assimilação de CO₂ por causa do fechamento dos estômatos para assim, manter os *status* hídricos da planta .

O déficit reduz a alocação de biomassa das folhas e dos caules e aumenta a das raízes. Essa resposta da planta pode estar associada a um mecanismo de tolerância ao estresse hídrico, pois, sob condições de baixa disponibilidade de água no solo, as plantas tendem a investir mais biomassa no sistema radicular, permitindo maior crescimento de raízes e, conseqüentemente, aumento da capacidade de absorção de nutrientes (CORREIA; NOGUEIRA, 2004).

Para Xoconostle-Cazares *et al.* (2010) algumas plantas podem suportar a falta de água através de diferentes mecanismos, envolvendo adaptações fisiológicas e morfológicas que permitem a sua sobrevivência e uma produtividade satisfatória.

Os mecanismos de resistência à seca podem ser divididos em escape, retardo e tolerância. No primeiro, as plantas adotam uma estratégia de “fuga” apresentando rápido desenvolvimento fenológico e alto grau de plasticidade, sendo capazes de completar seu ciclo de vida antes que o déficit hídrico torne-se severo o bastante para provocar dano fisiológico. O retardo da desidratação corresponde à manutenção do turgor e volume celular, tanto pela absorção de água por um sistema radicular abundante quanto pela redução da perda por transpiração através do fechamento estomático ou por vias não estomáticas como a cutícula. Por fim, a tolerância à seca é um mecanismo que permite à planta manter o metabolismo, mesmo com a redução do potencial hídrico dos tecidos, devido principalmente ao acúmulo de solutos compatíveis ou osmólitos, proteínas osmoprotetoras e à capacidade antioxidante (VERSLUES *et al.*, 2006).

Scalon *et al.* (2011) avaliando o crescimento inicial das mudas de *Guazuma ulmifolia* (mutambo) sob diferentes regimes hídricos (100, 50, 25 e 12,5% da capacidade de campo observou que para a produção de mudas o regime hídrico ideal na fase inicial é de 100% da capacidade de campo (cc), porém as mudas crescem satisfatoriamente sob 50% cc. Abaixo de 25% cc as mudas entram em estresse hídrico antes dos 35 dias de cultivo.

Queiroz *et al.* (2002) avaliando os efeitos do estresse hídrico e da reidratação sobre parâmetros de fluorescência, condutância estomática e peroxidação de lipídios em plantas

de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae) concluíram que plantas jovens de aroeira sob estresse hídrico em níveis baixos de luz, tem a atividade fotossintética reduzida mais em função da limitação na condutância estomática do que a danos irreversíveis ao fotossistema II, ainda que tenham sido detectados níveis elevados de peroxidação lipídica, revertidos logo após a reidratação.

Martins *et al.* (2010) avaliando plantas jovens de Nim-indiano (*Azadirachta indica* A. Juss.) submetidas a diferentes regimes hídricos (100, 80, 60, 40 e 20% da capacidade de pote, suspensão de rega e reirrigado) verificaram que o déficit hídrico diminuiu a altura, número de folhas e diâmetro do caule das plantas nos tratamentos mais severos, afetando ainda a matéria seca das folhas, caule, raízes e total, alocação de biomassa para as folhas, área foliar e que as plantas reirrigadas mostraram recuperação, principalmente evidenciada pela emissão de novas folhas.

Oliveira *et al.* (2011) testando os efeitos do estresse hídrico sobre as trocas gasosas em mudas de *Tabebuia aurea* observaram que essas plantas têm a capacidade de sobreviver curtos períodos de seca, sem qualquer perda na capacidade fotossintética. Esta adaptação está ligada a uma redução na abertura estomática que provoca uma redução na taxa de transpiração e, conseqüentemente, na taxa fotossintética.

Martins *et al.* (2008) trabalhando para quantificar a influência do déficit hídrico no solo sobre a transpiração e sobre alguns parâmetros de crescimento (altura de planta e diâmetro do caule) e desenvolvimento (número de folhas acumuladas na haste principal), em mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* (Smith), observaram que os parâmetros de crescimento e desenvolvimento das mudas decresceram imediatamente após o início do déficit hídrico no solo, antes mesmo de ser a transpiração afetada pela redução da água no solo.

Silva (2011) avaliou a matéria seca, alocação de biomassa, área foliar, pigmentos fotossintéticos e solutos orgânicos em mudas de *Ziziphus joazeiro* Mart. sob déficit hídrico, observou que o déficit hídrico induziu maior acúmulo de carboidratos, proteínas e aminoácidos nas folhas de juazeiro e ainda aumento a translocação de assimilados para o sistema radicular, contribuindo na manutenção do *status* hídrico da planta.

Em experimento desenvolvido em casa de vegetação com plantas jovens de *Mimosa caesalpinifolia*, *Enterolobium contortisiliquum* e *Tabebuia aurea* submetidas a estresse hídrico, Silva (2003) concluiu que o potencial da água na folha, a transpiração e a resistência

oferecida pelos estômatos à passagem do vapor de água, são parâmetros relevantes para inferir os efeitos do estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

- AHMED, F.; RAFIL, M. Y.; ISMAIL, M. R.; JURAIMI, A.S.; RAHIM, H. A.; ASFALIZA, R. e LATIF, M. A. Waterlogging tolerance of crops: breeding, mechanism of tolerance, molecular approaches, and future prospects. **BioMed Research International**, v.2013, p.1-10, 2013.
- ALIAN, A.; ALTMAN, A.; HEUER, B. Genotypic difference in salinity and water stress tolerance of fresh market tomato cultivars. **Plant Science**, Columbus, v.152, n.1, p.59-65, 2000.
- ARAÚJO, L. V. C. de; RODRIGUEZ, L. C. E.; PAES, J. B. Características físico-químicas e energéticas da madeira de nim indiano. **Scientia forestalis**, Piracicaba, SP, Brasil, n. 57, p. 153-159, jun. 2000.
- ARMSTRONG, W.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M.B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica**, Neerlandica, v.43, p.307-358, 1994.
- BARDDAL, M. L. A influência da saturação hídrica na distribuição de oito espécies arbóreas da floresta ombrófila mista aluvial do Rio Iguazu, Paraná, Brasil. **Tese**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, 2006.
- BISWAS, K.; CHATTOPADHYAY, I.; BANERJEE, R. K.; BANDYOPADHYAY, U. Biological activities and medicinal properties of neem (*Azadirachta indica*). **Current Science**, Bangalore, v. 82, p. 1336-1345, 2002.
- BOT, A., NACHTERGAELE, F.; YOUNG, A. Land resource potential and constraints at regional and country levels. Rome: FAO, 2000. (FAO. World Soil Resources Report, 90).
- CARVALHO, C. J. R. de; ISHIDA, F. Y.. Respostas de pupunheiras (*Bactris gasipaes* Kunth) jovens ao alagamento. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1231-1237, set. 2002.
- CARVALHO, P.H.R. **Espécies florestais brasileiras. Recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: Embrapa-CNPQ, 1994. 674p.
- CHEN, H.; QUALLS, R.G.; BALK, R.R. Effect of soil flooding on photosynthesis, carbohydrate partitioning and nutrient uptake in the invasive exotic *Lepidium latifolium*. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v.82, p.250-268, June 2005.
- CORREIA, K.G.; NOGUEIRA, R.J.M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Belo Horizonte, v.4, n.2, 2004.

- DEGÁSPARI, C. H. Propriedades antioxidantes e antimicrobianas dos frutos da aroeira (*Schinus terebenthifolius* Raddi). 2004. 104f. **Tese** (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- ESTAÑ, M.T.; MARTINEZ-RODRIGUEZ, M.M.; PEREZ-ALFOCEA, F.; FLOWERS, T.J.; BOLARIN, M.C. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. **Journal of Experimental Botany**, v.56, p.703-712, 2005.
- FARIAS, José Renato Bouças. Dinâmica da água no sistema solo-água-atmosfera: déficit hídrico em culturas. **ITEM**. n. 68, p. 32-37, 4º trimestre, 2005.
- FERNÁNDES, M.D. Changes in photosynthesis and fluorescence in response to flooding in emerged and submerged leaves of *Pouteria orinocoensis*. **Photosynthetica**, Prague, v.44, n.1, p.32-38, Mar. 2006.
- FLÖRSHEIM, S. M. B, TOMAZELLO FILHO M.; Dendrologia e Anatomia da madeira de aroeira *Myracrodruon urundeuva* F. F. & M. F. Allemão (*Anacardiaceae*). *Rev. Inst. Flor.* 6:75-85. 1994.
- GAHUKAR, R. T. Use of neem products/pesticides in cotton pest management. **International Journal of Pest Management**, London, v. 46, n. 2, p. 149-160. 2000.
- GOMES, M. M. A. et al. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 3, p. 155-161, Sept./Dec.2004.
- HADDAD, M.C., PLATSZECK, O.C., TAMASSIA, M.F.L., CASTRO, F.G.F. Estabelecimento do capim setária cv. Kazungula em condições de inundação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.2, p. 205-212. Apr./Jun. 2000.
- 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.
- JUNK, W. J. Wetlands of tropical South America. In: WHIGHAM, D.; HEJNÝ, S.; DYKYJOVÁ, D. (Ed.). *Wetlands of the world: inventory, ecology and management*. Boston: Dr. W. **Junk Publishing**, 1993. p. 679-739
- KIEFER, C. W. **Evaluation and Use of Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) as an Organic Substrate Component**. Auburn, 2011. 83f. Thesis (Master of Science). Faculty of Auburn University, Auburn University.
- KOZLOWSKI, T.T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiology Mon.** 1, p. 1–29, 1997.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos – SP: Rima, 2006. 531p.

LIAO, C.T.; LIN, C.H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. **Proceedings of the National Science Council**, Taipei, v.25, p.148-157, 2001.

LECHINOSKI, Alessandro *et al.* Influência do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre. v.5, supl.2, p.927-929, jul. 2007.

LENSSSEN, J. P. M. et al. Local adaptation of the clonal plant *Ranunculus reptans* to flooding along a small-scale gradient. **Journal of Ecology**, v.92, p.696-706, 2004.

LI, S.W.; PEZESHKI, S.R.; GOODWIN, S. Effects of soil moisture regimes on photosynthesis and growth in cattail (*Typha latifolia*). **Acta Oecologica**, Berlin, v.25, n.1-2, p.17-22, Mar. 2004.

LIMA, A. D.; SILVA, J. A.; BESSA, M. C.; AMORIN, A. V.; LACERDA, C. F. de; BEZERRA, A. M. E. Tolerância de espécies nativas a diferentes níveis de salinidade do solo. In: INOVAGRI Internacional Meeting e IV WINOTEC, 2012, Fortaleza. Disponível em: <<http://www.inovagri.org.br/meeting2012/wp-content/uploads/2012/06/Protocolo151.pdf>> Acesso em: 05 jun 2013.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 5. ed., Nova Odessa: Instituto Plantarum, v. 1, 2008.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, São Paulo: Plantarum, 1992. 352p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2. ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1998. v.1, 368p.

MARTINEZ, G. B.; MOURÃO, M.; JUNIOR, S. B.; Respostas morfofisiológicas de plantas de açacu (*Hura crepitans* L.) provenientes de várzeas do rio Amazonas: efeito da anoxia do solo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.6, p.1155-1164, 2011.

MARTINEZ, S. S. **O nim – *Azadirachta indica*: natureza, usos múltiplos, produção**. Londrina: IAPAR, 2002. 142 p.

MARTINS, F. B. et al. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre Transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de Eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 32:1297-1306, 2008.

MARTINS, M. de O.; NOGUEIRA, R. J. M. C; NETO, A. D. de A.; SANTOS, M. G. dos. Crescimento de plantas jovens de Nim-Indiano (*Azadirachta indica* a. juss. - Meliaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Revista Árvore**, vol.34 no.5 Viçosa Sept./Oct. 2010

MEDRI, C. *et. al.* O alagamento do solo afeta a sobrevivência, o crescimento e o metabolismo de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae)?. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 123-134, jan./jun. 2012.

MUNNS, R.; TESTER, M.; Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2008. 59:651–81

NEVES, B. P. das; OLIVEIRA, I. P de; NOGUEIRA, J. C. M. **Cultivo e utilização do nim indiano**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa-CNPAF, 2003. 12p. (Embrapa-CNPAF. Circular técnica, 62).

OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J.de; BOCCHESI, R. A. Trocas gasosas em plantas envasadas de *Tabebuia aurea* sob estresse hídrico. *Acta Sci., Agron. (Online)* [online]. 2011, vol.33, n.4, pp. 641-647. ISSN 1807-8621.

PARANYCHIANAKIS, N.V.; ANGELAKIS, A.N. The effect of water stress and rootstock on the development of leaf injuries in grapevines irrigated with saline effluent. *Agricultural Water Management*, v.95, p.375-382, 2008.

POTT, A.; POTT, V.J. **Plantas do pantanal**. Brasília: Embrapa, 1994. 320 p.

PORTES, M. T. et al. Water deficit affects photosynthetic induction in *Bauhinia forficata* Link (Fabaceae) and *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (Rutaceae) growing in understory and gap conditions *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Londrina, v. 18, n. 4, p. 491-512, Oct./Dec.2006.

QUEIROZ, C. G. S.; GARCIA, Q. S.; LEMOS FILHO, J. P. Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membrana em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após reidratação. *Brazilian Journal of Plant Physiology* [online]. 2002, vol.14, n.1, pp. 59-63. ISSN 1677-0420. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202002000100008>

RIBEIRO, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. ISBN 978-85-7563-489-9. Fortaleza – CE 2010.

YORDANOVA, R.Y.; UZUNOVA, A.; POPOVA, L.P. Effects of short-term soil flooding on stomata behaviour and leaf gas exchange in barley plants. *Biologia Plantarum*, Prague, v.49, n.2, p.317-319, June 2005.

SÁ, J.S.; CRUCIANI, D.E.; MINAMI, K. Efeitos de inundações temporárias do solo em plantas de ervilha. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.22, n.1, p.50-54, jan-mar 2004.

SAIRAM, R. K.; TYAGI, A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*, v. 86, n. 3, p. 407-421, 2004.

SALAMONI, A. T.. **Apostila de aulas teóricas de Fisiologia Vegetal**. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria. sem.2, 2008.

SCALON, S. P. Q. et al. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, out.-dez., 2011

SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M. T. F.; LUDWIGSHAUSEN, S.; HORNAS, V.; WORBES, M. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 18, n. 1, p. 581-597, 2002.

SEKI, M. et al. Regulatory metabolic networks in drought stress responses. **Current Opinion in Plant biology**, v. 10, p. 296-302, 2007.

SEVERINO, L. S.; LIMA, C. L. D.; BELTRÃO, N. E. de M.; CARDOSO, G. D.; FARIAS, V. A. **Comportamento da mamoneira sob encharcamento do solo**. Campina Grande, 2005. 14 p. (Embrapa Algodão. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 57).

SILVA, E. C. da; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D. de; SANTOS, V. F. dos. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Bot. Bras.** 2003, vol.17, n.2.

SILVA, M. A.V. da; Caracterização fisioanatômica e bioquímica do Juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) submetido ao déficit hídrico. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Ciência Florestal, Recife, 159 f. 2011.

SILVA, M. B. R.; VIÉGAS, R. A.; NETO, J. D.; FARIAS, S. A. R.; Estresse salino em plantas da espécie florestal Sabiá. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia v. 10, n. 30 Jun/2009 p. 120 - 127

SILVA, S. R. S. et al. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1363- 1368, nov./dez. 2002.

SOARES, J. J.; OLIVEIRA, A. K. M. O paratidal do Pantanal de Miranda, Corumbá-MS, Brasil. **Revista Árvore**, v.33, n.2, p.339-347, 2009.

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

SOUSA, J. V. Desenvolvimento inicial de leguminosas arbóreas nativas em várzea sob diferentes condições de drenagem na regeneração de matas ciliares. 2008. 80 f. **Dissertação** (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós-Graduação – IAC.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Piracicaba: Ed. Artmed, 3. ed., 2013. 719p.

TARDIEU, F.; TUBEROSA, R. Dissection and modellinh of abiotic stress tolerance in plants. **Current Opinion in Plant biology**, v. 13, p. 206-212, 2010.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, London, v.91, n.3, p.503- 527, 2003.

VERSLUES, P.E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S.; ZHU, J.; ZHU, J.K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, v. 45, p. 523–539, 2006

WORBES, M. The forest ecosystem of the floodplains. In: JUNK, W. J. (Ed.). **The Central Amazon floodplain: Ecology of a pulsing system**. Heidelberg: Springer Verlag, 1997, p. 223-266.

WAHOME, P.K.; JESCH, H.H.; GRITTNER, I. Mechanisms of salt stress tolerance in two rose rootstocks: *Rosa chinensis* ‘Major’ and *R. rubiginosa*. **Scientia Horticulturae**, v.87, p.207-216, 2001.

XOCONOSTLE-CAZARES, B.; RAMIREZ-ORTEGA, F.A.; FLORES-ELENES, L. and RUIZ-MEDRANO. Drought tolerance in crop plants. **American Journal Plant Physiology**, 5:241-256, 2010.

YORDANOVA, R.Y.; UZUNOVA, A.; POPOVA, L.P. Effects of short-term soil flooding on stomata behaviour and leaf gas exchange in barley plants. **Biologia Plantarum**, Prague, v.49, n.2, p.317-319, June 2005.

4 ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL

A presente tese foi dividida em dois experimentos que possibilitaram a produção de quatro capítulos, que corresponderão cada, a um artigo científico: O primeiro capítulo foi intitulado, **Crescimento de quatro espécies lenhosas sob condições de salinidade e encharcamento**; o segundo capítulo, **Trocas gasosas e fluorescência da clorofila de mudas de quatro espécies lenhosas sob condições de salinidade e encharcamento**; o terceiro capítulo, **Crescimento inicial de quatro espécies lenhosas sob condições de salinidade e déficit hídrico** e o quarto capítulo, **Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de mudas de quatro espécies lenhosas sob condições de salinidade e déficit hídrico**.

CAPÍTULO I

CRESCIMENTO INICIAL DE QUATRO ESPÉCIES LENHOSAS SOB CONDIÇÕES DE SALINIDADE E ENCHARCAMENTO

INTRODUÇÃO

Em áreas irrigadas, é comum o surgimento de solos afetados por sais causados, principalmente, pelo manejo inadequado da irrigação, bem como de outras práticas, de modo que importantes extensões de terras férteis e agricultáveis, no mundo inteiro, vêm cada vez mais se tornando salinas. A salinidade, tanto dos solos como das águas, é uma das principais causas da queda de rendimento das culturas (FLOWERS, 2004) devido aos efeitos de natureza osmótica, tóxica ou nutricional (VIANA *et al.*, 2004).

O excesso de sais pode perturbar as funções fisiológicas e bioquímicas das plantas, causando estresse osmótico, o que resulta em distúrbios das relações hídricas, alterações na absorção e utilização de nutrientes essenciais além do acúmulo de íons tóxicos. Entretanto, as respostas das plantas à salinidade são complexas e de difícil compreensão por envolverem vários genes e diversos mecanismos fisiológicos e bioquímicos (HASEGAWA *et al.*, 2000).

Não bastasse o problema da salinidade nos solos, outra problemática que também é recorrente em áreas salinizadas e que causam grandes problemas ao desenvolvimento vegetal é o encharcamento do solo. O encharcamento do solo é considerado um estresse abiótico que interfere no desenvolvimento das culturas agrícolas (AHMED *et al.*, 2013) e seu efeito é potencializado quando o lençol freático permanece próximo da superfície após a semeadura e estabelecimento das culturas. Plantas que se desenvolvem nessas condições têm os crescimentos vegetativo e reprodutivo reduzidos, de forma que a permanência prolongada sob deficiência de oxigênio pode levá-las à morte.

Frente a esse estresse anaeróbico as plantas possuem uma limitação nas trocas gasosas pelo fechamento estomático. A baixa disponibilidade de oxigênio pode afetar a condutância estomática, diminuindo a perda de água pela transpiração e também a assimilação de carbono (FERNÁNDEZ, 2006). Já as plantas tolerantes conseguem manter maior atividade fotossintética, mesmo em ambientes hipóxicos (LI *et al.*, 2004) e todas essas características afetam o desenvolvimento vegetativo das espécies.

A existência de salinidade e encharcamento do solo são problemas inerentes de algumas áreas dos perímetros irrigados do Nordeste, que apresentam elevados gradientes de salinidade, que acabam por serem abandonadas devido aos baixos índices de produtividade da área salinizada e muitas vezes alagadas, condições essas em que a exploração de muitas espécies agrícolas é inviável economicamente. Nesse sentido, a viabilidade de restabelecimento dessas áreas, que na maioria das vezes possuem solos aluviais, de textura argilosa (pesados), implica na necessidade de recuperação desses solos, seja através de drenagem para retirada dos sais e rebaixamento do lençol freático ou ainda a utilização de espécies resistentes.

Tendo em vista a problemática da interação salinidade e encharcamento do solo, faz-se necessário à utilização de espécies, dentre elas as florestais, que sejam adaptadas às severas condições climáticas predominantes na região, podendo constituir uma importante alternativa para o aproveitamento e recuperação das áreas salinizadas ou em processos de salinização, bem como sujeitas ao alagamento.

Para Freire *et al.* (2010) uma das possibilidades de reinserir as áreas abandonadas ou com elevada salinidade ao sistema produtivo, é através da utilização de plantas destinadas à produção de alimentos, pecuária ou para reflorestamento, que produzam com viabilidade econômica em áreas sem função agrícola pela salinidade ou sodicidade.

Nesse sentido, pesquisas que quantifiquem o crescimento inicial das essências florestais, principalmente em função dos estresses estudados nesse trabalho, salinidade e encharcamento do solo, são de fundamental importância para seu aproveitamento em programas de reflorestamento, pois são poucos os trabalhos que relatam resultados da interação desses estresses. Na literatura, há diversas pesquisas que estudam os efeitos da salinidade (DIAS; BLANCO, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013) e do encharcamento do solo (GRISI, 2010) em suas formas isoladas. Logo, esses estudos são importantes, visto que o sucesso dos reflorestamentos é dependente, entre outros fatores, da capacidade das mudas de resistirem e se estabelecerem sob condições adversas do meio (NOVOA *et al.*, 2013).

Face ao exposto, objetivou-se com esse trabalho avaliar o crescimento inicial e a tolerância de quatro espécies florestais em função da salinidade e encharcamento do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

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 3° 44´S, longitude 38° 33´ W, na altitude de 20 m, no período de 27 de outubro de 2013 a 25 de fevereiro de 2014.

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 anual é de 1.747,2 mm, a temperatura média anual igual a 26,9°C e a umidade relativa de 69% (SOUSA *et al.*, 2010).

Para composição dos tratamentos com níveis de sais, coletou-se em 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 um sensor modelo Wet Jet (Delta T – Devices, Cambridge, England).

Após a coleta, o solo foi destorroado e em seguida passado em peneira de malha de 5 mm, mediu-se a condutividade elétrica do solo saturado (CE) resultando em dois tratamentos salinos (1,2 e 8,6 dS m⁻¹). A medição da CE foi realizada diretamente na pasta saturada, utilizando-se um sensor modelo Wet Jet.

Para a realização do experimento utilizou-se quatro espécies florestais, sendo três nativas da Caatinga (Aroeira, Sabiá e Ipê roxo) e uma espécie exóticas (Nim), conforme descrição na Tabela 1. O material vegetal para a produção das mudas foi proveniente do banco de sementes do NEPAU.

Tabela 1 - Descrição das espécies utilizadas no experimento em ambiente protegido.

Nome popular	Nome científico
Aroeira	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr Allemão
Sabiá	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth
Ipê roxo	<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex. DC.) Standl
Nim	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss

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, onde permaneceram por 20 dias, sendo irrigadas diariamente com água do poço de condutividade elétrica de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ utilizando-se um sistema de microaspersão.

Aos 20 dias após a semeadura as mudas foram selecionadas de acordo com a uniformidade, sendo em seguida transplantadas para baldes de 8 litros contendo no seu perfil uma camada inferior de 5 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, adicionou-se nas covas de cada vaso, um volume adequado de areia lavada de rio e também adotou-se um período de 20 dias após o transplante (20 DAT) sem o manejo por encharcamento do solo, para que só depois as espécies fossem submetidas ao tratamento. A partir daí, as plantas permaneceram nos vasos até os 100 DAT sendo irrigadas diariamente, utilizando-se um sistema de microaspersão.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial triplo, com quatro espécies florestais (Nim, Aroeira, Ipê, Sabiá), dois níveis de salinidade ($1,2$ e $8,6 \text{ dS m}^{-1}$) e dois regimes hídricos (com e sem encharcamento do solo). Foram utilizadas quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais, sendo cada unidade experimental composta por dois vasos.

Para estudar o efeito do encharcamento, parte dos vasos foram mantidos com umidade acima da capacidade de campo. Foram aplicados três ciclos de alagamento com mais um de recuperação, com duração de 3 dias cada, simulando a ocorrência de 3 enchurradas. O primeiro ciclo de encharcamento ocorreu aos 21 DAT e foi até os 24 DAT. Após esse período de encharcamento foi realizada a drenagem do excesso de água e as plantas permanecerão nessa condição por 15 dias, quando novamente foi imposto o novo ciclo de encharcamento. Para o tratamento sem encharcamento, o mesmo teve sua umidade mantida dentro da faixa ótima de umidade para o desenvolvimento das espécies, durante todo o experimento.

Ao final do experimento foram medidos a altura da planta (ALT), com régua, diâmetro do caule (DC), com paquímetro e o número de folhas (NF). Quantificou-se ainda, a área foliar (AF), através do escaneamento realizado pelo integrador de área foliar LI-COR[®], a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST). A parte aérea foi dividida em folhas, pecíolo e haste, sendo acondicionadas separadamente em sacos de papel previamente identificados. Para a massa seca das raízes, o solo com as raízes foi peneirado e lavado, para obtenção das raízes e em seguida colocou-se em sacos de papel. Os

materiais foram levados à estufa de circulação forçada de ar, a 65°C até atingir peso constante para a obtenção das massas.

Com os dados de massa seca total foram calculadas as perdas percentuais em relação ao menor nível de salinidade e encharcamento do solo, as quais foram utilizadas como índices para comparar a tolerância das quatro espécies (Tabela 2), conforme Fageria *et al.* (2010).

De posse dos dados tabulados, os mesmos foram submetidos à análise de variância e, depois de verificada a significância estatística dos fatores avaliados, fez-se a comparação das medias utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as análises foi utilizado o programa “ASSISTAT versão 7.6 beta” e para confecção dos gráficos o EXCEL 2007.

Tabela 2 - 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 *et al.* (2010)

RESULTADOS

Na Tabela 3 observa-se a representação da análise de variância (ANAVA) das variáveis altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST) das quatro espécies estudadas, Nim, Aroeira, Sabiá e Ipê (Fator A) em função de duas salinidades (Fator B) e dois regimes hídricos (Fator C).

Verifica-se na tabela 3 que todas as variáveis estudadas não apresentaram diferença estatística no que diz respeito à interação tripla dos fatores ($P > 0,05$). Para ALT houve diferença estatística apenas no Fator A ($P < 0,01$). Já para as variáveis DC, AF, NF, MSR e MST verificou-se significância para os fatores de forma isolada e para a interação dos fatores A x B ($P < 0,01$ ou $P < 0,05$). Para a variável NF verificou-se ainda significância para as interações A x C ($P < 0,01$) e B x C ($P < 0,05$). Por outro lado, não verificou-se interação significativa para a variável MSPA ($P > 0,05$), sendo observado efeito significativo apenas para os fatores isoladamente ($P < 0,01$ ou $P < 0,05$).

Tabela 3 – Resumo da análise de variância para altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST) das quatro espécies estudadas em função da salinidade e do regime hídrico.

FV	GL	QM						
		ALT	DC	NF	AF	MSPA	MSR	MST
Fator A	3	1,100**	33,364**	1514,251**	1164978,34**	1438,24**	14,73 ^{ns}	1301,79**
Fator B	1	0,034 ^{ns}	13,34**	218,793**	828374,61**	199,49*	189,88**	778,63**
Fator C	1	0,016 ^{ns}	4,286**	0,001*	362875,97*	385,07**	109,79**	906,10**
A x B	3	0,023 ^{ns}	3,973**	82,182**	263107,4**	45,36 ^{ns}	36,25**	153,52**
A x C	3	0,003 ^{ns}	1,278 ^{ns}	61,196**	156907,26 ^{ns}	29,15 ^{ns}	16,92 ^{ns}	67,00 ^{ns}
B x C	3	0,013 ^{ns}	1,181 ^{ns}	42,793*	30872,37 ^{ns}	44,16 ^{ns}	4,72 ^{ns}	77,79 ^{ns}
A x B x C	3	0,028 ^{ns}	0,114 ^{ns}	16,793 ^{ns}	57336,001 ^{ns}	14,64 ^{ns}	7,78 ^{ns}	19,82 ^{ns}
Tratamento	15	0,235*	8,999**	352,323**	409947,33**	347,39**	35,43**	452,79**
Resíduo	48	0,0015	0,552	9,967	71153,15	36,03	6,82	45,48
Total	63	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	28,28	14,64	20,49	41,96	37,76	52,48	32,30

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

Na Figura 1 observa-se a altura média das plantas (ALT) em função das espécies avaliadas. Verifica-se que o Nim foi à espécie que apresentou maior valor para essa variável, 70,31 cm, não diferindo estatisticamente da espécie Sabiá (60,88 cm). A Aroeira apresentou altura de 32,63 cm apresentando-se estatisticamente diferente do Ipê, que por sua vez obteve em média 13,06 cm de altura de planta.

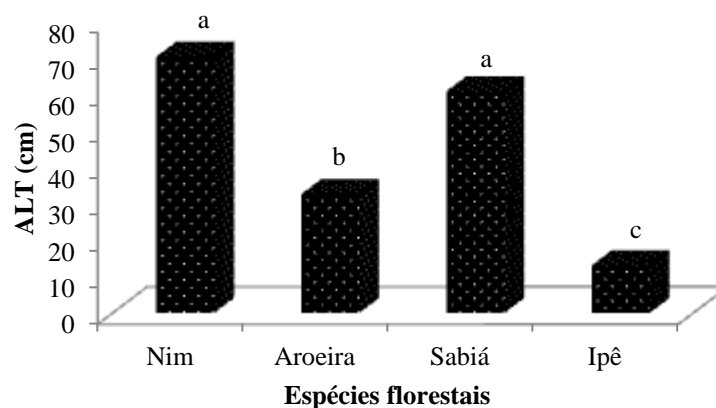


Figura 1 – Altura de planta em função das espécies avaliadas. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)

Na Figura 2, encontram-se as respostas do diâmetro do caule (DC) em função da interação espécies e salinidade do solo (Figura 2A) e do fator isolado regime hídrico (Figura 2B). Percebe-se na Figura 2A que todas as espécies quando submetidas ao solo com menor salinidade apresentaram maiores valores de diâmetro do caule, com exceção da Aroeira, que mesmo apresentando valores superiores de DC para o solo mais salino não diferiu estatisticamente da sua resposta no solo com menor nível de salinidade. Em contra partida para as outras espécies (Nim, Sabiá e Ipê) houve reduções do diâmetro do caule no nível mais alto de salinidade se comparado com menor nível. Houve reduções relativas na ordem de 8,0; 21,77 e 40,13%, respectivamente, para Sabiá, Nim e Ipê.

Na Figura 2B obtiveram-se valores do DC de 5,33 cm no solo nos quais as plantas não foram submetidas ao encharcamento (SE). Quando submetidas ao encharcamento (CE) as plantas apresentaram valores de 4,82 cm, o que as diferenciaram estatisticamente do outro tratamento. Percebe-se que houve reduções relativas de cerca de 10% do tratamento sem encharcamento (SE) e com encharcamento do solo (CE).

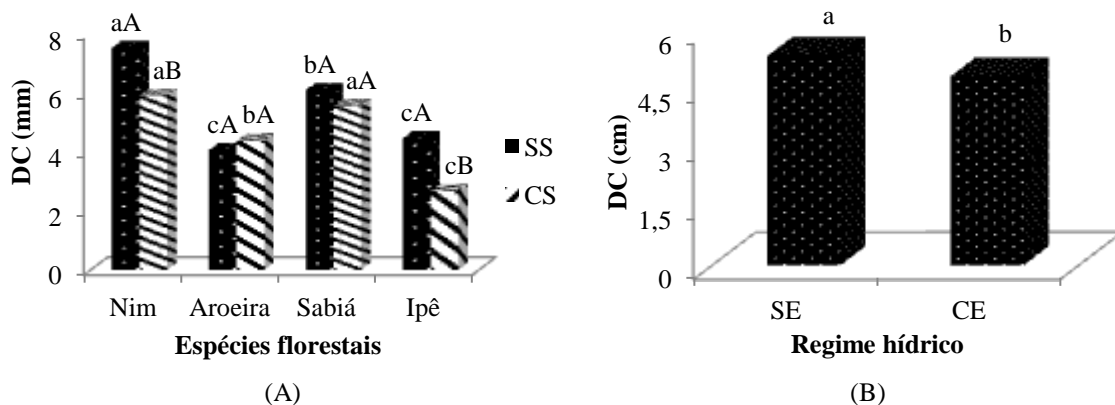


Figura 2 – Diâmetro do caule em função da interação espécies x salinidade (A) e do regime hídrico (B). A: Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$). B: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$)

Para o número de folhas (NF), Figura 3, em função da interação espécies x salinidade (Figura 3A), observa-se que as espécies Sabiá e Ipê foram as que apresentaram maior redução, aproximadamente 50% do seu dossel foliar, respectivamente, comparando-se o solo salino e sem salinidade. Reduções também ocorreram com Nim e Aroeira, sendo que esta última apresentou comportamento diferenciado das outras espécies, pois a mesma apresentou aumento significativo no NF no solo salino.

Para a avaliação do NF em função do regime hídrico, Figura 3B, percebe-se que apesar da ANOVA mostrar que esta variável apresentou-se estatisticamente significativa, a mesma não apresentou diferença entre o solo sem encharcamento e com encharcamento, ambos apresentando média de 15 folhas por tratamento.

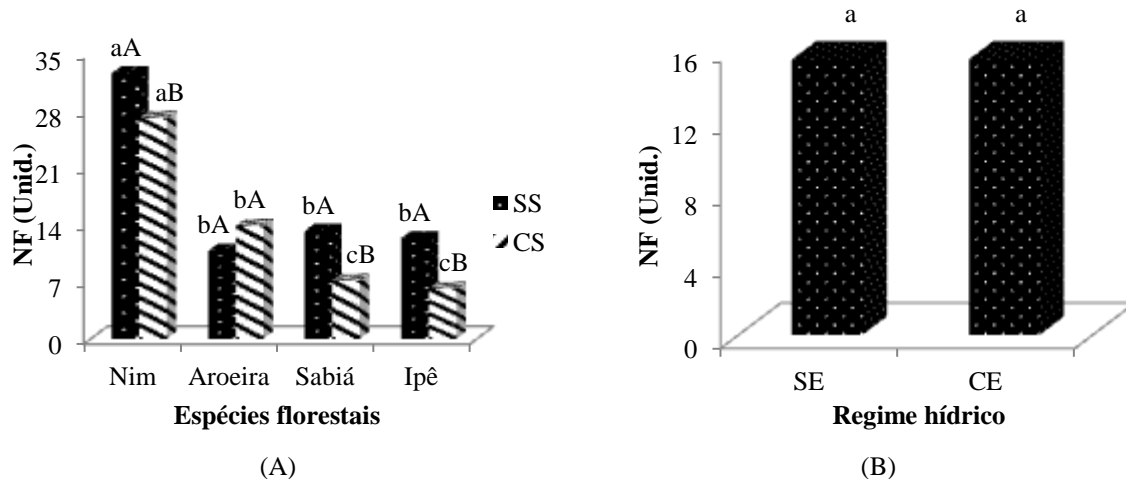


Figura 3 – Número de folha de plantas em função da interação espécies x salinidade (A) e do regime hídrico (B). A: Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$). B: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)

Em se tratando de área foliar (AF), percebe-se que não houve diferenças significativas para as plantas de Nim e Aroeira entre os tratamentos avaliados (Figura 4A). Apesar do número de folhas das plantas apresentarem diferença, um possível arranjo das folhas fizeram com que as plantas apresentassem a mesma AF para os tratamentos com e sem salinidade, respectivamente, CS e SS. Já para as espécies Sabiá e Ipê percebe-se reduções relativas da AF na ordem de 47 e 76%, respectivamente, entre os tratamentos avaliados.

Na Figura 4B, observa-se que em termos gerais as plantas quando submetidas ao solo sob regime de encharcamento do solo apresentaram menor AF, diferenciando assim estatisticamente do tratamento com solo sob regime normal de irrigação, independente da espécie em estudo.

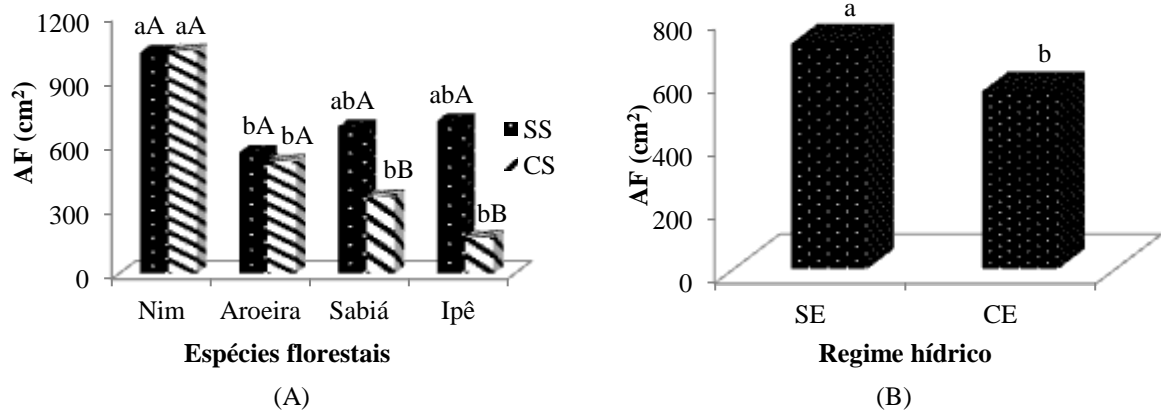
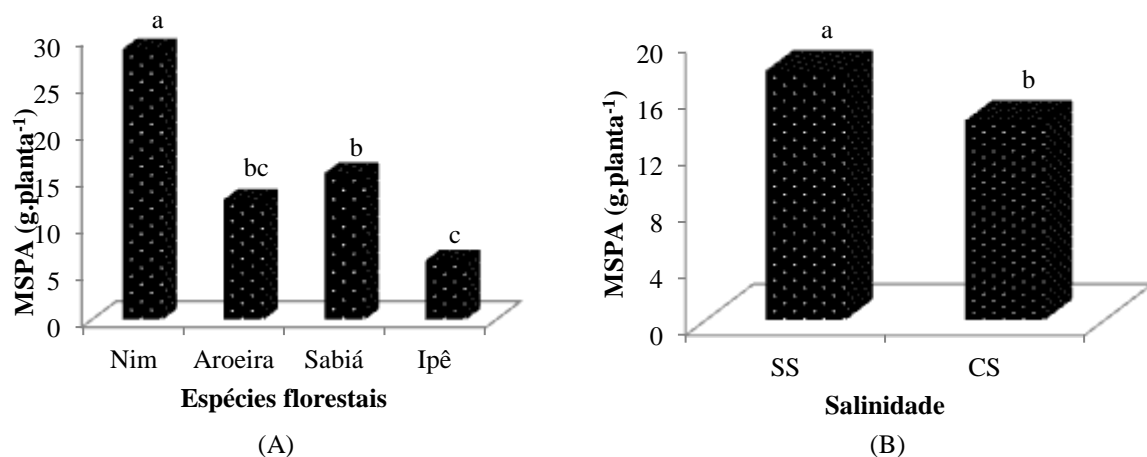
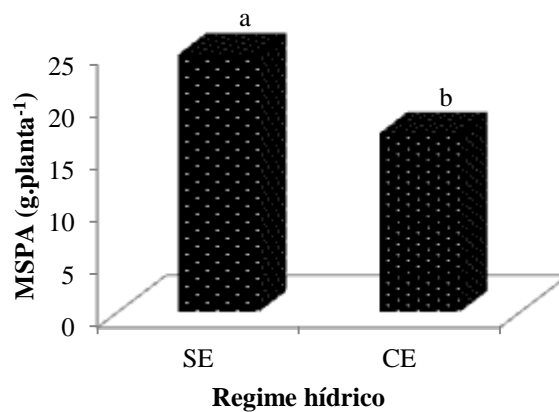


Figura 4 – Área foliar de plantas em função da interação espécies x salinidade (A) e do regime hídrico (B). A: Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$). B: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)

Na Figura 5A, pode-se verificar a espécie que apresentou maior resultado de massa seca da parte aérea (MSPA) foi o Nim, seguido do Sabiá, Aroeira e Ipê, com os valores de 28,86; 15,63; 12,79 e 6,32 g, respectivamente. Em termos de salinidade (Figura 5B) observaram-se reduções relativas na ordem de 26% se comparado o solo salino (CS) e não salino (SS), independente da espécie estudada. Comparando-se as plantas que não foram submetidas aos ciclos de encharcamento com as que foram, verifica-se redução da ordem de 42% naquelas que foram submetidas a esse estresse (Figura 5C), não sendo observado interação com os demais fatores estudados.





(C)

Figura 5 – Massa seca parte área em função de plantas de Nim, Aroeira, Sabiá e Ipê roxo (A), salinidade (B) e do regime hídrico (C). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Para a massa seca das raízes (MSR) em função das espécies (Figura 6A), observa-se que para todas as espécies apresentaram maiores valores significativamente quando as plantas foram cultivadas em solo sem salinidade, com exceção da Aroeira, que não apresentou diferença estatística entre os dois níveis de salinidade do solo. Já as espécies Nim, Ipê e Sabiá apresentaram, respectivamente, as seguintes diferenças relativas para a MSR, estatisticamente significativa, entre os dois solos estudados, 39, 30 e 12%. De maneira geral, verifica-se na Figura 6B, que as raízes desenvolveram-se mais quando as mesmas foram cultivadas em solo sem encharcamento, independente dos demais fatores estudados. Quando as plantas foram submetidas aos ciclos de encharcamento do solo, em média, as plantas apresentaram uma redução de 51% na MSR quando relacionado ao solo sem encharcamento.

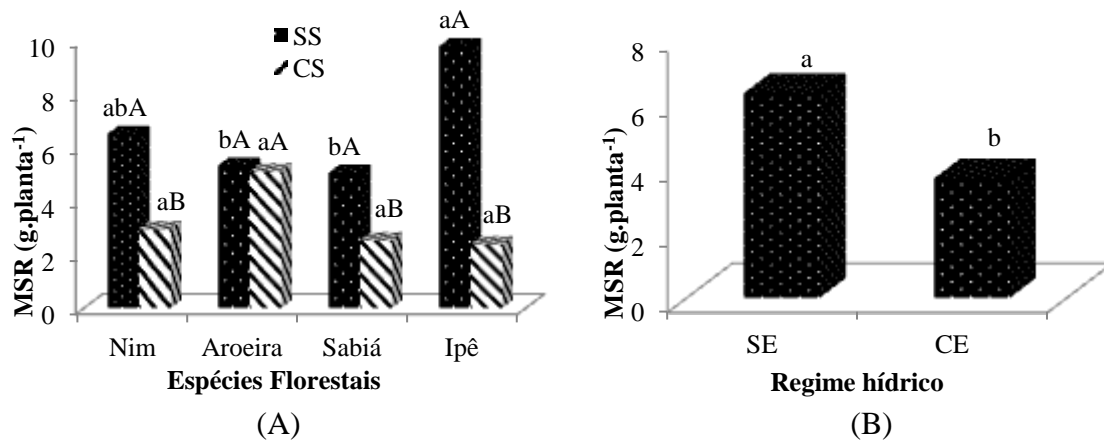


Figura 6 – Massa seca das raízes de plantas de Nim, Aroeira, Sabiá e Ipê roxo em função da salinidade (A) e do regime hídrico (B). A: Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e

pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$). B: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$)

O fator salinidade não casou diferença estatística na matéria seca total (MST) para as espécies Nim e Aroeira (Figura 7A). Comportamento diferente tiveram as espécies Sabiá e Ipê, que apresentaram reduções significativas entre o tratamento SS e CS, da ordem de 32 e 75%, respectivamente. Na Figura 7B observa-se que os ciclos de encharcamento foram responsáveis pela diferença estatística causada nas espécies analisadas com redução de 30% na MST das plantas que foram submetidas ao encharcamento se comparada às plantas com regime hídrico normal, independente dos demais fatores estudados.

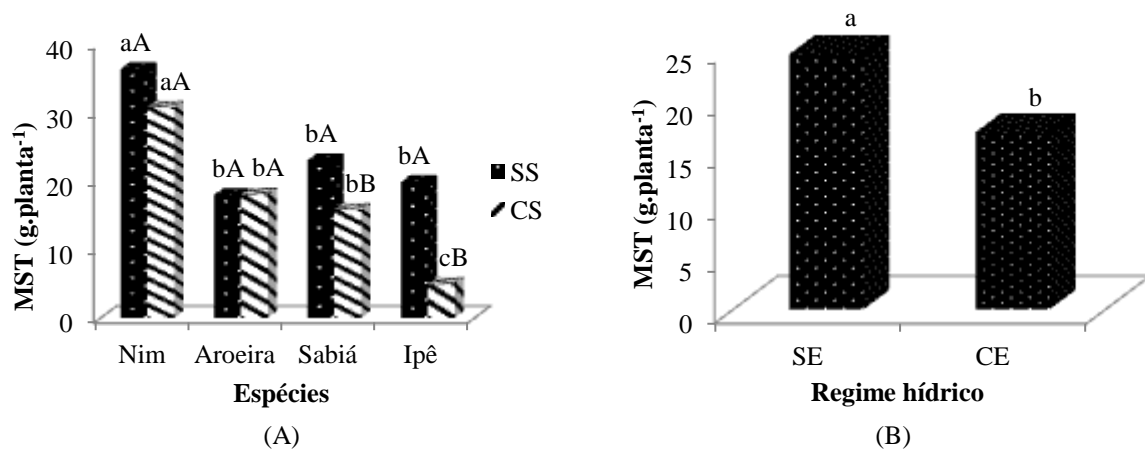


Figura 7 – Massa seca total de plantas em função da interação espécies x salinidade (A) e do regime hídrico (B). A: Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$). B: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$)

Verifica-se na tabela 4, a redução da produção de matéria seca total das espécies avaliadas submetidas à interação da salinidade (SS e CS) e do regime hídrico (SE e CE) as quais as mesmas foram submetidas. Para comparação dos resultados utilizou-se como testemunha os resultados obtidos no nível de salinidade inferior e sem encharcamento do solo (SSSE).

Percebe-se que o Nim apresentou uma redução percentual de 19,73 e 7,65% para os tratamentos SSCE e CSSE, respectivamente. Essas reduções inferiores a 20%, indicam que o nim se comportou como tolerante, considerando os efeitos isolados do encharcamento do solo e da salinidade (8,6 dS m⁻¹), respectivamente. Contudo o Nim apresentou a menor redução quando o solo apresentava apenas salinidade, sem encharcamento. Quando o tratamento

impôs a salinidade e encharcamento juntos (CSCE), o mesmo teve uma redução percentual de cerca de 40%, o que o classificou como moderadamente tolerante (MT).

Tendência semelhante observou-se para a Aroeira onde a mesma mostrou-se mais tolerante no tratamento com a presença de sais no solo, sem encharcamento, (CSSE) com redução de apenas 1,89% da sua de matéria seca total (MST). Quando as plantas de Aroeira sofreram com os estresses do tratamento CSCE, houve redução de 57,09% na MST, o que a classificou como moderadamente sensível.

A espécie Sabiá comportou-se de maneira diferente aos resultados apresentados até então, pois as plantas sofreram menos com o estresse imposto pelo solo sem salinidade e com encharcamento (SSCE), o qual proporcionou a menor redução, com 3,55%. No tratamento CSSE as plantas apresentaram-se como moderadamente tolerante, onde na comparação com o tratamento anterior (SSCE) percebe-se que o Sabiá é mais sensível ao sal do que até ao próprio alagamento. Quando combinado os dois estresses, as plantas de sabiá apresentaram reduções de cerca de 40% da sua MST se relacionada com o tratamento testemunha (SSSE).

Dentre todas as espécies estudadas o Ipê foi quem mais sentiu os impactos dos estresses. As plantas foram classificadas como moderadamente tolerante no tratamento SSCE, sensível nos tratamentos CSSE e CSCE, com valores de reduções percentuais de 27,98, 65,93 e 91,45%, respectivamente. Em nenhum dos tratamentos as plantas apresentaram tolerância aos estresses sofridos.

Tabela 4 - Redução na produção de matéria seca total (%) das espécies avaliadas, em função da interação salinidade e do regime hídrico.

	SSCE	CSSE	CSCE
Nim	19,73 ^T	7,65 ^T	40,16 ^{MT}
Aroeira	38,97 ^{MT}	1,83 ^T	57,09 ^{MS}
Sabiá	3,55 ^T	24,67 ^{MT}	40,90 ^{MS}
Ipê	27,98 ^{MT}	65,93 ^S	91,45 ^S

SSSE – Sem salinidade e encharcamento; SSCE - Sem salinidade com encharcamento; CSSE - Com salinidade e sem encharcamento; CSCE – Com salinidade e com encharcamento; T – Tolerante; MT – Moderadamente tolerante; S – Sensível; MS – Moderadamente sensível.

DISCUSSÃO

As respostas de crescimento em altura de plantas e diâmetro do caule (Figura 1 e 2) variam de acordo com as espécies analisadas, e com os estresses impostos. De maneira geral

observa-se para essas duas variáveis que as plantas submetidas à condição de salinidade e alagamento do solo apresentaram reduções mais significativas, com exceção da Aroeira.

Grisi (2010) avaliando o crescimento de mudas de Aroeira vermelha sob diferentes níveis de alagamento, observou que a partir da terceira semana sob alagamento em solo não salinizado, a altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, do tratamento totalmente alagado apresentou valores significativamente menores do que o tratamento parcialmente alagado e testemunha, e os valores de massa seca total foram crescentes para testemunha e para as mudas alagadas esse crescimento foi em menor proporção.

Parte dos resultados encontrados nesta pesquisa, nas variáveis de crescimento, em função da salinidade e do encharcamento do solo, podem ser justificados pelos comentários de Al-Karaki *et al.* (2009) que confirmam que a diminuição do potencial osmótico do meio atua de forma negativa sobre o processo fisiológico, reduzindo a absorção de água pelas raízes, inibindo a atividade meristemática e o alongamento celular e, conseqüentemente redução no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Em se tratando de hipoxia, a capacidade de manutenção do crescimento em altura sob condições de alagamento pode ser fundamental para a sobrevivência da planta, sobretudo se representar a fuga da submersão total (SANTIAGO; PAOLI, 2003).

Para as espécies Sabiá e Ipê verificou-se que o menor número de folhas e área foliar no solo salino e encharcado (Figura 3 e 4), evidenciou que esses estresses afetaram a produção de novas folhas e o crescimento foliar. As espécies Nim e a Aroeira não apresentaram redução na área foliar quando comparados os dois níveis de salinidade do solo, apesar da primeira espécie ter apresentado um número menor de folhas, no tratamento mais salino. Isso possivelmente pode ter ocorrido devido ao arranjo estrutural de suas folhas compostas, que mesmo em menor número se sobrepõe umas sobre as outras, fazendo com que os tratamentos apresentem mesma área foliar.

Buscando respostas das plantas de *Cecropia pachystachya* à hipoxia, através de inundação sem a presença de solo salinizado, Barddal *et al.* (2007) perceberam que as taxas de crescimento da raiz e do caule e a área foliar apresentaram discreta diminuição nas plantas submetidas a 30 dias de alagamento, valores esses inferiores às cultivadas em solo drenado.

Para alguns autores, redução da área foliar é um importante mecanismo adaptativo de plantas cultivadas sob excesso de sais e estresse hídrico, visto que, sob tais condições, é interessante a redução na transpiração e, conseqüentemente, diminuição do carregamento de

íons de Na^+ e Cl^- no xilema e conservação da água nos tecidos das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Pela Figura 5 percebe-se que as espécies alocaram biomassa em maior proporção na MSPA. Para a MSR já houve menor quantidade de biomassa alocada (Figura 6), frente à salinidade e encharcamento do solo, com exceção da Aroeira.

Resultados diferentes ao dessa pesquisa, foram encontrados por Diniz *et al.* (2013) submetendo plantas de Nim a irrigação com águas salinas de cinco níveis de salinidade (0,5; 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 dS m^{-1}) no solo sem e com biofertilizante bovino, em vasos sem e com drenagem na parte final inferior. Os autores concluíram que o estresse salino inibiu o consumo hídrico, o crescimento biométrico e a produção de biomassa seca do Nim, nos diferentes órgãos das plantas mas com maior intensidade na parte aérea que nas raízes.

Em conformidade com os resultados encontrados nesse trabalho, Sousa *et al.* (2012) avaliando o efeito de corretivos sobre a recuperação de um solo afetado por excesso de sais e sódio sobre a altura de planta, massa seca da parte aérea e da raiz em espécies arbóreas nativas da Caatinga, dentre elas a Aroeira. Nesse estudo foi verificado que em todas as épocas as plantas apresentaram maior crescimento quando cultivadas no solo não salino. Em contrapartida, quando cultivadas em solo salino-sódico, sem corretivo, as plantas tiveram seu crescimento praticamente paralisado. Já Silva *et al.* (2009) trabalhando com plantas jovens de sabiá cultivadas em diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, observaram que o estresse salino inibiu significativamente a produção de massa seca das raízes e da massa seca da parte aérea, particularmente no maior nível de salinidade da água de irrigação avaliada no trabalho (6,0 dS m^{-1}).

As alterações na distribuição percentual da matéria seca provocadas pelo estresse salino, observada como resposta dessa pesquisa, podem ser explicadas pelo fato de que a salinidade, além de reduzir a produção de biomassa pode também alterar a partição de fotoassimilados entre as diferentes partes das plantas (SILVA *et al.*, 2003), com isso diminui consideravelmente os valores para as variáveis em estudo.

Em se tratando de efeitos advindos do encharcamento do solo, de acordo com Ishida *et al.* (2002), em várias espécies vegetais, o decréscimo no crescimento torna-se tão intenso, podendo promover danos irreversíveis que não permitem a retomada do crescimento após a drenagem da água. Por consequência, os efeitos primários do encharcamento na diminuição do crescimento radicular e da parte aérea ocorrem devido à ausência de O_2 no solo. Este

decréscimo na alocação de biomassa em raízes alagadas pode ser observado tanto em espécies arbóreas tolerantes como para as não-tolerantes (KOZLOWSKI, 1997; CHEN *et al.*, 2002).

Quanto à tolerância das espécies florestais a salinidade e alagamento do solo (Tabela 2), percebe-se que as interações dos dois estresses foram mais prejudiciais do que a ação deles isoladamente. Resultados semelhantes foram percebidos por Aragues *et al.* (2004) avaliando o crescimento vegetativo de Oliveiras jovens (*Olea europaea* L., cv. Arbequina) cultivadas em área de solos salino-sódico sob alagamento, concluindo que o efeito da combinação da salinidade e do alagamento do solo foi mais prejudicial ao desenvolvimento da planta.

Já Isla *et al.* (2014) estudando a tolerância de cinco espécies de árvores australianas (*Acacia salicina*, *Casuarina glauca*, *Casuarina obesa*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus occidentalis*) em função da interação salinidade e alagamento concluiu que as espécies apresentaram elevada tolerância a salinidade, mas o mesmo não foi observado sob condições de encharcamento do solo. Em parte esses resultados se assemelham com os observados nessa pesquisa, pois as plantas quando submetidas ao solo com salinidade e sem encharcamento do solo (SSSE) mostraram-se tolerantes.

Parte dos estudos desenvolvidos para avaliar o efeito desses estresses (salinidade e encharcamento do solo), na maioria das vezes, não trabalha a interação desses dois fatores, por consequência existem alguns resultados com espécies lenhosas em função dos estresses isoladamente e poucos trabalhos que relatam sobre resultados que utilizem as espécies estudadas nesse trabalho.

Nas pesquisas de Nogueira *et al.* (2012), com flamboyant (*Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf.); Bakke *et al.* (2006), com jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poiret); Oliveira *et al.* (2007), com aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr All); Ribeiro *et al.* (2008), com sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth); Farias *et al.* (2009), com gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud); Lima e Torres (2009), com juazeiro (*Zizyphus joazeiro* Mart.) foram constatados efeitos prejudiciais do aumento do nível de salinidade da água de irrigação no desenvolvimento das plântulas dessas espécies, sendo esses trabalhos realizados sem encharcamento do solo.

Possivelmente, tais reduções no desenvolvimento das plantas encontradas por esses autores e nesse trabalho também, quanto ao efeito da salinidade, que de forma indireta afetam a tolerância das espécies, podem está ligada a reduções nas taxas fotossintéticas, devido ao fechamento dos estômatos, para evitar a perda excessiva de água, a qual é absorvida de

maneira limitada pelas raízes, devido à redução no potencial osmótico na solução do solo. Dessa forma, nossos dados concordam com os de Martins (2007) que relataram que a tolerância ao estresse parece ser inversamente proporcional ao nível de crescimento.

Quando os trabalhos são realizados com encharcamento do solo, sem a presença da salinidade, Du *et al.* (2008); Gong *et al.* (2007); Rood *et al.* (2010) relatam que há redução no crescimento e acúmulo de biomassa total em muitas espécies que apresentaram diferenças na tolerância à inundação.

Em seus estudos, Medri *et al.* (2012), Martinez *et al.* (2011), Sousa (2008), Barddal (2007) avaliando o efeito do alagamento nas espécies estudadas em seus trabalhos, relataram o desenvolvimento prejudicado na maior parte dos parâmetros avaliados, relacionados à raiz e à porção aérea.

Du *et al.* (2012) e Schwarz *et al.* (2010) explicam que esses resultados prejudiciais podem estar relacionados às condições de encharcamento do solo, causarem baixa oferta de O₂, o que vai afetar o metabolismo dos tecidos vegetais, resultante da difusão lenta de gases em água e o consumo pela respiração das raízes das plantas e microrganismos do solo.

CONCLUSÃO

As variáveis de crescimento analisadas não sofreram influência da interação conjunta dos três fatores, espécies florestais, salinidade e regime hídrico, em contrapartida houve influência desses fatores isoladamente ou interagindo em duplicidade.

Para a maioria das espécies o fator encharcamento isoladamente provocou maiores danos às plantas do que o fator salinidade.

As maiores reduções no crescimento foram verificadas quando as plantas foram submetidas à salinidade e aos ciclos de encharcamento.

O Nim apresentou maior estabilidade em termos de produção de matéria seca, quando submetidas aos fatores de estresse de forma isolada ou conjuntamente, enquanto o Ipê roxo foi a espécie que apresentou maior sensibilidade à salinidade e à ação conjunta da salinidade e encharcamento.

A Aroeira mostrou-se tolerantes aos níveis de sais investigados nessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AHMED, F.; RAFII, M. Y.; ISMAIL, M. R.; JURAIMI, A.S.; RAHIM, H. A.; ASFALIZA, R. e LATIF, M. A. Waterlogging tolerance of crops: breeding, mechanism of tolerance, molecular approaches, and future prospects. **BioMed Research International**, v.2013, p.1-10, 2013.
- AL-KARAKI, G.; AL-AJMI, A.; OTHMAN, Y. Response of Soilless Grown Bell Pepper Cultivars to Salinity. **Acta Horticulturae**, v. 807, n. 2, p.227-232, 2009.
- ARAGUES, R., PUY, J., ISIDORO, D., Vegetative growth response of young olive trees (*Olea europaea* L., cv. Arbequina) to soil salinity and waterlogging. **Plant Soil** 258, 69–80. 2004.
- BAKKE, I. A.; FREIRE, A. L. O.; BAKKE, O. A.; ANDRADE, A. P.; BRUNO, R. L. A. Water and sodium chloride effects on *Mimosa Tenuiflora* (WILLD.) poiret seed germination. **Revista Caatinga**, v.19, n.3, p.261-267, 2006.
- BARDDAL, M. L. A influência da saturação hídrica na distribuição de oito espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista Aluvial do rio Iguaçu, Curitiba, Brasil. 2007. 114p. **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal)- Setor de ciências agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- CHEN, H.; QUALLS, R.G.; MILLER, G.C. Adaptive responses of *Lepidium latifolium* to soil flooding: biomass allocation, adventitious rooting, aerenchyma formation and ethylene production. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 48, p. 119-128, 2002.
- DIAS, N. D.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. 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. p. 129- 140, 2010.
- DINIZ, B. L. M. T.; CAVALCANTE, L. F.; MESQUITA, F. DE O.; LIMA NETO, A. J. DE; NUNES, J. C.; DINIZ NETO, M. A.; Crescimento inicial e consumo hídrico de nim submetido ao estresse salino e biofertilizante bovino. **Revista Agrária**. v.8, n.3, p.470-475, 2013.
- DU, K. B.; SHEN, B. X.; XU L.; TU, B. K.; Estimation of genetic variances in flood tolerance of poplar and selection of resistant F1 generations. **Agroforest. Syst.**74, 243–257. 2008.
- DU, K. B.; XU, L.; WU, H.; TU, B. K.; ZHENG, B.; Ecophysiological and morphological adaption to soil flooding of two poplar clones differing in flood-tolerance. **Flora** 207, 96–106. 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FAGERIA, N. K.; SOARES FILHO, W.S; GHEYI, H. R. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (eds). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCTSal, 2010. p.205-216

FARIAS, S. G. G.; FREIRE, A. L. O.; SANTOS, D. R.; BAKKE, I. A.; SILVA, R. B. Efeitos dos estresses hídrico e salino na germinação de sementes de gliricidia [*Gliricidia sepium*(JACQ.) STEUD.]. **Revista Caatinga**, v.22, n.4, p.152-157, 2009.

FERNÁNDES, M. D. Changes in photosynthesis and fluorescence in response to flooding in emerged and submerged leaves of *Pouteria orinocoensis*. **Photosynthetica**, Prague, v.44, n.1, p.32-38, Mar. 2006.

FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.55, p.307-319, 2004.

FREIRE, A. L. O.; SOUSA FILHO, G. M.; MIRANDA, J. R. P.; SOUTO, P. C. S.; ARAÚJO, L. V. C. Crescimento e nutrição mineral do nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) e cinamomo (*Melia azedarach* linn.) submetidos à salinidade. **Ciência Florestal**, v.20, p. 207-215, 2010.

GONG, J. R.; ZHANG, X. S.; HUANG, Y. M.; ZHANG, C. L.; The effects of flooding on several hybrid poplar clones in Northern China. **Agroforest. Syst.** 69, 77–88. 2007.

GRISI, F. A. Aspectos fisiológicos de aroeira (*Schinus terebinthifolius Raddi*), sob níveis distintos de saturação hídrica em ambiente protegido, e área ciliar em processo de recuperação. 2010. 126f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal.) - Universidade Federal do Paraná, Paraná – Curitiba.

HASEGAWA, P. M. *et al.* Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology**, v. 51, s/n, p. 463-499, 2000.

ISLA, R.; GUILLEN, M.; ARAGUES, R.; Response of five tree species to salinity and waterlogging: shoot and root biomass and relationships with leaf and root ion concentrations. **Agroforest Syst** 88:461–477. 2014

ISHIDA, F.Y.; OLIVEIRA, L.E.M.; CARVALHO, C.J.R.; ALVES, J.D. Efeitos da inundação parcial e total sobre o crescimento, teor de clorofila e fluorescência de *Setaria anceps* e *Paspalum repens*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 6, p. 1152-1159, 2002.

KOZLOWSKI, T.T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiology**, Canadá, v. 1, p. 1–29, 1997.

LIMA, B. G.; TORRES, S. B. Estresses hídrico e salino na germinação de sementes de *Zizyphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae). **Revista Caatinga**, v.22, n.4, p.93-99, 2009.

LI, S.W.; PEZESHKI, S.R.; GOODWIN, S. Effects of soil moisture regimes on photosynthesis and growth in cattail (*Typha latifolia*). **Acta Oecologica**, Berlin, v.25, n.1-2, p.17-22, Mar. 2004.

MARTINS, C. P. Cultivo Hidropônico e bananeira (*Musa* sp.) submetidas ao estresse salino: aspectos fisiológicos e bioquímicos. 2007. 41f. **Dissertação** (Mestrado)- Escola Superior de Agricultura Queiroz, 2007.

MARTINEZ, G. B.; MOURÃO, M.; JUNIOR, S. B.; Respostas morfofisiológicas de plantas de açacu (*Hura crepitans* L.) provenientes de várzeas do rio Amazonas: efeito da anoxia do solo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.6, p.1155-1164, 2011.

MEDRI, C. *et. al.* O alagamento do solo afeta a sobrevivência, o crescimento e o metabolismo de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae). **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 123-134, jan./jun. 2012.

NOGUEIRA *et al.* Efeito da salinidade na emergência e crescimento inicial de plântulas de flamboyant. **Rev. bras. sementes** [online]. 2012, vol.34, n.3, pp. 466-472. ISSN 0101-3122.

NOVOA, A.; GONZÁLEZ, L.; MORAVCOVÁL, P. P., Constraints to native plant species establishment in coastal dune communities invaded by *Carpobrotus edulis*: implications for restoration. **Biol Conserv** 164:1–9, 2013.

OLIVEIRA, A. M.; LINHARES, P. C. F.; MARACAJÁ, P. B.; RIBEIRO, M. C.; BENEDITO, C. P. Salinidade na germinação e desenvolvimento de plântulas de aroeira (*Myracroduon urundeuva* FR ALL). **Revista Caatinga**, v.20, n.2, p.39-42, 2007.

RIBEIRO, M. C. C.; BARROS, N. M. S.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVEIRA, L. M. Tolerância do sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) à salinidade durante a germinação e o desenvolvimento de plântulas. **Revista Caatinga**, v.21, n.5, p.123-126, 2008.

ROOD, S. B.; NIELSEN, J.L.; SHENTON, L.; GILL, K.M.; LETTS, M.G.; Effects of flooding on leaf development, transpiration, and photosynthesis in narrow leaf cotton wood a willow-like poplar. **Photosynth. Res.** 104, 31–39. 2010.

SANTIAGO, E. F.; PAOLI, A. A. S. O aumento em superfície em *Adelia membranifolia* (Müll. Arg.) Pax & K. Hoffm. e *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., em resposta ao estresse por deficiência nutricional e alagamento do substrato. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 503-513, 2003.

SILVA, M. B. R.; A. R. VIEGAS.; NETO, J. D.; FARIAS, S. A. R.; Estresse salino em plantas da espécie florestal Sabiá. **Caminhos de Geografia** Uberlândia v. 10, n. 30 Jun/2009 p. 120 - 127 Página 120

SILVA J. V.; LACERDA, C. F.; COSTA, P. H. A.; ENÉAS-FILHO, J.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J. T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl₂. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v.15, n.2, p.99-105, 2003.

SCHWARZ, D.; ROUPHAEL, Y.; COLLA, G.; VENEMA, J. H.; Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. **Sci. Hortic.** 127, 162–171. 2010.

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

SOUSA, F. Q. de; ARAÚJO, J. L.; da SILVA, A. P.; 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** v.16, n.2, p.173–181, 2012.

SOUSA, J. V.. Desenvolvimento inicial de leguminosas arbóreas nativas em várzea sob diferentes condições de drenagem na regeneração de matas ciliares. 2008. 80 f. **Dissertação** (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós-Graduação – IAC.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5o ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

VIANA, S. B. A. *et al.* Índices morfofisiológicos e de produção de alface sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 08, n. 01, p. 23-30, 2004.

CAPÍTULO 2

TROCAS GASOSAS E FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA DE MUDAS DE QUATRO ESPÉCIES LENHOSAS SOB CONDIÇÕES DE SALINIDADE E ENCHARCAMENTO

INTRODUÇÃO

O processo de salinização dos solos e das águas subterrâneas e superficiais é um dos mais importantes problemas de degradação ambiental, com seus efeitos prejudiciais sendo mais pronunciados nas regiões áridas e semiáridas. Esse processo vem crescendo rapidamente em diversas partes do globo, causando problemas de grandes proporções na produtividade das culturas agrícolas.

Extensas áreas irrigadas em todo o mundo vêm apresentando diminuição de suas produções em decorrência do excesso de sais (KEIFFER; UNGAR, 2002; HORNEY *et al.*, 2005; LEAL *et al.*, 2008). No Brasil, os solos salinizados ocorrem, comumente, na região Nordeste, mais especificamente no ambiente semiárido, o qual representa 57% da área total do Nordeste brasileiro e onde predomina o ecossistema conhecido por Caatinga (GUPTA; ABROL, 1990; RIBEIRO *et al.*, 2003). Nos perímetros irrigados dessa região, o processo de salinização e sodificação tem tornado os solos inadequados para o cultivo da maioria das espécies agrícolas, culminando com o abandono das terras (RIBEIRO *et al.*, 2003).

Outro fator que contribui para tais índices de salinidade é o excesso de água, advindos do manejo inadequado da irrigação, principalmente em alguns perímetros irrigados que utilizam o método de irrigação por inundação. O excesso de água no solo provoca o encharcamento e a elevação do lençol freático, podendo ocasionar o acúmulo de sais nos horizontes mais superficiais, acarretando em sua concentração na porção justamente onde se localiza as raízes das plantas (BERNARDO, 2005). Esse processo é acelerado pelas altas taxas de evaporação que se verificam na região e se torna mais complexo em áreas com solos de baixa drenabilidade natural.

A elevação excessiva e prolongada do nível freático do solo, quando coincide com a época de maior sensibilidade da cultura, tem sido um dos fatores considerados mais adversos à produção em terras baixas (HADDAD *et al.* 2000). Os períodos de inundação em que a

lâmina d'água cobre o solo por períodos e níveis maiores podem levar a morte das plântulas, produzindo diferenças na sua estrutura e densidade (SOARES; OLIVEIRA, 2009). Dessa forma, condições temporárias ou permanentes de alagamento (formação de lâmina de água) ou encharcamento (saturação com água) do solo afetados por sais exigem cultivos com plantas resistente a esses tipos de estresses.

É de conhecimento que algumas espécies florestais, plantas nativas e exóticas, apresentam-se fisiologicamente resistente a aos mais variados tipos de estresses, que por sua vez, sofrido por outras plantas cultivadas, seria o bastante para comprometer quase a totalidade de sua produção. Dessa forma, o desenvolvimento de estudos sobre as respostas fisiológicas de plantas aos fatores do ambiente físico pode prover informações rápidas e úteis para a seleção de espécies na fase de elaboração dos projetos de restauração, bem como para o monitoramento dos plantios, após a implantação dos mesmos (COOKE; SUSKI, 2008).

No entanto, muitos estudos vêm sendo realizados com espécies de importância econômica que são utilizadas na indústria, porém ainda existem poucos resultados no que diz respeito à utilização de espécies florestais, usadas em plantios comerciais ou na recomposição de áreas degradadas por sais e encharcamento do solo.

Frente a essa problemática, objetivou-se com esse trabalho avaliar as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila de mudas de quatro espécies florestais cultivadas em solos salinos e submetidas a ciclos de encharcamento do solo.

MATERIAL E METÓDOS

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 3° 44' S, longitude 38° 33' W, na altitude de 20 m, no período de 27 de outubro de 2013 a 25 de fevereiro de 2014.

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 anual é de 1.747,2 mm, a temperatura média anual igual a 26,9°C e a umidade relativa de 69% (SOUSA *et al.*, 2010).

Para composição dos tratamentos com níveis de sais, coletou-se em 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 e em seguida passado em peneira de malha de 5 mm, mediu-se a condutividade elétrica do solo saturado (CE) resultando em dois tratamentos salinos, (1,2 e 8,6 dS m⁻¹). A medição da CE foi realizada diretamente na pasta saturada, utilizando-se um sensor modelo Wet Jet (Delta T – Devices, Cambridge, England).

Para a realização do experimento utilizou-se quatro espécies florestais, sendo três nativas da Caatinga (Aroeira, Sabiá e Ipê roxo) e uma espécie exótica (Nim), conforme descrição na tabela 1. O material vegetal para a produção das mudas foi proveniente do banco de sementes do NEPAU.

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

Nome popular	Nome científico
Aroeira	<i>Myracrodruonurundeuva</i> FrAllemão
Sabiá	<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth
Ipê roxo	<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex. DC.) Standl
Nim	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss

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, onde permaneceram por 20 dias, sendo irrigadas diariamente com água do poço de condutividade elétrica de 0,7 dS m⁻¹ utilizando-se um sistema de microaspersão.

Aos 20 dias após a semeadura as mudas foram selecionadas de acordo com a uniformidade, sendo em seguida transplantadas para baldes de 8 litros contendo no seu perfil uma camada inferior de 5 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, adicionou-se nas covas de cada vaso, um volume adequado de areia lavada de rio e também adotou-se um período de 20 dias após o transplântio (20 DAT) sem o manejo por encharcamento do solo, para que só depois as espécies fossem submetidas ao tratamento. A partir daí as plantas permaneceram nos vasos até os 100 DAT sendo irrigadas diariamente, utilizando-se um sistema de microaspersão.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial triplo, com quatro espécies florestais (Nim, Aroeira, Ipê e Sabiá), dois níveis de salinidade (1,2 e 8,6 dS m⁻¹) e dois regimes hídricos (com e sem encharcamento do solo). Foram utilizadas quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais, sendo cada unidade experimental composta por dois vasos

Para estudar o efeito do encharcamento, parte dos vasos foram mantidos com umidade acima da capacidade de campo. Foram aplicados três ciclos de alagamento com mais um de recuperação, com duração de 3 dias cada, simulando a ocorrência de 3 enchurradas. O primeiro ciclo de encharcamento ocorreu aos 21 DAT e foi até os 24 DAT. Após esse período de encharcamento foi realizada a drenagem do excesso de água e as plantas permanecerão nessa condição por 15 dias, quando novamente foi imposto o novo ciclo de encharcamento. Para o tratamento sem encharcamento, o mesmo teve sua umidade mantida dentro da faixa ótima de umidade para o desenvolvimento das espécies, durante todo o experimento.

Antes e depois de cada período de encharcamento foram realizadas medições da condutância estomática (gs), transpiração (E) e taxa de assimilação de CO₂ (A) em folhas completamente expandidas, utilizando-se analisador portátil de gás no infravermelho - IRGA (modelo LCI, ADC BioScientific, Inglaterra). As medições foram realizadas no horário entre 8:00 e 11:00 horas sob condição de luz saturante obtida com uma fonte artificial acoplada (aproximadamente 1.200 μmol m⁻² s⁻¹), e sob temperatura e concentração de CO₂ ambientes. A partir das medições obtidas foram estimadas a eficiência instantânea no uso da água (EUA) encontrada pela relação A/E.

Por ocasião das medições das trocas gasosas também foram realizadas análises da eficiência potencial do fotossistema II (Fv/Fm), utilizando um fluorímetro (Plant Efficiency Analyser, Hansatech Instruments LTD, Norfolk, England) e medições do 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.

De posse dos dados tabulados, os mesmos foram submetidos à análise de variância e, após verificada a significância estatística dos fatores avaliados, fez a comparação das medias utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as análises foi utilizado o programa “ASSISTAT versão 7.6 beta” e para confecção dos gráficos o EXCEL 2007.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, observa-se a representação da análise de variância (ANAVA) das variáveis, condutância estomática ($g_{S_{ANT}}$ e $g_{S_{DEP}}$), taxa de assimilação de CO₂ (A_{ANT} e A_{DEP}), transpiração (E_{ANT} e E_{DEP}) antes ($_{ANT}$) e depois ($_{DEP}$) do encharcamento, respectivamente, frente aos fatores, espécies florestais (Fator A), salinidades (Fator B) e regime hídrico (Fator C).

Percebe-se que para a variável $g_{S_{ANT}}$ a diferença estatística foi encontrada nos fatores A e na interação B x C, e para a $g_{S_{DEP}}$, na interação A x B x C, todos a $P < 0,05$. Para a A_{ANT} houve efeito dos fatores isolados A e C ($P < 0,05$), e da interação B x C ($P < 0,05$). Para a variável A_{DEP} todas os fatores apresentaram-se estatisticamente significativos ($P < 0,01$ ou $P < 0,05$) com exceção da interação B x C ($P > 0,05$). Em se tratando de E_{ANT} verifica-se a não significância dos fatores isolados B e C e a interação A x B x C ($P > 0,05$). Em contrapartida, a E_{DEP} apresentou significância estatística ao nível de 5% de probabilidade do teste F para a interação dos três fatores, A x B x C.

Tabela 2 – Resumo da análise variância para condutância estomática (G_s), taxa de assimilação de CO₂ (A) e transpiração (E) antes ($_{ANT}$) e depois ($_{DEP}$) dos encharcamentos do solo salino em quatro espécies florestais.

FV	GL	QM					
		$g_{S_{ANT}}$	$g_{S_{DEP}}$	A_{ANT}	A_{DEP}	E_{ANT}	E_{DEP}
A	3	0,038**	0,072**	17,84**	29,58**	14,16**	3,22**
B	1	0,014**	0,006 ^{ns}	6,16 ^{ns}	7,89*	0,15 ^{ns}	0,24 ^{ns}
C	1	0,004 ^{ns}	0,021**	13,33**	45,98**	0,64 ^{ns}	0,96**
A x B	3	0,001 ^{ns}	0,002 ^{ns}	1,57 ^{ns}	4,67**	2,01**	0,40**
A x C	3	0,003 ^{ns}	0,014**	1,31 ^{ns}	14,36**	2,44**	2,17**
B x C	1	0,028**	0,000**	20,65**	0,57 ^{ns}	3,96**	0,09 ^{ns}
A x B x C	3	0,001 ^{ns}	0,005**	0,82 ^{ns}	4,44*	1,02 ^{ns}	0,64**
Tratamento	15	0,012**	0,020**	6,98**	14,24**	4,24**	1,37**
Resíduo	48	0,001	0,001	1,59	1,1	0,44	0,06
Total	63	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	23,72	26,81	17,39	16,05	18,36	11,85

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

Na Figura 1A estão apresentados os valores médios de g_s frente ao encharcamento do solo nas leituras realizadas antes dos ciclos de alagamento nas quatro espécies analisadas. Percebe-se que nas leituras realizadas antes dos ciclos de encharcamento, as espécies Aroeira

e Sabiá apresentaram valores superiores para g_s , 8,40 e 7,90 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si. Seguindo mesma tendência estatística, as espécies Nim e Ipê apresentaram valores inferiores, respectivamente, 6,17 e 6,58 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Na Figura 1B encontram-se as resposta para g_s em função da interação salinidade e regime hídrico antes dos ciclos de alagamento. No tratamento sem encharcamento (SE) percebe-se que não há diferenças nas situações sem salinidade (SS) e com salinidade (CS) do solo. Diferença estatística foi encontrada entre a situação SS e CS na condição de encharcamento do solo (CE), sendo a redução na ordem de 38,47% da g_s entre os dois níveis salinos.

Isso possivelmente ocorreu devido a adaptações morfológicas e anatômicas, resultantes do estresse de inundação, que podem estar relacionadas a aspectos fisiológicos, como o balanço hormonal. Para Olivella *et al.* (2000) o ácido abscísico e a citocinina podem funcionar como mensageiros da planta sob estresse, regulando a abertura estomática, o que pode ter ocorrido na situação CS.

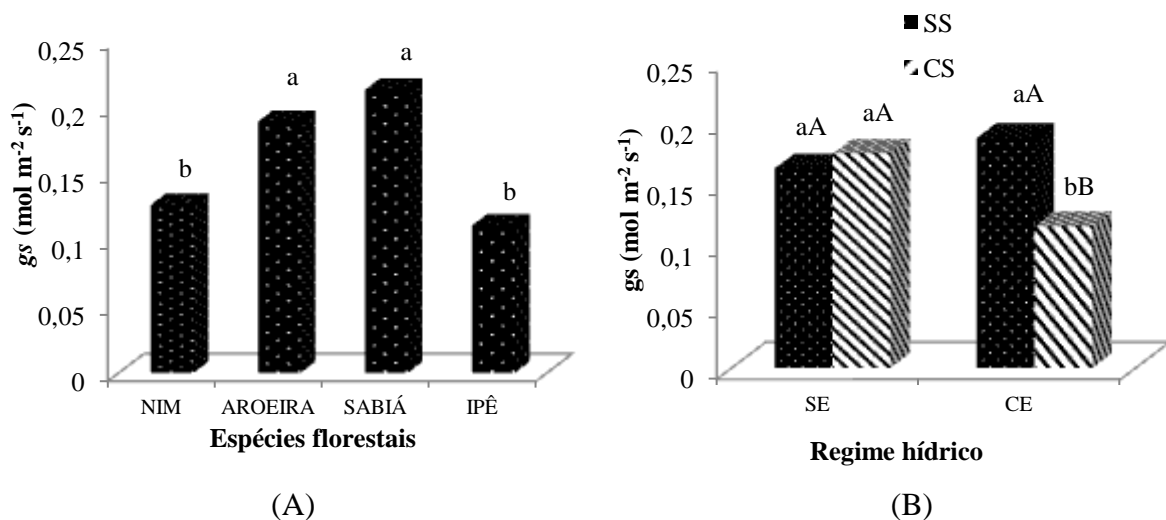


Figura 1 - Representação gráfica do teste de média da condutância estomática (g_s) para as espécies estudadas (A) e para a interação salinidade e regime hídrico (B), antes dos ciclos de encharcamento do solo. A: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$) B: Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Na Tabela 3 está a representação tabular do teste de média da g_s em função da interação dos três fatores analisadas nas leituras realizadas após os ciclos de encharcamento do solo. Verifica-se para as espécies Nim e Sabiá que os tratamentos aplicados não causaram diferença estatística entre si, mesmo entre as duas espécies, sendo os valores médios de g_s superiores

para a espécie Sabiá. Para a Aroeira verificam-se maiores valores de g_s na condição CSSE (0,229 mol m⁻² s⁻¹), mais não diferindo do tratamento testemunha, SSSE (0,198 mol m⁻² s⁻¹). Para o Ipê, os menores e maiores valores para variável em estudo foram observado no tratamento com maior e menor imposição dos estresses, respectivamente, CSCE (0,048 mol m⁻² s⁻¹) e SSSE (0,134 mol m⁻² s⁻¹), apresentando dessa forma diferença estatística com redução na ordem de 64%.

De maneira geral, verifica-se que as plantas submetidas ao regime de encharcamento (CE) seja no solo sem salinidade ou com salinidade, SS ou CS, apresentaram valores inferiores, para a variável em estudo, se comparado ao regime sem encharcamento do solo (SE). Tais resultados foram mais expressivos negativamente, pois no momentos das leituras as plantas estavam sob condição final dos ciclos de encharcamento, diferentemente das leituras que antecedem o início do encharcamento.

Parte dos resultados encontrados nesse trabalho podem ser explicados pelos comentários de Pezeshki (2001) e Herrera *et al.*, (2008), quando os mesmos relatam que a redução na condutância estomática em plantas alagadas, somada à alta concentração de CO₂ encontrada nos espaços intercelulares do mesofilo, sugere que o fechamento estomático não é a única causa de redução da taxa fotossintética. Possivelmente, o alagamento também deve afetar a atividade da Rubisco além de provocar danos ao fotossistema II.

Tabela 3 – Valores médios para a condutância estomática (g_s) depois dos ciclos de encharcamento do solo em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico.

Espécies	Salinidade x Regime hídrico			
	SSSE	SSCE	CSSE	CSCE
NIM	0,177abA	0,149bA	0,113bA	0,111bA
AROEIRA	0,198abAB	0,136bBC	0,229aA	0,078bC
SABIÁ	0,252aA	0,246aA	0,221aA	0,298aA
IPÊ	0,134bA	0,083bAB	0,115bAB	0,048bB

SSSE – Sem salinidade e encharcamento; SSCE - Sem salinidade com encharcamento; CSSE - Com salinidade e sem encharcamento; CSCE – Com salinidade e com encharcamento; As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si.

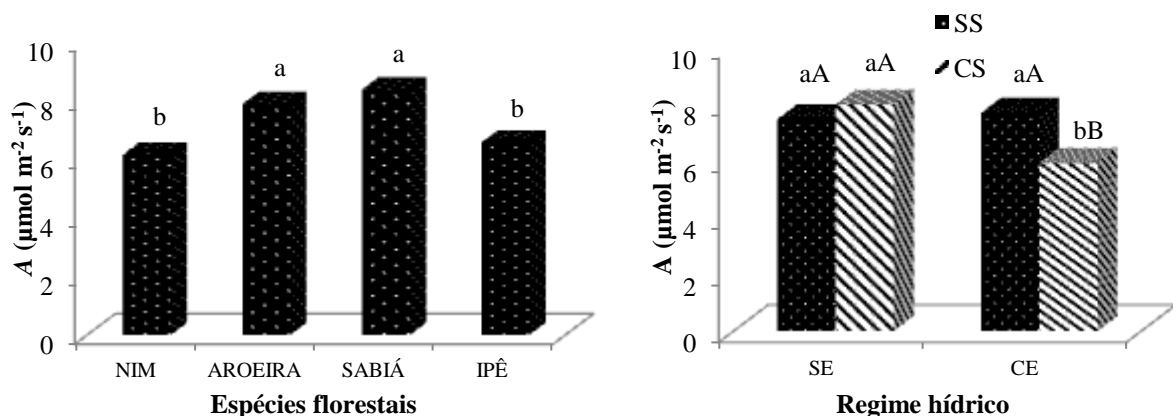
Em pesquisas realizada com *Cecropia pachystachya*, espécie de solos úmidos, Batista *et al.* (2008) observaram também redução da condutância estomática e da taxa de assimilação de CO₂ quando submetida ao alagamento. Os autores relatam que possivelmente, o aumento do índice de esclerofilia das folhas das plantas sob alagamento provocou redução na perda de

água, contribuindo para que não houvesse uma queda ainda maior da condutância estomática e da taxa fotossintética.

Na Figura 2A têm-se os valores de Taxa de assimilação de CO₂ (A) em função das espécies analisadas, no momento que antecedem os encharcamentos nas quais as plantas foram submetidas. Verifica-se que as espécies que apresentaram maiores valores de A foram Sabiá, com 8,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, e Aroeira (7,9 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), que diferiram das espécies Ipê e Nim.

Na Figura 2B observa-se a interação dos tratamentos sem e com salinidade (SS e CS) e sem e com encharcamentos (SE e CE) em função das espécies florestais. Percebe-se que o aumento da salinidade não alterou a taxa de assimilação de CO₂ nas plantas que não sofreram encharcamento, porém houve redução significativa quando as plantas foram submetidas à elevada salinidade e ao encharcamento. Essa redução foi da ordem de 23% de sua fotossíntese.

Dessa forma percebe-se que o encharcamento do solo foi o fator que mais contribuiu para a redução das taxas fotossintéticas, já que o fator salinidade isoladamente não interferiu de maneira mais incisiva nesse processo. Esses resultados podem ser justificados, segundo, CHEN *et al.* (2011), onde os autores relatam que as plantas sob alagamento tendem a apresentar queda na fotossíntese, sendo, talvez, esta principal causa da redução do crescimento das plantas sob tal condição. Bardall *et al.* (2006) em seu trabalho encontrou que a taxa fotossintética também diminuiu nas plantas submetidas ao solo alagado, sendo que com 15 dias de alagamento a redução foi mais pronunciada do que a dois e cinco dias. O comportamento encontrado nesse trabalho levou a inferir que a redução na taxa fotossintética pode estar relacionada aos fatores além do fechamento estomático, possivelmente ligado à etapa fotoquímica (HERRERA *et al.*, 2008).



(A) (B)
 Figura 2 - Representação gráfica do teste de média para taxa de assimilação de CO₂ (A) para as espécies estudadas (A) e para a interação salinidade e do regime hídrico (B) antes dos ciclos de encharcamento do solo. A: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P>0,05) B: Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P>0,05).

Na Tabela 4 estão às médias relativas da taxa de assimilação de CO₂ em função da interação dos três fatores avaliados nesse trabalho, espécies florestais (A), salinidade (B) e encharcamento (C), nas leituras realizadas após o encharcamento do solo. Percebe-se que a espécie Nim apresentou maiores valores de taxa de assimilação de CO₂ no tratamento sem estresse (SSSE) e seu menor valor no tratamento com maior nível de estresse (CSCE). Para a Aroeira o maior valor de fotossíntese foi observado quando as plantas foram submetidas ao tratamento CSSE e o menor no tratamento CSCE. A espécie Sabiá apresentou-se diferente das outras espécies quanto aos seus resultados de fotossíntese, sendo o seu maior valor para aquela variável no tratamento com maior nível de estresse (CSCE), mas não diferindo estatisticamente dos outros tratamentos estudados. O Ipê seguiu tendência semelhante ao Nim, pois o maior e menor valor de fotossíntese foram encontrado, respectivamente, nos tratamentos SSSE e CSCE, deferindo estatisticamente pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4 – Valores médios para taxa de assimilação de CO₂ (A) em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico do solo depois dos ciclos de encharcamento do solo.

Espécies	Salinidade x Regime hídrico			
	SSSE	SSCE	CSSE	CSCE
NIM	7,54abA	7,26aAB	5,81bAB	5,34Bb
AROEIRA	8,66aA	6,41aB	9,33aA	4,37bcC
SABIÁ	7,94abA	6,97aA	7,51abA	8,91Aa
IPÊ	6,47bA	3,95bBC	5,91bAB	2,40cC

SSSE – Sem salinidade e encharcamento; SSCE - Sem salinidade com encharcamento; CSSE - Com salinidade e sem encharcamento; CSCE – Com salinidade e com encharcamento; As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si.

Nesse trabalho, as possíveis reduções da fotossíntese podem ter sido, consequência de uma retroinibição do metabolismo do carbono, resultado da diminuição da utilização de fotoassimilados no crescimento das plantas (MUNNS, 1988; SERRAJ; SINCLAIR, 2002). Isso ocorre porque o estresse salino provoca diminuição do potencial de turgescência dos

tecidos foliares (TAIZ; ZEIGER, 2013), provocando o fechamento dos estômatos, aumento da resistência à difusão do CO₂ e diminuição da taxa fotossintética (ROMERO-ARANDA *et al.*, 1998; CHAVES *et al.*, 2009).

O fato de não ocorrer um efeito pronunciadamente significativo, em termos absolutos antes e depois do encharcamento, diretamente no processo fotossintético, e sim indiretamente através do fechamento estomático, é um importante indício da capacidade de recuperação nos níveis de taxa fotossintética após o período de encharcamento. Dessa forma, foram essas possíveis recuperações ocorridas logo após os períodos de drenagem, que possibilitaram as plantas mesmo sob regime de encharcamento, apresentarem valores semelhantes entre os momentos antes e depois do encharcamento do solo.

Os resultados de transpiração para as diferentes espécies (Figura 3A) apresentaram tendência semelhantes aos observados para a taxa de assimilação de CO₂ (Figura 2A), com os maiores valores sendo observado na espécie Sabiá (4,56 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Aroeira (4,19 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ambas estatisticamente iguais, e menores nas espécies Ipê e no Nim. A espécie que apresentou menor valor de transpiração foi o Nim que apresentou valor 46% menor que os observados em plantas de Sabiá. Conforme a Figura 3B, percebe-se diferença estatística apenas nos tratamentos com diferentes salinidades (SS e CS), quando as plantas foram submetidas ao encharcamento. Possivelmente, esses resultados encontrados nesse trabalho podem ser explicados, devido às diminuições na transpiração foliar atuarem em resposta ao alagamento do solo, pois esse mecanismo regula o equilíbrio hídrico das plantas.

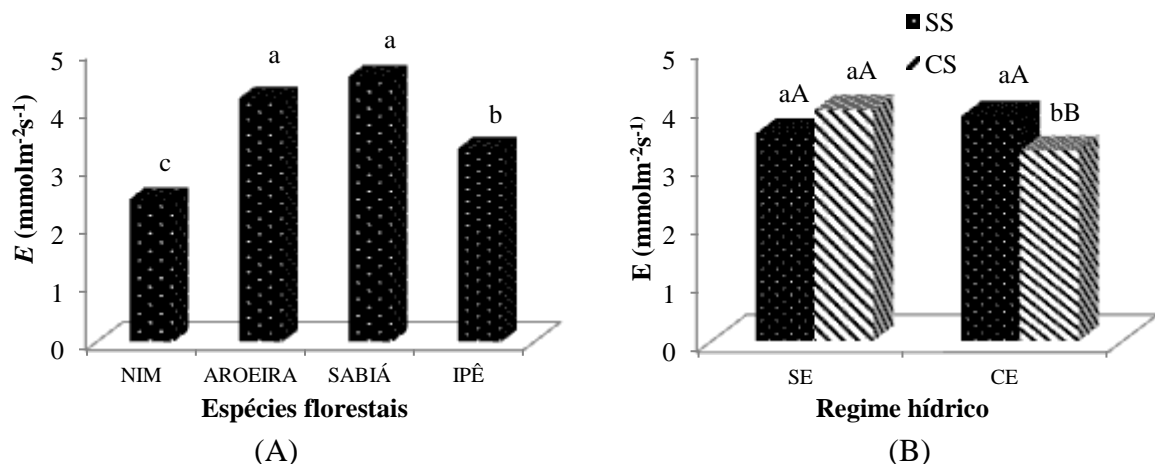


Figura 3 - Representação gráfica do teste de média da transpiração (E) para as espécies estudadas (A) e para a interação salinidade e do regime hídrico (B) antes dos ciclos de encharcamento do solo. A: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$) B: Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Na Tabela 5 observam-se os valores de E para a interação dos três fatores (A x B x C) nas leituras realizadas após os encharcamentos do solo. Para o Nim ocorreu mínimas diferenças absolutas da transpiração dentro dos tratamentos avaliados, o que os levaram a não diferirem estatisticamente. Para Aroeira, percebe-se que os valores mais expressivos foram observados nos tratamentos sem alagamento do solo (SE) e menor valor, $1,52 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, quando os fatores salino e hídrico foram impostos (CSCE). Para o Sabiá, a transpiração apresentou-se maior no tratamento CSCE, com valores de $3,54 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, não sendo diferente dos demais tratamentos. Já o Ipê obteve resultados opostos ao Sabiá, pois no tratamento CSCE houve o menor valor de transpiração, $1,14 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, que comparada à testemunha, SSSE, reduziu cerca de 51,2%.

Lira *et al.* (2013) avaliando trocas gasosas de plantas de *Lonchocarpussericeus* (Poir.) D.C. sob regimes de alagamento observaram que o excesso de água no solo provocou redução na transpiração. Os autores justificaram a queda nos valores das variáveis de trocas gasosas aos 90 dias, em ambos os tratamentos (capacidade de campo e alagada), pode ter sido em decorrência do aumento da temperatura foliar (T_f) provocada pelo aumento da temperatura do ambiente. De acordo com Sultana *et al.* (1999) independentemente do tipo de limitação, a salinidade além de afetar a fotossíntese, pode alterar o conteúdo relativo de água e o potencial hídrico foliar, a condutância estomática, a transpiração e a temperatura da folha.

Tabela 5 - Teste de média para transpiração (E) em função da interação das espécies, salinidade e do regime hídrico depois dos ciclos de encharcamento do solo.

Espécies	Salinidade x Regime hídrico			
	SSSE	SSCE	CSSE	CSCE
NIM	1,97bA	2,07bA	1,70cA	1,70bA
AROEIRA	2,49aAB	2,01bB	2,85aA	1,52bcC
SABIÁ	2,58aB	2,77aB	2,41 abB	3,54aA
IPÊ	2,33abA	1,86bA	2,24bA	1,14cB

SSSE – Sem salinidade e encharcamento; SSCE - Sem salinidade com encharcamento; CSSE - Com salinidade e sem encharcamento; CSCE – Com salinidade e com encharcamento; As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si.

Na Tabela 6 encontra-se a ANOVA para as variáveis eficiência do uso da água (EUA), índice relativo da clorofila (IRC) e eficiência potencial do fotossistema II (F_v/F_m) antes ($_{ANT}$) e depois ($_{DEP}$) dos encharcamentos do solo em quatro espécies florestais. Para a EUA_{ANT} verifica-se a diferença estatística nos fatores isolados A e B e sua interação A x B, ambos a

$P < 0,05$. Logo após o encharcamento, a *EUA* mostrou-se significativo para o fator espécie isoladamente A ($P < 0,05$) e para interação B x C, salinidade versus alagamento do solo ($P < 0,01$). O *IRC* apresentou inferência na interação A x B x C ($P < 0,05$), antes e depois do encharcamento, diferente da relação *Fv/Fm*, que em conformidade estatística significativa, apenas as espécies apresentaram diferença antes e depois do encharcamento ao nível de 5% de probabilidade do teste F

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para a eficiência instantânea do uso da água (*EUA*), índice relativo da clorofila (*IRC*) e eficiência potencial do fotossistema II (*Fv/Fm*) antes (*ANT*) e depois (*DEP*) dos encharcamentos do solo em quatro espécies florestais.

FV	GL	QM					
		<i>EUA</i> _{ANT}	<i>EUA</i> _{DEP}	<i>IRC</i> _{ANT}	<i>IRC</i> _{DEP}	<i>Fv/Fm</i> _{ANT}	<i>Fv/Fm</i> _{DEP}
A	3	1,903**	3,597**	1044,43**	1055,84**	0,0086**	0,0114**
B	1	0,718**	0,452**	70,8**	0,75 ^{ns}	0,0029 ^{ns}	0,0017 ^{ns}
C	1	0,344 ^{ns}	3,312**	196,76**	295,69**	0,0000 ^{ns}	0,0015 ^{ns}
A x B	3	1,312**	0,112 ^{ns}	34,83**	41,21**	0,0055*	0,0041 ^{ns}
A x C	3	0,282 ^{ns}	0,115 ^{ns}	5,08 ^{ns}	14,65 ^{ns}	0,0000**	0,0038 ^{ns}
B x C	1	0,065 ^{ns}	0,000*	63,19**	33,49*	0,0053 ^{ns}	0,0014 ^{ns}
A x B x C	3	0,270 ^{ns}	0,008 ^{ns}	41,29**	50,54**	0,0009 ^{ns}	0,0032 ^{ns}
Tratamento	15	0,829**	1,017**	243,84**	254,45**	0,0036*	0,0048*
Resíduo	48	0,142	0,062	6,38	7,74	0,0017	0,0025
Total	63	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	17,82	8,4	6,55	7,09	5,3	6,4

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

Na Figura 4 tem-se a representação gráfica do teste de média da *EUA*_{ANT} para as diferentes espécies sob condições de baixa (SS) e alta salinidade (CS). A maior eficiência instantânea do uso da água dentre todas as espécies avaliadas foi observado para a espécie *Nim* na condição do solo sem salinidade e quando submetida à salinidade do solo houve redução de 32%. As outras espécies não apresentaram diferenciação estatística entre os dois níveis salinos.

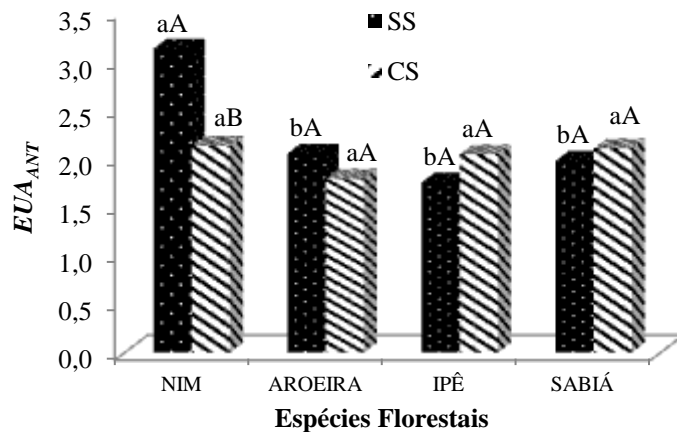


Figura 4 - Representação gráfica do teste de média da eficiência instantânea do uso da água (EUA) em função da interação espécies florestais e salinidade do solo antes dos ciclos de encharcamento do solo. Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Na Figura 5A tem-se a representação dos valores médios para EUA_{DEP} das espécies florestais estudadas, onde todas as espécies se diferenciaram estatisticamente entre si, com valores de EUA de 3,49; 3,19; 2,79 e 2,04 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$, respectivamente, para as espécies Nim, Aroeira, Ipê e Sabiá. Para o resultado médio da EUA_{DEP} em função da interação salinidade e regime hídrico (Figura 5B) percebe-se a não diferenciação estatística dentro do tratamento SE e CE, separadamente, para a condição SS e CS, mas entre os tratamentos do regime hídrico percebe-se essa diferenciação. Mas, em contrapartida, verifica-se que as plantas sob encharcamento (CE) do solo, apresentaram valores inferiores, seja na condição SS e CS, se comparado ao regime sem encharcamento do solo.

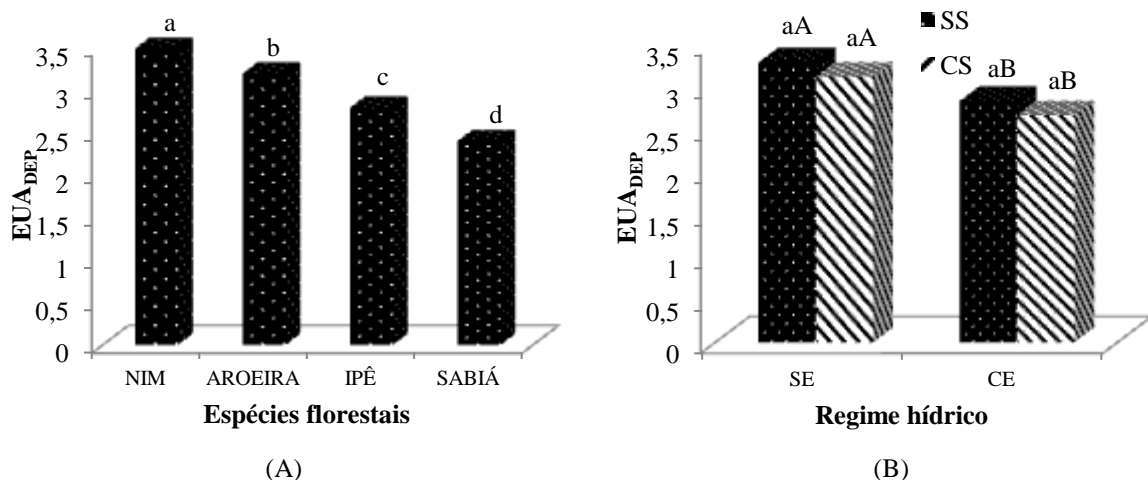


Figura 5 - Representação gráfica do teste de média da eficiência instantânea do uso da água (EUA) em função das espécies (A) e da interação salinidade versus regime hídrico (B) depois

dos ciclos de encharcamento do solo. A: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$) B: Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Observando-se os valores encontrados para A (Figuras 2 e Tabela 4) e E (Figuras 3 e Tabela 5) percebe-se que o efeito da salinidade e do encharcamento do solo, em parte contribuem para com variação da EUA nas plantas sob os diferentes tratamentos. Em contrapartida, verifica-se que essa variação nos valores encontrados para EUA nas leituras realizadas antes e depois dos encharcamentos não apresentaram diferenças elevadas.

Para Jaimez *et al.* (2005), a relação entre a fotossíntese e a transpiração indica a eficiência instantânea no uso de água (EiUA), em que os valores observados relacionam a quantidade de carbono que a planta fixa, por cada unidade de água que perde. Logo, a água exerce influência em diversos processos como a assimilação de CO_2 , transpiração, expansão foliar e partição de fotoassimilados para os diversos órgãos da planta.

Na Tabela 7 encontram-se os valores médios do IRC obtidos anteriormente aos ciclos de encharcamento do solo, isso em função das espécies, salinidade e encharcamento do solo. Percebe-se que o Nim apresentou diferença estatística apenas no tratamento CSCE, o qual apresentou resposta inferior comparado aos outros tratamentos, que não diferiram entre si. Para a Aroeira encontrou-se resultados semelhantes ao Nim, no que diz respeito ao efeito do tratamento SSCE, pois o mesmo proporcionou valores inferiores de IRC. Pelos resultados obtidos, o Sabiá apresentou menor tolerância à salinidade, pois os menores valores foram encontrados nas condições de salinidade. Já o Ipê apresentou valores superiores para ao tratamento salino sem encharcamento do solo (CSSE), mais não diferindo da condição SSSE e SSCE. Portanto, percebe-se que para quase todas as espécies avaliadas, as plantas apresentaram menores valores para as leituras realizadas no encharcamento do solo.

Tabela 7 - Teste de média para o índice relativo da clorofila (IRC) antes dos encharcamentos em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico.

	SSSE	SSCE	CSSE	CSCE
NIM	52,83aA	51,63aA	51,81aA	44,02aB
AROEIRA	37,95bAB	36,25bcB	41,61bA	36,65bB
SABIÁ	36,16bA	31,68cAB	29,74cB	29,81cB
IPÊ	33,6bAB	36,91bA	37,00bA	29,62cB

SSSE – Sem salinidade e encharcamento; SSCE - Sem salinidade com encharcamento; CSSE - Com salinidade e sem encharcamento; CSCE – Com salinidade e com encharcamento; As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si.

Respostas semelhantes a este trabalho no que diz respeito à redução da clorofila nos tratamentos sob encharcamento foram verificadas por Ishida *et al.* (2002), os quais relataram que quando as plantas foram submersas totalmente, o teor de clorofila reduziu de forma significativa logo nos primeiros dias da inundação.

Pela Tabela 8 verificam-se os valores do *IRC* em função da interação tripla, espécies x salinidade x encharcamento, nas leituras realizadas logo após os términos de cada encharcamento realizado. Percebe-se para o tratamento com maior nível de estresse (CSCE) que as espécies obtiveram seus menores valores para a variável em estudo, quando não (Aroeira) assemelhou-se estatisticamente com o tratamento que assim o foi. Verifica-se que o encharcamento do solo foi causador de maior estresse, se comparado a salinidade, como pode ser observado para a Aroeira e o Sabiá, sendo essa última espécie sensível ao estresse salino (CSSE). As espécies Nim e Ipê apresentaram a mesma tendência de resposta dentro de cada tratamento avaliado, demonstrando também valores inferiores quando sofreram encharcamento, seja isolado ou com a interação da salinidade.

Tabela 8 - Teste de média para o índice relativo da clorofila (*IRC*), após os ciclos de encharcamento, em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico.

	SSSE	SSCE	CSSE	CSCE
NIM	49,29aAB	51,71aAB	54,04aA	46,58aB
AROEIRA	40,83bAB	35,21bC	45,38bA	38,47bBC
SABIÁ	38,45bcA	29,67cB	31,36dB	28,93cB
IPÊ	34,62cAB	35,19bAB	37,32cA	31,15cB

SSSE – Sem salinidade e encharcamento; SSCE - Sem salinidade com encharcamento; CSSE - Com salinidade e sem encharcamento; CSCE – Com salinidade e com encharcamento; As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si.

Em resposta às condições de alta salinidade do solo, as plantas desenvolvem diversas alterações fisiológicas e bioquímicas (MUNNS; COMPARAÇÃO, 2008). Em plantas submetidas à salinidade, uma diminuição na concentração de clorofila pode ser atribuída ao aumento da atividade da enzima clorofilase, que degrada a clorofila (SHARMA; HALL, 1991).

Em se tratando de inundação, em estágio mais avançado, esses danos podem ser exteriorizados pela redução nos teores de clorofilas resultante da degradação e/ou decréscimo de sua síntese, como constatado em folhas de outras espécies submetidas a diferentes níveis de inundação (HUANG *et al.*, 1994; PEZESHKI *et al.*, 1996).

Na Figura 6A e B observam-se as respostas das espécies florestais quanto a eficiência potencial do fotossistema II, representada pela razão Fv/Fm , antes e depois dos ciclos de encharcamento do solo, respectivamente. Verifica-se que a espécie Aroeira apresentou os mais elevados valores para variável em estudo, o que diferiu estatisticamente das demais espécies (Figura 6A). A mesma tendência não foi observada logo após o encharcamento (Figura 6B), onde a espécie Sabiá apresentou maiores valores para a relação Fv/Fm , mais que a não diferiu estatisticamente da Aroeira. As espécies Nim e o Ipê, apresentaram valores semelhantes.

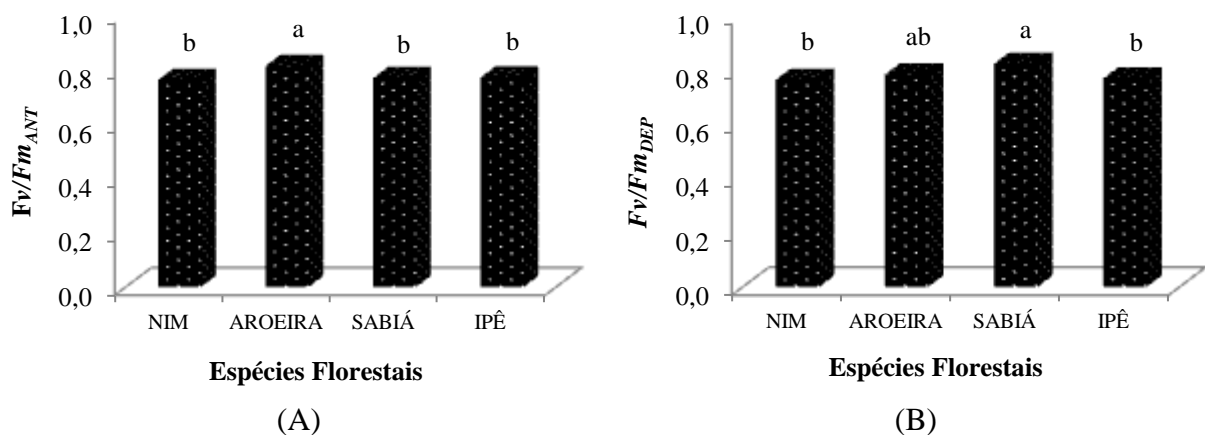


Figura 6 - Representação gráfica do teste de média para fluorescência da clorofila (Fv/Fm) em função das espécies florestais estudadas, antes (A) e depois do encharcamento do solo (B). A e B - Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)

Na Figura 7 estão plotados as médias da relação Fv/Fm em função das interações espécies florestais e salinidade do solo, antes do encharcamento. Nessa Figura, todos os tratamentos do solo sem salinidade, SS, apresentaram igualdade estatística, sendo o Sabiá e a Aroeira as espécies com maiores valores. No solo salino, CS, percebe-se que a Aroeira apresentou valores superiores, até mesmos do que o tratamento SS. Já o Sabiá foi à espécie que mais sentiu o estresse do tratamento CS, mais que em termos relativo só chegou a 8,5% de redução.

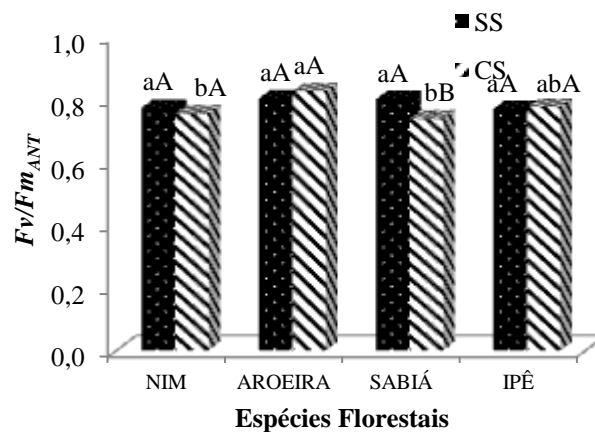


Figura 7 - Representação gráfica do teste de média para fluorescência da clorofila (F_v/F_m_{ANT}) em função das interações espécies florestais x salinidade do solo nas leituras realizadas antes dos ciclos de encharcamento do solo. Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Li *et al.* (2004), trabalhando com 99 espécies nativas de diferentes habitats da Mongólia, citam valores que variaram de 0,57 a 0,79. Nessa pesquisa, os valores máximos e mínimos encontrados para as espécies foram respectivamente, 0,826 a 0,738, o que, segundo Baker e Rosenqvist (2004) e Suassuna *et al.* (2011), apresentaram eficiência potencial acima do limite que poderia causar dano ao fotossistema II (FSII) que é de 0,75.

A fluorescência da clorofila é um método usado para avaliar os efeitos da salinidade, seca, calor e poluição em plantas (WEST, 1986) sobre eficiência fotoquímica da fotossistema II e tem provado ser útil na seleção genética de tolerância à salinidade (BELKHODJA *et al.*, 1994; JIMENEZ *et al.*, 1997).

A relação F_v/F_m é o atributo mais frequentemente medido em pesquisas de estresse, mas isso nem sempre tem sido confiável como primeiro indicador de estresse salino. A ausência de mudanças na eficiência fotoquímica máxima do FSII (F_v/F_m) sugere que o estresse salino não causa efeito fotoquímico sobre o FSII. Já a habilidade em manter valores semelhantes de F_v/F_m sob estresse hídrico, pode indicar alta eficiência no uso da radiação possivelmente pelas reações de assimilação de carbono (SILVA *et al.*, 2008).

CONCLUSÕES

O encharcamento do solo foi o fator que mais contribuiu para com a redução das variáveis analisadas.

A salinidade do solo, apesar de reduzir os valores de algumas variáveis, não afetou de forma significativa as trocas gasosas e a eficiência potencial do fotossistema II.

A interação do maior nível salino e do encharcamento do solo (CSCE) causou maiores reduções nas trocas gasosas, sendo que o Ipê roxo foi a espécie que apresentou maior sensibilidade aos dois fatores de estresse estudados

REFERÊNCIAS

BAKER, N.R.; ROSENQVST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.55, p.1607-1621, 2004.

BERNARDO, S. **Impacto ambiental da irrigação no Brasil**. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. (Eds.). Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Brasília: MMA/SRH/ABEAS: Viçosa-MG; Departamento de Engenharia Agrícola, 1997. p.79-88.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis underdrought and salt stress: regulation mechanisms from wholeplant to cell. *Annals of Botany*, v.103, p.551–560, 2009.

CHEN, X. *et al.* Fitness consequences of natural variation in flooding induced shoot elongation in *Rumex palustris*. **New Phytologist**, v. 190, p. 409- 420, 2011.

CHEN, H.; QUALLS, R.G.; MILLER, G.C. Adaptive responses of *Lepidiumlatifolium* to soil flooding: biomass allocation, adventitious rooting, aerenchyma formation and ethylene production. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 48, p. 119-128, 2002.

COOKE, S.J.; SUSKI, C.D. Ecological restoration and physiology: an overdue integration. **Bioscience**, v.58, n.10, p.957-968, 2008.

HADDAD, M. C.; PLATSZECK, O. C.; TAMASSIA, F. M. L.; CASTRO, F. G. F. *et al.* (2000). Estabelecimento de capim sectária cv Kazungula em condições de inundação. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 2, p. 205- 212. Apr./June 2000.

HERRERA, A.; TEZARA, W.; MARÍN, O.; RENGIFO, E. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis in trees of a tropical seasonally flooded forest. **PhysiologiaPlantarum**, Lund, v. 134, n. 1, p. 41–48, 2008.

- HORNEY, R. D.; TAYLOR, B.; MUNK, D. S.; ROBERTS, B. A., LESCH, S. M.; PLANT, R. E. Development of practical site-specific management methods for reclaiming salt-affected soil. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.46, p.379-397, 2005
- HUANG, B.; JOHNSON, J. W.; NESMITH, S. e BRIDGES, D. C. Growth, physiological and anatomical responses of two wheat genotypes to waterlogging and nutrient supply. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 45, n. 271, p. 193-202. 1994.
- KEIFFER, C. H.; UNGAR, I. A. Germination and establishment of halophytes on brine-affected soils. **Journal of Applied Ecology**, v.39, p.402-415, 2002.
- ISHIDA, F. Y.; OLIVEIRA, L. E. M; CARVALHO, C. J. R.; ALVES, J. D. Efeitos da inundação parcial e total sobre o crescimento, teor de clorofila e fluorescência de *Setaria anceps* e *Paspalum repens*. **Revista Ciência Agrotec.**, Lavras. 26(6)1152-1159, nov./dez.,2002.
- JAIMEZ, R. E. et al. Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. 'Hartón' (Musa AAB) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 79-89, 2005.
- LEAL, G. I.; ACCIOLY, A DE M. A.; NASCIMENTO DO A.W.C.; FREIRE, S DOS G. B. M.; MONTENEGRO, A DE A. A.; FERREIRA, L. DE F. Fitorremediação de solo salino por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1065-1072, 2008.
- LI, Y. G. et al. Traits of chlorophyll fluorescence in 99 plants species from the sparse-elm grassland in Hunshandak Sandland. **Photosynthetica**, v. 42, n. 02, p. 243-249, 2004.
- LIRA, J. M. S.; FERREIRA, R. A.; JUNIOR, C. D. da S.; SANTOS NETO, E. M. dos; SANTANA, W. da S.; Análise de crescimento e trocas gasosas de plantas de *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) D.C. sob alagamento para uso na recuperação de matas de ciliares. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 655-665, out.-dez., 2013
- MUNNS, R. Why measure osmotic adjustment? Australian **Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.15, n. 6, p.717- 726, 1988.
- MUNNS, R.; COMPARAÇÃO, R. M. Mechanisms of salinity tolerance. **Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, p. 651-681, 2008.
- OLIVELLA, C.; BIEL, C.; VENDREL, M. & SAVÉ, R. 2000. Hormonal and physiological responses of *Gerbera jamesonii* to flooding stress. **HortScience** 35(2): 222-225.
- PEZESHKI, S. R., PARDUE, J. H.; DeLAUNE, R. D. Leaf gas exchange and growth of flood-tolerant and flood sensitive tree species under low soil redox conditions. **Tree Physiology**, Victoria, v. 16, p. 453-458, 1996
- PEZESHKI, S. R. Wetland plant responses to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 46, n. 3, p. 299-312, 2001.
- ROMERO-ARANDA, R.; MOYA, J. L.; TADEO, F. R.; LAGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E.; TALON, M. Physiological and anatomical disturbances induced by chloride salts in sensitive

and tolerant citrus: beneficial and detrimental effects of cations. **Plant, Cell and Environmental**, v.21, p.1243-1253, 1998.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T.R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?. **Plant Cell & Environment**, Oxford, v.25, n. 2, p.333-341, 2002

SHARMA, P.K.; HALL, D. O.; Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghum. **Journal of Plant Physiology**, v.138, n.5, p.614-619. 1991.

SILVA, M. de A.; SOARES, R.A.B.; LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, 28 v.67, p.656-661, 2008.

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

SULTANA, N. et al. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v.42, p.211-220, 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5o ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p

CAPÍTULO 3

CRESCIMENTO INICIAL DE QUATRO ESPÉCIES LENHOSAS SOB CONDIÇÕES DE SALINIDADE E DÉFICT HÍDRICO

INTRODUÇÃO

Desde o descobrimento do Brasil, os recursos naturais constituem a principal riqueza nacional, tendo sido explorados e, infelizmente, negligenciados ao longo dos últimos séculos. Os recursos florestais envolvendo as áreas com espécies arbóreas passaram por ampla exploração, sendo poucas vezes estabelecida a recuperação das mesmas com plantios conduzidos com essas espécies. No período em que houve o incentivo florestal, os plantios foram direcionados para espécies exóticas. Por outro lado, as espécies nativas continuaram sendo exploradas de forma extrativista.

Não bastasse a natural exploração dessas espécies, elas ainda sofrem outros tipos de injúrias, dessa vez decorrente não só de causas antrópicas, mais também de fatores bióticos e abióticos. Dentre eles podemos citar a salinidade do solo e o déficit hídrico, comuns em regiões semiáridas.

Em regiões semiáridas, a alta taxa de evapotranspiração e o baixo índice pluviométrico contribuem para a o acúmulo de sais solúveis no solo, juntamente com a deficiência de sistemas de drenagens dos mesmos. Em condições de salinidade as plantas apresentam sintomas como necrose e queimaduras nas bordas das folhas, geralmente causados por sais de sódio e cloro , porém a principal resposta aos efeitos tóxicos e osmóticos causados pelos sais é a redução do crescimento das plantas (DIAS; BLANCO, 2010).

Os mecanismos de tolerância à salinidade ocorrem no nível de planta inteira, celular e molecular, dependendo do controle do transporte dos sais, sua compartimentalização nas células e da rápida ação dos genes responsáveis pelas respostas ao estresse (WILLADINO; CAMARA, 2005).

Outro fator que contribui para com as injúrias que cometem as espécies florestais em regiões semiáridas é o estresse hídrico causado pela deficiência de água no solo. Segundo Taiz e Zeiger (2013), a deficiência hídrica pode ser definida como qualquer conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água mais elevado exibido no estado

de maior hidratação. Vale salientar, que o tempo necessário para que a insuficiência de suprimento de água, por chuva ou irrigação, provoque essas causas, dependerá do tipo de planta, da capacidade de retenção de água no solo e das condições atmosféricas (PIMENTEL, 2004a).

Em consequência, o crescimento é um dos processos fisiológicos mais sensíveis à deficiência hídrica. Nesse sentido, a análise de crescimento descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, permitindo acompanhar a dinâmica da produtividade. É um método a ser utilizado na investigação do efeito dos fenômenos ecológicos sobre o crescimento, como a adaptabilidade das espécies em ecossistemas diversos, efeitos de competição, diferenças genotípicas e efeito de práticas agronômicas sobre o crescimento (MAGALHÃES, 1986)

Logo, devido a crescente necessidade de recuperação de áreas degradadas tem-se aumentado o interesse sobre o conhecimento das espécies florestais que apresentem diversas estratégias adaptativas que viabilizam sua utilização, principalmente em áreas afetadas pela salinidade e déficit hídrico. Portanto, objetivou-se com essa pesquisa avaliar o crescimento e tolerância de espécies florestais sob condições de salinidade e déficit hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

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 3° 44' S, longitude 38° 33' W, na altitude de 20 m, no período de 11 de abril a 05 de setembro de 2014.

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 anual é de 1.747,2 mm, a temperatura média anual igual a 26,9°C e a umidade relativa de 69% (SOUSA *et al.*, 2010).

Para composição dos tratamentos com níveis de sais, coletou-se em 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 e em seguida passado em peneira de malha de 5 mm, mediu-se a condutividade elétrica do solo saturado (CE) resultando em dois tratamentos salinos (1,2 e 8,6 dS m⁻¹). A medição da CE foi realizada diretamente na pasta saturada, utilizando-se um sensor modelo Wet Jet.

Para a realização do experimento utilizou-se quatro espécies florestais, sendo três nativas da Caatinga (Aroeira, Sabiá e Ipê roxo) e uma espécie exóticas (Nim), conforme descrição na Tabela 1. O material vegetal para a produção das mudas foi proveniente do banco de sementes do NEPAU.

Tabela 1 - Descrição das quatro espécies utilizadas no experimento em ambiente protegido

Nome popular	Nome científico
Nim	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss
Aroeira	<i>Myracrodruonurundeuva</i> FrAllemão
Ipê roxo	<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex. DC.) Standl
Sabiá	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth

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, onde permaneceram por 20 dias, sendo irrigadas diariamente com água do poço de condutividade elétrica de 0,7 dS m⁻¹ utilizando-se um sistema de microaspersão.

Aos 20 dias após a semeadura das bandejas as mudas foram selecionadas de acordo com a uniformidade, sendo em seguida transplantadas para baldes de 8 litros contendo no seu perfil uma camada inferior de 5 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, adicionou-se nas covas de cada vaso, um volume adequado de areia lavada de rio e também adotou-se um período de 20 dias após o transplântio (DAT) sem o manejo da restrição hídrica, para que só depois as espécies fossem submetidas aos tratamentos. A partir daí as plantas permaneceram nos vasos até os 120 DAT sendo irrigadas diariamente de maneira manual.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial triplo, com quatro espécies florestais (Aroeira, Ipê, Sabiá e Nim), dois níveis de salinidade (1,2 e 8,6 dS m⁻¹) e dois regimes hídricos (sem e com restrição hídrica). Foram utilizadas quatro

repetições, totalizando 64 unidades experimentais, sendo cada unidade experimental composta por dois vasos.

Para compor os tratamentos de regimes hídricos foram aplicadas lâminas de água equivalentes a 100 e 50% para o tratamento sem restrição hídrica (SR) e com restrição hídrica (CR), respectivamente, com base na evapotranspiração de referência, utilizando-se o tanque Classe A. As plantas foram impostas a diferenciação dos tratamentos hídricos aos 21 DAT e permaneceram sob o regime hídrico diferenciado até os 120 DAT, sendo a quantidade de água necessária aplicada a cada dois dias, acumuladamente.

Ao final do experimento foram medidos a altura da planta (ALT), com uma régua, diâmetro do caule (DC), com um paquímetro e o número de folhas (NF). Quantificou-se ainda, a área foliar (AF), através do escaneamento realizado pelo integrador de área foliar LICOR[®], a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST). A parte aérea foi dividida em folhas, pecíolo e haste, sendo acondicionadas separadamente em sacos de papel previamente identificados. Para a massa seca das raízes, o solo com as raízes foi peneirado e lavado, para obtenção das raízes e em seguida colocou-se em sacos de papel. O materiais foram levados à estufa de circulação forçada de ar, a 65°C até atingir peso constante para a obtenção das massas.

Com os dados de massa seca total foram calculadas as perdas percentuais em relação ao menor nível de salinidade e solo sem restrição hídrica, as quais foram utilizadas como índices para comparar a tolerância das cinco espécies (Tabela 2), conforme Fageria *et al.* (2010).

Tabela 2 - Classificação de quatro 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 *et al.* (2010)

De posse dos dados tabulados, os mesmos foram submetidos à análise de variância e, após verificada a significância estatística dos fatores avaliados, fez a comparação das medias utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as análises foi utilizado o programa “ASSISTAT versão 7.6 beta” e para confecção dos gráficos o EXCEL 2007.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (ANAVA) apresentada na Tabela 3 revela a significância estatística para as variáveis, altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST) das quatro espécies estudadas, Nim, Aroeira, Sabiá e Ipê (Fator A), em função da salinidade (Fator B) e do regime hídrico (Fator C).

Observa-se que em todas as variáveis estudadas houve significância estatística para os fatores A e B, isoladamente ($p < 0,01$ ou $p < 0,05$). Já o déficit hídrico (Fator C) e a interação dos fatores A x B x C não causaram nenhuma inferência estatística ($p > 0,05$). Para a interação entre os fatores A x B e para a interação entre os fatores B x C verificou-se significância estatística apenas para a MSPA ($p < 0,05$), enquanto para a para os fatores A e C a interação foi significativa para as variáveis DC ($p < 0,05$), AF ($p < 0,05$), MSPA ($p < 0,05$) e MST ($p < 0,01$).

Tabela 3–Resumo da análise de variância para altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST) das quatro espécies estudadas em função da salinidade e do regime hídrico.

FV	GL	QM						
		ALT	DC	NF	AF	MSPA	MSR	MST
Fator A	3	7114,87**	36,25**	368,14**	869174,56**	152,22**	45,65**	330,01**
Fator B	12	2475,89**	24,92**	439,25*	584382,53**	96,015**	160,47**	476,93**
Fator C	1	20,55 ^{ns}	1,78 ^{ns}	163,62 ^{ns}	3298,58 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,95 ^{ns}
A x B	3	63,15 ^{ns}	1,43 ^{ns}	68,47 ^{ns}	25489,78 ^{ns}	3,92*	2,78 ^{ns}	5,36 ^{ns}
A x C	12	102,04	2,51*	68,29 ^{ns}	31729,90*	5,19*	5,57 ^{ns}	19,63**
B x C	1	100,66 ^{ns}	0,05 ^{ns}	388,41 ^{ns}	23883,12 ^{ns}	6,54*	0,11 ^{ns}	3,77 ^{ns}
A x B x C	3	202,27 ^{ns}	2,29 ^{ns}	104,22 ^{ns}	14329,46 ^{ns}	2,53 ^{ns}	1,10 ^{ns}	9,05 ^{ns}
Tratamento	1	1669,61**	10,28**	187,91 ^{ns}	228997,69**	39,48**	21,77**	104,92**
Resíduo	3	84,8	0,86	102,16	9242,33	1,29	2,85	4,17
Total	63	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	21,61	17,52	68,5	26,21	27,00	41,72	25,15

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

A Figura 1 A e B representam, respectivamente, as espécies avaliadas e o comportamento dessas espécies frente à salinidade. Na Figura 1A percebe-se a diferença entre altura das plantas da espécie nim e as demais. Em média o nim apresentou-se superior em

54% o que o diferenciou estatisticamente das demais. As espécies aroeira, ipê e sabiá apresentaram 33,75; 33,25 e 41,5 cm de altura, respectivamente.

Na Figura 1B têm-se a diferença estatística encontrada entre o solo sem salinidade, SS, e solo com salinidade, CS, sendo o primeiro menos estressante para o desenvolvimento das plantas, pois o mesmo causou um crescimento da altura das plantas superior em 25% se comparado ao solo CS. Essa diminuição no crescimento encontrada no tratamento com solo salino funciona como um mecanismo adaptativo ao ambiente salino, proporcionando condições para que a planta mantenha suas atividades vitais, mesmo que de forma limitada. Além disto, o estágio de desenvolvimento da planta em que ocorre o estresse também é crítico (PIMENTEL, 2004b).

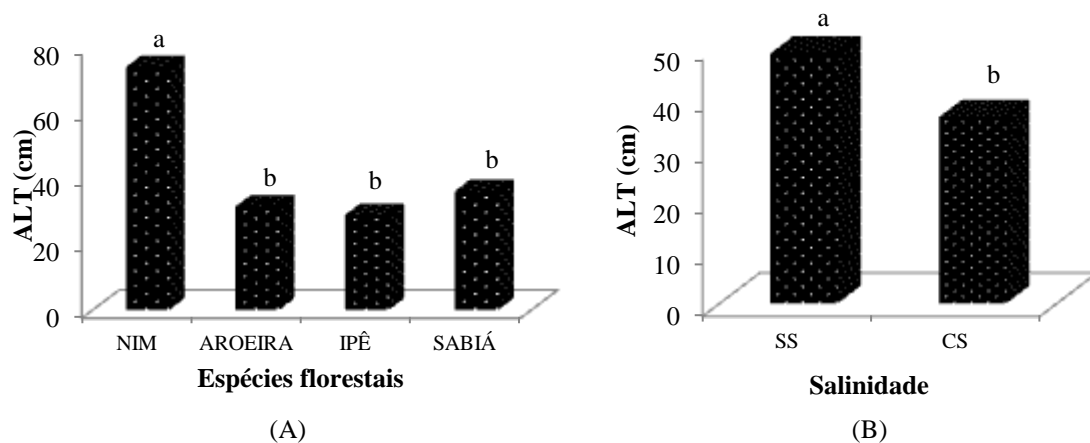


Figura 1 – Representação gráfica do teste de média para altura de planta em função das espécies avaliadas (A) e do fator salinidade (B). A e B - Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Na Figura 2 percebe-se a relação do diâmetro do caule para com a interação entre espécies florestais e déficit hídrico (Figura 2A) e o efeito isolado da salinidade do solo (Figura 2B). Pela Figura 2A verifica-se a diferença encontrada entre os tratamentos sem restrição hídrica (SR) e com restrição hídrica (CR) para as espécies Nim e Aroeira. Essa diferença não foi observada para as espécies Ipê e Sabiá.

Conforme Blum (2005), reduções na expansão celular e no crescimento são as primeiras respostas ao déficit hídrico e servem para moderar o uso de água pela planta, e também podem conduzir a reduções na produtividade da cultura. É possível que a restrição hídrica aplicada no presente estudo tenha se caracterizado como leve, visto que os efeitos foram bem menores do que os observados em outros estudos.

Para o diâmetro do caule em função da salinidade, Figura 2B, verifica-se que a condição SS apresentou o valor do DC de 5,94 mm, valor esse superior ao solo CS, 4,69 mm, e estatisticamente diferente.

Parte dos resultados encontrados nesse trabalho podem ser explicados pelos comentários de Sun *et al.* (2009) e Yao *et al.* (2010) que relataram sobre a possibilidade de haver diferença do efeito da salinidade entre espécies de plantas, e entre estádios desenvolvimento de um mesmo genótipo. Conforme Nery *et al.* (2009), o decréscimo no diâmetro do colo, em relação ao crescimento, é mais sensível que o crescimento em altura.

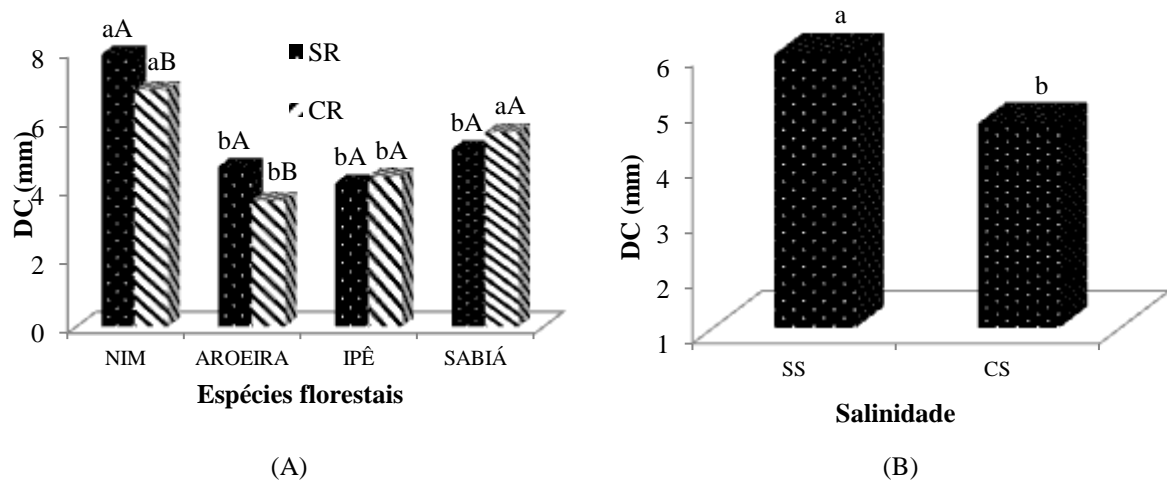


Figura 2 – Representação gráfica do teste de média para diâmetro do caule em função da interação entre espécies e regime hídrico (A) e do fator salinidade (B). A - Barras com as mesmas letras maiúsculas, para regime hídrico, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$). B - Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Na Figura 3A observa-se a representação gráfica do teste de média do número de folhas (NF) em função das espécies florestais. Da mesma forma que aconteceu com a altura das plantas e o diâmetro do caule, o Nim também manteve superioridade na variável NF, em média 22 folhas. As espécies Aroeira, Ipê e Sabiá apresentaram cerca de 14, 10 e 14 folhas por planta, respectivamente. Para o NF em função da salinidade, na Figura 3B, percebe-se uma redução de 30% na quantidade de folhas nas plantas no tratamento CS, em relação ao tratamento SS, sendo essa resposta independente dos demais fatores estudados.

Com base nesses resultados e tendo conhecimento que o NF depende da formação e desenvolvimento de primórdios foliares, enquanto a área foliar unitária é função da expansão celular, os resultados aqui alcançados sugerem que a formação e o desenvolvimento dos primórdios foliares foram mais sensíveis ao estresse salino do que à restrição hídrica imposta.

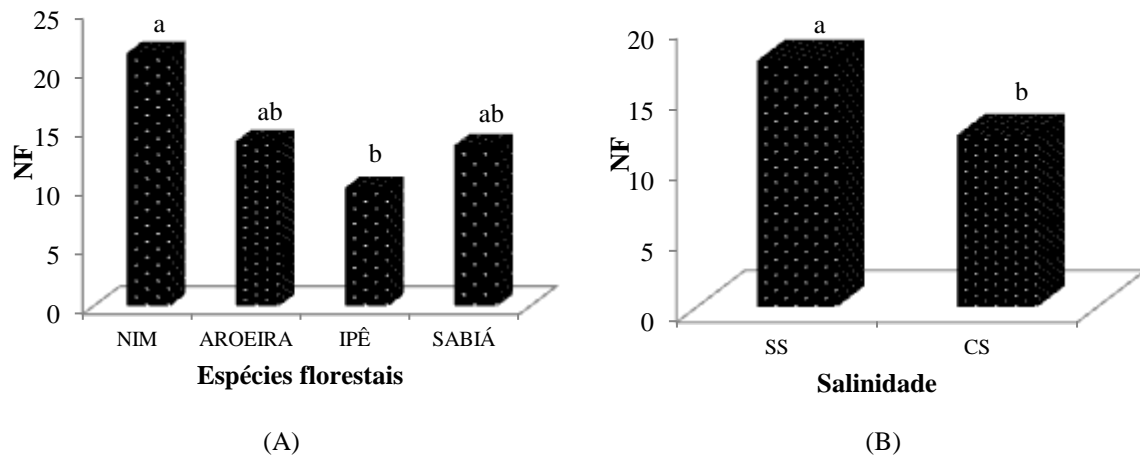


Figura 3 – Representação gráfica do teste de média para número de folhas em função das espécies avaliadas (A) e do fator salinidade (B). A e B - Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Para a área foliar (AF) em função da interação espécie florestal e déficit hídrico (Figura 4A) percebe-se que o Nim foi a espécie que apresentou maiores valores absolutos e que também apresentou leve redução com a imposição da restrição hídrica. Para as demais espécies verifica-se que a AF não foi significativamente afetada analisando o efeito do tratamento dentro das espécies, ou seja, não houve reduções drásticas para essa variável com base nas situações SR e CR. Já a salinidade foi um fator consideravelmente causador de redução na AF, como pode ser observado na Figura 4B, com valores de 462,31 e 271,20 cm² para o solo SS e CS, respectivamente, correspondente à diferença de 41%, independente dos demais fatores estudados.

Conforme Wang e Nil (2000). Para os estresses nos quais as plantas foram submetidas, salino e hídrico, há uma resposta semelhante, dentre elas têm-se a redução da expansão da superfície foliar, acompanhado de uma intensificação do estresse. No presente estudo observou-se maior impacto do estresse salino, o que pode ser explicado pelos níveis de estresse impostos e a tolerância das espécies estudadas.

Para Neumann *et al.* (1997) a redução na área foliar causada por estresse hídrico e salino mostra-se como uma resposta adaptativa das plantas que crescem naturalmente em regiões semiáridas, visto que nessa parte da planta ocorre o processo transpiratório. Quando a área foliar é limitada, diminui a taxa transpiratória, conseqüentemente ocorrerá um uso mais

eficiente da água disponível no solo, reduzindo a absorção de íons tóxicos, prolongando a sobrevivência da planta.

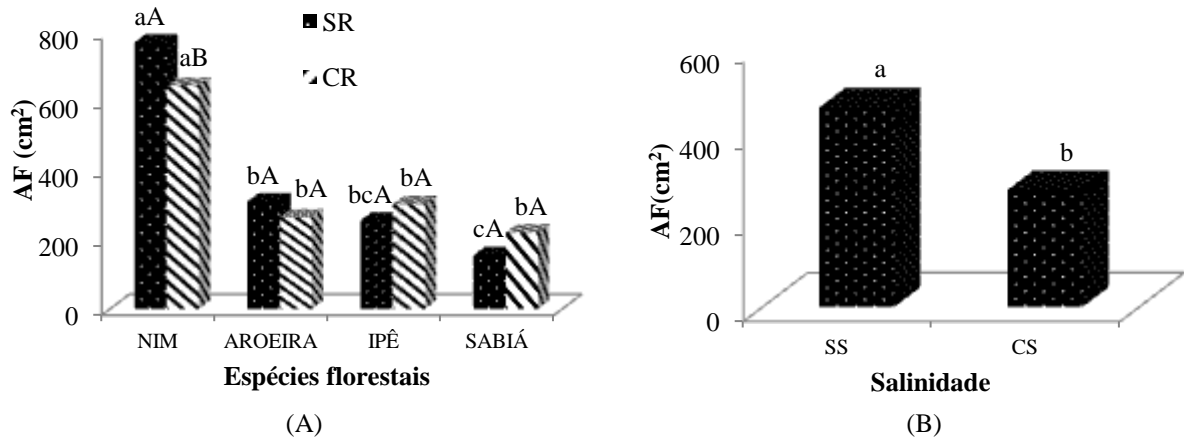


Figura 4 – Representação gráfica do teste de média para área foliar em função da interação entre espécies e regime hídrico (A) e do fator salinidade (B). A - Barras com as mesmas letras maiúsculas, para regime hídrico, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$). B - Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Para a MSPA em função das espécies florestais (Figura 5A) verifica-se que a espécie Nim foi à espécie que apresentou valores superiores as espécies analisadas (8,79 g) diferindo estatisticamente das demais espécies. As espécies Aroeira, Ipê e Sabiá, apresentaram os seguintes valores, respectivamente, 2,78; 2,11 e 3,18 g, não apresentando nenhuma diferenciação estatística entre si. Para a resposta da MSPA em função da interação salinidade e regime hídrico (Figura 5B), percebe-se que a condição SS expressou maiores valores se comparado à condição do solo CS. A redução percentual na condição SR e CR, entre os dois níveis salinos, SS e CS, foram respectivamente da ordem de 53 e 56% da MSPA. Dessa forma percebe-se que o fator que mais contribuiu para a redução dos valores da variável em estudo, foi à salinidade do solo. De alguma maneira tais reduções podem ser respostas adaptativas para que as plantas sobrevivam sob estresse, permitindo que as plantas contenham múltiplos recursos para resistir em condições adversas.

Freire *et al.* (2009) trabalhando com desenvolvimento de leucena em solos salinos e não salino verificaram que houve maior acúmulo de massa seca da parte aérea e total em solo não salino, porém o efeito da salinidade do solo foi mais pronunciado na parte aérea havendo redução de 60 % de massa seca da parte aérea em comparação com as mantidas em solos não salinos. Da mesma forma, Gomes *et al.* (2011) em estudos com mudas de *Tabebuia áurea*

observaram que a salinidade reduziu significativamente o acúmulo da massa seca da parte aérea.

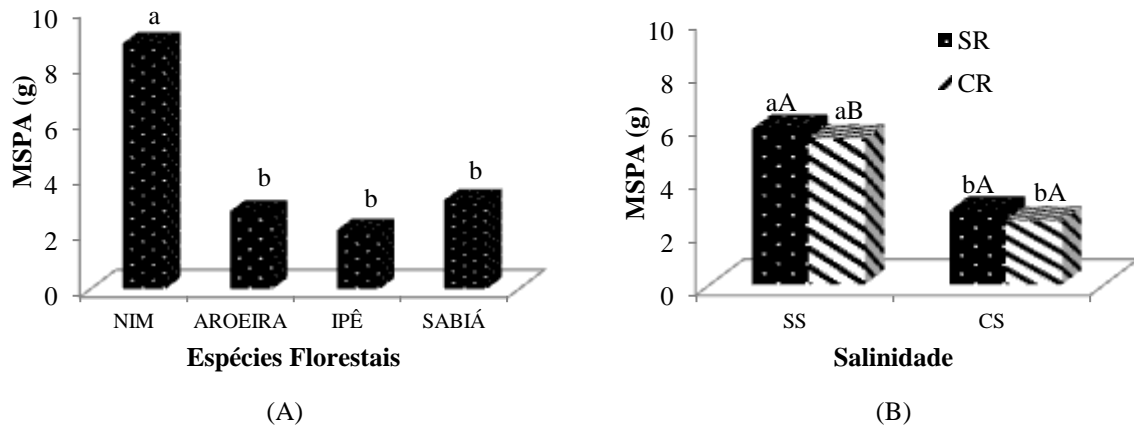


Figura 5 – Representação gráfica do teste de média para massa seca da parte aérea em função das espécies (A) e para a interação entre salinidade e regime hídrico (B). A: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$). B: Barras com as mesmas letras minúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras maiúsculas, para regime hídrico, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Na representação gráfica da MSR em função das espécies (Figura 6A) percebe-se considerável nível de diferenciação estatística entre as espécies. As espécies Nim, Ipê e Sabiá se diferenciaram estatisticamente entre si, com valores absolutos de 6,10; 4,44 e 2,04g, respectivamente. Para a MSR em função da salinidade (Figura 6B), verifica-se a mesma tendência da MSPA, pois as plantas apresentaram menores valores de MSR no tratamento com maior imposição do estresse salino.

Os principais processos das plantas durante o estresse salino como a fotossíntese e síntese de proteína podem ser prejudicados e como consequência há redução na expansão da superfície foliar (PARIDA; DAS 2005), com considerável diminuição na área foliar, biomassa fresca e seca de folhas e raízes (CHARTZOULAKIS; KLAPAKI 2000), havendo dessa forma, diminuição significativa na taxa de crescimento das plantas (RHOADES et al., 2009). Silva *et al.* (2005) em seus estudos com Favela (*Cnidoscylusphyllacanthus* Pax & K. Hoffm) verificaram que o estresse salino inibiu significativamente a produção de massa seca das raízes (MSR) e a produção de massa seca da parte aérea (MSPA), particularmente no maior nível de salinidade da água de irrigação.

Trabalhando em casa de vegetação com a espécie Sabiá, Silva *et al.* (2009) encontraram 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 ($T6 = 6 \text{ dSm}^{-1}$) e que essas plantas exibiram sintomas de senescência precoce e toxicidade iônica (queimaduras nas folhas), aos 60 dias de aplicação dos tratamentos.

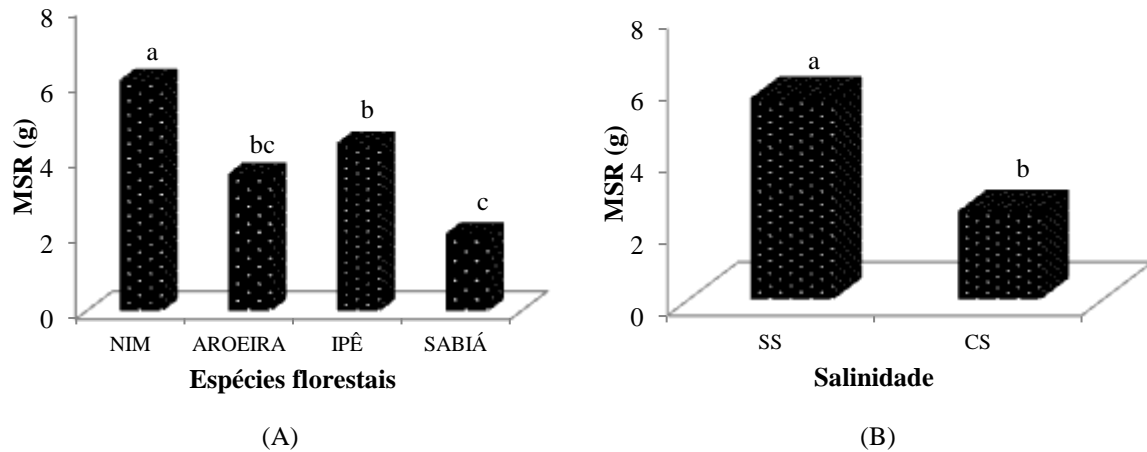


Figura 6 – Representação gráfica do teste de média para massa seca das raízes em função das espécies avaliadas (A) e do fator salinidade (B). A e B - Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Na Figura 7 têm-se a representação gráfica do teste de média da Massa Seca Total (MST) em função da interação espécies e regime hídrico (A) e salinidade (B). Na figura 7A, observa-se a superioridade do tratamento SR na espécie Nim sendo que para as demais espécies não se observou efeitos da restrição hídrica para essa variável. De maneira geral, as espécies Aroeira, Ipê e Sabiá não apresentaram nenhuma diferença estatística, seja dentro da espécie ou pelo regime hídrico. Já a análise gráfica da MST em função da salinidade (Figura 7B) nos mostra a diferença estatística entre os dois tratamentos, com valores de 10,98 e 5,39g para SS e CS, respectivamente, o que representa redução de 50% entre os tratamentos. Os efeitos da salinidade e do déficit hídrico na massa seca total das espécies estudadas nesse trabalho refletem os efeitos observados na massa seca da parte aérea e das raízes, onde se percebe também que em todas as variáveis analisadas até o momento, o regime hídrico com a aplicação de 50% da necessidade hídrica não foi suficiente para afetar a produção da planta.

Conforme Hasegawa *et al.* (2000) e Taiz e Zeiger (2013), as altas concentrações de sais de sódio interagem negativamente na fisiologia das plantas por promover interações iônicas, osmóticas e nutricionais deletérias às plantas, embora o efeito ocorra em diferentes intensidades conforme a tolerância das espécies vegetais com reflexo sobre a produção de massa das planta (CHAVES *et al.*, 2009).

Em se tratando de estresse hídrico, Taiz e Zeiger (2013) comentam que a redução da turgescência é o efeito mais precoce da deficiência de água na planta, e todos os processos que dependem diretamente dela, como a expansão foliar e alongamento de raízes, tornam-se prejudicados.

Para as espécies que apresentaram maiores valores de MSR em relação MSPA tal fato pode ser explicado por possível maior alocação de fotoassimilados para as raízes na muda em condição de déficit hídrico sugerindo priorização do crescimento radicular, o que favorece a absorção de água e menor perda de água por transpiração (FIGUEROA *et al.*, 2004; TAIZ e ZEIGER, 2013).

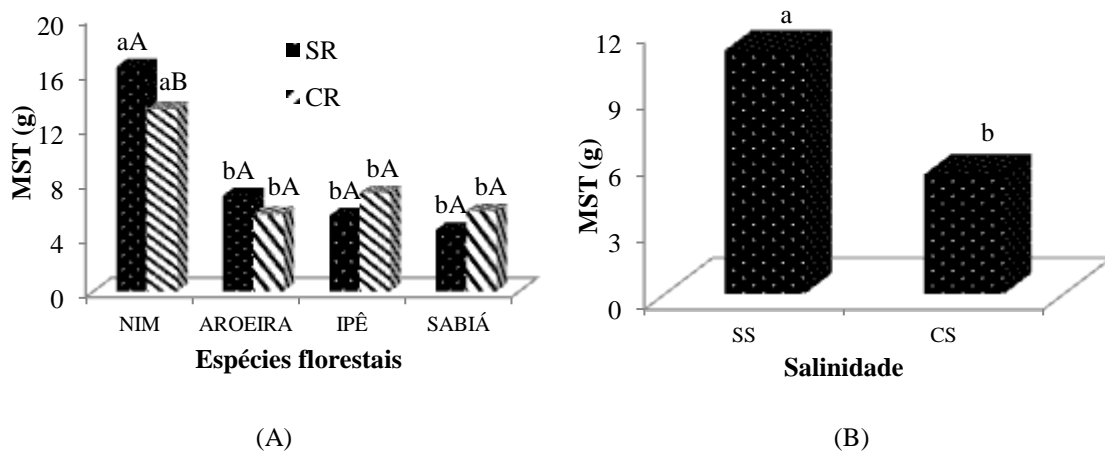


Figura 7 – Representação gráfica do teste de média para massa seca total em função da interação entre espécies e regime hídrico (A) e do fator salinidade (B). A - Barras com as mesmas letras maiúsculas, para regime hídrico, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$). B - Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Na Tabela 4 verifica-se a redução da produção da matéria seca total (MST) das espécies florestais, comparando-se o tratamento controle (sem salinidade e sem restrição hídrica) com o tratamento apenas com restrição hídrica (SSCR), apenas com o fator salinidade (CSSR) e com os dois fatores combinados (CSCR).

Na imposição do tratamento SSCR percebe-se que a restrição hídrica não afetou o desenvolvimento das espécies Aroeira, Ipê e Sabiá que de acordo com suas reduções foram classificadas como tolerante (T) para o nível de estresse hídrico aplicado. O Nim, nesse tratamento, apresentou redução de 26,29% em MST, mais que ainda o classificou como moderadamente tolerante (MT). Alguns autores como Gurumurthy *et al.* (2007), Cha-Um; Kirdmanee (2008) e Freire *et al.* (2010) constataram que, durante a formação de mudas e até o

primeiro ano, o Nim se comporta como moderadamente tolerante e moderadamente sensível à salinidade.

No tratamento CSSR, observa-se maior sensibilidade das espécies, pois as mesmas foram classificadas como moderadamente sensíveis (MS), com exceção da espécie Sabiá que reduziu em 76,46% a MST, o que nos leva a entender que a mesma sentiu mais o estresse causado pela salinidade do que pelo estresse hídrico.

Quando houve a interação da salinidade e déficit hídrico no mesmo tratamento, CSCR, observa-se que as respostas variaram entre as espécies. A espécie Ipê foi classificada como MT, o Nim e Sabiá, como MS e a Aroeira apresentou a maior redução de MST, com reduções médias de 76,76%, sendo classificada como S.

Os resultados demonstram que a salinidade do solo foi o fator que mais contribuiu para redução da MST, pois a mesma quando imposta às espécies sem a presença da restrição hídrica (CSSR) casou maiores reduções médias, 58,18%. Já para as plantas submetidas apenas à restrição hídrica (SSCR) e aos dois fatores combinados (CSCR), as reduções médias foram de 8,96 e 51,84%, respectivamente. Provavelmente, a condição de estresse salino imposta comprometeu os processos fisiológicos e metabólicos da planta, dificultando os ajustes e a produção de fotoassimilados, indispensáveis ao seu ajustamento osmótico, crescimento e produção (LACERDA *et al.*, 2003; HEIDARI, 2009).

Tabela 4 - Redução na produção de matéria seca total (%) das espécies avaliadas, em função da interação salinidade e regime hídrico.

	SSCR	CSSR	CSCR
NIM	26,29 ^{MT}	44,64 ^{MS}	47,70 ^{MS}
AROEIRA	9,57 ^T	58,52 ^{MS}	76,76 ^S
IPÊ	0 ^T	55,10 ^{MS}	38,68 ^{MT}
SABIÁ	0 ^T	74,46 ^S	44,22 ^{MS}
MÉDIA	8,96	58,18	51,84

SSSR – Sem salinidade e restrição hídrica; SSCR - Sem salinidade com restrição hídrica; CSSR - Com salinidade e sem restrição hídrica; CSCR – Com salinidade e com restrição hídrica.

O nível de tolerância de uma espécie vegetal pode ser expresso em termos de porcentagem de biomassa vegetal ou da porcentagem de sobrevivência (MUNSS, 2002). Dessa forma, a expressão da tolerância em termos percentuais da redução da matéria seca

total em condições salinas versus déficit hídrico evidencia diferenças inerentes a cada entre as espécies avaliadas.

De acordo com Qadir *et al.* (2007), a utilização de espécies com maior tolerância à salinidade tem sido uma estratégia recomendada na recuperação de solos degradados pelo excesso de sais e sódio. Sousa *et al.* (2012) em seus trabalhos concluem que a diminuição do crescimento e da produção de matéria seca das espécies vegetais nos tratamentos envolvendo solo salino-sódico em relação ao solo não salino se deveu, provavelmente, ao estresse osmótico e ao acúmulo excessivo de sódio na parte aérea das plantas.

Segundo Munns; Tester (2008), a salinização do solo reduz a capacidade das plantas de absorver água, e isso faz com que haja, rapidamente, reduções na taxa de crescimento e alterações metabólicas idênticas às provocadas pelo estresse hídrico. Em contrapartida, alguns autores citam a redução no acúmulo de fitomassa seca, como consequência dos estresses hídrico e salino (CUARTERO; MUÑOZ, 1999; BLANCO; FOLEGATTI, 2008).

Nesse sentido, o déficit de água normalmente leva a uma diminuição da taxa de fotossintética, possivelmente causada pelo fechamento dos estômatos, embora os níveis de tolerância possam variar para diferentes espécies vegetais.

Silva *et al.* (2009) observaram que plantas cultivadas em ambientes áridos e semiáridos, estão expostas a longos períodos de déficit de água no solo e acabam desenvolvendo adaptações para tolerar a seca, adaptações essas que podem servir de embasamento para responder parte dos resultados encontrados nesse trabalho, já que a redução da lâmina aplicada não foi fator suficiente para reduzir produção de massa seca das plantas.

Scalon *et al.* (2011) em seu trabalho concluíram que o crescimento das mudas de mutambo foi maior com maior disponibilidade de água, sugerindo que a espécie não tolera deficiência hídrica, porém o mesmo autor ressalta, que sob condições hídricas de reposição de 50% da capacidade de campo do solo, as mudas crescem satisfatoriamente.

CONCLUSÕES

A redução de 50% da reposição de água para as mudas das quatro espécies estudadas não foi suficiente para provocar danos significativos ao crescimento das plantas, com redução média na produção de matéria seca inferior a 10%.

As espécies Nim, Aroeira e Ipê roxo se mostraram moderadamente sensíveis à salinidade, enquanto a espécie Sabiá se mostrou sensível com redução na produção de biomassa seca superior a 75%.

A restrição hídrica combinada com o estresse salino alterou negativamente a produção de matéria seca da espécie aroeira, aumentando a sensibilidade desta espécie em relação ao efeito isolado da salinidade.

REFERÊNCIAS

- BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: III. Produção e qualidade de frutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, Campina Grande, Mar./Abr., 2008.
- BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potencial – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? **Australian Journal of Agricultural Research**, Australia, v. 56, p. 1159-1168, 2005.
- CHA-UM, S.; KIRDMANEE, C. Assessment of salt tolerance in eucalyptus, rain tree and thaineem under laboratory and the field conditions. **Pakistan Journal Botany**, v.40, p.2041-2051, 2008.
- CHARTZOULAKIS, K.; KLAPAKI, G. Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 86, p. 247-260, 2000.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, p.551–560, 2009.
- CUARTERO, J.; MUÑOZ, R. F. Tomato and salinity. **Scientia Horticulturae**, v.78, p.83-125, 1999.
- DIAS, N. da S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza – CE: INCT sal, 2010, p. 129-140.
- FAGERIA, N.K.; SOARES FILHO, W.S; GHEYI, H. R. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (eds). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCTSal, 2010. p.205-216
- FIGUEIROA, M. F. et al. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo v. 18, n. 3, p. 1-14., jul./set. 2004.

- FREIRE, A. L. de O.; RODRIGUES, T. de J. D. A salinidade do solo e seus reflexos no crescimento, nodulação e teores de N, K e Na em leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Vit.). **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 163-173, 2009.
- FREIRE, A. L. O.; SOUSA FILHO, G. M.; MIRANDA, J. R. P.; SOUTO, P.C. S.; ARAÚJO, L. V. C. Crescimento e nutrição mineral do nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) e cinamomo (*Melia azedarach* Linn.) submetidos à salinidade. **Ciência Florestal**, v.20, p.207-215, 2010.
- GOMES, A. V.; FREIRE, A. L. de O.; LEITE, M. H. A salinidade e seus reflexos no crescimento e acúmulo de solutos orgânicos em plantas de craibeira (*Tabebuia aurea* (Manso) Benth & Hook). **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.5, p. 206 - 212 out/dez 2011.
- GURUMURTHY, B. R.; NATARAJU, S. P.; RUDRAMURTHY, H. V.; SHIVANNA, M. B. Influence of soil salinity on relative biomass and critical limits of growth in selected tree species. **Karnataka Journal Agriculture Science**, v.20, p.133-134, 2007.
- HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A.; Zhu, J. K.; BOHNERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.51, n.1, p.463-499, 2000.
- HEIDARI, M. Variation in seed germination, seedling growth, nucleic acid and biochemical component in canola (*Brassica napus* L.) under salinity stress. **Asian Journal of Plant Science**, v.8, p.557-561, 2009.
- LACERDA, C. F. DE; CABRAIA, J.; CANO, A. O.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.49, p.107-120, 2003.
- MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, 1986. p.331-350.
- MUNNS, R.; TESTER, M.; Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annu. Rev. Plant Biol.** 2008. 59:651–81
- NERY, A.R.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, M. B. R.; FERNANDES, P. D.; CHAVES, L. H. G.; NETO, J. D.; GHEYI, H. R. Crescimento do pinhão manso irrigado com águas salinas em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG – v.13, n.5, p.551–558, 2009.
- NEUMANN, P. M. et al. Salinity stress inhibits bean leaf expansion by reducing turgor, not wall extensibility. **Plant Physiology**, Rockville, v. 88, p. 233-237, 1997.
- PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v.60, p. 324-349, 2005.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: UFRural, 2004a. 192 p.
- PIMENTEL, C. **Respostas da planta à seca**. In: PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004b. p. 116-140.

QADIR, M.; OSTER, J. D.; SCHUBERT, S.; NOBLE, A. D.; SAHRAWAT, K. L. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. **Advances in Agronomy**, v.96, p.197-247, 2007.

RHOADES, J. D. et al. **The use of saline waters for crop production**. Rome: FAO, 1992. (Irrigation and drainage paper, 48).

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. de M.; KODAMA, F. M.; C. KISSMANN. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazumaulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, out.-dez., 2011. Fl., v. 21, n. 4, out.- dez., 2011.

SILVA, M. B. R.; A. R. VIEGAS.; NETO, J. D.; FARIAS, S. A. R.; Estresse salino em plantas da espécie florestal Sabiá. **Caminhos de Geografia** Uberlândia v. 10, n. 30 Jun/2009 p. 120 - 127 Página 120.

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 (*Cnidoscylusphyllacanthus* Pax & K. Hoffm) em diferentes níveis de salinidade da água. **Revista de biologia e ciências da terra**. Vol. 5- N. 2 - 2º Sem. 2005

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

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

SUN, J.; DAI, S.; WANG, R.; CHEN, S.; ZHOU, X.; SHEN, X.; ZHENG, X.; ZHANG, Z.; SONG, J.; XU, Y. Calcium mediates root K^+/Na^+ homeostasis in poplar species differing in salt tolerance. **Tree Physiology**, v.29, p.1175-1186, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5o ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p

YAO, X.; HORIE, T.; XUE, S.; LEUNG, H. Y.; KATSUHARA, M.; BRODSKY, D. E.; SCHROEDER, J. I. Differential sodium and potassium transport selectivities of the rice OsHKT2;1 and OsHKT2;2 transporters in plant cells. **Plant Physiology**, v.1, p.341-355, 2010.

WANG, Y.; NIL, N. Changes in chlorophyll, ribulosebiphosphate carboxylase-oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 75, p. 623-627, 2000.

WILLADINO, L.; CAMARA, T.R. Tolerância das plantas à salinidade: Fisiologia, genética e melhoramento. In: Workshop: uso e reuso de águas de qualidade inferior – realidades e perspectivas, 1, 2005, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFCG, UFP, 2005, p.508-535.

CAPÍTULO 4

TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DE MUDAS DE QUATRO ESPÉCIES LENHOSAS SOB CONDIÇÕES DE SALINIDADE E DÉFICIT HÍDRICO

INTRODUÇÃO

A região Nordeste é caracterizada por apresentar um regime pluviométrico anual bastante irregular, com elevadas temperaturas e deficiência de água no solo durante a maior parte do ano (FERNANDES, 2002; SILVA *et al.*, 2003). Uma parte considerável dessa região é caracterizada como semiárido, na qual a água é o fator abiótico mais limitante para o desenvolvimento e produção dos vegetais (PIMENTEL *et al.*, 2002; NOGUEIRA *et al.*, 2005).

Em condições de baixa disponibilidade de água no solo, vários processos metabólicos das plantas podem ser influenciados, como o fechamento estomático, redução da condutância estomática, redução da fotossíntese e transpiração, levando ao declínio da taxa de crescimento (SILVA *et al.*, 2002; GOMES *et al.*, 2004; PORTES *et al.*, 2006),

Para agravar tal situação de danos para os vegetais resultantes do déficit hídrico, extensas áreas do semiárido encontram-se salinizadas e em processos de salinização. Estima-se que 50% das terras irrigadas mundiais possuem problemas de salinidade em algum grau, sendo 10 milhões de hectares dessas áreas abandonados todo ano em virtude desse problema. No Brasil existem cerca de 4,5 milhões de hectares que apresentam algum grau de salinização e a maioria desses solos se localiza no semiárido nordestino (FAO, 2005). No Nordeste semiárido, as maiores incidências de áreas com salinização se concentram nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação.

Durante o estresse salino, a fotossíntese e o crescimento celular são afetados (MUNNS *et al.*, 2006) diretamente com a queda na disponibilidade de CO₂ (FLEXAS *et al.*, 2004, 2007) e alterações no metabolismo fotossintético (LAWLOR; CORNIC, 2002), ou indiretamente com o estresse oxidativo. Este último pode afetar seriamente a maquinaria fotossintética (ORT, 2001).

Assim, a verificação das trocas gasosas constitui-se em importante ferramenta na determinação de adaptação e estabilidade de plantas a determinados ecossistemas, isto porque

a redução do crescimento e a da produtividade das plantas pode estar relacionada à redução na atividade fotossintética, limitada por fatores abióticos intrínsecos ao local de cultivo (PEIXOTO *et al.* 2002, PAIVA *et al.* 2005).

A utilização de espécies tolerantes aos diferentes fatores de estresse é fundamental para que se obtenha produção vegetal em regiões semiáridas. Para tanto, algumas espécies florestais, que são adaptadas a condições edafoclimáticas nos quais algumas espécies vegetais não produzem satisfatoriamente, podem constituir-se em importante alternativa para o aproveitamento e recuperação dessas áreas.

Hoje, devido à grande exploração das espécies florestais realizada em amplas áreas, seja para formação de pasto, agricultura, serraria, energia, projetos imobiliários ou para mineração, é interessante pesquisas que visam produzir mudas de espécies florestais para replantio de árvores para fins de equilíbrio ambiental e econômico.

Frente ao exposto, objetivou com esse trabalho avaliar as trocas gasosas e a eficiência fotossintéticas de mudas de quatro espécies florestais sob condições de estresse salino e hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

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 3° 44' S, longitude 38° 33' W, na altitude de 20 m, no período de 11 de abril a 05 de setembro de 2014.

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 anual é de 1.747,2 mm, a temperatura média anual igual a 26,9°C e a umidade relativa de 69% (SOUSA *et al.*, 2010).

Para composição dos tratamentos com níveis de sais, coletou-se em 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, mediu-se a condutividade elétrica do solo saturado (CE) resultando em dois tratamentos salinos (1,2 e 8,6 dS m⁻¹). A medição da CE foi realizada diretamente na pasta saturada, utilizando-se um sensor modelo Wet Jet.

Para a realização do experimento utilizou-se quatro espécies florestais, sendo três nativas da Caatinga (Aroeira, Sabiá e Ipê roxo) e uma espécie exóticas (Nim), conforme descrição na Tabela 1. O material vegetal para a produção das mudas foi proveniente do banco de sementes do NEPAU.

Tabela 1 - Descrição das quatro espécies utilizadas no experimento em ambiente protegido

Nome popular	Nome científico
Nim	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss
Aroeira	<i>Myracrodruonurundeuva</i> FrAllemão
Ipê roxo	<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex. DC.) Standl
Sabiá	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth

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, onde permaneceram por 20 dias, sendo irrigadas diariamente com água do poço de condutividade elétrica de 0,7 dS m⁻¹ utilizando-se um sistema de microaspersão.

Aos 20 dias após a semeadura das bandejas as mudas foram selecionadas de acordo com a uniformidade, sendo em seguida transplantadas para baldes de 8 litros contendo no seu perfil uma camada inferior de 5 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, adicionou-se nas covas de cada vaso, um volume adequado de areia lavada de rio e também adotou-se um período de 20 dias após o transplântio (20 DAT) sem o manejo da restrição hídrica, para que só depois as espécies fossem submetidas aos tratamentos. A partir daí as plantas permaneceram nos vasos até os 120 DAT sendo irrigadas diariamente de maneira manual.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial triplo, com quatro espécies florestais (Nim, Aroeira, Ipê e Sabiá), dois níveis de salinidade (1,2 e 8,6 dS m⁻¹) e dois regimes hídricos (sem e com restrição hídrica). Foram utilizadas quatro

repetições e 64 unidades experimentais, sendo cada unidade experimental composta por dois vasos.

Para compor os tratamentos de regimes hídricos foram aplicadas lâminas de água equivalentes a 100 e 50% para o tratamento sem restrição hídrica (SR) e com restrição hídrica (CR), respectivamente, com base na evapotranspiração de referência, utilizando-se o Tanque Classe A. As plantas foram impostas a diferenciação dos tratamentos hídricos aos 21 DAT e permaneceram sob o regime hídrico diferenciado até os 120 DAT, sendo a quantidade de água necessária aplicada a cada dois dias, acumuladamente.

Foram realizadas duas medições, aos 60 e 120 DAT, da condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E) e taxa de fotossintética (A) em folhas completamente expandidas, utilizando-se um IRGA (Modelo ADC System, ADC, UK). As medições foram realizadas no horário entre 8:00 e 11:00 horas sob condição de luz saturante obtida com uma fonte artificial acoplada (aproximadamente $1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e sob temperatura e concentração de CO_2 ambientes. A partir das medições obtidas foram estimadas a eficiência instantânea no uso da água (EUA) encontrada pela relação A/E .

Por ocasião das medições das trocas gasosas também foram realizadas análises da eficiência potencial do fotossistema II (F_v/F_m), utilizando um fluorímetro (Plant Efficiency Analyser, Hansatech Instruments LTD, Norfolk, England), e medições do 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.

De posse dos dados tabulados, os mesmos foram submetidos à análise de variância e, após verificada a significância estatística dos fatores avaliados, fez a comparação das medias utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as análises foi utilizado o programa “ASSISTAT versão 7.6 beta” e para confecção dos gráficos o EXCEL 2007.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 observa-se a representação da análise de variância (ANAVA) das variáveis, condutância estomática (g_{SINI} e g_{SFIN}), transpiração (E_{INI} e E_{FIN}) e taxa de assimilação de CO_2 (A_{INI} e A_{FIN}) das quatro espécies estudadas, Nim, Aroeira, Sabiá e Ipê (Fator A), em função da salinidade (Fator B) e do regime hídrico (Fator C).

Percebe-se que para a variável g_{SINI} e g_{SFIN} houve efeito estatístico para a interação dos fatores A x B ($P < 0,01$ ou $P < 0,05$). A diferença estatística também foi observada na E_{INI} na interação entre A x B ($P < 0,01$) e para a E_{FIN} foi encontrada significância para interação tripla, espécies, salinidade e déficit hídrico (A x B x C) ao nível de $P < 0,01$. Já a variável A_{FIN} apresentou-se estatisticamente significativos, nos fatores A, B e A x B. Em se tratando da variável g_{SINI} e g_{SFIN} verifica-se a inferência estatística da interação A x B ($P < 0,05$). O fator C isoladamente não causou diferenciação estatística em nenhuma variável estudada.

Verifica-se-se que as leituras realizadas aos 60 DAT, que corresponde a leitura inicial (INI) não foram suficientes para causarem efeitos significativos do fator C em todas as variáveis estudadas. Para as leituras realizadas ao final do experimento (FIN), verifica-se que a restrição hídrica, apresentou efeito estatisticamente significativo para a E_{FIN} e A_{FIN} , seja de forma isolada ou na interação dos três fatores.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para taxa de assimilação de CO_2 (A), transpiração (E) e condutância estomática (Gs) no início (INI) e no final (FIN) das leituras de trocas gasosas em quatro espécies florestais em função da salinidade e regime hídrico.

FV	GL	QM					
		g_{SINI}	g_{SFIN}	E_{INI}	E_{FIN}	A_{INI}	A_{FIN}
A	3	0,0282*	0,0544**	16,2477**	21,3969**	39,9680*	59,9576*
B	1	0,0327**	0,009 ^{ns}	15,5184**	0,4289 ^{ns}	108,0976*	0,3437 ^{ns}
C	1	0,0002 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	0,0062 ^{ns}	0,0038 ^{ns}	0,4258 ^{ns}	10,7444*
A x B	3	0,0188**	0,0062*	8,2881**	1,4132*	65,0561**	4,9146 ^{ns}
A x C	3	0,0029 ^{ns}	0,0031 ^{ns}	0,8167 ^{ns}	0,9740 ^{ns}	12,9616 ^{ns}	5,9707 ^{ns}
B x C	1	0,0002 ^{ns}	0,0068 ^{ns}	0,1351 ^{ns}	1,8180*	2,5344 ^{ns}	0,5034 ^{ns}
A x B x C	3	0,0022 ^{ns}	0,0048 ^{ns}	0,8747 ^{ns}	1,1918*	7,5227 ^{ns}	0,700 ^{ns}
Tratamento	15	0,0126**	0,0143**	6,2894**	5,1452**	15,0814**	32,5055**
Resíduo	48	0,0029	0,0019	1,086	0,3526	2,6176	10,861
Total	63	-	-	-	-	-	-
CV (%)		27,03	23,76	36,43	34,73	19,37	30,09

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

Na Figura 1 verifica a influência da interação entre os fatores espécie e salinidade sobre a condutância estomática, na leitura inicial (Figura 1A) e final (Figura 1B). Na Figura 1A, percebe-se que as espécies Aroeira, Ipê e Sabiá apresentaram redução da g_s no solo CS se comparado ao solo SS, enquanto o Nim obteve comportamento contrário, mais não diferindo entre os dois níveis salinos. Já na última leitura realizada, Figura 1B, observa-se que houve redução dos valores da g_s de todas as espécies seja no solo SS ou CS se comparado à primeira

leitura realizada. Todas as espécies apresentaram valores estatisticamente semelhantes no solo SS e CS, com exceção da espécie sabiá, que apresentou valores de 0,22 e 0,16 mol m⁻² s⁻¹ para os solos SS e CS, respectivamente.

Em seus estudos Sousa *et al.* (2012) avaliando o efeito de corretivos sobre a recuperação de um solo afetado por excesso de sais e sódio em espécies arbóreas nativas da Caatinga concluíram que o excesso de sais e sódio no solo elevou os teores de sódio e a relação Na⁺/K⁺ na parte aérea, mas diminuiu a condutância estomática e a concentração intercelular de CO₂.

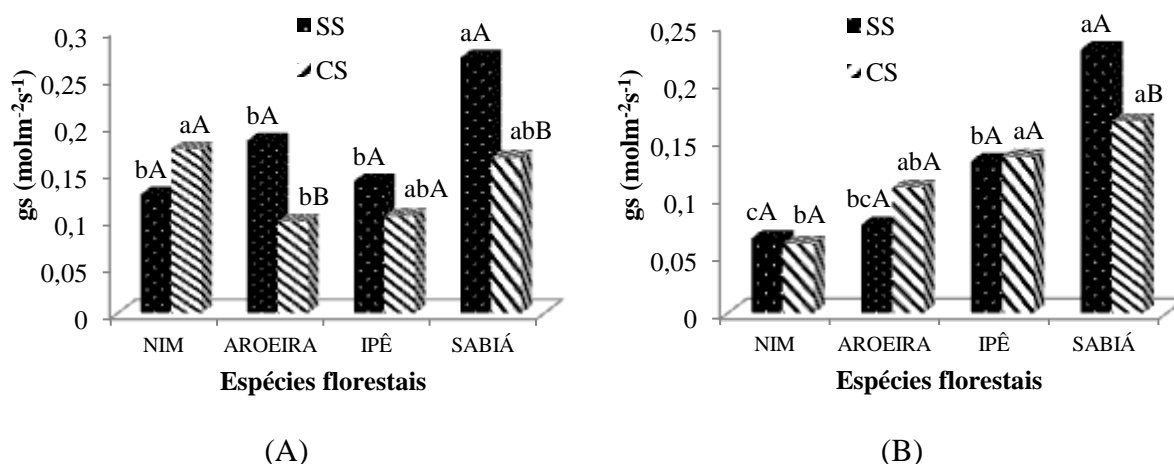


Figura 1 - Representação gráfica da condutância estomática (gs) para interação espécies e salinidade no início (A) e no final (B) das leituras realizadas. A e B - Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Na Figura 2 tem-se a representação gráfica da interação espécies e salinidade (A x B). Para as espécies Aroeira e Sabiá percebe-se que existe diferença estatística entre a condição de solo SS e CS para as taxas de transpiração. As plantas dessas espécies apresentaram reduções de 47,27 e 34,44%, respectivamente, do solo CS e SS. Comportamento diferenciado obteve o Nim que teve valor superior quando o solo era salino, mais que estatisticamente não diferenciou do solo sem salinidade. O Ipê apresentou redução da transpiração na maior imposição do estresse (CS), mas também não foi suficiente para diferenciá-lo do solo SS.

De acordo com Larcher (2006), a redução da transpiração é um mecanismo que ajuda a reduzir a rápida exaustão da água no solo pelas plantas. Comumente, quando o fluxo interno de água na folha se torna insuficiente para a manutenção da turgescência foliar, tal fato atua diretamente no declínio da condutância estomática e da transpiração, o que observamos nesse

trabalho. Isto sugere que houve redução do fluxo de água na planta, devido provavelmente à concentração total de sais na zona radicular.

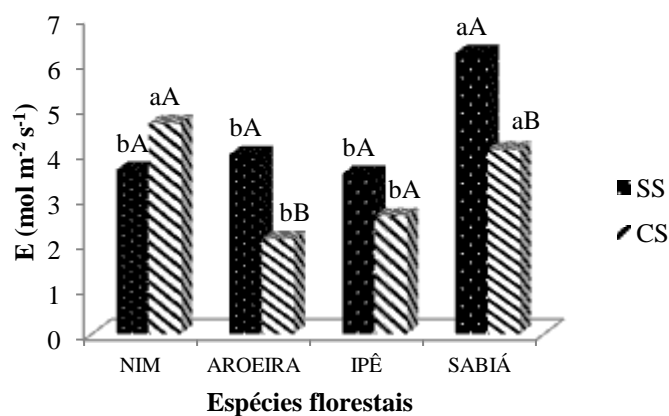


Figura 2 - Representação gráfica do teste de média para transpiração (E) em função da interação espécies e salinidade do solo na leitura inicial. Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Para a interação entre os três fatores avaliados, espécie, salinidade e regime hídrico (Tabela 3) verifica-se que as espécies Nim, Aroeira e Ipê, dentro da própria espécie, não sofreram o efeitos dos tratamentos. Para a espécie Sabiá o menor valor de transpiração ($2,668 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observado quando o tratamento o impôs a salinidade sem a restrição hídrica (CSSR), o qual diferenciou dos demais tratamentos analisados. Quando se compara entre espécies, percebe-se que a espécie Nim, apresentou os menores valores de transpiração de todas as espécies avaliadas, com seu menor valor no tratamento SSCR ($0,948 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

Tabela 3 - Teste de média para transpiração (E) em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico na leitura final.

	SSSR	SSCR	CSSR	CSCR
NIM	1,762 cA	0,948 cA	1,129 bA	1,253 cA
AROEIRA	1,377 cA	1,912 bcA	2,231 abA	2,104 bcA
IPÊ	3,314 bA	2,593 bA	3,000 aA	2,733 bA
SABIÁ	4,578 aA	4,167 aA	2,668 aB	4,223 aA

SSSR – Sem salinidade e restrição hídrica; SSCR - Sem salinidade com restrição hídrica; CSSR - Com salinidade e sem restrição hídrica; CSCR – Com salinidade e com restrição hídrica. As médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si.

Segundo Castro Neto (2003), em uma situação de boa disponibilidade de água, as plantas cultivadas geralmente apresentam altas taxas de transpiração. À medida que a água do

solo se torna escassa, a planta começa a reduzir sua taxa transpiratória para diminuir a perda de água e economizar a água disponível no solo (KANG *et al.*, 2003; MACHADO-FILHO, 2002). Esse comportamento, não observado nessa pesquisa, pode variar bastante quando se trabalha com espécies nativas e exóticas pois as mesmas possuem processos fisiológicos diversificados, ainda não muito investigados, que as fazem sobreviver em situações que plantas cultivadas reduziram significativamente sua produção.

Pela Figura 3, observa-se a resposta da *A* em função da interação espécies e salinidade na primeira leitura realizada. Observa-se que para as espécies Nim e Ipê não foi verificado efeito significativo da salinidade, enquanto que para as espécies Aroeira e Sabiá as reduções na taxa fotossintética foram relativamente altas, alcançando os valores de 40 e 39% menores nos tratamentos com salinidade, respectivamente. Essas respostas encontradas nesse trabalho podem ser explicadas pelo estresse salino que provoca diminuição do potencial de turgescência dos tecidos foliares (TAIZ; ZEIGER, 2013), provocando o fechamento dos estômatos, aumento da resistência à difusão do CO₂ e diminuição da taxa fotossintética (ROMERO-ARANDA *et al.*, 1998; CHAVES *et al.*, 2009).

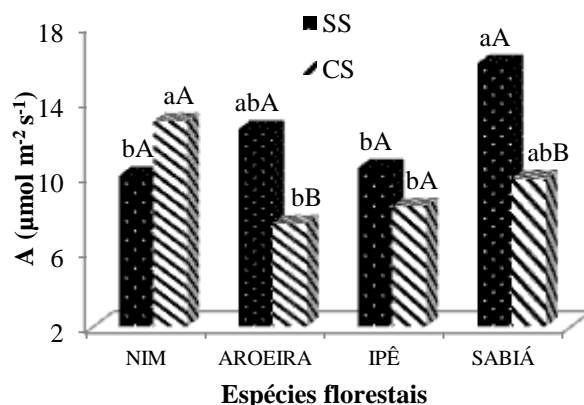


Figura 3- Representação gráfica do teste de média para taxa de assimilação de CO₂ (*A*) em função da interação espécies e salinidade do solo na leitura inicial. Barras com as mesmas letras maiúsculas, para salinidade, e pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Na Figura 4A pode-se observar a relação das espécies florestais e a taxa de assimilação de CO₂ (*A*), na última leitura realizada, onde percebe-se que a espécie Ipê foi a que apresentou o maior valor (10,98 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Entretanto, de todas as espécies, o Nim apresentou o menor valor (6,05 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), diferindo estatisticamente da espécie das outras espécies estudadas. Na representação gráfica do teste de média da *A* em função do regime hídrico, Figura 4B, verifica-se que as plantas submetidas a restrição de 50% da sua necessidade

hídrica (CR), apresentaram maiores valores absolutos ($8,76 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) se diferenciando muito pouco em relação as plantas sem restrição hídrica (SR), que apresentaram valores de fotossíntese de $7,94 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Dessa maneira, verifica-se que o efeito da restrição de 50% da necessidade hídrica não foi suficiente para causar danos no aparato fotossintético das espécies avaliadas, o que também foi observada para as variáveis estudadas até o momento, visto que não houve significância estatística em função desse fator. Parte dessas respostas podem ser explicadas pela própria resistência ao déficit hídrico das espécies utilizadas nesse trabalho, além do mais, o manejo de irrigação era realizado a cada dois dias, fato que pode ter contribuído para amenizar o efeito da seca.

O déficit de água normalmente leva a uma diminuição da taxa de fotossintética, embora os níveis de tolerância possam variar para diferentes espécies vegetais. Em trabalhos semelhantes a esse, com estresses moderados e de curta duração, são poucas as alterações observadas no aparelho fotossintético (SOUZA; CARDOSO, 2003). Scalon *et al.* (2011), trabalhando com restrição hídrica, observaram que para a produção de mudas de *Guzuma ulmifolia* o regime hídrico ideal na fase inicial é de 100% da capacidade de campo, porém as mudas crescem satisfatoriamente sob 50%CC. Abaixo de 25%CC as mudas entram em estresse hídrico antes dos 35 dias de cultivo.

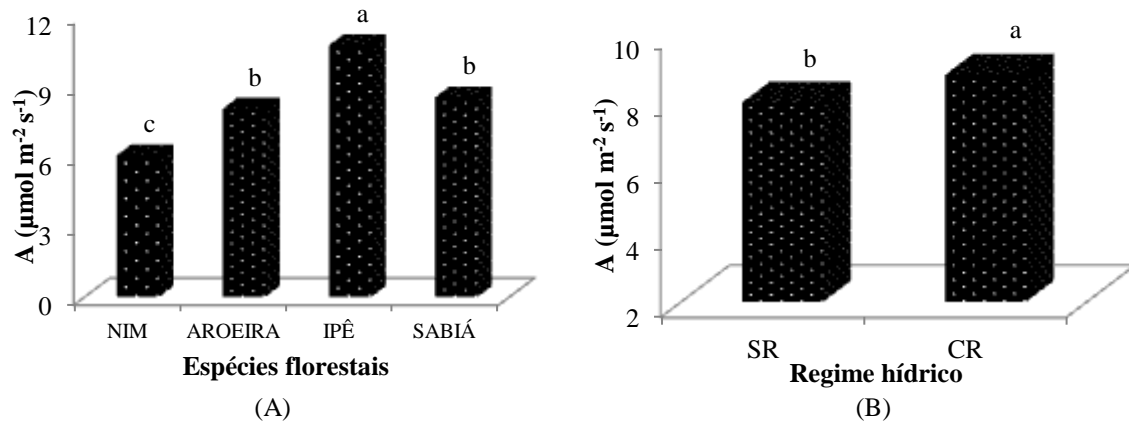


Figura 4 - Representação gráfica do teste de média para taxa de assimilação de CO₂ (A) da interação espécies e salinidade na leitura final para as espécies estudadas (A) e para a interação salinidade e déficit hídrico (B) na leitura final. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Na Tabela 4 é apresentada a ANOVA para as variáveis, eficiência instantânea do uso da água (EUA), índice relativo da clorofila (IRC) e eficiência potencial do fotossistema II

(Fv/Fm) no início (INI) e no final (FIN), das quatro espécies estudadas, Nim, Aroeira, Sabiá e Ipê (Fator A), em função da salinidade (Fator B) e do regime hídrico (Fator C).

Percebe-se que a EUA_{INI} apresentou-se significativo apenas para as espécies ($P < 0,05$), diferente da EUA_{FIN} que a interação A x B x C ($P < 0,05$) causou algum tipo de diferença estatística. Para IRC_{INI} houve significância dos fatores A e B isoladamente ($P < 0,05$ e $P < 0,01$) e para IRC_{FIN} somente houve diferença para o fator A ($P < 0,05$). Nas avaliações da relação Fv/Fm_{INI} não apresentou nenhuma diferença estatística entre suas médias ($P > 0,05$), já sua leitura final (Fv/Fm_{FIN}) apresentou-se significativo ao teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade do teste F para a interação tripla. Da mesma forma como aconteceu com as variáveis de trocas gasosas, o fator regime hídrico, isoladamente, quase não foi incisivo para causar efeito estatístico nas variáveis analisadas.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para eficiência do uso da água (EUA), índice relativo da clorofila (IRC) e eficiência potencial do fotossistema II (Fv/Fm) no início (INI) e no final (FIN) das leituras de trocas gasosas em quatro espécies florestais em função da salinidade e regime hídrico.

FV	GL	QM					
		EUA_{INI}	EUA_{FIN}	IRC_{INI}	IRC_{FIN}	Fv/Fm_{INI}	Fv/Fm_{FIN}
A	3	2,871**	23,037**	1190,65**	269,100**	0,003 ^{ns}	0,013*
B	1	0,329 ^{ns}	0,349 ^{ns}	302,760*	10,320 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,005 ^{ns}
C	1	0,039 ^{ns}	3,758**	65,205 ^{ns}	75,907 ^{ns}	0,013 ^{ns}	0,003 ^{ns}
A x B	3	0,532 ^{ns}	0,393 ^{ns}	13,475 ^{ns}	18,213 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,010*
A x C	3	0,457 ^{ns}	1,760**	101,592 ^{ns}	6,499 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,012*
B x C	1	0,000 ^{ns}	1,682 ^{ns}	14,630 ^{ns}	0,660 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,022*
A x B x C	3	0,316 ^{ns}	2,791**	91,006 ^{ns}	18,315 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,017**
Tratamento	15	0,860 ^{ns}	5,982**	304,851**	68,218**	0,003 ^{ns}	0,012**
Resíduo	48	0,213	0,433	45,509	25,782	0,003	0,003
Total	63	-	-	-	-	-	-
CV (%)		15,53	17,03	18,56	13,95	7,83	7,26

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

Na figura 5 tem-se a representação dos valores médios para EUA_{INI} onde se percebe uma superioridade da Aroeira quanto a essa variável, com valores da ordem de $3,47 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$, indicando que maior quantidade de CO_2 foi absorvida, em detrimento da menor perda de água. As espécies Nim e Ipê apresentaram valores intermediários e Sabiá apresentou os menores valores.

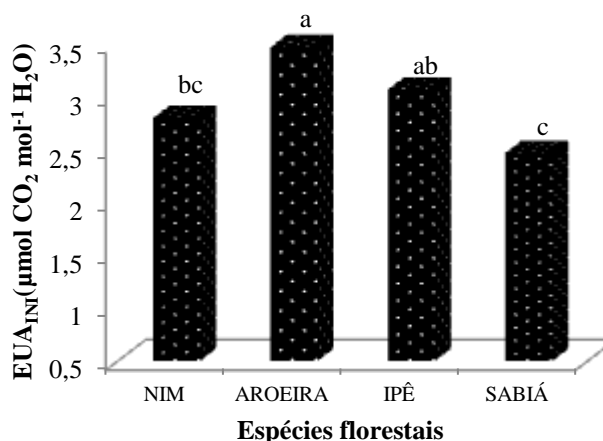


Figura 5 - Representação gráfica do teste de média para Eficiência instantânea do uso da água (EUA) em função das espécies florestais estudadas (a) na leitura inicial. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)

Na tabela 5 verificam-se as médias de eficiência no uso da água, resultantes da interação dos três fatores estudados. Percebe-se que a EUA_{FIN} apresentou maiores valores absolutos nas condições do solo sem salinidade e com restrição hídrica (SSCR), para todas as espécies com exceção da Aroeira, mesmo assim no tratamento em que a mesma apresentou maiores valores para essa variável (SSSR) apresentou-se estatisticamente igual ao tratamento SSCR.

Os menores valores da EUA_{FIN} foram observados justamente no tratamento com maior aplicação de água e sem estresse salino (SSSR), com exceção novamente da Aroeira. As espécies Nim, Aroeira, Ipê e Sabiá obtiveram os seguintes resultados respectivamente: 3,74; 5,09; 3,39 e 1,92 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$. Verifica-se ainda que as espécies Ipê e Sabiá, não apresentaram diferenças estatísticas os tratamentos avaliados.

De acordo com Serraj e Sinclair (2002) esses resultados podem estar associados ao ajustamento osmótico, isto é, à redução do potencial osmótico celular ocasionado pelo acúmulo de solutos orgânicos, o que contribui na manutenção da absorção de água e turgescência celular, evitando a interrupção de processos fisiológicos, como abertura estomática, fotossíntese e expansão celular.

Segundo Taiz e Zeiger (2013), a eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) é alterada de maneiras diferentes de acordo com o nível de estresse hídrico imposto à planta, aumentando no início do estresse de acordo com o fechamento estomático, e diminuindo após o estresse se tornar rigoroso, devido ao prejuízo ao metabolismo no mesófilo foliar. Essas

respostas não foram observadas nesse trabalho, se comparadas as leituras iniciais, já que houve maior semelhança estatística entre as espécie e tratamentos do que diferenciação.

Tabela 5 - Teste de média para eficiência do uso da água (*EUA*) no final das leituras de trocas gasosas em quatro espécies florestais em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico.

Espécies	Salinidade x Regime hídrico			
	SSSR	SSCR	CSSR	CSCR
NIM	3,74bC	6,48aA	5,04aB	5,03aB
AROEIRA	5,09aA	4,25bAB	3,82abB	4,30aAB
IPÊ	3,39bA	4,19bA	3,56bcA	3,93aA
SABIÁ	1,92cA	2,46cA	2,41cA	2,22bA

SSSR – Sem salinidade e restrição hídrica; SSCR - Sem salinidade com restrição hídrica; CSSR - Com salinidade e sem restrição hídrica; CSCR – Com salinidade e com restrição hídrica. As médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si.

Na Figura 6A está apresentada a relação entre o IRC_{INI} e as espécies florestais. Nota-se que a apenas a espécie Nim se diferenciou das outras espécies avaliadas. Os valores médios obtidos que levaram a essas diferenciações para o Nim foi 49,19 e para Aroeira, Ipê e Sabiá, 33,39; 32,48 e 30,37, respectivamente. Quando se trata do IRC_{INI} em função da salinidade do solo (Figura 6B), percebe-se que as plantas cultivadas em solo sem salinidade (SS) apresentaram valores superiores (38,52) aos do solo com a presença de salinidade (CS), 34,17.

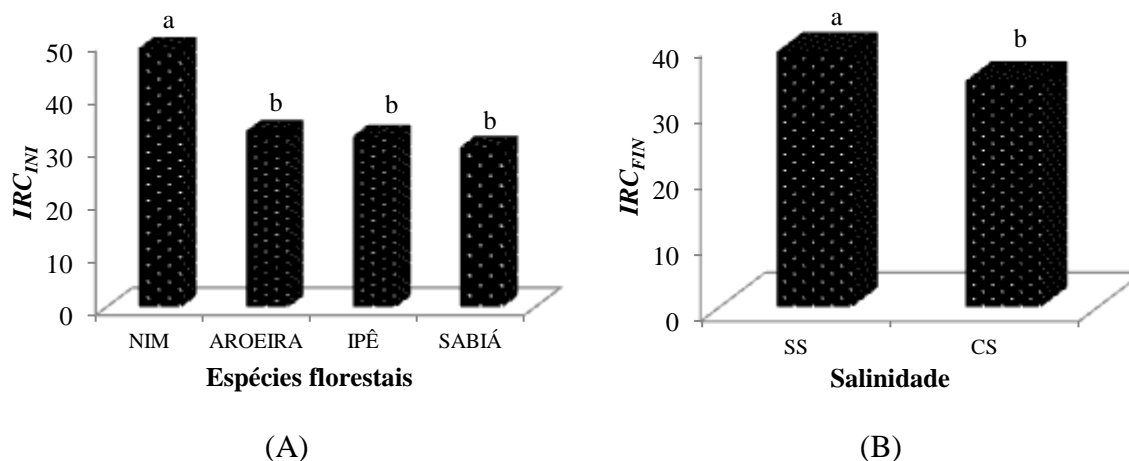


Figura 6 - Representação gráfica do teste de média para índice relativo da clorofila (*IRC*) em função das espécies florestais estudadas (A) e para salinidade (B) na leitura inicial. A e B - Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Os valores obtidos para IRC_{FIN} nas quatro diferentes espécies foram semelhantes aos observados na primeira leitura (Figura 7). Os valores médios encontrados para o Nim,

Aroeira, Ipê e Sabiá, foram, respectivamente, 41,98; 35,62; 35,88 e 33,10. Apenas o Nim se diferenciou das outras espécies, sendo as mesmas, estatisticamente iguais de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

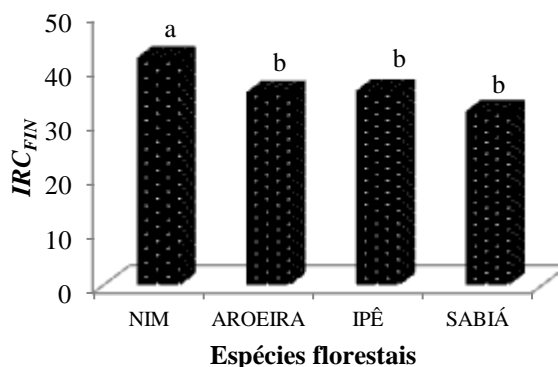


Figura 7 - Representação gráfica do teste de média para índice relativo da clorofila (*IRC*) em função das espécies florestais estudadas (a) e para salinidade (b) na leitura final. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Tendo em vista que a clorofila é o principal agente responsável pela fotossíntese sob circunstâncias adversas, verifica-se que a salinidade e o regime hídrico adotado nesse trabalho não foram causadores de reduções consideráveis para a variável em estudo. Em contra partida aos resultados desse trabalho, a maioria dos estudos sobre plantas submetidas à diferentes concentrações de salinidade tem como resultado o decréscimo dos pigmentos fotossintéticos (JAMPEETONG e BRIX, 2009; AGHALEH *et al.*, 2009; CHAVES *et al.*, 2009).

De acordo com Jaleel *et al.* (2009) em condições de estresse hídrico os teores de clorofila nas folhas podem ser reduzidos e assim afetar a fotossíntese, o que nessa pesquisa não foi observada, possivelmente porque a redução da lâmina aplicada não causar danos fisiológicos.

A degradação da clorofila é uma das consequências da deficiência hídrica, que resulta na perda da cor verde das folhas (LONG *et al.*, 1994). Assim, essa variável, avaliada através do índice SPAD, também pode ser considerada uma ferramenta efetiva para diferenciar espécies que apresentam tolerância ou susceptibilidades à deficiência hídrica. O uso desse índice também é de fácil obtenção e vem se mostrando confiável para diferenciar entre plantas tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica (O'NEILL *et al.*, 2006).

Para a variável eficiência potencial do fotossistema II, expressada pela relação F_v/F_m , realizada na última leitura do experimento, verificou-se que os valores obtidos para as

diferentes espécies foram semelhantes e as influências dos fatores de estresse foram pouco significativas (Tabela 6). Apesar da diferença significativa apresentada na ANAVA (Tabela 4), todas as médias não apresentaram diferença estatística, com exceção da Aroeira no tratamento SSCR, que apresentou menor valor.

Em termos médios os valores encontrados variaram entre 0,66 e 0,83, os quais, conforme Baker e Rosenqvist (2004) e Suassuna *et al.* (2011) apresentaram eficiência fotoquímica acima do limite que poderia causar dano ao fotossistema II (FSII) que é de 0,75. Dessa maneira percebe-se que a estabilidade dos valores da razão Fv/Fm em torno de 0,8 indicadas para a interação salinidade e regime hídrico não promoveu danos no aparato fotossintético, o que não diminuiu a eficiência quântica máxima do fotossistema II (PERCIVAL e FRASER, 2001).

Dessa forma os efeitos da salinidade sobre as plantas têm sido muito estudado nos últimos anos, entretanto, os mecanismos de tolerância à salinidade ainda não estão bem elucidados. Nesse sentido é importante pesquisas com maior número de espécies florestais para que se possa conhecer mais sobre o comportamento dessas espécies frente à salinidade.

Tabela 6 -Teste de média para eficiência potencial do fotossistema II (Fv/Fm) no final das leituras de trocas gasosas em quatro espécies florestais em função da interação das espécies, salinidade e regime hídrico.

Espécies	Salinidade x Regime hídrico			
	SSSR	SSCR	CSSR	CSCR
NIM	0,81aA	0,83aA	0,80aA	0,80aA
AROEIRA	0,83aA	0,66bB	0,78aA	0,82aA
IPÊ	0,80aA	0,82aA	0,81aA	0,84aA
SABIÁ	0,81aA	0,80aA	0,79aA	0,81aA

SSSR – Sem salinidade e restrição hídrica; SSCR - Sem salinidade com restrição hídrica; CSSR - Com salinidade e sem restrição hídrica; CSCR – Com salinidade e com restrição hídrica. As médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si.

Tendo em vista as condições nas quais esse experimento foi desenvolvido, parte desses resultados podem ser explicados pelos comentários de Praxedes *et al.* (2006) e Tezara *et al.* (2005), ao quais sugerem que normalmente em condições de casa de vegetação a eficiência de PS II, expressa pela razão Fv/Fm, não é afetada, sendo considerada resistente a condições de estresse hídrico. Ao contrario de plantas crescendo em condições naturais, onde o Fv/Fm geralmente é reduzido pelo déficit hídrico (TEZARA *et al.*, 2003; LAWLOR & CORNIC, 2002), particularmente sob condições de estresse severo. De acordo com Silva *et al.* (2007), a

habilidade de manter altos valores de Fv/Fm sob condições de estresse promovido por deficiência hídrica indica que a planta mantém alta eficiência do uso da radiação pela fotoquímica e assimilação de carbono.

CONCLUSÕES

A redução de 50% da reposição de água para as mudas das quatro espécies estudadas não foi suficiente para afetar de forma significativa as trocas gasosas e a eficiência fotoquímica do fotossistema II.

A salinidade do solo reduziu as trocas gasosas foliares nas espécies aroeira e sabiá, porém nenhum efeito significativo foi observado em plantas de Nim e Ipê roxo.

A restrição hídrica combinada com o estresse salino não afetou de forma significativa as variáveis estudadas.

REFERÊNCIAS

AGHALEH, M., NIKNAM, V., EBRAHIMZADEH, H., RAZAVI, K. 2009. Salt stress effects on growth, pigments, proteins and lipid peroxidation in *Salicornia persica* and *S. europaea*. **Biologia Plantarum**. 53 (2): 243-248.

BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.

CASTRO NETO, M. T. Efeito do déficit hídrico na transpiração e resistência estomática da mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 93-95, 2003.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, p.551–560, 2009.

FAO. Global Network on integrated soil Management for Sustainable Use of Salt-affected Soil. Rome: 2000. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>.

FERNANDES, A. **Biodiversidade da caatinga**. In: Araújo et al. Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil. Recife: UFRPE, imprensa universitária, 2002. 298p.

FLEXAS, J., BOTA, J., LORETO, F., CORNIC, G., SHARKEY, T.D. (2004) Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biol.**, 6:269–279.

FLEXAS, J., DIAZ-ESPEJO, A., GALMÉS, J., KALDENHOFF, R., MEDRANO, H., RIBAS-CARBO, M. (2007) Rapid variations of mesophyll conductance in response to changes in CO₂ concentration around leaves. **Plant, Cell & Env.**, 30:1284–1298.

GOMES, M. M. A. et al. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 3, p. 155-161, Sept./Dec.2004.

JALEEL, C. A., MANIVANNAN, P., WAHID, A., FAROOQ, M., AL-JUBURI, H. J., SOMASUNDARAM, R., PANNEERSELVAM, R., 2009. Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. **International Journal Agricultural Biology**, 11, p. 100–105.

JAMPEETONG, A. and BRIX, H. 2009. Effects of NaCl salinity on growth, morphology, photosynthesis and proline accumulation of *Salvinia natans*. **Aquatic Botany**.91:181-186.

KANG, S. *et al.* Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semihumid region. **Agricultural Water Management**, v. 59, n. 03, p. 239-254, 2003.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 531p.

LAWLOR, D.W., CORNIC, G. (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell & Env.**, 25:275–294.

LONG, S.P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P. G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, New York, v. 45, p. 633-662, 1994.

MUNNS R, JAMES RA, LAÜCHLI A (2006) Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **J. Exp. Bot.**, 57: 1025–1043.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. **Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga**. In: Nogueira et al. Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, Imprensa universitária, 2005.500p.

O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, Madison, v. 46, p. 681-687, 2006.

ORT, D. R. When there is too much light. **Plant. Physio.**, 2001, 125:29-32

PAIVA, A. S. et al. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Revista de Engenharia Agrícola**, Piracicaba, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

PEIXOTO, P. H. P.; MATTA, F. M. da; CAMBRAIA, J. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 25, n. 4, p. 821-832, 2002

PERCIVAL, G. C.; FRASER, C. A. Measurement of the salinity and freezing tolerance of crataegus genotypes using chlorophyll fluorescenc. **Journal of Arboriculture**. 27 (5), 2001.

PIMENTEL, C. et al. Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**. São Paulo, v.22, n. 01, p. 07-14. 2002

PORTES, M. T. et al. Water deficit affects photosynthetic induction in *Bauhinia forficata* Link (Fabaceae) and *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (Rutaceae) growing in understorey and gap conditions **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 4, p. 491-512, Oct./Dec.2006.

PRAXEDES, S .C., DAMATTA, F. M., LOUREIRO. M. E., FERRÃO, M. A. G., CORDEIRO, A. T., 2006. Effects of long-term soil drought photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature coffee (*Coffea canephora* Pierre var. kouillou) leaves. **Environmental Experimental Botany**, 56, p. 263-273.

ROMERO-ARANDA, R.; MOYA, J. L.; TADEO, F. R.; LAGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E.; TALON, M. Physiological and anatomical disturbances induced by chloride salts in sensitive and tolerant citrus: beneficial and detrimental effects of cations. **Plant, Cell and Environmental**, v.21, p.1243-1253, 1998.

SCALON.S. de P. Q.; MUSSURY R. M.; EUZÉBIO, V. L. de M.; KODAMA. F. M.; KISSMANN, C. estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, out.-dez., 2011

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T.R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? **Plant Cell and Environent**, v.25, p.333-341. 2002.

SILVA, E.C. da et al. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 231-246, julho.2003.

SILVA, M. A. et al. Differential physiological responses to water deficit stress among sugarcane genotypesw. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 11., 2007. Gramado. **Anais...** Gramado: SBFV, 2007c. CD-ROM

SILVA, S. R. S. et al. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1363- 1368, nov./dez. 2002.

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

SOUSA, F. Q. de; ARAÚJO, J. L.; da SILVA, A. P.; 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** 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

SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S.; COSTA, F. S.; FERNANDES, P. D. ; FERREIRA, R. S. ; SOUSA, M. S. S.; Eficiência fotoquímica e produtividade de frutos de meloeiro cultivado sobre diferentes lâminas de irrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, N.32, N.4, p.1251-1262, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5o ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p

TEZARA, W., MARÍN, O., RENGIFO, E., MARTÍNEZ, D., HERRERA, A., 2005. Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought. **Photosynthetica**, 43, p. 37-45.