

ANGELA LUCENA NASCIMENTO DE JESUS

RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS E ANATÔMICAS DE DIFERENTES
GRUPOS FUNCIONAIS DE PLÂNTULAS DA CAATINGA SOB ESTRESSE
SALINO

Serra Talhada-PE

2024

**J
E
S
U
S

A
L
N

R
E
S
P
O
S
T
A
S

M
O
R
F
O
F
I
S
I
O
L
Ó
G
I
C
A
S

.
.
.
2
0
2
4**

ANGELA LUCENA NASCIMENTO DE JESUS

RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS E ANATÔMICAS DE DIFERENTES
GRUPOS FUNCIONAIS DE PLÂNTULAS DA CAATINGA SOB ESTRESSE
SALINO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Alves de Lima

Serra Talhada-PE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A582r Lucena Nascimento de Jesus, Angela
RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS E ANATÔMICAS DE DIFERENTES GRUPOS FUNCIONAIS DE
PLÂNTULAS DA CAATINGA SOB ESTRESSE SALINO / Angela Lucena Nascimento de Jesus. - 2024.
97 f. : il.

Orientador: Andre Luiz Alves de Lima.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, , Serra Talhada, 2024.

1. Arquitetura hidráulica. 2. morfofisiologia. 3. semiárido. 4. traços funcionais. I. Lima, Andre Luiz Alves de,
orient. II. Título

CDD

ANGELA LUCENA NASCIMENTO DE JESUS

RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS E ANATÔMICAS DE DIFERENTES
GRUPOS FUNCIONAIS DE PLÂNTULAS DA CAATINGA SOB ESTRESSE
SALINO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal.

APROVADA em 18/07/2024

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente
 ANDRE LUIZ ALVES DE LIMA
Data: 01/08/2024 15:14:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. André Luiz Alves de Lima – UAST/UFRPE

Orientador

Documento assinado digitalmente
 LUCIANA SANDRA BASTOS DE SOUZA
Data: 03/08/2024 09:46:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Luciana Sandra Bastos de Souza – UAST/UFRPE

Examinador Externa ao Programa

Documento assinado digitalmente
 TATIANE GOMES CALACA MENEZES
Data: 07/08/2024 17:03:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Tatiane Gomes Calça Menezes

Examinadora Externa à Instituição

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por seu amor e bondade em minha vida. Agradeço por ser meu guia e ter fornecido as ferramentas necessárias para que eu pudesse enfrentar os desafios que surgiram ao longo do caminho.

Agradeço a minha tia Maria, por sempre está ao meu lado e acreditar em mim, à minha irmã Angelica Lucena, por todos os conselhos, pela amizade e companheirismo, e ao meu esposo Cleilton Lima, por ter abraçado a pesquisa junto comigo e ter me incentivado tanto.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. André Lima, por sua orientação, paciência e por acreditar em meu potencial durante todo o processo. És um exemplo de profissional e pessoa que admiro.

Agradeço ao meu grupo de estudo NEFPlan (Núcleo de Ecologia Funcional de Plantas), por todo apoio, amizade e por toda ajuda durante o processo.

Aos membros da banca examinadora, por se disponibilizarem em contribuir com a minha pesquisa.

À UFRPE/UAST, junto ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade e infraestrutura que foram fundamentais para o desenvolvimento do trabalho, pela qualidade do ensino e comprometimento dos docentes com a pesquisa científica e com a formação de profissionais competentes.

Ao NEFP (Núcleo de Estudos em Fisiologia Pós-colheita de Frutas, Hortaliças e Flores), coordenado pelo prof. Dr. Adriano Simões, pela disponibilidade de materiais para análises. Agradeço em especial ao membro do grupo e meu amigo Lucas Pierre pela ajuda com o trabalho.

Ao prof. Dr. Guilherme Pessoa, por ter disponibilizado materiais para análises e ao seu orientando e meu amigo Filipe Silva, por todas as explicações e ajuda com a minha pesquisa, e ao Dr. Hugo por ter contribuído com parte das análises.

Agradeço a todos meus amigos da Pós-Graduação, que tornaram a caminhada mais leve.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos e financiamento do projeto de pesquisa.

RESUMO GERAL

A salinidade dos solos em regiões semiáridas tem provocado a redução na abundância de espécies lenhosas nativas. O estudo de grupos funcionais de plantas com base na densidade de madeira, possibilita escolha adequada de espécies vegetais tolerantes para aplicação de reflorestamento. Entretanto, a compreensão de como os grupos funcionais de plantas respondem a salinidade é limitado. Objetivou-se investigar como diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga respondem ao aumento da salinidade. O experimento foi conduzido em estufa agrícola no Semiárido do Brasil. Foram avaliadas duas espécies decíduas de alta densidade de madeira (ADM) e duas de baixa densidade de madeira (BDM). As condutividades elétricas avaliadas foram 0.15, 2.5, 3.5 e 4.5 dS m⁻¹ e a irrigação realizada durante 90 dias. Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2x2x4 (dois grupos funcionais, duas espécies vegetais de cada grupo e quatro níveis de salinidade) com cinco repetições. Ao final do experimento foram analisados crescimento, condutância estomática (g_s), potencial hídrico (Ψ_{xilema}), fluorescência da clorofila, teores de sais, atividade enzimática, relação Na⁺/K⁺ em folhas na planta e caídas, densidade estomática, estrutura do xilema do caule e raiz, condutividade hidráulica potencial (Kp) e índice de vulnerabilidade dos vasos do xilema. Os dados foram submetidos a análise de regressão polinomial e teste de tukey (5%). O grupo ADM foi classificado como tolerante à salinidade e apresentou valores elevados de g_s (300 mmol m⁻²s⁻¹), variação no Ψ_{xilema} (70%), eficiência do fotossistema II, acúmulo de sais nas folhas (K⁺ = 70%, Na⁺ = 18% e Cl⁻ = 52,5%), maior densidade estomática (20%) e maior renovação de folhas, em comparação com espécies BDM. Por outro lado, o grupo BDM foi classificado como moderadamente sensível à salinidade e apresentou grande redução de biomassa, acúmulo de íons em caule (Cl⁻ = 136%) e raiz (Na⁺ = 44%; Cl⁻ = 45%), maior atividade enzimática (45%), aumento da espessura e diâmetro dos vasos do xilema no caule e raiz e redução no índice de vulnerabilidade dos vasos do xilema no caule (15) e raiz (10) com a salinidade. Foi mostrado que espécies ADM são mais tolerantes à salinidade, enquanto espécies BDM buscam evitar o estresse salino. Com isso, o estudo de tolerância de espécies vegetais com base na densidade de madeira, pode auxiliar na escolha correta de espécies nativas para atividades de restauração ambiental.

Palavras-chave: Arquitetura hidráulica, morfofisiologia, semiárido, traços funcionais.

GENERAL ABSTRACT

Soil salinity in semi-arid regions has caused a reduction in the abundance of native woody species. The study of functional groups of plants based on wood density allows for the appropriate choice of tolerant plant species for reforestation applications. However, understanding of how plant functional groups respond to salinity is limited. The objective was to investigate how different functional groups of Caatinga seedlings respond to increased salinity. The experiment was conducted in an agricultural greenhouse in the semi-arid region of Brazil. High wood density (HWD) and low wood density (LWD) deciduous species were evaluated. The electrical conductivities evaluated were 0.15, 2.5, 3.5 and 4.5 dS m⁻¹ and irrigation was carried out for 90 days. A completely randomized design (DIC) was adopted in a 2x2x4 factorial scheme (two functional groups, two plant species from each group and four salinity levels) with five replications. At the end of the experiment, growth, stomatal conductance (g_s), water potential (Ψ_{xylem}), chlorophyll fluorescence, salt content, enzymatic activity, Na⁺/K⁺ ratio in plant and fallen leaves, stomatal density, xylem structure of the stem and root, potential hydraulic conductivity (Kp) and vulnerability index of the xylem vessels. The data were subjected to polynomial regression analysis and Tukey test (5%). The HWD group was classified as salinity tolerant and presented high values of g_s (300 mmol m⁻²s⁻¹), variation in Ψ_{xylem} (70%), efficiency of photosystem II, accumulation of salts in the leaves (K⁺ = 70%, Na⁺ = 18% and Cl⁻ = 52.5%), higher stomatal density (20%) and greater leaf renewal, compared to LWD species. On the other hand, the LWD group was classified as moderately sensitive to salinity and showed a large reduction in biomass, accumulation of ions in the stem (Cl⁻ = 136%) and roots (Na⁺ = 44%; Cl⁻ = 45%), greater activity enzymatic (45%), increased thickness and diameter of xylem vessels in the stem and root and reduction in the vulnerability index of xylem vessels in the stem (15) and root (10) with salinity. It was shown that HWD species are more tolerant to salinity, while LWD species seek to avoid salt stress. Therefore, studying the tolerance of plant species based on wood density can help in the correct choice of native species for environmental restoration activities.

Keywords: Functional traits, hydraulic architecture, morphophysiology, semiarid.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

Fig. 1. Representação de traços ecofisiológicos que influenciam a sobrevivência de espécies nativas da Caatinga. Fonte: próprio autor.....18

Fig. 2. Solos afetados por sal em todo o mundo, adaptado de Wicke et al. (2011)18

Fig. 3. Respostas das plantas ao estresse salino. Fonte: próprio autor, adaptado de (Munns and Tester, 2008; Siraut et al., 2009)19

Fig. 4. Características de tolerância e sensibilidade ao estresse salino pelas plantas. Fonte: próprio autor.....23

Fig. 5. Representação dos traços funcionais que constroem o continuum aquisitivo-conservador. Fonte: próprio autor.....28

CAPÍTULO 1- ESTRATÉGIAS DE TOLERÂNCIA AO ESTRESSE SALINO VARIAM ENTRE DIFERENTES GRUPOS FUNCIONAIS DE PLÂNTULAS DE ESPÉCIES NATIVAS DO SEMIÁRIDO

Fig. 1. Condições meteorológicas da estufa agrícola, em intervalos de 15 dias, a partir de 01 de dezembro/2022 ao dia 28 de fevereiro/2023, Serra Talhada, Pernambuco, Brasil.....35

Fig. 2. Valores de condutividade elétrica (CE) do solo, obtidos ao final do experimento, nos diferentes tratamentos de salinidade aplicados durante 90 dias.....42

Fig. 3. Valores de A-B) condutância estomática (*gs*); C-D) temperatura foliar e E-F) potencial hídrico (Ψ_{xilema}) dos diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga (ADM- alta densidade de madeira e BDM- baixa densidade de madeira) submetidas a diferentes níveis de condutividades elétricas (CE). Letras diferentes indicam diferença estatística entre espécies no nível de salinidade.43

Fig. 4. Curva de indução de parâmetros fotoquímicos em resposta à densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) apresentando os parâmetros de: A-B) eficiência quântica efetiva do fotossistema II ($\Delta F/F_m'$); C e D) quenching fotoquímico (qP); E-F) quenching não fotoquímico (NQP) e G-H) taxa de transporte de elétrons (ETR) em grupos funcionais de plântulas (BDM- baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira) submetidas a dois níveis de condutividades elétricas da água de irrigação (CE).44

Fig. 5. Teores de A, B e C) Potássio (K^+); D, E e F) Sódio (Na^+) e G, H e I) Cloro (Cl^-) de folhas, raízes e caules pertencentes a diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga (BDM – baixa densidade de madeira; ADM – alta densidade de madeira), submetidos a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre as espécies no nível salino	45
Fig. 6. Respostas biométricas de A) Altura; B) Diâmetro do caule; C) Número de folhas; D) Comprimento da raiz; E) Área foliar e F) Área foliar específica, de diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga (ADM- alta densidade de madeira e BDM- baixa densidade de madeira) submetidas a diferentes níveis de condutividades elétricas da água de irrigação (CE)	46
Fig. 7. Imagens de espécies BDM: A) <i>A. cearensis</i> , B) <i>P. marginatum</i> , e ADM: C) <i>M. urundeuva</i> e D) <i>B. cheilantha</i> , submetidas a diferentes níveis de condutividades elétricas da água de irrigação.....	47
Fig. 8. Valores de A) Massa fresca da parte aérea; B) Massa fresca da raiz; C) Massa seca da parte aérea e D) Massa seca da raiz de grupos funcionais de plântulas da Caatinga (BDM- baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira) submetidas a diferentes níveis de condutividades elétricas da água de irrigação (CE).....	48
Fig. 9. Razão raiz/parte aérea (massa seca) de espécies arbóreas de diferentes grupos funcionais submetidas a diferentes níveis de condutividades elétricas. Letras indicam diferenças estatística entre as espécies no nível de salinidade.....	49
Fig. 10. Atividade enzimáticas A) Catalase (CAT) e B) Ascorbato peroxidase (APX), de diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga (BDM – baixa densidade de madeira; ADM – alta densidade de madeira), submetidos a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre as espécies no nível salino.....	59
Fig. 11. Análise de Componentes Principais (ACP). A) agrupamentos das variáveis de diferentes grupos funcionais de planta e B) Agrupamento das variáveis nos diferentes níveis de condutividade elétrica (CE). $T^{\circ}C_{fol}$ = Temperatura foliar, Ψ = potencial hídrico; g_s = Condutância estomática; ALT= Altura; DC= Diâmetro do caule; NF= Número de folhas; CR= Comprimento de raiz; MSAE= Massa seca da parte aérea; MSR= Massa seca da raiz; AFE= Área foliar específica; F_v/F_m' =eficiência do fotossistema II; qP=quenching fotoquímico; NQP= quenching não fotoquímico; ETR= taxa de transporte	

de elétrons (ETR); K+F= potássio na folha; K+C= Potássio no caule; K+R= potássio na raiz; Na+ F= Sódio na folha; Na+ C= Sódio no caule; Na+ R= Sódio na raiz; Cl- F= Cloro na folha; Cl-C= cloro no caule; Cl- R= Cloro na raiz; APX= Superóxido dismutase e CAT= Catalase.....51

CAPÍTULO 2 - CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE DIFERENTES GRUPOS FUNCIONAIS DE PLÂNTULAS DA CAATINGA DETERMINAM A EFICIÊNCIA DE AJUSTE AO ESTRESSE SALINO

Fig. 1. Condições meteorológicas no período do experimento, em intervalos de 15 dias, a partir de 01 de dezembro/2022 ao dia 28 de fevereiro/2023 da casa de vegetação na Unidade Acadêmica de Serra Talhada-PE.....67

Fig. 2. Valores de condutividade elétrica (CE) do solo, obtidos ao final do experimento, nos diferentes tratamentos de salinidade aplicados durante 90 dias.....72

Fig. 3. Valores de condutância estomática A) aos 60 dias e B) aos 90 dias, em dois grupos funcionais da Caatinga, baixa densidade de madeira (BDM) e alta densidade de madeira (ADM) submetidas a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre espécies no nível de sal.....73

Fig. 4. Valores de potencial hídrico do xilema (Ψ_{xilema}) de dois grupos funcionais de plântulas da Caatinga (BDM- baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira) submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CE). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre espécie dentro do nível de salinidade.....74

Fig. 5. Valores médios de sais Na^+/K^+ em A) folha; B) caule e C) raiz de dois grupos funcionais de plântulas da Caatinga (BDM- baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira) submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CE). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre espécie dentro do nível de salinidade.....74

Fig. 6. Valores de A) número de folhas na planta, B) número de folhas caídas com a relação Na^+/K^+ , em diferentes grupos funcionais de plantas da Caatinga (BDM-baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira), submetidas os diferentes níveis de condutividade elétrica (CE). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre as espécies dentro do nível salino.....75

Fig. 7. Valores de densidade estomática de dois grupos funcionais da Caatinga (BDM- baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira) submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre as espécies em cada nível salino.....76

Fig. 8. Valores de A-B) espessura da parede do vaso do xilema; C-D) diâmetro do vaso do xilema e E-F) Densidade dos vasos do xilema de caule e raiz de diferentes grupos funcionais de plantas da Caatinga (BDM-baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira), submetidos a diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação. Letras diferentes indicam diferença estatística entre espécies no nível de salinidade.....77

Fig. 9. Seções transversais do caule e raiz, corados com azul de toluidina. A-B) grupo BDM; C-D) grupo ADM, E-F) grupo BDM e G-H) grupo ADM, mostrando os vasos de xilema das plântulas no maior nível controle salinidade. (*) = vasos do xilema. (setas vermelhas) = parede dos vasos do xilema.....78

Fig. 10. Imagens anatômicas da raiz, A-B) grupo BDM e C-D) grupo ADM, mostrando os vasos de xilema das plântulas da Caatinga no maior nível de salinidade. (*) = vasos do xilema.....79

Fig. 11. Matriz de Correlação entre as variáveis analisadas. Ph= potencial hídrico, gs_60dias e gs_90dias= condutância estomática aos 60 e 90 dias; NF = número de folhas; NA.K_F,C,R= relação sódio e potássio em folhas, caule e raiz; DE= densidade estomática; DIVC e DIVR= diâmetro do vaso do xilema do caule e raiz; EPVC e EPVR= espessura da parede do vaso do xilema da raiz e caule; DVC e DVR= densidade de vasos do xilema do caule e raiz; KpR e KpC= Condutividade hidráulica potencial da raiz e caule e IVR e IVC= Índice de vulnerabilidade do caule e raiz.....80

Fig. 12. Análise de Componentes Principais, A) Grupos Funcionais e B) Níveis de Condutividade elétrica da água de irrigação. Ph= potencial hídrico, gs_60dias e gs_90dias= condutância estomática aos 60 e 90 dias; NF = número de folhas; NA.K_F,C,R= relação sódio e potássio em folhas, caule e raiz; DE= densidade estomática; DIVC e DIVR= diâmetro do vaso do xilema do caule e raiz; EPVC e EPVR= espessura da parede do vaso do xilema da raiz e caule; DVC e DVR= densidade de vasos

do xilema do caule e raiz; K_{pR} e K_{pC} = Condutividade hidráulica potencial da raiz e caule
e IVR e IVC = Índice de vulnerabilidade do caule e raiz.....81

LISTA DE TABELAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1. Níveis de tolerância das plantas ao cloreto na água de irrigação (Maas, 1990)
.....24

Tabela 2. Estudos com plântulas de espécies lenhosas da Caatinga em resposta a salinidade.....29

CAPÍTULO 1 - ESTRATÉGIAS DE TOLERÂNCIA AO ESTRESSE SALINO VARIAM ENTRE DIFERENTES GRUPOS FUNCIONAIS DE PLÂNTULAS DE ESPÉCIES NATIVAS DO SEMIÁRIDO

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas do solo na camada 0,00 – 0,20 m, localizado no município de Serra Talhada – PE, Brasil.....37

Tabela 2. Percentual de redução na massa seca total de quatro espécies lenhosas nativas da Caatinga sob gradiente de salinidade do solo.....49

CAPÍTULO 2 - CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE DIFERENTES GRUPOS FUNCIONAIS DE PLÂNTULAS DA CAATINGA DETERMINAM A EFICIÊNCIA DE AJUSTE AO ESTRESSE SALINO

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas do solo na camada 0,00 – 0,20 m, localizado no município de Serra Talhada – PE, Brasil.....69

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1.	Ecofisiologia de plantas da Caatinga.....	16
2.2.	Salinidade e seu efeito em plantas.....	18
2.3.	Respostas de plantas da Caatinga à salinidade.....	21
2.4.	Tolerância das plantas à salinidade.....	23
2.5.	Grupos Funcionais de Plantas.....	26
2.6.	Importância das florestas em ambientes salinizados.....	29
3.	OBJETIVOS	31
3.1.	Geral.....	31
3.2.	Específicos.....	31

CAPÍTULO 1- ESTRATÉGIAS DE TOLERÂNCIA AO ESTRESSE SALINO VARIAM ENTRE DIFERENTES GRUPOS FUNCIONAIS DE PLÂNTULAS DE ESPÉCIES NATIVAS DO SEMIÁRIDO

1.	INTRODUÇÃO	33
2.	MATERIAL E MÉTODOS	35
2.1.	<i>Área de Estudo</i>	35
2.2.	<i>Tratamentos e condições experimentais</i>	35
2.2.1.	<i>Espécies utilizadas</i>	35
2.2.2.	<i>Coleta de sementes</i>	36
2.2.3.	<i>Irrigação salina</i>	36
2.2.4.	<i>Análise do solo</i>	37
2.3.	<i>Análises</i>	37
2.3.1.	<i>Condutividade Elétrica final do solo (CE)</i>	37
2.3.2.	<i>Condutância estomática e potencial hídrico</i>	38
2.3.3.	<i>Fluorescência da Clorofila</i>	38
2.3.4.	<i>Extração e mensuração de Na⁺, K⁺ e Cl⁻</i>	39
2.3.5.	<i>Área Foliar e Área foliar específica</i>	39
2.3.6.	<i>Biometria e Biomassa</i>	39
2.3.7.	<i>Obtenção do extrato enzimático</i>	40
2.3.8.	<i>Atividade da catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX)</i>	40
2.4.	<i>Delineamento experimental e análise estatística</i>	41

3.	RESULTADOS	41
3.1.	<i>Condutividade elétrica do solo</i>	42
3.2.	<i>Respostas Fisiológicas</i>	42
3.3.	<i>Respostas de crescimento e biomassa</i>	46
3.4.	<i>Atividade Enzimática</i>	49
3.5.	<i>Análise de Componentes Principais (PCA)</i>	50
4.	DISCUSSÃO	52
5.	CONCLUSÃO	55
6.	REFERÊNCIAS	56

CAPÍTULO 2- CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE DIFERENTES GRUPOS FUNCIONAIS DE PLÂNTULAS DA CAATINGA DETERMINAM A EFICIÊNCIA DE AJUSTE AO ESTRESSE SALINO

1.	INTRODUÇÃO	65
2.	MATERIAL E MÉTODOS	67
2.1.	<i>Área de Estudo</i>	67
2.2.	<i>Tratamentos e condições experimentais</i>	67
2.2.1.	<i>Espécies utilizadas</i>	67
2.2.2.	<i>Coleta de sementes</i>	68
2.2.3.	<i>Irrigação salina</i>	68
2.2.4.	<i>Análise do solo</i>	69
2.3.	<i>Análises</i>	69
2.3.1.	<i>Condutância estomática, potencial hídrico e número de folhas</i>	69
2.3.2.	<i>Extração dos sais e mensuração de Na⁺ e K⁺</i>	70
2.3.3.	<i>Densidade estomática</i>	70
2.3.4.	<i>Anatomia do xilema</i>	70
2.3.5.	<i>Condutividade hidráulica potencial e Índice de vulnerabilidade de caule e raiz</i>	71
2.4.	<i>Delineamento experimental e análise estatística</i>	71
3.	RESULTADOS	72
3.1.	<i>Condutividade elétrica do solo</i>	72
3.2.	<i>Respostas morfofisiológicas</i>	73
3.3.	<i>Respostas anatômicas</i>	75
3.4.	<i>Relação fisiológicas x anatômicas x densidade da madeira</i>	79

4.	DISCUSSÃO	81
5.	CONCLUSÃO	85
6.	REFERÊNCIAS	85

1. INTRODUÇÃO GERAL

Ao longo dos anos, as perturbações antrópicas em regiões semiáridas têm favorecido a salinização dos solos e contribuído para o declínio na abundância de espécies nativas (Rito; Tabareli; Leal, 2017; Castro; Santos, 2020; Pessoa *et al.*, 2022; Vanderlei *et al.*, 2024). Dessa forma, estratégias que facilitem a identificação de plântulas com capacidade de se estabelecer em condições de estresse salino é fundamental (Costa *et al.*, 2015). Os traços funcionais, como a densidade da madeira, influenciam o desempenho dos organismos (Villéger *et al.*, 2010) e podem ser similares em diferentes espécies sem parentesco taxonômico, possibilitando a formação de grupos funcionais (Chaturvedi *et al.*, 2011). O estudo dos grupos funcionais tem o potencial de facilitar a identificação de árvores tolerantes para restauração dos ecossistemas (Morin, 2011; Wright *et al.*, 2021). Entretanto, a investigação de como os grupos funcionais de plântulas respondem a salinidade ainda é limitado.

As práticas agrícolas inadequadas (irrigação com água salobra, utilização de fertilizantes salinos, drenagem imperfeita e desmatamento) são os principais fatores que tem contribuído para o aumento de áreas salinizadas em regiões semiáridas como a Caatinga (Pedrotti, 2015; Daliakopoulos *et al.*, 2016; Pessoa *et al.*, 2022) e dificultado o estabelecimento de diversas espécies vegetais nativas (Castro; Santos, 2020; Vanderlei *et al.*, 2024). A limitação de estabelecimento das plântulas lenhosas sob estresse salino ocorre devido as fases do efeito osmótico e tóxico (Ashraf *et al.*, 2018).

O efeito osmótico reduz a disponibilidade hídrica do solo, que induz a redução da capacidade de absorção de nutrientes e água pelas plantas; provoca alterações na parede celular e na capacidade de expansão favorecendo a redução do crescimento vegetal (Richards, 1954; Meena *et al.*, 2019); ocasiona falha hidráulica na planta em níveis críticos que reduz o potencial hídrico, e obstruem a via de transporte de água (Tyree; Sperry, 1989; Mantova *et al.*, 2022).

A fase tóxica ocorre devido a elevadas concentrações de Na^+ e Cl^- na célula vegetal, que prejudicam o transporte celular de elétrons e resultam na geração de Espécies Reativas de Oxigênio (EROS) (Das *et al.*, 2024); altera a atividade respiratória e fotossíntese (Silva *et al.*, 2013; Mukhopadhyay *et al.*, 2021). Esses processos ocasionados pelo estresse salino fazem com que espécies vegetais lenhosas desenvolvam mecanismos para assegurar sua sobrevivência no ambiente (Oliveira *et al.*, 2014; Dutra *et al.*, 2022).

As plantas podem apresentar diferentes caminhos de tolerância ao estresse salino, dentre eles estão: o ajuste osmótico, que envolve o acúmulo de solutos compatíveis que conferem proteção contra a desidratação (Negrão *et al.*, 2017; El Hasini *et al.*, 2019); a produção de enzimas antioxidantes como a superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POX) e catalase (CAT), que neutralizam o estresse oxidativo como resultado do aumento de EROS (Moukhtari *et al.*, 2020), além de produzir raízes profundas e folhas modificadas (Dutra *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2023). As diversas estratégias de tolerância ao estresse por espécies nativas da Caatinga, tem levado à necessidade de simplificar as comunidades vegetais, a fim de fazer previsões sobre o funcionamento das plantas com as mudanças ambientais (Oliveira *et al.*, 2014; Arend *et al.*, 2021, Mantova *et al.*, 2022; Wright *et al.*, 2021; Dutra *et al.*, 2022).

Os traços funcionais são características biológicas que vêm sendo bastante estudadas (Lima *et al.*, 2021; Wright *et al.*, 2021; Fagundes *et al.*, 2022) e permitem agrupar diferentes espécies sem parentesco taxonômico (Villéger *et al.*, 2010) possibilitando a formação de grupos funcionais (Chaturvedi *et al.*, 2011). Esse agrupamento permite entender os mecanismos envolvidos na tolerância de diversas espécies vegetais e como eles influenciam no ambiente em diversos ecossistemas com características similares (Chaturvedi *et al.*, 2011).

No estudo de Burmester *et al.* (2022), estudando a formação de grupos funcionais, observou que a característica mais marcante é a densidade da madeira. Dentre os grupos funcionais em regiões da Caatinga estão espécies decíduas de alta densidade de madeira (ADM): possuem atributos que refletem uma elevada tolerância à seca (Borchet, 2002; Reich, 2014), são espécies que respondem a disponibilidade hídrica (Lima *et al.*, 2021) e, por apresentarem elevada espessura nas paredes dos vasos do xilema, são resistentes à seca (Brito *et al.*, 2022); e espécies decíduas de baixa densidade de madeira (BDM): apresentam atributos que refletem em elevada capacidade de armazenamento de água, sendo, por tanto, aquisitivas (Fagundes *et al.*, 2022), evitam a seca, apresentam mecanismos com alta eficiência hidráulica, mas, geralmente têm baixa segurança, aumentando a probabilidade de ocorrência de cavitações no xilema (Scoffoni *et al.*, 2017); além disso, tendem a regular a abertura estomática de acordo com as variações do potencial hídrico (Fu *et al.*, 2019).

É recomendado que o estudo dos grupos funcionais possa ser realizado em outras condições ambientais (Brito *et al.*, 2022), a fim de apoiar os resultados obtidos com árvores adultas. Entretanto, a investigação de como os grupos funcionais de plântulas

respondem ao estresse salino ainda é limitado. Dessa forma, a hipótese é que os diferentes grupos funcionais apresentam variação de respostas ao estresse salino, sendo as espécies de alta densidade de madeira mais tolerantes devido as estratégias eficiente de segurança hidráulica e fisiologica ao contrário de espécies de baixa densidade de madeira. Entender as diferentes estratégias pelos grupos funcionais de plântulas à salinidade, facilitará a identificação mais precisa de espécies que toleram o estresse salino e possam ser indicadas em atividades de reflorestamento de áreas degradadas por sais (Bessa *et al.*, 2017; Ramos *et al.*, 2018).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ecofisiologia de plantas da Caatinga

O termo “Caatinga” tem origem do tupi-guarani, que se refere à “mata-branca”, em decorrência do comportamento caducifólio de algumas espécies vegetais durante o período de seca, ou seja, em função das condições climáticas e baixa disponibilidade hídrica, as árvores da Caatinga perdem suas folhas para sobreviver (Ab’Sáber; Na, 1974).

A Caatinga é caracterizada como um domínio de clima semiárido e apresenta grande variabilidade das condições edafoclimáticas (Souza *et al.*, 2019). Os solos geralmente são rasos, pedregosos, com alto teor de sais e com baixa capacidade de retenção de água (Souza *et al.*, 2019). Apresenta elevado potencial de evapotranspiração variando entre 1.500 à 2.000 mm ano⁻¹, baixa precipitação sendo essa sazonal ao longo do ano, com médias entre 300 e 800 mm ano¹ e estação seca em torno de 6 a 11 meses (Henrique; Castelletti; Tabarelli, 2003).

Esse domínio também é conhecido como Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS), que se estende por 912.529 km² do Nordeste do Brasil sendo considerado a maior FTSS dos neotrópicos (Silva; Leal; Tabarelli, 2017) e apresenta ecossistema rico em biodiversidade (Marangon *et al.*, 2016; Schulz *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2024). A vegetação predominante é do tipo xerófila, que se destaca economicamente, e do ponto de vista ambiental. Ocorrendo em torno de 950 gêneros, 3.150 espécies e 152 famílias de plantas com flores, sendo que um terço desse total são endêmicos da Caatinga (Queiroz; Cardoso; Fernandes; Moro, 2017). Essa variabilidade da vegetação na Caatinga, tem grande importância ecológica, pois, as espécies precisam se adaptar a alguns fatores tais como, alta luminosidade, temperatura, estresse hídrico e salino, bem como aos elementos minerais na solução do solo (Taiz; Zeiger, 2016). Essas condições influenciam o

desenvolvimento e estabilidade das espécies vegetais, necessitando que as espécies dessas regiões desenvolvam mecanismos de adaptação (Taiz; Zeiger, 2016).

Os traços ecofisiológicos, especialmente aqueles de adaptação, são características, que vem sendo avaliadas, para verificar a capacidade e eficiência das plantas em se estabelecer em determinado ambiente (Lima *et al.*, 2012). A fenologia e densidade de madeira são traços que influenciam as respostas das plantas a determinado fator ambiental (Lima *et al.*, 2012; Taiz; Zeiger, 2016). Sendo assim, graças aos traços funcionais de adaptação, na Caatinga, é possível encontrar a ocorrência de espécies decíduas até sempre-verdes coexistindo no mesmo ambiente (Lima *et al.*, 2012) (Fig. 1). Essa coexistência permite a manutenção do equilíbrio atmosférico e ecológico, especialmente em regiões onde há frequência de perturbação ambiental e variação das condições climáticas (Taiz; Zeiger, 2016).

Em um estudo realizado por Rito, Tabarelli e Leal (2017) observaram que, as perturbações antrópicas têm favorecido um declínio na abundância de espécies arbóreas como a *Fraunhoferia multiflora* Mart. (Celastraceae), *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud. (Fabaceae) e *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae). Esses resultados tem provocado grande preocupação, tendo em vista que mudanças ecofisiológicas de espécies nativas podem ocasionar mudanças ambientais extremas (Díaz *et al.*, 2013; Prado-Junior *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2019). Vale ressaltar que, essas espécies nativas possuem importante papel no equilíbrio ecológico nas comunidades florestais, sendo muitas indicadas para fins de recuperação de áreas degradadas, devendo, portanto, ser preservadas, e melhor estudadas (Costa *et al.*, 2015).

As espécies nativas da Caatinga apresentam diferentes estratégias de adaptação, portanto, é necessário investigações mais abrangentes sobre o funcionamento dessas espécies em condições de estresse, para prever respostas das plantas às mudanças ambientais futuras e para preservação dos ecossistemas (Dutra *et al.*, 2022; Gonçalves-Araújo *et al.*, 2024).

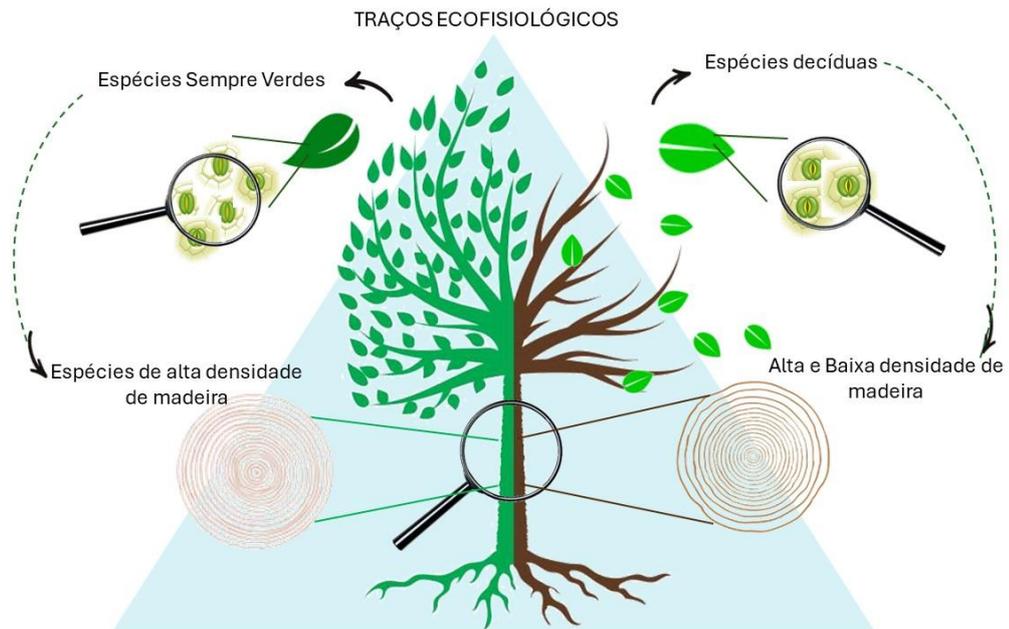


Fig. 1. Representação de traços ecofisiológicos que influenciam a sobrevivência de espécies nativas da Caatinga. Fonte: próprio autor.

2.2. Salinidade e seu efeito em plantas

De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2021), a área de solos salinos e sódicos no mundo correspondem a mais de 1.100 Mha, dos quais 60% são salinos, 26% sódicos e os restantes 14% são salino-sódicos. As estimativas mostram que as áreas afetadas por sais atualmente superam as estabelecidas pela FAO, 2000 e 2016, totalizando mais de 1.128 mil hectares a nível global, tomando como base o ano de 2010 (Fig. 2).

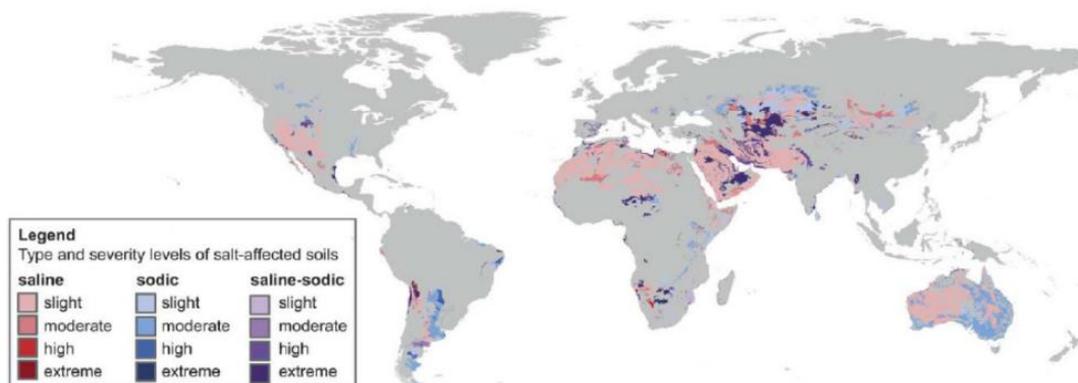


Fig. 2. Solos afetados por sal em todo o mundo. Fonte: Wicke *et al.* (2011).

No Brasil, a salinidade ocorre no Rio Grande do Sul, na Região do Pantanal Matogrossense e, predominantemente, na região semiárida do Nordeste (Ribeiro *et al.*,

2003). Em perímetros irrigados do estado de Pernambuco, a degradação de solos pela salinidade era estimada a 25% da área total em 2012 (Miranda, 2013).

Os solos salinos são classificados em função de alguns fatores como o pH, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEe) e porcentagem de sódio trocável (PST). Portanto, tem-se um solo salino com: $\text{pH} < 8,5$, $\text{CEe} > 4,0$ mmhos/cm e $\text{PST} < 15$. Solo sódico: $\text{pH} > 8,5$, $\text{CEe} < 4,0$ mmhos/cm e $\text{PST} > 15$. Solo salino-sódico: $\text{pH} < 8,5$, $\text{CEe} > 4,0$ mmhos/cm e $\text{PST} > 15$.

Ao enumerar os efeitos adversos da salinidade nas plantas, Ashraf e Foolad (2007) em sua revisão listaram os seguintes efeitos: a) efeito iônico, b) efeito osmótico, c) desequilíbrio de nutrientes, d) desequilíbrio hormonal, e e) produção de espécies reativas de oxigênio (EROS). Entretanto, recentemente destaca-se que entre estes efeitos, o osmótico e iônico/tóxico é tido como os principais fatores que causam desequilíbrio no interior da planta (Fig. 3).



Fig. 3. Respostas das plantas ao estresse salino. Fonte: próprio autor, adaptado de (Munns and Tester, 2008; Siraut *et al.*, 2009).

O efeito osmótico surge da redução do potencial de solutos da solução do solo induzida pelo NaCl (cloreto de sódio) (Yousif *et al.*, 2010; Ashraf *et al.*, 2018; Sousa *et al.*, 2024). Nessa fase, a planta apresenta maior dificuldade em extrair água do solo (Ashraf *et al.*, 2018), o que, por sua vez reduz a condutância hidráulica (Yousif *et al.*, 2010; Ashraf *et al.*, 2018). Com isso, ocorre aumento da temperatura foliar, dano de membrana, inibição do alongamento da parte aérea (Mukhopadhyay *et al.*, 2021; Sousa

et al., 2024), alterações na parede celular e na sua capacidade de expansão, sendo mais evidente em tecidos jovens da planta (Richards, 1954; Meena *et al.*, 2019).

A fase tóxica ou iônica surge do acúmulo de quantidades nocivas de Na^+ e Cl^- nas células e tecidos da planta, que afetam negativamente seu crescimento e desenvolvimento (Silva *et al.*, 2013; Mukhopadhyay *et al.*, 2021). A fase do efeito tóxico, altera a atividade respiratória e outros processos fisiológicos importantes, devido ao acúmulo de íons especialmente na zona radicular (Yousif *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2013; Larbi *et al.*, 2020; Mukhopadhyay *et al.*, 2021).

Em adição, a planta na fase iônica e osmótica, pode induzir a produção de Espécies Reativas de Oxigênio (EROS) devido a redução do oxigênio (O_2), que podem provocar desequilíbrio através de uma variedade de processos metabólicos dentro da planta (Ashraf *et al.*, 2007). As EROS são subprodutos do metabolismo aeróbico e fotossintético e, atuam como sinalizadores (Ashraf *et al.*, 2007). Exemplos das EROS como o superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e a hidroxila radical (OH^\cdot), podem surgir devido à reação de O_2 com clorofila excitada (Mittler, 2002). O excesso de EROS causa danos oxidativos em proteínas, lipídios e ácidos nucleicos. Dessa forma, para evitar tais danos, as concentrações de EROS devem ser mantidas em níveis não tóxicos (Ashraf *et al.*, 2007). Entretanto, o aumento da concentração de íons como o Cl^- (cloreto) e Na^+ (Sódio) pode ser tóxico, ocasionar grande produção de EROS e causar danos irreversíveis (Ashraf *et al.*, 2007).

Nas plantas, o cloreto (Cl^-), desempenha um papel fundamental como um micronutriente, e atua como cofator na fotossíntese, regulação estomática e regulação das atividades enzimáticas no citoplasma. No entanto, em altas concentrações os íons Cl^- podem ser metabolicamente tóxicos em plantas sob condições de salinidade, bem como o Na^+ (Herdean *et al.*, 2016). Com relação ao Na^+ , a regulação da absorção e transporte desse íon em plantas sob estresse salino tem sido interpretada no contexto da manutenção de altas relações Na/K tecidual e, portanto, essa relação se tornou uma característica chave de tolerância ao sal (Shabala; Pottosin, 2019).

Essa interpretação é importante pois o K^+ participa de algumas funções fisiológicas nas plantas, e como o alto teor de Na^+ muitas vezes inibe competitivamente sua absorção, a deficiência de K^+ torna-se severa sob estresse salino, levando ao comprometimento do crescimento (Munns; Tester, 2008). Sendo assim, a sensibilidade ao estresse salino, é quase atribuível à deficiência de K^+ , especialmente porque a

concentração de K^+ no solo geralmente está na faixa micromolar (Munns; Tester, 2008; Larbi *et al.*, 2020).

A translocação de K^+ para a parte aérea ocorre principalmente através da corrente de transpiração nos vasos do xilema (Wigoda *et al.*, 2014). Na folha o K^+ translocado é transportado dos vasos do xilema através das células da bainha do feixe vascular para as células do mesofilo (Wigoda *et al.*, 2014). Possivelmente, a adaptação mais importante do estresse salino para sustentar o aumento da relação K^+/Na^+ citosólicas seja a prevenção do efluxo de K^+ celular, exceto para células-guarda, onde o efluxo de K^+ é crucial para a regulação da abertura estomática (Véry *et al.*, 2014).

A presença dos elementos salinos em grande quantidade aumenta a síntese de endoproteínas responsáveis pela degradação de ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco). E com a degradação da Rubisco ocorre o rompimento da integridade da membrana (Conde *et al.*, 2011). Portanto, primeiramente as repostas bioquímicas, seguidas pela resposta estomáticas, promovem redução da fotossíntese (Taiz; zeiger, 2016). A elevada concentração de sais também pode reduzir o fluxo da seiva xilemática, que podem romper a integridade da membrana em raízes e, prejudicar a passagem de seiva (Acosta-Motos, 2017; Sousa *et al.*, 2024). Além disso, o excesso de sais reduz o crescimento e a expansão da superfície foliar (Singh *et al.*, 2018).

Assim, a salinidade exerce efeito severo no funcionamento biológico das plantas. No trabalho de Barhoumi *et al.* (2022) *A. marina* foi estudada sob condições controladas após 30 dias de tratamento salino. O peso seco das plantas e a taxa fotossintética líquida foram ligeiramente reduzidos pela alta salinidade. Sódio e cloreto foram preferencialmente acumulados nas raízes e caules. As espessuras das camadas de hipoderme, mesofilo, diâmetro do vaso e parede do vaso aumentaram sob alta salinidade. Toda a lâmina e as espessuras do mesofilo esponjoso mantiveram-se invariáveis. Glândulas de sal também estavam presentes na parte inferior e superior das folhas. Mesmo com a influência negativa da salinidade sobre a maioria das plantas, as respostas podem variar em diferentes espécies vegetais.

2.3. Respostas de plantas da Caatinga à salinidade

Em ambientes semiáridos como a Caatinga, onde a irregularidade das chuvas é frequente, as espécies vegetais estão sujeitas a, pelo menos um ou mais tipos de estresse ao longo do seu ciclo de desenvolvimento (Oliveira *et al.*, 2019). Entretanto, nesse

domínio, a resposta das plantas a esses fatores ambientais pode variar, tendo em vista a grande diversidade de espécies e capacidade plásticas que muitas apresentam (Costa *et al.*, 2015; Fritzsos *et al.*, 2017). Dessa forma, é importante entender as estratégias de adaptação das plantas a determinados problemas ambientais, especialmente aqueles relacionados a elevada concentração de sais. O entendimento dessas estratégias, por sua vez, pode ser aplicado para reverter o cenário de degradação ambiental e possibilitar a recuperação de áreas degradadas (Costa *et al.*, 2015).

Os estudos que avaliaram o estabelecimento das plântulas da Caatinga em condições salinas são diversos, e foram encontradas diferentes respostas em diferentes espécies no cenário salino, variando desde espécies tolerantes (Dutra *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2021) a sensíveis à salinidade (Pereira *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2024) (Fig. 4). No trabalho de Oliveira *et al.* (2014) estudando *Myracrodruon urundeuva* (Allemão) e *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud, observou-se que com o aumento de salinidade naquelas espécies apresentam comportamento semelhante no índice de germinação, sendo pouco afetadas pelo aumento crescente da salinidade. No trabalho de Dutra *et al.* (2022) foi avaliada a germinação de *Peltophorum dubium* (Spreng.), *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong e *Triplaris americana* L., foi demonstrado que essas espécies são sensíveis à salinidade, pois ocorreu grande redução de biomassa e parâmetros biométricos. Entretanto, fazendo uma comparação entre as três espécies o *E. contortisiliquum* demonstrou uma maior tolerância ao estresse salino, pois apresentou um desenvolvimento superior às demais nas condições testadas.

No trabalho de Pereira *et al.* (2023) avaliando as plântulas de *Spondias tuberosas* Arruda, observou que o aumento da salinidade reduziu o acúmulo de massa seca na parte aérea das plantas. Por outro lado, as raízes dessa espécie se ajustaram ao estresse salino. No trabalho de França *et al.* (2023), avaliando o comportamento fisiológico e o crescimento de mudas de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) em condições de salinidade, observou que a transpiração foi menos sensível à salinidade que a condutância estomática e a fotossíntese das plântulas. Dentre os parâmetros de crescimento, as raízes foram as mais afetadas pela salinidade. No trabalho de Santos *et al.* (2016) estudando a germinação da *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis, observou que essa espécie apresenta elevada tolerância ao estresse salino, pois mantém elevado valor de biomassa da parte aérea, e sistema radicular.

Outros estudos relatam que características como vasos mais espessos permitem uma melhor eficiência do uso da água em condições estressantes (Jiang *et al.*, 2016). Bem

como também o espessamento das folhas e uma alta concentração de mucilagem nas raízes e caule que evita a perda de água e melhora a eficiência do uso da água (Zhang *et al.*, 2021). Entretanto, as características anatômicas de espécies nativas da Caatinga no cenário salino são pouco exploradas. Expandir o conhecimento sobre as respostas das plantas lenhosas à salinidade representa uma opção valiosa para aumentar a capacidade produtiva de áreas de solo afetadas pelo sal e reverter as tendências de degradação em diferentes ambientes (Oliveira *et al.*, 2019).

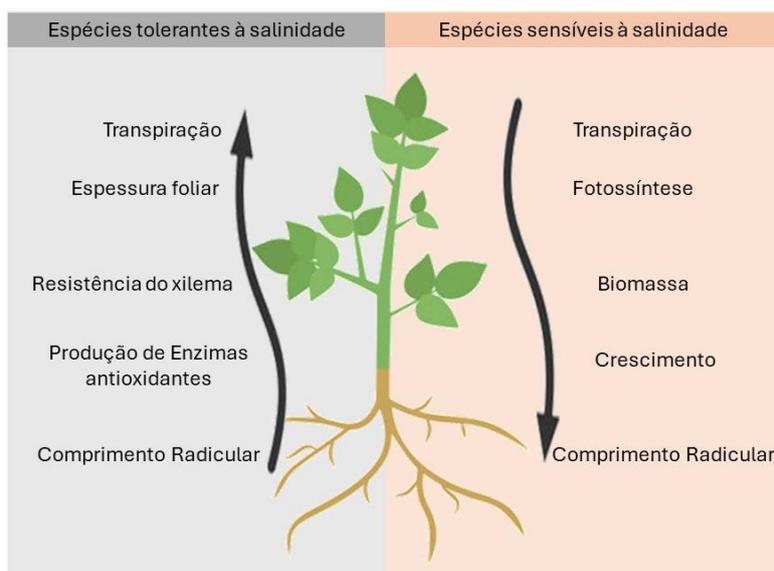


Fig. 4. Características de tolerância e sensibilidade ao estresse salino pelas plantas. Fonte: próprio autor

2.4. Tolerância das plantas à salinidade

A salinidade exerce efeitos graves para as plantas, no entanto a severidade e magnitude dos danos, podem ser amenizados, dependendo do tempo de concentração de íons e da capacidade da espécie em tolerar determinados teores de sais (Mukhopadhyay *et al.*, 2021). O sal (NaCl) se torna altamente tóxico para a planta, quando absorvido em grandes quantidades, e estressante quando apresenta alta capacidade de causar danos morfofisiológicos (Meena *et al.*, 2019).

A tolerância de uma espécie a salinidade, está relacionada com a capacidade que ela apresenta de excluir os sais acumulados em seus tecidos (Munns, 2008; Sirault *et al.*, 2009). Para determinar e classificar o nível de tolerância e resistência de uma espécie vegetal, utiliza-se o valor da biomassa produzida ou em percentual de sobrevivência (Munns, 2008). Embora, muitos estudos tenham tido progresso com a classificação das

plantas com base no estresse salino, ainda existem lacunas, pela variabilidade de algumas condições como: genótipo, condições do solo, condições climáticas, e características das espécies. De acordo com Maas (1990) dependendo da concentração de cloreto a maioria das plantas podem apresentar tolerância a esse elemento (Tabela 1).

Tabela 1. Níveis de tolerância das plantas ao cloreto na água de irrigação (Maas, 1990).

Teor de cloreto		Interpretação
(meq L ⁻¹)	(ppm)	
<2,0	<70	Sem riscos para todas as plantas
2,1-4,0	71-140	As plantas sensíveis apresentam injúrias ligeiras e moderados
4,1-10,0	141-350	As plantas moderadamente tolerantes apresentam injúrias ligeiras e consideráveis
>10	>350	Problemas severos de toxidez

O mecanismo mais comum de tolerância é a prevenção da absorção de sal pela planta, por enzimas nas membranas celulares das raízes que bombeiam constantemente Na⁺ e Cl⁻ de volta ao solo (Munns *et al.*, 2019). Outros processos é a secreção de sais pelas glândulas da folha, que controla concentração salina; e o acúmulo de sais nos vacúolos das plantas, este mecanismo requer atividade constante de enzimas que bombeiam os sais contra um gradiente de concentração no vacúolo, presentes especialmente em halófitas (Litalien; Zeeb, 2020).

A tolerância das plantas depende da habilidade delas em controlar o transporte de sal (Sirault *et al.*, 2009; Willadino *et al.*, 2010) em cinco pontos: 1) Seletividade no processo de absorção pelas células das raízes; 2) Carregamento de K⁺ pelo xilema, mais do que com Na⁺; 3) Remoção do sal do xilema das raízes, caule, pecíolo ou bainhas foliares; 4) Retranslocação de Na⁺ e Cl⁻ no floema, e; 5) Excreção de sais através de glândulas ou pelos vesiculares, presentes apenas nas halófitas (Willadino *et al.*, 2010).

Elevadas concentrações de sais na solução do solo, reduzem o potencial osmótico, para que essa redução não torne inviável a absorção de água pela espécie vegetal, é fundamental a planta baixar seu potencial hídrico a um patamar inferior ao do solo (Munns, 2008). Esse processo de ajuste osmótico é realizado mediante a elevação da concentração de solutos, orgânicos e inorgânicos, no interior da planta (Willadino *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2018). O ajuste osmótico favorece a manutenção do turgor e o volume celular, garantindo o crescimento vegetal (Munns, 2008; Sirault *et al.*, 2009; Singh *et al.*, 2018).

As plantas têm a capacidade de eliminar/desintoxicar EROS produzindo diferentes tipos de antioxidantes. Os antioxidantes podem ser classificados em dois tipos diferentes, enzimáticos e não enzimáticos. Com relação aos enzimáticos, incluem superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), monodesidroascorbato redutase (MDHAR), dehidroascorbato redutase (DHAR) e glutatona redutase (GR). Os antioxidantes não enzimáticos conhecidos são glutatona (GSH), ascorbato (AsA) (ambos solúveis em água), carotenoides e tocoferóis (baixo peso molecular lipossolúvel) (Munns, 2008; Brito *et al.*, 2019).

No estudo de Trabelsi *et al.* (2024), foi observado que o efeito da seca em Oliveira (*Olea europaea* L.) foi muito mais severo que o da salinidade, esses resultados foram associados com o acúmulo de moléculas orgânicas e elementos minerais nas folhas. No trabalho de Llanes *et al.* (2021), é demonstrado que em plantas lenhosas, os mecanismos de tolerância ao sal parecem não divergir daqueles identificados em plantas não lenhosas.

As espécies vegetais podem desenvolver três tipos de mecanismos de defesa ao estresse, sendo estes; “evitar”, “tolerar” e “escapar” (Begg; Turner, 1976; Santos; Carlesso, 1999). Quando as plantas fecham os estômatos e aprofundam o seu sistema radicular para explorar um volume maior de água no solo, diminuindo o tamanho das células e aumentando o espessamento das paredes celulares e a cerosidade da cutícula, elas estão buscando “evitar” as consequências do estresse. Contudo se estas, em condições de estresse, conseguem manter o equilíbrio de suas funções fisiológicas, diz que “toleram” o estresse. E o “escapar” ocorre quando a planta antecipa seu ciclo de desenvolvimento, para assim permitir que este ocorra antes que o processo de perturbação influencie seu desempenho (Begg; Turner, 1976; Santos; Carlesso, 1999). Assim, tendo em vista os diferentes caminhos de adaptação pelas espécies vegetais, é necessário identificar limiares de resposta específicos à salinidade (Arend *et al.*, 2021; Mantova *et al.*, 2022).

A salinidade do solo ou da água de irrigação precisa ser mais reconhecida como um fator determinante no funcionamento das plantas em geral, a fim de fazer previsões mais precisas para o impacto da mudança ambiental na biodiversidade e nos padrões de vegetação em todo o mundo semiárido (Morais *et al.*, 2012; Bui, 2013; Bush *et al.*, 2013).

O sucesso do reflorestamento é dependente da capacidade das mudas suportar e se estabelecer sob condições adversas do ambiente (Novoa *et al.*, 2013). Tendo em vista a grande diversidade de espécies lenhosas nativas e seu potencial em ações de reflorestamento de áreas degradadas, são necessários mais estudos que avaliem uma grande quantidade de espécies e os limiares das respostas ao estresse salino (Bui, 2013; Bush *et al.*, 2013). Uma alternativa eficaz é avaliação através do estudo funcional levando em consideração traços funcionais relativamente “fáceis” de medir (Orlandi *et al.*, 2015).

2.5. Grupos Funcionais de Plantas

As atividades humanas influenciam a quantificação da diversidade funcional das comunidades e sua variação no tempo e no espaço (Orlandi *et al.*, 2015). A perda acelerada da biodiversidade tem levado os pesquisadores a desenvolverem diversas alternativas de avaliação. O interesse em entender como diferentes fatores bióticos e abióticos influenciam o papel funcional das espécies, começou a se firmar na década de 1970, quando também surgiu o conceito “grupos funcionais” para designar o agrupamento de espécies de acordo com a função que desempenham no ecossistema, influenciada pelos traços funcionais ou de adaptação (Orlandi *et al.*, 2015).

Os traços funcionais biológicos são propriedades de espécies mensuráveis no nível individual e definidas com precisão, e são usados para comparar espécies de uma ou várias comunidades (Orlandi *et al.*, 2015). Entretanto, a seleção correta de traços funcionais representa um trabalho difícil (Fonseca; Ganade, 2001). Segundo Fonseca e Ganade (2001), a classificação das espécies em grupos funcionais requer cinco etapas, tais como: definir os critérios de classificação, por exemplo, um grupo de espécies que têm respostas semelhantes a mudanças ambientais ou a um grupo de espécies com características ecológicas semelhantes; definir o tipo de comunidade biológica que se pretende estudar; escolher as funções chaves a serem avaliadas; escolher os traços funcionais que melhor descrever a função de interesse, e construir uma matriz espécie-característica, e aplicar o método multivariado mais apropriado para gerar os grupos funcionais.

A classificação com base nos traços funcionais é independente de relações taxonômicas e/ou filogenéticas (Cornelissen *et al.*, 2003). Traços funcionais de espécies lenhosas (fenológico, fisiológicos, morfológicos) tem sido foco de estudo em diferentes grupos de organismos para responder questões ecológicas, desde o nível de indivíduo até o funcionamento ecossistêmico (Violle *et al.*, 2007), e para compreender questões de coexistência e respostas das plantas em função das condições ambientais (Rosado *et al.*, 2016). Estudos dessa natureza pressupõem que, através da avaliação dos traços funcionais, é possível explicar a eficiência no uso dos recursos e, conseqüente, sucesso de adaptação das espécies vegetais a um determinado ambiente com variações climáticas constantes (Violle *et al.*, 2007).

A taxa em que as espécies utilizam os recursos ambientais, como nutrientes e água, afeta diretamente as condições e recursos do meio em que vivem. Tais efeitos, podem alterar comunidades ambientais (Soliveres *et al.*, 2014), além de mediar interações entre plantas (Soliveres *et al.*, 2014). Neste sentido, o estudo dos grupos funcionais de plantas permite não só a compreensão de como comunidades naturais são formadas e mantidas ao longo do tempo, mas também quais características devem ser manipuladas para restaurar comunidades ambientais (Violle *et al.*, 2007; Soliveres *et al.*, 2014).

Os traços funcionais facilmente mensuráveis são os foliares ou estruturais. Segundo Burmester *et al.* (2022), estudando a formação de grupos funcionais, observou que a característica mais marcante é a densidade da madeira. A densidade da madeira é um traço funcional que vem sendo interpretada como um importante preditor das respostas das plantas à pressão ambiental. É definida como a razão entre o valor da massa por unidade de volume (Batista *et al.*, 2010) e pode ser utilizada na caracterização e diferenciação morfofisiológica e anatômica das espécies que ocorrem em diferentes ambientes (Foelkel *et al.*, 1971).

Em um estudo realizado por Lima *et al.* (2010) e Lima *et al.* (2021), investigaram a relação entre a fenologia e a densidade de madeira de espécies de uma região sazonal tropical seca e consideraram a existência de três grupos de espécies: a) espécies decíduas com alta densidade de madeira (ADM), nas quais as respostas fenológicas apresentam correlação com a disponibilidade de água no solo; b) espécies decíduas com baixa densidade de madeira (BDM), cujos eventos fenológicos respondem ao fotoperíodo e independem da precipitação; c) espécies perenes (sempre-verdes) com alta densidade de madeira, nas quais a fenologia não apresenta correlação direta com a precipitação. Essa relação fenologia e densidade de madeira se torna mais promissora para identificar

estratégias de grupos funcionais, do que apenas utilizar traços fenológicos (Souza *et al.*, 2020), tendo em vista que espécies decíduas podem apresentar divergências fisiológicas (Souza *et al.*, 2020).

Em um estudo recente de Fagundes *et al.* (2022), descobriu-se que espécies arbóreas da Caatinga apresentam diferentes estratégias que constroem o continuum aquisitivo-conservador. Foi constatado que espécies aquisitivas são aquelas que apresentam menor densidade de madeira, maior diâmetro hidráulico, maior área foliar e maior capacidade de armazenamento, enquanto espécies conservativas, incluem as que apresentam maior densidade de madeira, menor diâmetro hidráulico, e menor capacidade de armazenamento de água com menor área foliar. Outros estudos como de Wright *et al.* (2022) e Brito *et al.* (2022), demonstram que espécies decíduas de alta densidade de madeira apresentam características anatômicas do xilema mais resistente aos fatores estressantes do meio, sendo mais tolerantes à seca, enquanto espécies decíduas que apresentam baixa densidade de madeira são mais vulneráveis a gargalos ambientais, exigindo características anatômicas do xilema mais eficientes (Fig. 5).

Portanto, as espécies com alta densidade de madeira, são favorecidas em ambientes com menor disponibilidade de recursos (solos pobres, baixa luminosidade e com escassez hídrica), enquanto aquelas com baixa densidade de madeira são favorecidas em ambientes com maior disponibilidade de recursos (solos de maior fertilidade, maior luminosidade e sem déficit hídrico) (Reich, 2014; Fagundes *et al.*, 2022).

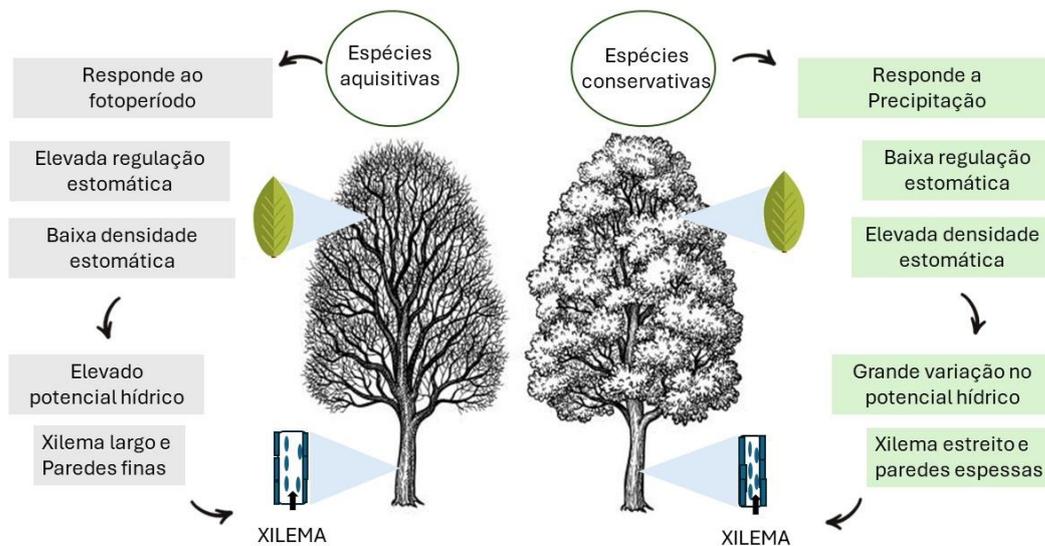


Fig. 5. Representação dos traços funcionais que constroem o continuum aquisitivo-conservador. Fonte: próprio autor.

Na literatura pode ser identificado as diferentes estratégias de espécies nativas da Caatinga que apresentam diferentes densidades de madeira em condições de salinidade (Tabela 2). Entretanto, um apanhado desses estudos para verificar as estratégias entre grupos funcionais, poderia levar a uma conclusão precipitada, tendo em vista as diferentes condições experimentais em cada estudo. Dessa forma, é necessário levar em consideração o estudo de grupos funcionais de plantas da Caatinga em outras condições estressantes como a salinidade, para verificar e comparar as estratégias utilizadas por cada grupo funcional (Brito *et al.*, 2022). Essa simplificação funcional em estudos é fundamental para prever as respostas das plantas ao cenário de degradação ambiental (Reich, 2014).

Tabela 2. Estudos com plântulas de espécies lenhosas da Caatinga em resposta a salinidade.

Espécies	Grupos funcionais	Interpretação	Autor
<i>Myracrodruon urundeuva</i> (Allemão)	ADM	Pouco afetada	Oliveira et al. (2014)
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud	ADM	Pouco afetada	Oliveira et al. (2014)
<i>Cenostigma pyramidale</i> (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis.	ADM	Pouco afetada	Santos et al. (2016)
<i>Spondias tuberosa</i> Arruda	BDM	Moderadamente afetada	Pereira et al. (2023)
<i>Jatropha curcas</i> L.	BDM	Moderadamente afetada	Alencar et al. (2022)
<i>Amburana cearenses</i> (Allemão) A.C.Sm.	BDM	Pouco afetada	Santos et al. (2024)

BDM= Baixa densidade de madeira e ADM= Alta densidade de madeira

2.6. Importância das florestas em ambientes salinizados

A salinização de terras é um problema generalizado em regiões áridas e regiões semiáridas (McFarlane *et al.*, 2016). O processo de salinização se deve a fatores naturais

e ações antrópicas (Daliakopoulos *et al.*, 2016). As características naturais incluem o transporte de sedimentos com sal de áreas salinizadas para locais não salgados; ascensão por capilaridade dos solos à superfície; altas taxas de evapotranspiração, entre outros fatores (Walter *et al.*, 2018). As ações antrópicas que contribuem para o acúmulo de sal são variadas, incluindo: o uso da água salobra (Daliakopoulos *et al.*, 2016); prática de irrigação sem sistema de drenagem; aplicação de fertilizantes e pesticidas com alto índice salino (Pedrotti, 2015).

A gestão agrícola é o principal contribuinte para o aumento da salinização e, conseqüentemente, desertificação de terras (Castro; Santos, 2020). Vários estudos apontam para os problemas mencionados anteriormente, especialmente Xu *et al.* (2014) na China, e no Nordeste do Brasil com Vasconcelos *et al.* (2013). No entanto, tem-se observado que plantações florestais vêm apresentando uma alternativa eficiente, especialmente pelo processo de biodrenagem, que foi proposta especialmente para terras secas para o controle de salinidade (Mcfarlane *et al.*, 2016; Minhas *et al.*, 2020). Dentre os benefícios da utilização de espécies lenhosas, incluem melhoria das propriedades físico-químicas do solo e restauração da biodiversidade (Minhas *et al.*, 2020).

Vários trabalhos foram realizados em distintas partes do mundo, na busca da solução para os mais diversos problemas de drenagem utilizando a técnica de biodrenagem. Na Índia, Heuperman *et al.* (2008) e Ram *et al.* (2011), desenvolveram seus trabalhos em regiões de clima árido e semiárido utilizando plantas de eucaliptos, e obtiveram resultados bastante expressivos frente a resolução de problemas de alagamento, rebaixamento do nível do lençol freático e controle das concentrações de sais no solo em áreas com deficiência de drenagem.

No trabalho de González-Alcaraz *et al.* (2014) estudando gradientes de salinidade e umidade do solo e distribuição de plantas, em um Bacia hidrográfica salina do semiárido mediterrâneo, suportam a papel da vegetação como bioindicador de distúrbios e incentivam o uso de modelos de relações solo-planta para melhorar a gestão ambiental de ecossistemas salinos. A maioria dos estudos de modelos no Brasil são realizados em plantas herbáceas, como *Arabidopsis*, cevada, arroz e trigo, entre outros. No entanto, levando em consideração a importância das florestas no ambiente, o conhecimento sobre os mecanismos de tolerância ao sal em plantas lenhosas deve ser mais bem avaliado (Llanes *et al.*, 2021).

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Investigar como diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga respondem ao aumento do estresse salino.

3.2. Específicos

- Avaliar o comportamento morfofisiológico dos grupos funcionais de plântulas submetidos a diferentes níveis de salinidade;
- Comparar mecanismos funcionais dos grupos de plântulas sob o estresse salino;
- Estabelecer as estratégias de tolerância à salinidade pelos diferentes grupos funcionais.

CAPÍTULO 1- ESTRATÉGIAS DE TOLERÂNCIA AO ESTRESSE SALINO VARIAM ENTRE DIFERENTES GRUPOS FUNCIONAIS DE PLÂNTULAS DE ESPÉCIES NATIVAS DO SEMIÁRIDO

RESUMO

A elevação da salinidade em regiões secas tem contribuído para a desertificação de áreas, aumentando a necessidade de identificação de espécies tolerantes. A investigação de grupos funcionais de plantas com diferentes densidades da madeira esclarece as estratégias de adaptação, entretanto, em ambiente salino, ainda não foi explorado. Objetivou-se investigar como diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga respondem ao aumento do estresse salino. O experimento foi conduzido em estufa agrícola no Semiárido do Brasil. Foram avaliadas espécies decíduas de alta densidade de madeira (ADM) e de baixa densidade de madeira (BDM). Os valores de condutividades elétricas foram 0,15, 2,5, 3,5 e 4,5 dS m⁻¹ aplicadas durante 90 dias. Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2x4 com cinco repetições. Ao final do experimento foram analisados condutância estomática (g_s), potencial hídrico (Ψ_{xilema}), fluorescência da clorofila, crescimento, teores de sais e atividade enzimática. Os dados foram submetidos à análise de regressão polinomial e teste de tukey (5%). O grupo ADM foi classificado como tolerante à salinidade e apresentou valores elevados de g_s (300 mmol m⁻²s⁻¹), variação no Ψ_{xilema} (70%), eficiência do fotossistema II, número de folhas e acúmulo de sais nas folhas (K^+ = 70%, Na^+ = 18% e Cl^- = 52,5%). Por outro lado, o grupo BDM foi classificado como moderadamente sensível à salinidade e apresentou grande redução de crescimento e biomassa com aumento da salinidade, acúmulo de íons em caule (Cl^- = 136%) e raiz (Na^+ = 44%; Cl^- = 45%) e maior atividade enzimática (45%). As estratégias de tolerância ao estresse salino divergem entre diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga. O grupo ADM é mais tolerante à salinidade e representa uma boa alternativa para recuperação de áreas salinizadas. Portanto, os grupos funcionais devem ser considerados em estudos futuros, para compreender os impactos das alterações ambientais na estruturação das comunidades vegetais.

Palavras-chave: Caatinga, espécies arbóreas, fisiologia vegetal, traços funcionais.

1. INTRODUÇÃO

A elevação da salinidade é um problema generalizado em regiões semiáridas como a Caatinga (Ribeiro *et al.*, 2003; Mcfarlane *et al.*, 2016; Walter *et al.*, 2018) e tem contribuído para o aumento de áreas desertificadas (Castro; Santos, 2020). As espécies lenhosas da Caatinga apresentam diferentes traços de adaptação (Rosado *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2019), os quais têm sido bastante estudados para identificar espécies tolerantes com potencial para restauração ambiental (Orlandi *et al.*, 2015). A densidade da madeira é um traço funcional fundamental que possibilita a formação de grupos funcionais e auxilia na escolha adequada de plântulas tolerantes ao estresse (Lima *et al.*, 2021; Burmester *et al.*, 2022). A análise dos grupos funcionais fornece informações sobre como as espécies interagem com o ambiente e esclarece as diferentes estratégias de adaptação (Lima *et al.*, 2021; Brito *et al.*, 2022; Fagundes *et al.*, 2022). Entretanto, apesar do grande avanço no estudo de grupos funcionais de plantas nos últimos anos, sua aplicação em ambiente salino ainda não foi explorada (Chaturvedi; Raghubanshi, 2011; Reis *et al.*, 2024).

Na Caatinga, região semiárida do Brasil, a salinidade tem provocado redução na abundância de diversas espécies lenhosas (Castro; Santos, 2020). De forma geral, o estresse salino em plantas pode ocorrer devido ao efeito osmótico e tóxico (Mukhopadhyay *et al.*, 2021). Esses efeitos se manifestam na capacidade de expansão celular, sendo mais evidente em tecidos jovens da planta, o que resulta na redução das trocas gasosas, potencial hídrico e crescimento (Dutra *et al.*, 2017; Zait; Shtein; Schwartz, 2019). Devido ao aumento na concentração de íons tóxicos, ocorre o acúmulo excessivo de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) nas células vegetais (Llanes *et al.*, 2021; Cárdenas-Pérez *et al.*, 2022), que ocasiona alteração na atividade respiratória e fotossíntese (Melo *et al.*, 2020). No entanto, os efeitos variam com a intensidade do estresse salino e a capacidade de tolerância da espécie vegetal (Zait; Shtein; Schwartz, 2019).

Segundo Assaha *et al.* (2017) espécies tolerantes à salinidade apresentam seletividade, facilitando a passagem de K^+ em relação ao Na^+ . Entre outras características, destacam-se a produção de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POX) e catalase (CAT), para a eliminação de EROS (Bharti; Barnawal, 2019; Souza *et al.*, 2022), além do espessamento foliar (Llanes *et al.*, 2021). As espécies lenhosas da Caatinga variam desde tolerantes a sensíveis à salinidade (Bessa *et al.*, 2017).

No estudo de Dutra *et al.* (2017) é demonstrado que algumas espécies da Caatinga apresentam grande redução no crescimento, enquanto outras são menos afetadas. Em adição, também pode-se encontrar espécies com grande redução de biomassa, danos no sistema radicular (Pereira *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2023), baixa sensibilidade da transpiração (França *et al.*, 2023) e baixa variação de biomassa com a salinidade (Santos *et al.*, 2021). Grande parte dos estudos com árvores nativas do semiárido, são com espécies ameaçadas de extinção, portanto, faz-se necessário estratégias que facilitem a identificação de mais espécies lenhosas em resposta à salinidade (Munns *et al.*, 2020).

Diversas espécies vegetais sem parentesco taxonômico podem apresentar respostas similares às mudanças ambientais, graças aos traços funcionais (morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e fenológicos) (Violle *et al.*, 2007; Fagundes *et al.*, 2022), os quais auxiliam na formação de grupos funcionais de plantas (Chaturvedi e Raghubanshi, 2011). Segundo Burmester *et al.* (2022), estudando a formação de grupos funcionais, considerou que a característica mais marcante é a densidade da madeira. Na Caatinga, as espécies de plantas têm sido agrupadas em dois grupos em função da densidade de madeira: 1) espécies de Alta Densidade de Madeira (ADM) tolerantes à seca, otimizam a captura de recursos e investem em segurança hidráulica, com aumento em espessura dos vasos do xilema (Souza *et al.*, 2020; Brito *et al.*, 2022); e 2) espécies de Baixa Densidade de Madeira (BDM), que evitam à seca, investem em mecanismos de proteção ao estresse e armazenamento de recursos, porém, são hidraulicamente vulneráveis, devido ao *trade-off* (compensação) entre armazenamento e segurança (Souza *et al.*, 2020; Fagundes *et al.*, 2022).

É recomendado que os estudo dos grupos funcionais possa ser realizado em outras condições ambientais (Brito *et al.*, 2022), para apoiar os resultados já obtidos e facilitar a identificação de espécies tolerantes ou sensíveis as mudanças climáticas (Wright *et al.*, 2021; Brito *et al.*, 2022). Entretanto, a investigação de como os grupos funcionais de plântulas respondem ao estresse salino ainda é limitado. Objetivou-se investigar como diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga respondem ao aumento do estresse salino. A hipótese é que, espécies vegetais pertencentes a grupos funcionais de alta densidade de madeira são mais tolerantes ao estresse salino, devido a segurança hidráulica superior em condição de estresse em comparação com aquelas de baixa densidade de madeira. Essa simplificação funcional é crucial para previsão de resposta da vegetação ao uso da terra e mudanças climáticas no semiárido (Violle *et al.*, 2007; González-Alcaraz *et al.*, 2014; Colto-Santos *et al.*, 2021).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

O experimento foi conduzido em estufa agrícola sombreada à 70%, localizada na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST) (7°57'19.3''S 38°17'44.7''W), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) no município de Serra Talhada, Pernambuco. Conforme a classificação de Köppen-Geiger o clima local é do tipo BSh' (clima semiárido quente). Os dados de temperatura e umidade do ar da estufa agrícola foram monitorados através de um termohigrômetro (OM-EL-USB-2-LCD, da OMEGA Enginnering, INC.) ao longo dos 90 dias de experimento, nos meses de dezembro/2022 (início da aplicação dos tratamentos), janeiro e fevereiro/2023. A umidade relativa do ar na casa de vegetação foi maior no início do experimento, e manteve-se em torno de 75%, enquanto a temperatura variou entre 35 e 25°C (Fig. 1).

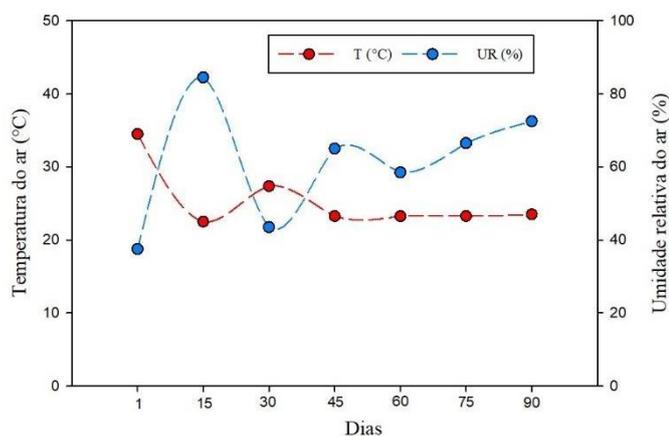


Fig. 1. Condições meteorológicas da estufa agrícola, em intervalos de 15 dias, a partir de 01 de dezembro/2022 ao dia 28 de fevereiro/2023, Serra Talhada, Pernambuco, Brasil.

2.2. Tratamentos e condições experimentais

2.2.1. Espécies utilizadas

Foram escolhidas duas espécies lenhosas de cada grupo funcional em função da densidade de madeira conforme Lima *et al.* (2012), sendo, espécies decíduas de alta densidade de madeira (ADM): *Myracrodruon urundeuva* M. Allemão (Anacardiaceae) e *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud (Fabaceae); e espécies decíduas de baixa densidade de madeira (BDM): *Amburana cearenses* (Allemão) A.C.Sm (Fabaceae) e *Pseudobombax marginatum* (A.St.-Hil., Juss. & Cambess) A. Robyns (Malvaceae). A densidade da madeira é definida como a razão entre o valor da massa

por unidade de volume e pode ser utilizada na caracterização e diferenciação morfofisiológica e anatômica das espécies que ocorrem em diferentes ambientes (Batista *et al.*, 2010).

2.2.2. Coleta de sementes

A coleta de sementes foi realizada no Parque Estadual Mata da Pimenteira (PEPM), localizada, em torno das seguintes coordenadas geográficas 7°53'21" e 7° 57' 36" S e 38°18'42" e 38° 17'7" W (Silva; Almeida, 2013). Foram coletadas 100 sementes de cada espécie (4 plantas matrizes). Após a coleta, as sementes foram beneficiadas, eliminando as impurezas e acondicionadas em Polietileno Tereftalato e mantidas em temperatura ambiente. Na ocasião, também foram obtidas sementes do Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA), como meio alternativo, em caso de inviabilidade das sementes coletadas.

As sementes de *B. cheilantha* e *P. marginatum* foram submetidas a escarificação mecânica com lixa de 100. Em 15 de setembro/2022, vinte sementes de cada espécie foram distribuídas e postas para germinar em copos plásticos contendo areia e vermiculita (1:1 v/v), deixadas em casa de vegetação e regadas diariamente com água de baixa condutividade elétrica. Após dez dias da emergência das plântulas, foi realizado um desbaste e mantidas as plântulas com características mais vigorosas. Aos 35 dias, as plântulas foram transplantadas para vasos contendo solo da área de estudo. As plântulas foram transferidas para a estufa agrícola em 20 de outubro/2022, onde permaneceram em estabelecimento por mais 40 dias sem aplicação dos tratamentos salinos.

2.2.3. Irrigação salina

Com 75 dias após a semeadura, os diferentes grupos funcionais de plântulas foram submetidos a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação, sendo, 0,15 (referência), 2,5, 3,5 e 4,5 dS m⁻¹, onde permaneceram por 90 dias sob tratamento.

O preparo das soluções foi feito com o NaCl comercial, dissolvidos na água de menor salinidade até atingir a condutividade elétrica desejada. Antes de preparar as os diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, as concentrações foram transformadas de dS m⁻¹ para g/L, sendo utilizada a fórmula do Total de Sais Dissolvidos (1) (Bessa *et al.*, 2017). A água para irrigação foi armazenada em baldes de 100L.

$$TSD = 0,64CE \quad (1)$$

Sendo, TSD os Totais de sais dissolvidos (g/L) e CE a Condutividade Elétrica (dS m⁻¹)

A irrigação foi realizada em intervalos de um dia com base em 80% da Capacidade de Vaso (CV) seguindo a metodologia de Plaut *et al.* (1996); Purcell *et al.* (2000) e Casaroli e Lier (2008). A quantidade de água aplicada foi de 345 ml em intervalo de um dia.

2.2.4. Análise do solo

O solo foi coletado próximo a área experimental. Foi realizada análise química e física seguindo a metodologia da Embrapa (2005). A área foi dividida em função de características semelhantes e percorrida em ziguezague, 5 amostras foram retiradas em uma profundidade 0-20 cm, destorroados, e armazenados 250 g em sacos plásticos, e enviado ao laboratório para análise. O solo trata-se de um Cambissolo Eutrófico Háptico segundo a classificação da Embrapa, (2013), e apresentou condutividade elétrica de 0,29 dS m⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas do solo na camada 0,00 – 0,20 m, localizado no município de Serra Talhada – PE, Brasil.

Propriedades Físicas							
ρ	ϕ_t	Areia	Silte	Argila			
g/cm ³	%	-----g kg ⁻¹ -----					
1,39	42,27	828,6	148,25	23,15			
Propriedades Químicas							
pH	CE	P	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	V
	dS m ⁻¹	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----				%
6,76	0,29	57,8	3,71	0,54	0,04	1,21	75

ρ = Densidade do solo; ϕ_t = Porosidade total do solo; EC= Condutividade elétrica; P = Fósforo; Ca²⁺= Cálcio; Na⁺= Sódio; K⁺= Potássio; Mg²⁺= Magnésio; V=Saturação de Bases.

2.3. Análises

2.3.1. Condutividade Elétrica final do solo (CE)

Ao final do experimento foi avaliado a CE do solo através do método do extrato saturado de solo em uma pasta (Richards, 1954). Inicialmente foi coletado o solo de cada tratamento, e pesado 300g de solo (para obter até 25mL), as amostras foram secas ao ar, e posteriormente misturadas com água destilada, até atingir a saturação. Em seguida foi realizada a separação do extrato da pasta utilizando-se funil de *buckner* com papel de filtro, acoplado a um *kitasato* e uma bomba de sucção, a solução de 25 mL obtida foi levada ao condutivímetro e obtida o valor da CE final (Richards, 1954).

2.3.2. Condutância estomática e potencial hídrico

Ao final do experimento foi medido a condutância estomática e temperatura foliar, utilizando um porômetro portátil (*SC-1 Leaf Porometer*), sendo realizadas nos horários de manhã e tarde (8:00h e 12:00). O potencial hídrico foliar foi medido pela manhã (6:00h) e tarde (13:00h), utilizando uma câmera de pressão tipo *Scholander*, modelo 1505D-EXP (Borchert, 2002).

2.3.3. Fluorescência da Clorofila

Para avaliação dos danos ocorridos no fotossistema II, ao final do experimento foi realizado análise da fluorescência da clorofila nos tratamentos extremos de salinidade (0,15 e 4,5 dS m⁻¹). Para tal foi utilizado o método do pulso de saturação, com auxílio de um fluorímetro de luz modulada (Modelo MINI-PAM544 II, da fabricante WALZ). Com auxílio de pinças as folhas foram submetidas a 50 min no escuro, após esse período, foram obtidas as seguintes medidas:

1º) eficiência quântica efetiva do fotossistema II (PSII) [$\Delta F/F_m' = (F_m' - F_s)/F_m'$];

2º) taxa aparente de transporte de elétrons do PSII [$ETR = (\Delta F/F_m' \times DFFF \times 0.5 \times 548 \times 0.84)$];

3º) coeficiente de quenching fotoquímico [$qP = (F_m' - F_s)/(F_m' - F_o')$] e

4º) coeficiente de quenching não fotoquímico [$NPQ = (F_m - F_m'/F_m')$].

Onde: F_m = fluorescência máxima após a adaptação das folhas ao escuro; F_m' = fluorescência máxima na presença de luz; F_s = fluorescência no estado de equilíbrio

dinâmica na presença de luz; F_o' = fluorescência basal após excitação do FSI por radiação infravermelha; DFFF= densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativo; 0,5 = coeficiente que indica a fração de excitação distribuída para o FSII; e 0,84= coeficiente indica a fração de luz absorvida para o PSII.

2.3.4. *Extração e mensuração de Na^+ , K^+ e Cl^-*

Foram estimados os teores dos elementos salinos em raízes, caules e folhas. Os teores de sódio (Na^+) e potássio (K^+) foram determinados através de fotometria de chama (Malavolta *et al.*, 1989). Os tecidos foram secos em estufa e posteriormente macerados. As amostras de 50 mg de farinhas foram submetidas a extração por incubação em tubos de ensaio, contendo 10 ml de água ultrapura, e fervidos em banho maria a 100 °C por 1 h. Posteriormente os extratos foram filtrados e utilizados nas leituras de Na^+ e K^+ em fotômetro de chama (Micronal, Mod. B462) (Rodrigues *et al.*, 2013). O teor de cloreto (Cl^-) foi obtido por titulação (Malavolta *et al.*, 1989). Para isso, as amostras de 100 mg de farinha dos tecidos foram submetidas a extração por incubação em tubos de ensaios, contendo 25 ml de água ultrapura, e fervidos em banho maria a 100 °C por 1 h. Após a filtração, foram coletados 10 ml para a titulação do cloreto com nitrato de prata ($AgNO_3$ 28 mM) e para o cromato de potássio (K_2CrO_4 5%) como indicador.

2.3.5. *Área Foliar e Área foliar específica*

Foi coletada uma folha do terceiro nó, expandida e sem danos aparente, de cada cinco indivíduo em cada tratamento de salinidade, e armazenada em sacos plásticos vedados e acondicionados em caixa térmica refrigerada para evitar a perda de turgescência. Em seguida, as folhas foram scaneadas em impressora para determinação da área foliar, usado o software *Lafore* (Pérez- Harguindeguy *et al.*, 2016). Posteriormente as folhas foram secas a 45°C por 72 horas em estufa e pesadas em balança analítica para determinar a massa seca, e assim obter a área foliar específica através da relação: AFE= Área (mm^2) / Peso seco (g) (Pérez- Harguindeguy *et al.*, 2016; Alves *et al.*, 2018).

2.3.6. *Biometria e Biomassa*

Ao final do experimento foram analisados altura e comprimento da raiz principal das plântulas com auxílio de uma régua milimetrada, diâmetro do caule utilizando um paquímetro digital, e obtido o número de folhas.

As plântulas foram retiradas dos vasos cuidadosamente para não causar danos, separadas em folhas, caule e raízes, pesadas e obtidos a massa fresca. Posteriormente, os tecidos foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 45 °C, por 72 horas e logo em seguida pesados em balança analítica e obtido o peso seco. A razão raiz/parte aérea (g g⁻¹) também foi determinada.

Foi realizada a classificação de espécies vegetais quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução de massa seca total da planta (2) (Fageria; Soares Filho; Gheyi, 2010; Bessa *et al.*, 2017).

$$RP = \frac{PTS-PTC}{PTS} \times 100 \quad (2)$$

Onde, RP é a Redução de Produção, PTS é a Produção no Tratamento irrigado com água sem sal e PTC é a Produção do Tratamento irrigado com água com sal.

Redução da Produção (%) = 0 – 20 (Tolerante, T); 20 – 40 (Moderadamente Tolerante, MT); 40 – 60 (Moderadamente Sensível, MS) e > 60 (Sensível, S).

2.3.7. Obtenção do extrato enzimático

Para obtenção do extrato enzimático, as folhas foram coletadas, imediatamente congeladas em nitrogênio líquido, e armazenadas em ultrafreezer (-80°C) até a realização das análises. Foram pesadas 0,1 g do tecido foliar, macerado com auxílio de nitrogênio líquido e homogeneizados em 3 mL de solução contendo tampão fosfato de potássio 0,1 mol/L (pH 7,0), EDTA 10 mM, ácido ascórbico 200 mM e pirrolidina insolúvel (PVPP) 1% (p/v). Em seguida, o extrato foi centrifugado a 7960 g por 20 min (Sperotto, 2014).

2.3.8. Atividade da catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX)

A atividade da catalase foi determinada segundo a metodologia proposta por Havir e Michale (1987). Para o ensaio, alíquotas de 25 uL do extrato enzimático foram adicionados a 25 uL de água ultrapura e 900 uL de tampão fosfato de potássio (50 mM, pH 7,0). No momento da leitura foi adicionado 50 uL de H₂O₂ (20 mM) e realizada a

leitura a 240 nm por 3 minutos em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra).

A atividade da ascorbato peroxidase (APX) foi determinada segundo a metodologia proposta por Nakano e Asada (1981). Para o ensaio, alíquotas de 25 uL do extrato enzimático foram adicionados a 25 uL de água ultrapura e 900 uL do tampão fosfato de potássio (111 mM; pH 7,0), 50 µL de ácido ascórbico (10 mM). Para a leitura foi adicionado 50 uL de H₂O₂ (30 mM) a 290 nm por 3 minutos em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra).

2.4. Delineamento experimental e análise estatística

Foi adotado o delineamento estatístico Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial 2x2x4. Sendo dois grupos funcionais com base na densidade de madeira (Baixa densidade de madeira e Alta densidade de madeira) duas espécies representando cada grupo e quatro níveis crescentes de condutividade elétrica com cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e análise de variância (ANOVA). Esta análise envolveu a comparação das médias do fator qualitativo (espécies e grupos funcionais) pelo teste de tukey (5%) e o ajuste de modelos polinomiais de regressão para o fator quantitativo (níveis de condutividade elétrica). A Análise de Componentes Principais (ACP) foi realizada para analisar potenciais agrupamentos das variáveis. Para todas as análises foi utilizado o pacote de software RStudio (ExpDes.pt) versão: 2022.11.04-20. Os gráficos foram gerados no SigmaPlot versão 15.

3. RESULTADOS

Houve influência do aumento da salinidade em todos os parâmetros morfofisiológicos e bioquímicos analisados, entretanto, as respostas variaram em função dos diferentes grupos funcionais. O grupo de alta de densidade de madeira (ADM) apresentou elevada condutância estomática, grande variação do potencial hídrico do horário da manhã para a tarde, maiores valores de $\Delta F/F_m'$, qP, ETR, número de folhas, maior acúmulo de íons salinos nas folhas, quando comparado com espécies de baixa densidade de madeira (BDM). Por outro lado, espécies BDM apresentaram baixa condutância estomática, potencial hídrico mais estável, maiores valores de NQP, altura, diâmetro do caule, comprimento de raiz, massa fresca e seca da parte aérea e raiz, maior

acúmulo de íons em caule e raiz, e maior atividade enzimática, quando comparado com espécies ADM.

3.1. Condutividade elétrica do solo

Ao final do experimento a condutividade elétrica (CE) referente aos diferentes tratamentos aumentou significativamente, de duas a 20 vezes mais em relação à salinidade inicial do solo ($0,29 \text{ dS m}^{-1}$), conforme os tratamentos salinos (Fig. 2).

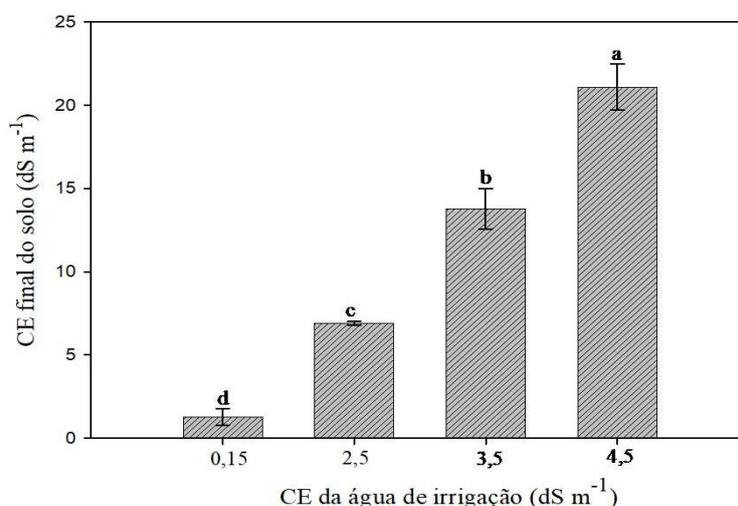


Fig. 2. Valores de condutividade elétrica (CE) do solo, obtidos ao final do experimento, nos diferentes tratamentos de salinidade aplicados durante 90 dias.

3.2. Respostas Fisiológicas

Houve interação significativa entre os fatores analisados ($p < 0,01$) e foi encontrado comportamento similar entre espécies de mesma densidade de madeira (Fig. 3).

A salinidade afetou negativamente a g_s das espécies nos dois horários analisados, entretanto houve variação entre os grupos funcionais (Fig. 3 A e B). O grupo ADM apresentou elevada condutância estomática pela manhã (400 a $200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a tarde (310 a $130 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), ao contrário das espécies BDM, que apresentaram condutância inferior a $200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em ambos os horários (Fig. 3 A e B).

No período da manhã, a temperatura foliar foi mais elevada de acordo com o aumento da salinidade, entretanto com variação entre os grupos (Fig. 3 C e D). No grupo

ADM a temperatura foliar variou de 35°C a 39°C (Fig. 3 C e D), enquanto as espécies BDM mantiveram as temperaturas foliares relativamente estáveis (39°C à 38°C).

O aumento da salinidade provocou redução no Ψ_{xilema} de todas as espécies, entretanto diferiu entre os grupos funcionais e entre os horários avaliados (Fig. 3 E e F). Do horário da manhã para a tarde, observou-se que espécies BDM apresentaram baixa variação do Ψ_{xilema} (30%), enquanto espécies ADM apresentaram grande variação (70%) (Fig. 3 F).

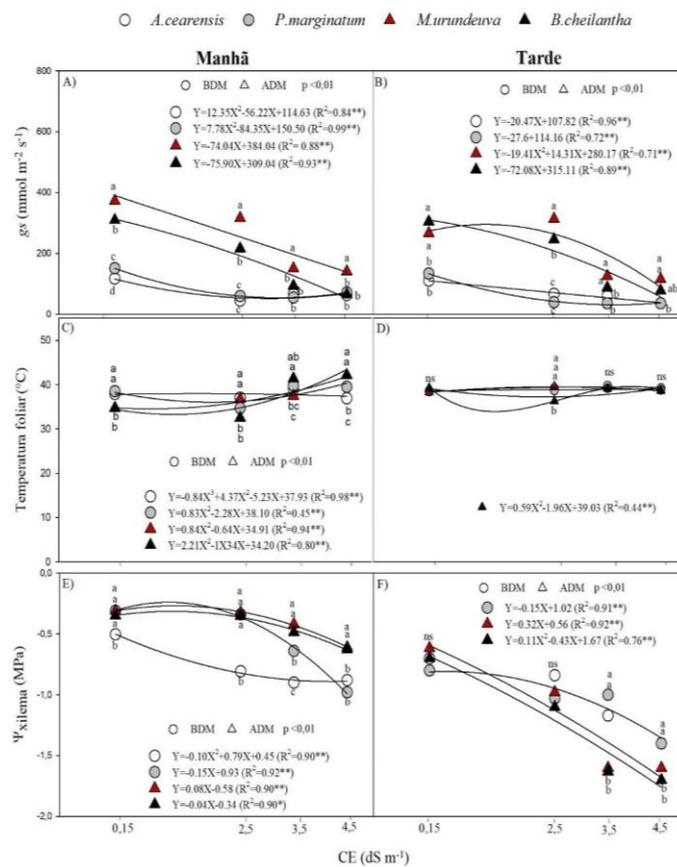


Fig. 3. Valores de A-B) condutância estomática (g_s); C-D) temperatura foliar e E-F) potencial hídrico (Ψ_{xilema}) dos diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga (ADM- alta densidade de madeira e BDM- baixa densidade de madeira) submetidas a diferentes níveis de condutividades elétricas (CE). Letras diferentes indicam diferença estatística entre espécies no nível de salinidade.

As respostas de eficiência dos parâmetros fotoquímicos da clorofila *a*, variaram em função dos diferentes grupos funcionais de plântulas (Fig. 4). Em ambos os níveis salinos, observou-se que espécies do grupo ADM apresentaram maiores valores de

$\Delta F/F_m'$ (1,2 a 0,5), maior qP (0,4) e maior ETR (80), quando comparado com espécies do grupo BDM, que apresentou baixos valores dessas variáveis (Fig. 4 A, B, C, D, G e H). Por outro lado, o grupo BDM apresentou maiores valores de NPQ (2 a 3) nas diferentes DFFF, indicando maior dissipação de energia na forma de calor no PSII, especialmente *A. cearensis* (1,5 a 3) (Fig. 4 E e F). Quando comparado os tratamentos controle de menor CE (0,15 dS m⁻¹), e de maior CE (4,5 dS m⁻¹), observou-se que somente a ETR no maior nível salino foi influenciada negativamente (Fig. 4 G, H).

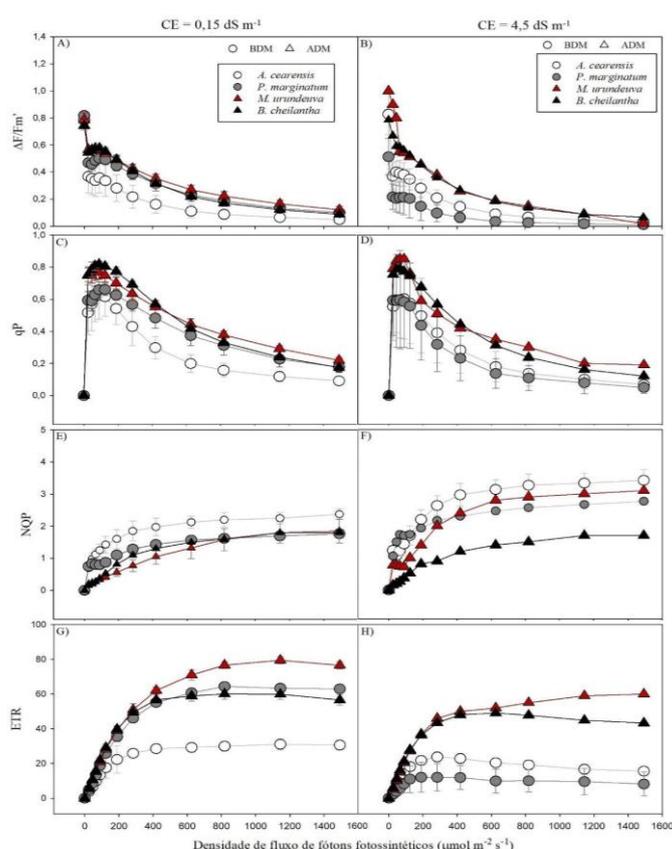


Fig. 4. Curva de Luz de parâmetros fotoquímicos em resposta à densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) apresentando os parâmetros de: A-B) eficiência quântica efetiva do fotossistema II ($\Delta F/F_m'$); C e D) quenching fotoquímico (qP); E-F) quenching não fotoquímico (NPQ) e G-H) taxa de transporte de elétrons (ETR) em grupos funcionais de plântulas (BDM- baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira) submetidas a dois níveis de condutividades elétricas da água de irrigação (CE).

Houve interação significativa para os teores de sais ($p < 0,01$) e diferença estatísticas entre os grupos em algumas variáveis analisadas (Fig. 5). O teor de K^+ , para o grupo ADM, aumentou conforme a salinidade em folhas e caules, sendo esse aumento três vezes maior nas folhas (Fig. 5 A-C). Ao contrário, as espécies BDM reduziram o teor de K^+ em todos os órgãos, com o aumento da salinidade (Fig. 5 A-C).

Os teores de Na^+ e Cl^- aumentaram conforme a elevação da salinidade nos diferentes órgãos. O grupo BDM apresentou maior teor de Na^+ especialmente na raiz (44,4%) e Cl^- no caule (13,6%) e raiz (45%), em comparação ao grupo ADM, que apresentaram valores mais elevados desses íons nas folhas (18% e 52,5%) (Fig. 5 D-I).

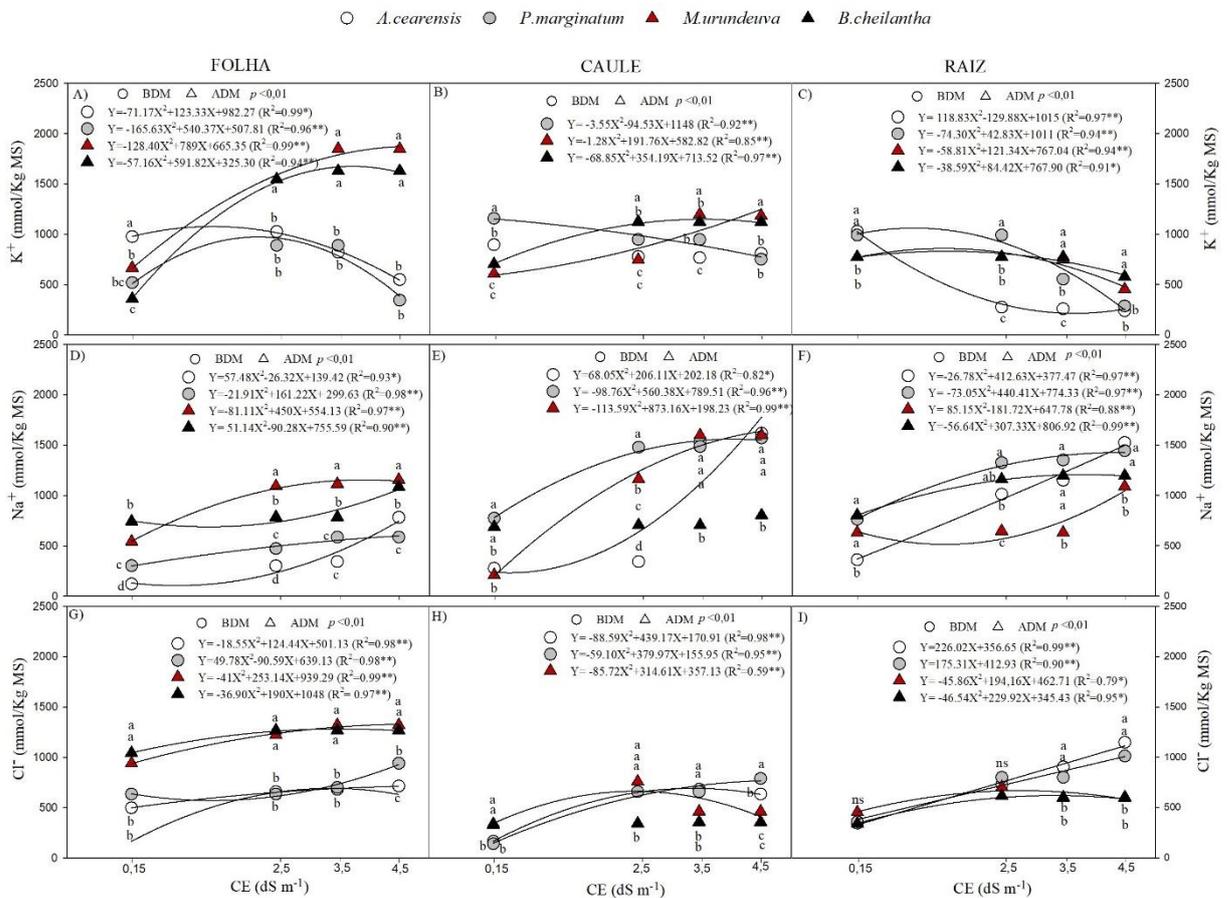


Fig. 5. Teores de A, B e C) Potássio (K^+); D, E e F) Sódio (Na^+) e G, H e I) Cloro (Cl^-) de folhas, raízes e caules pertencentes a diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga (BDM – baixa densidade de madeira; ADM – alta densidade de madeira), submetidos a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre as espécies no nível salino.

3.3. Respostas de crescimento e biomassa

Houve interação significativa entre os fatores analisados e redução dos parâmetros biométricos com aumento da salinidade (Fig. 6 e 7). Houve diferença significativa entre os dois grupos em alguns parâmetros analisados $p < 0,01$. Apenas as espécies ADM apresentaram valores semelhantes nos diferentes níveis salinos (Fig. 6 A). Esse grupo apresentou maior número de folhas (14 a 15) e menores valores de diâmetro do caule (1,5 a 3,0 mm) e comprimento de raiz (6 a 14cm) em comparação com o grupo BDM (Fig. 6 B, C e D).

Por outro lado, o grupo BDM apresentou maiores valores de diâmetro do caule (4 a 7 mm) e comprimento de raiz (15 a 21cm), embora menor número de folhas (Fig. 6 B, C e D). O aumento da salinidade provocou redução de área foliar e área foliar específica de todas as espécies (Fig. 6 E e F). Entretanto sem padrão claro entre espécies do mesmo grupo funcional.

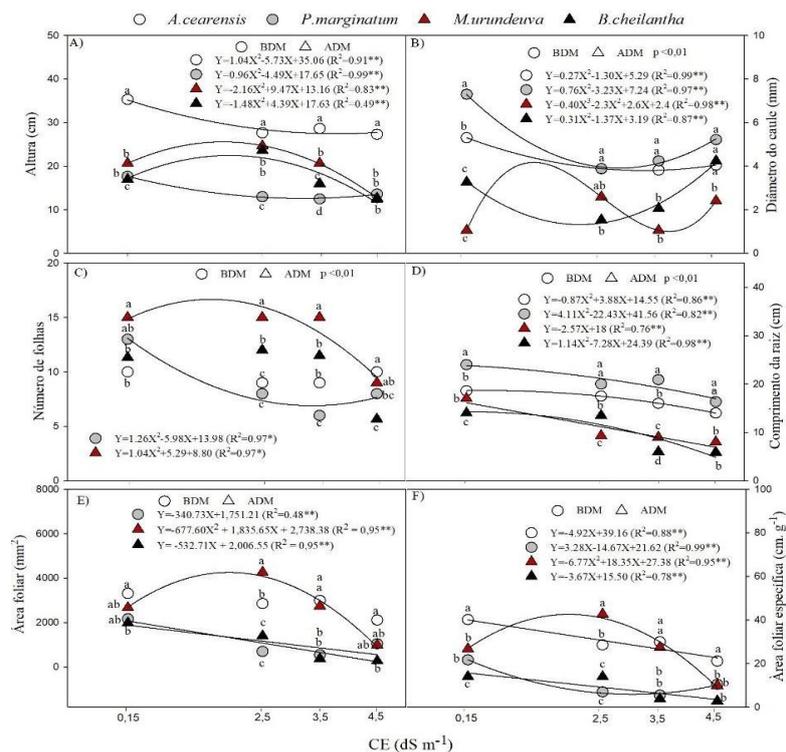


Fig. 6. Respostas biométricas de A) Altura; B) Diâmetro do caule; C) Número de folhas; D) Comprimento da raiz; E) Área foliar e F) Área foliar específica, de diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga (ADM- alta densidade de madeira e BDM- baixa densidade de madeira) submetidas a diferentes níveis de condutividades elétricas da água de irrigação (CE).

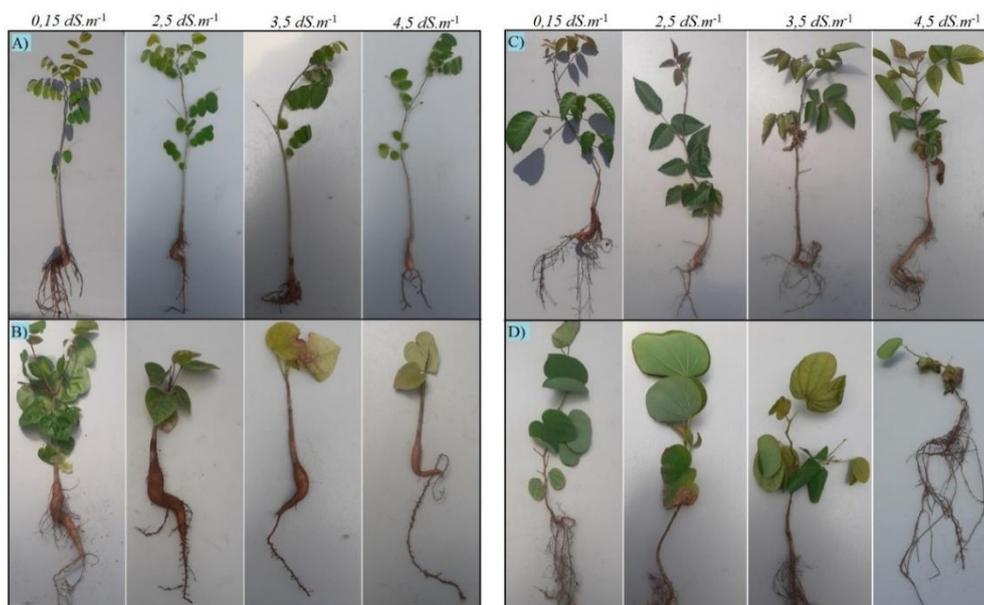


Fig. 7. Imagens de espécies BDM: A) *A. cearensis*, B) *P. marginatum*, e ADM: C) *M. urundeuva* e D) *B. cheilantha*, submetidas a diferentes níveis de condutividades elétricas da água de irrigação.

O aumento da salinidade reduziu os parâmetros de biomassa, entretanto com variação entre as espécies e grupos (Fig. 8). Os maiores valores de massa fresca da parte aérea foram observados para a espécie BDM (*P. marginatum*) (Fig. 8 A), assim como a maior massa fresca da raiz foi registrada nesse grupo (Fig. 8 B).

As espécies BDM apresentaram maiores valores de massa seca da parte aérea (33,33%) e raiz (288,89%), quando comparadas com espécies ADM (Fig. 8 C e D). Entretanto, com o aumento da salinidade as espécies BDM apresentaram grande redução de matéria seca (Fig. 8).

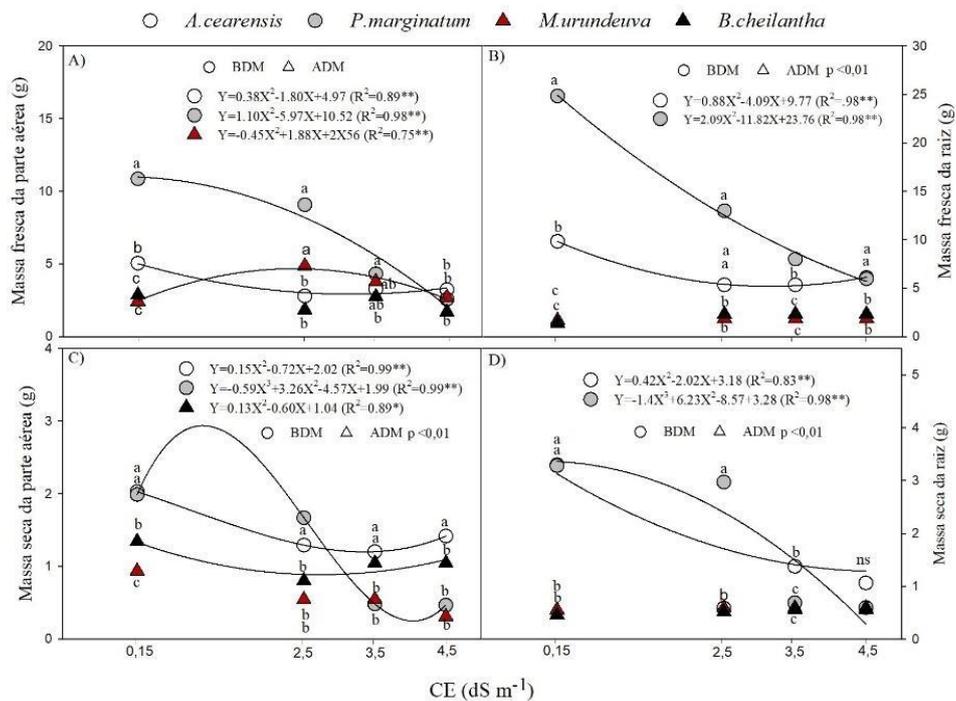


Fig. 8. Valores de A) Massa fresca da parte aérea; B) Massa fresca da raiz; C) Massa seca da parte aérea e D) Massa seca da raiz de grupos funcionais de plântulas da Caatinga (BDM- baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira) submetidas a diferentes níveis de condutividades elétricas da água de irrigação (CE).

A relação raiz/parte aérea mostrou diferenças estatísticas entre as espécies (Fig. 9). Espécies BDM apresentaram valores elevados nos diferentes níveis salinos, entretanto, *M. urundeuva* (ADM) aumentou a relação raiz/parte aérea com o aumento da salinidade (Fig. 9).

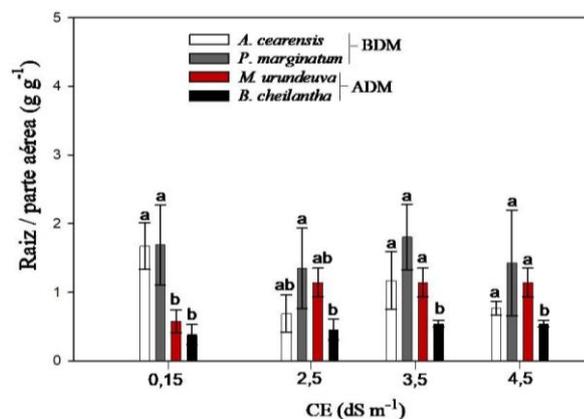


Fig. 9. Razão raiz/parte aérea (massa seca) de espécies arbóreas de diferentes grupos funcionais submetidas a diferentes níveis de condutividades elétricas. A letra sobre as barras indica diferenças estatísticas entre as espécies no nível de salinidade.

Com relação à tolerância das plantas aos níveis de salinidade observou-se que espécies BDM variaram de sensíveis a moderadamente sensíveis. Enquanto espécies ADM variam de tolerantes a moderadamente tolerantes (Tabela 2).

Tabela 2. Percentual de redução na massa seca total de quatro espécies lenhosas nativas da Caatinga sob gradiente de salinidade do solo.

Espécies	Redução de produção de matéria seca (%)		
	2,5 (dS m ⁻¹)	3,5(dS m ⁻¹)	4,5 (dS m ⁻¹)
<i>A. cearensis</i>	64 ^S	51,5 ^{MS}	53,4 ^{MS}
<i>P. marginatum</i>	79,8 ^S	42,6 ^{MS}	77,8 ^S
<i>M. urundeuva</i>	30 ^{MT}	29 ^{MT}	29 ^{MT}
<i>B. cheilantha</i>	26 ^{MT}	10,7 ^T	10,8 ^T

*T=tolerante; MT= moderadamente tolerante; S= sensível e MS= moderadamente sensível a salinidade.

3.4. Atividade Enzimática

A elevação da salinidade provocou aumento das enzimas antioxidantes CAT e APX, em todas as espécies estudadas (Fig. 10), entretanto, houve interação significativa apenas na atividade de CAT ($p < 0,01$) (Fig. 10 A). Os resultados mostraram que o grupo BDM apresentou uma maior atividade enzimática APX (45,45%) em relação as ADM (Fig. 10 B).

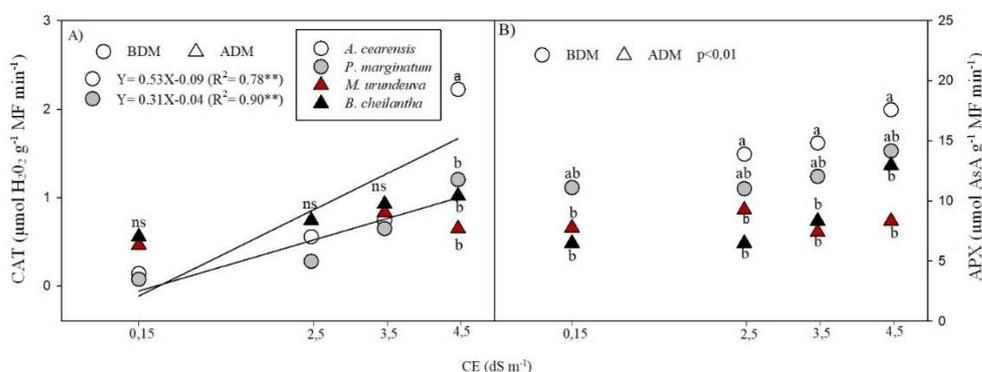


Fig. 10. Atividade enzimáticas A) Catalase (CAT) e B) Ascorbato peroxidase (APX), de diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga (BDM – baixa densidade de madeira; ADM – alta densidade de madeira), submetidos a diferentes condutividades

elétricas da água de irrigação. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre as espécies no nível salino.

3.5. Análise de Componentes Principais (PCA)

A PCA explicou 52,8% da variância dos dados para os grupos funcionais (Fig. 11 A). Foi encontrado uma maior significância das variáveis para o grupo ADM no eixo 1 com 31,4% de variância dos dados, sendo que as variáveis mais representativas foram g_s , potencial hídrico, parâmetros fotossintéticos e teores de sais em folhas, enquanto para o grupo BDM houve melhor representação no eixo 2 com 21,6% da variância, sendo que variáveis de crescimento, acúmulo de sais em caule e raiz, e atividade enzimática apresentaram forte correlação com esse grupo, enquanto para o grupo. Para os níveis salinos, a PCA explicou 51,2% da variância dos dados (Fig. 11 B). Nota-se que, as variáveis de crescimento foram mais correlacionadas com o tratamento controle, enquanto as outras variáveis foram correlacionadas fortemente com o aumento dos níveis salinos (material suplementar).

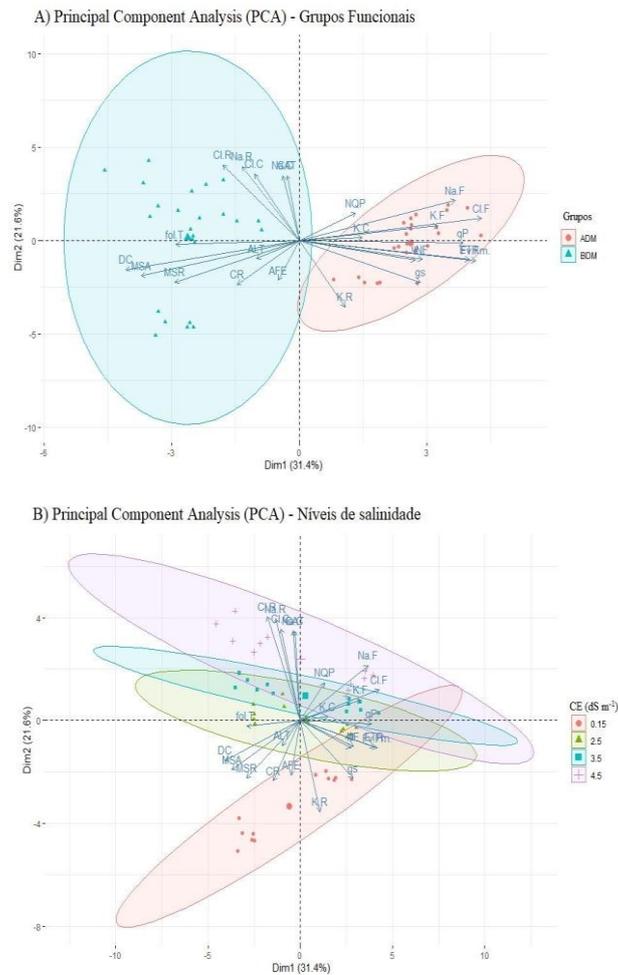


Figura 11. Análise de Componentes Principais (ACP). A) agrupamentos das variáveis de diferentes grupos funcionais de planta e B) Agrupamento das variáveis nos diferentes níveis de condutividade elétrica (CE). T°Cfol= Temperatura foliar, Ψ = potencial; gs= Condutância estomática; ALT= Altura; DC= Diâmetro do caule; NF= Número de folhas; CR= Comprimento de raiz; MSAE= Massa seca da parte aérea; MSR= Massa seca da raiz; AFE= Área foliar específica; Fv/Fm'=eficiência do fotossistema II; qP=quenching fotoquímico; NQP= quenching não fotoquímico; ETR= taxa de transporte de elétrons (ETR); K+F= potássio na folha; K+C= Potássio no caule; K+R= potássio na raiz; Na+ F= Sódio na folha; Na+ C= Sódio no caule; Na+ R= Sódio na raiz; Cl- F= Cloro na folha; Cl- C= cloro no caule; Cl- R= Cloro na raiz; APX= Superóxido dismutase e CAT= Catalase.

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mostraram que o aumento da salinidade influenciou negativamente os parâmetros analisados, entretanto, as respostas variaram entre os dois grupos funcionais em diferentes caminhos. O grupo ADM apresentou grande redução no potencial hídrico no período da tarde, momento de maior estresse e apresentou elevada condutância estomática em comparação com espécies BDM. O elevado teor de K^+ nas folhas desse grupo pode ter favorecido a maior condutância estomática em condições salinas, uma vez que o K^+ está diretamente ligado à abertura estomática, facilitando a perda de vapor de água (Wigoda *et al.*, 2014). Entretanto, devido ao efeito osmótico provocado pelo acúmulo de íons salinos, quanto maior a perda de vapor de água, mais negativo o potencial hídrico (Mukhopadhyay *et al.*, 2021).

Por outro lado, as espécies BDM apresentaram baixa condutância estomática e potencial hídrico mais estável. O fechamento estomático em condições de estresse desempenha um papel adaptativo, pois controla o fluxo de água (Mukhopadhyay *et al.*, 2021), mantém o turgor celular minimizando o efeito osmótico e mantendo o potencial hídrico mais elevado (Munns, 2020). Em outras condições ambientais, também foi observado que espécies BDM tendem a apresentar uma maior regulação na abertura dos estômatos em condições estressantes (Wright *et al.*, 2021; Fagundes *et al.*, 2022). Essa resistência à perda de água é importante em espécies BDM que são hidraulicamente mais vulneráveis ao estresse intenso (Brito *et al.*, 2022).

As melhores respostas de uso da água observadas no grupo ADM certamente influenciaram a maior eficiência fotoquímica em relação ao grupo BDM. A perda de vapor de água em plantas estressadas garante resfriamento foliar e uma alta eficiência quântica que preserva a integridade do aparato fotossintético (Krüger; Van Grondelle, 2017). Vale ressaltar que aquele grupo apresentou uma elevada quantidade de folhas, o que pode ter mantido melhor distribuição dos recursos e energia, que garante maior capacidade de recuperação ao estresse salino (Krüger; Van Grondelle, 2017). No estudo de Nogueira *et al.* (2020), foi observado que a quantidade de folhas em plantas de *Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir., que possuem alta densidade de madeira, não sofreu influência da salinidade, suportando até $4,5 \text{ dS m}^{-1}$. Para o grupo BDM foi observado uma baixa eficiência fotoquímica, que pode estar relacionada com a baixa da condutância estomática desse grupo, que reduz a entrada de CO_2 para a fotossíntese, afetando eficiência fotoquímica. Além disso, a baixa perda de vapor de água em condições de estresse

umenta a temperatura foliar, causando desequilíbrio osmótico e danos na membrana celular (Gururani; Venkatesh; Tran, 2015; Taiz; Zeiger, 2016; Cobra; Junior; Santos, 2021).

A baixa eficiência fotoquímica para o grupo BDM também pode estar relacionada com o acúmulo de íons de Na^+ e Cl^- , especialmente, no caule e raiz observados nesse grupo. O elevado teor de Na^+ no caule e raiz favorece a inibição de K^+ , levando ao comprometimento de eficiência fisiobioquímica, devido à redução na abertura estomática e redução na absorção de CO_2 (Methenni *et al.*, 2018; Sanwal *et al.*, 2022). Os resultados demonstraram que espécies BDM podem apresentar mecanismos de recirculação do íons de Na^+ e Cl^- , pois quando atinge a folha, precisam ser rapidamente redistribuído de forma a não prejudicar nenhum processo metabólico (Davenport *et al.*, 2007; Fujimaki *et al.*, 2015). Entretanto, esses efeitos podem ser prejudiciais ao desenvolvimento de espécies produtoras de raízes tuberosas, uma vez que o acúmulo de sais afeta diretamente o desenvolvimento desses órgãos (Pereira *et al.*, 2023). Esse maior acúmulo de Na^+ e Cl^- em raízes e caule podem demonstrar que o mecanismo para enfrentar o excesso de íons nesse grupo é um processo complexo (Martínez-Alcántara *et al.*, 2015; Herdean *et al.*, 2016).

Para o grupo ADM, foi observado que os íons K^+ , Na^+ e Cl^- foram mais acumulados nas folhas, o que pode estar relacionado a maior perda de água que ocorreu para esse grupo. Entretanto, mesmo com esse comportamento, o grupo apresentou menores danos no aparato fotossintético. Estudos mostram que é possível que as espécies tolerantes possam acumular até 40 a 50 g kg^{-1} de cloreto sem manifestar qualquer sintoma de toxicidade (Gheyi *et al.*, 2016). Em um estudo realizado por Mancarella *et al.* (2016) com *Ocimum bacilicum*, mostraram que o acúmulo Na^+ nas folhas favoreceu a adaptação ao estresse salino e preservou a funcionalidade do fotossistema graças aos mecanismos de exclusão de sais. Portanto, é provável que as espécies ADM apresentam processos de exclusão de sais através da renovação das folhas (Jesus *et al.*, 2024, dados não publicados, Himabindu *et al.*, 2016).

Apesar do grupo ADM apresentar melhores respostas fisiológicas e fotoquímicas, as espécies do grupo BDM apresentaram melhores resultados das variáveis de crescimento e biomassa. Em condições ambientais naturais Souza *et al.* (2020) ressaltam que espécies BDM tendem a apresentar respostas de crescimento mais rápido do que as espécies ADM. A maior regulação estomática registrada em espécies BDM podem manter o turgor celular, garantindo maior biomassa e o rápido crescimento vegetal em

condições desfavoráveis (Haque *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2018; Munns, 2020). Aliado a isso, o maior comprimento de raiz registrado nesse grupo viabilizou uma maior exploração do solo. Esse comportamento demonstra que espécies BDM buscam “evitar” as consequências do estresse, tendo em vista que a madeira desse grupo é menos densa e mais susceptível ao estresse elevado (Begg; Turner, 1976; Brito *et al.*, 2022). No estudo de Santos *et al.* (2024) demonstrou que *A. cearensis* exibiu elevado acúmulo de biomassa, podendo se estabelecer em condições de baixa salinidade.

Por outro lado, os menores valores de crescimento em espécies ADM quando comparado com as BDM, podem estar relacionados a maior perda de água e acúmulo de íons de Na^+ e Cl^- nas folhas observados nesse grupo. A elevada perda de vapor de água implica no acúmulo de íons tóxicos, o que pode inibir o crescimento do vegetal devido à desidratação e redução do potencial hídrico (Ran *et al.*, 2021). Além disso, é característico desse grupo apresentar paredes celulares mais espessas e tecidos mais resistentes, podendo proporcionar crescimento mais lento (Wright *et al.*, 2021; Brito *et al.*, 2022) e possibilitar baixa variação de acúmulo de biomassa com aumento do estresse, como observado no estudo de Santos *et al.* (2021), que uma espécie da Caatinga de alta densidade de madeira, sofreu pouca variação de crescimento e biomassa com aumento do estresse salino.

A redução de crescimento em função do aumento da salinidade provocou a redução na área foliar específica de todas as espécies. Entretanto, não foi observado um padrão de resposta em espécies com mesma densidade de madeira. A redução da área foliar específica e área foliar ocorre como uma resposta à redução de crescimento e varia em função das características específicas de cada espécie vegetal (Rangani *et al.*, 2016). Em espécies decíduas a área foliar é um traço funcional que é extremamente afetada pela salinidade (Singh *et al.*, 2018; Bem *et al.*, 2023), podendo variar entre espécies pertencentes ao mesmo grupo funcional (Silva *et al.*, 2014).

Ambos os grupos apresentaram valores elevados de Ascorbato Peroxidase (APX) e Catalase (CAT) com as doses crescentes de sais na água. Esse aumento de mecanismos enzimáticos na planta pode atenuar, neutralizar ou eliminar o estresse oxidativo causado pelas EROs (Seneviratne *et al.*, 2019; Naing; Kim, 2021), e aliviar os efeitos negativos da salinidade especialmente no aparato fotossintético (Wei *et al.*, 2021).

No presente estudo, foi demonstrado que o grupo ADM apresentou baixa variação da massa seca com o aumento da salinidade, classificando o grupo como tolerante à salinidade, enquanto o grupo BDM foi moderadamente sensível, devido à grande redução

de massa seca com aumento de salinidade. A tolerância da planta depende da habilidade em controlar o transporte de sal (Willadino *et al.*, 2010) como: seletividade no processo de absorção pelas células das raízes; carregamento do xilema preferencialmente com K^+ mais do que com Na^+ e remoção do sal do xilema das raízes e caule (Willadino *et al.*, 2010). Essas características foram evidenciadas em espécies ADM. Observou-se ainda que, com o aumento da salinidade ocorre variação de sensibilidade das espécies, sendo algumas melhoradas com o estresse. A variação de estratégias adaptativas em espécies da Caatinga é comum de ocorrer, tendo em vista a variação da pressão ambiental em que estão submetidas, o que exige que muitas espécies desenvolvam capacidade plásticas para sobreviver (Fritzsos *et al.*, 2017).

Os resultados desses estudos indicaram que a salinidade provocou decréscimos na maioria das variáveis analisadas. Entretanto, a PCA sugeriu que diferentes grupos funcionais apresentaram diferentes processos de tolerância à salinidade, que podem garantir sua sobrevivência em ambientes salinizados (Wei *et al.*, 2021). Portanto, os resultados desse estudo confirmam a hipótese levantada, de que espécies ADM apresentam mecanismos que permitem uma maior tolerância em ambientes salinizados, enquanto espécies BDM apresentam maior sensibilidade ao estresse. Esses resultados ajudam a identificar espécies com grande potencial adaptativo à salinidade e auxilia na tomada de decisão em atividades de reflorestamento diante das mudanças ambientais.

5. CONCLUSÃO

Os diferentes grupos funcionais divergem no processo de tolerância ao estresse salino. O grupo das espécies de alta densidade de madeira (ADM) apresentam estratégias que garante uma maior tolerância ao estresse salino, enquanto o grupo das espécies de baixa densidade de madeira (BDM) foram classificadas como sensíveis ao estresse. Portanto, o grupo ADM é uma alternativa eficaz para recuperação de áreas salinizadas, enquanto a utilização de espécies BDM deve ser priorizada em áreas menos salinizadas. Assim os grupos funcionais devem ser considerados em estudos futuros, a fim de compreender os impactos das alterações ambientais na estruturação das comunidades vegetais.

6. REFERÊNCIAS

- ALVES, A.R.M.; MENDES, M.A.; JOKO, C.Y.; DELGADO, M.N. Effect of expansion time and sunlight radiation on the functional and anatomical traits of mango tree leaves. *Revista Agrogeoambiental*, v. 9, n. 4, p. 69–81, 2018. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v9n420171007>
- ASSAHA, D.V.M.; UEDA, A.; SANEOKA, H.; AL-YAHYAI, R.; YAISH, M.W. The Role of Na⁺ and K⁺ Transporters in Salt Stress Adaptation in Glycophytes. *Front Physiol*, v. 18, n. 8, p. 509, 2017. [doi: 10.3389/fphys.2017.00509](https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00509)
- BATISTA, D.C.; KLITZKE, R.J.; SANTOS, C.V.T. Basic density and retractibility of wood clones of three eucalyptus species. *Ciência Florestal*, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010. <https://doi.org/10.5902/198050982425>
- BEGG, J.E.; TURNER, N.C. Crop water deficits. *Advances in Agronomy San Diego*, v. 28, p. 161-217, 1976. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60464-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60464-2)
- BEM, B.L.; HADDOCK, L.M.; PENNINGTON, S.C.; SEZEN, U.U.; SHUE, J.; MEGONIGAL, P. Salinity exposure affects lower-canopy specific leaf area of upland trees in a coastal deciduous forest. *Forest Ecology and Management*, v. 548, n. 3, p. 121-404, 2023. [Doi: 10.1016/j.foreco.2023.121404](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121404)
- BESSA, M.C.; LACERDA, C.F.; AMORIM, A.V.; BEZERRA, A.M.E.; LIMA, A.D. Mechanisms of salt tolerance in seedlings of six woody native species of the Brazilian semi-arid. *Rev.Cienc. Agron*, v. 48, n. 1, p. 157–165, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170018>
- BHARTI, N.; BARNAWAL, D. Amelioration of salinity stress by PGPR: ACC deaminase and ROS scavenging enzymes activity. In *PGPR amelioration in sustainable agriculture*, pp. 85–106, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815879-1.00005-7>
- BORCHERT, R.; RIVERA, G.; HAGNAUER, W. Modification of vegetative phenology in a tropical semi-deciduous forest by abnormal drought and rain. *Biotropica*, v. 34, p. 27-39, 2002. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2002.tb00239.x>
- BRITO, N.D.; MEDEIROS, M.J.S.; SOUZA, E.S.; LIMA, A.L.A. Drought response strategies for deciduous species in the semiarid Caatinga derived from the interdependence of anatomical, phenological and bio-hydraulic attributes. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 288, 152-099, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2022.152009>
- BURMESTER, L.P.; QUANDT, F.L.; JÚNIOR, J.C.F.M. Determinação de grupos funcionais para a gestão da conservação de remanescentes da floresta atlântica. *Revista Estudo & Debate, Lajeado*, v. 29, n. 1, 2022. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-036X.v29i1a2022.2863>
- CÁRDENAS-PÉREZ, S.; NIEDOJADLO, K.; MIERIK-ADAMSKA, A.; G. B. DĄBROWSKA.; A. PIERNIK. Maternal salinity influences anatomical parameters, pectin content, biochemical and genetic modifications of two *Salicornia europaea*

populations under salt stress. *Scientific Reports*, v. 12, n. 1, p. 29-68, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06385-3>

CASAROLI, D.; LIER, Q.G.V. Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 1, p. 59–66, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100007>

CASTRO, F.C.; SANTOS, A.M. Salinity of the soil and the risk of desertification in the semiarid region. *Mercator, Fortaleza*, v. 19, p. 19002, 2020. <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19002>.

CHATURVEDI, R.K.; RAGHUBANSHI, A.S.; SINGH, J.S. Plant functional traits with reference to tropical deciduous forests: A review. *Journal of Biosciences*, v. 36, n. 5, p. 963-81, 2011. doi: [10.1007/s12038-011-9159-1](https://doi.org/10.1007/s12038-011-9159-1).

COBRA, M.M.; JUNIOR, K.S.F.; SANTOS, R.T. Fotoprotetor em mudas de café arábica. *Revista Ciência Agrícola*, v. 18, n. 2, 2020. <https://doi.org/10.28998/rca.v18i2.7267>

COLTO-SANTOS, A.P.L.; MIRANDA, L.D.P.; ROSSATTO, D.R.; FUNCH, L.S. Functional diversity of plant communities at edge and interior of a submontane Atlantic Forest: greater functional than compositional stability. *Rodriguésia*, v. 72, e00352019, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202172022>

DAVENPORT, R.J.; MUÑOZ-MAYOR, A.; JHA, D.; ESSAH, P.A.; RUS, A.; TESTER, M. The Na⁺ transporter AtHKT1 control retrieval of Na⁺ from the xylem in Arabidopsis. *Plant Cell Environ*, v. 30, n. 4, p. 497–507, 2007. doi: [10.1111/j.1365-3040.2007.01637.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01637.x)

DUTRA, T.R.; MASSAD, M.D.; MOREIRA, P.R.; RIBEIRO, E.S.M. Efeito da salinidade na germinação e crescimento inicial de plântulas de três espécies arbóreas florestais. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 37, n. 91, p. 323–330, 2017. doi: [10.4336/2017.pfb.37.91.1447](https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.91.1447).

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2005. Análise de Solo. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1354346/17477991/Amostragem+solo/9d72a599-d653-4a4a-9d40-d17657f1f8f0>

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de solos, 3º ed. Revista e Ampliada, Brasília. Disponível em: <https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00053080.pdf>

FAGUNDES, M.V.; SOUZA, A.F.; OLIVEIRA, R.S.; GANADE, G. Functional traits above and below ground allow species with distinct ecological strategies to coexist in the largest seasonally dry tropical forest in the Americas. *Sec. Tropical Forests*, v. 5, 2022. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.930099>

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. (ed.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCT Sal, cap. 13, p. 205-218, 2010. Disponível em: <https://ppgea.ufc.br/wp-content/uploads/2018/04/manejo-da-salinidade-na-agricultura.pdf>

FRANÇA, G.M.; FREIRE, A.L.O.; FERREIRA, C.D.; BAKKE, I.V.; FRANÇA, D.R.S.F. Gas exchange and initial growth of *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. plants under salinity conditions: Trocas gasosas e crescimento inicial de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) mantidas sob condições de salinidade. Concilium, v. 23, n. 2, p. 555–569, 2023. <https://doi.org/10.53660/CLM-792-23A47>

FRITZSONS, E.; WREGE, M. S.; MANTOVANI, L. E. Climatic factors for limiting araucaria distribution in São Paulo state. Scientia Forestalis, v. 45, p. 116, 2017.

FUJIMAKI, S.; MARUYAMA, T.; SUZUI, N.; KAWACHI, N.; MIWA, E.; HIGUCHI, K. Base to tip and long-distance transport of sodium in the root of common reed (*Phragmites australis* Cav.) Trin. ex Steud.] at steady state under constant high-salt conditions. Plant Cell Physiol, v. 56, p. 943–950, 2015. doi: [10.1093/pcp/pcv021](https://doi.org/10.1093/pcp/pcv021).

GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. 2016 (ed.) Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35155/1/Efeitos0002.pdf>

GONZÁLEZ-ALCARAZ, M.N.; JIMÉNEZ-CÁRCELES, F.J.; ÁLVAREZ, Y., ÁLVAREZ-ROGEL, J. Gradients of soil salinity and moisture, and plant distribution, in a Mediterranean semiarid saline watershed: A model of soil-plant relationships for contributing to the management. Catena, v. 115, p. 150–158, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.011>

GURURANI, M.A.; VENKATESH, J.; TRAN, L.S.P. Regulation of photosynthesis during abiotic stress-induced photoinhibition. Molecular Plant, v. 8, n. 9, p. 1304-1320, 2015. doi: [10.1016/j.molp.2015.05.005](https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.05.005)

HAQUE, M.A.; RAHMAN, M.M.; NIHAD, A.I.; MAHMUDUL, H.A.M.; RUHUL, A.H.M. Morpho-physiological response of *Acacia auriculiformis* as influenced by seawater induced salinity stress. Forest. Syst, v. 25, n. 3, p. e071–e071, 2016. doi: [10.5424/fs/2016253-09386](https://doi.org/10.5424/fs/2016253-09386)

HAVIR, E.A.; MCHALE, N.A. Biochemical and Developmental Characterization of Multiple Forms of Catalase in Tobacco Leaves. Plant Physiology, v. 84, n. 2, p. 450-455, 1987. doi: [10.1104/pp.84.2.450](https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450)

HERDEAN, A.; NZIENGUI, H.; ZSIROS, O.; SOLYMOSI, K.; CARAB, G.; LUNDIN, B.; SPETEA, C. The Arabidopsis thylakoid chloride channel AtCLCe functions in chloride homeostasis and regulation of photosynthetic electron transport. Front Plant Sci, v. 7, p. 115, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00115>

HIMABINDU, Y.; CHAKRADHAR, T.; REDDY, M.C.; KANYGIN, A.; REDDING, K.E.; CHANDRASEKHAR, T. Salt-tolerant genes from halophytes are potential key players of salt tolerance in glycophytes. Environ. Exp. Bot, v. 124, p. 39–63, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.11.010>

KRÜGER, T.P.J.; VAN GRONDELLE, R. The role of energy losses in photosynthetic light harvesting. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, v. 50, n. 13, p. 132001, 2017. [doi: 10.1088/1361-6455/aa7583](https://doi.org/10.1088/1361-6455/aa7583)

LLANES, A.; PALCHETTI, M.V.; VILO, C; IBAÑES, C. Molecular control to salt tolerance mechanisms of woody plants: recent achievements and perspectives. *Annals of Forest Science*, v. 78, n. 96, 2021. [doi:10.1007/s13595-021-01107-7](https://doi.org/10.1007/s13595-021-01107-7)

LIMA, A.L.A.; SAMPAIO, E.V.S.A.B.; CASTRO, C.C.; RODAL, M.J.N.; ANTONINO, A.C.D.; MELO, A.L. Do the phenology and functional stem attributes of woody species allow for the identification of functional groups in the semiarid region of Brazil? *Trees*, v. 26, p. 1605–1616, 2012. [doi: 10.1007/s00468-012-0735-2](https://doi.org/10.1007/s00468-012-0735-2)

LIMA, A.L.A.; RODAL, M.J.N.; CASTRO, C.C.; ANTONINO, A.C.D.; MELO, A.L.; GONÇALVES-SOUSA, T.; SAMPAIO, E.V.S.B. Phenology of high- and low-density wood deciduous species responds differently to water supply in tropical semiarid regions. *Journal of Arid Environments*, n. 193, p. 104-594, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104594>

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba: POTAFOS. pp. 201.

MANCARELLA, S.; ORSINI, F.; VAN OOSTEN, M.; SANOUBAR, R.; STANGHELLINI, C.; KONDO, S.; GIANQUINTO, G.; MAGGIO, A. Leaf sodium accumulation facilitates salt stress adaptation and preserves photosystem functionality in salt stressed *Ocimum basilicum*. *Environ. Exper. Bot*, 130, p. 162–173, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.06.004>

MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; MARTÍNEZ-CUENCA, M.R.; QUIÑONES, A.; IGLESIAS, D.J.; PRIMO-MILLO, E.; FORNER-GINER, M.A. Comparative expression of candidate genes involved in sodium transport and compartmentation in citrus. *Environ Exp Bot*. 111, p. 2–62, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.11.002>

MCFARLANE, D.J.; GEORGE, R.J.; BARRETT-LENNARD, E.G.; GILFEDDER, M. Salinity in dryland agricultural systems: Challenges and opportunities. In: Farooq, M., Siddique, K.H.M. (Eds.), *Innovations in Dryland Agriculture*. Springer-Nature, Switzerland, pp. 521–547, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47928-6_19

MELO, Y.L.; GARCIA, R.R.; MACÊDO, C.E.C.; DELGADO, E.A.O.; MAIA, J.M.; ORTEGA-RODÉS, P. Unraveling physiological traits of *Jatropha curcas*, a biodiesel plant, to overcome salinity conditions. *Forest Science, Rev. Caatinga* 332, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n217rc>

METHENNI, K.; ABDALLAH, M.B.; NOUAIRI, I.; SMAOUI, A.; AMMAR, W.B.; ZARROUK, M.; YOUSSEF, N.B. Salicylic acid and calcium pretreatments alleviate the toxic effect of salinity in the Oueslati olive variety. *Scientia Horticulturae*, v. 233, n. 15, p. 349-358, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.060>

MUKHOPADHYAY, R.; SARKAR, B.; JAT, H.S.; SHARMA, P.S.; BOLAN, N. Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security.

Journal of Environmental Management. Academic Press, v. 15, n. 280, p. 111-736, 2021. doi: [10.1016/j.jenvman.2020.111736](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111736)

MUNNS, R.; DAY, D.A.; FRICKE, W.; WATTE, M.; ARSOVA, B.; BARKLA, B.J.; BOSE, J.; BYRT, C.S.; CHEN, Z.H.; FOSTER, K.J.; GILLIHAM, M., *et al.* Energy costs of salt tolerance in crop plants. *New Phytol*, v. 3, p. 1072–1090, 2020. <https://doi.org/10.1111/nph.15864>

NAING, A.H.; KIM, C.K. Abiotic stress-induced anthocyanins in plants: their role in tolerance to abiotic stress. *Physiologia Plant*, v. 172, n. 3, p. 1711-1723, 2021. doi: [10.1111/ppl.13373](https://doi.org/10.1111/ppl.13373)

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>

NOGUEIRA, N.; FREITAS, R.; LEAL, C.; TORRES, S. Estresse salino na emergência e desenvolvimento inicial de plântulas de jurema-branca. *Advances in Forestry Science*, v. 7, n. 3, p. 1081-1087, 2020. <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/8624>

ORLANDI, L.M.O.; CIANCIARUSO, M.V.; SAMIA, D.S.M. Functional diversity: an overview of its history and applicability. *Natureza & Conservação*, v. 13, n. 2, p. 112-116, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.11.001>

PÉREZ-HARGUINDEGUY.; DÍAZ, S.G.E.; GARNIER, E.; LAVOREL, S.; POORTER, H.; JAUREGUIBERRY, P.; BRET-HARTE, M.S.; CORNWELL, W.K.; CRAINE, J.M.; GURVICH, D.E.; URCELAY, C.; VENEKLAAS, E.J.; REICH, P.B., *et al.* New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, v. 61, n. 3, p. 167-234, 2013. doi: [10.1071/BT12225](https://doi.org/10.1071/BT12225)

PEREIRA, F.R.A.; PEREIRA, W.E.; PESSOA, A.M.S.; VASCONCELOS, E.F.A.G. Crescimento inicial de mudas de *Spondia tuberosa* irrigadas com água salina. *Revista JRG de Estudos Acadêmicos*, Brasil, São Paulo, v. 6, n. 12, p. 494–513, 2023. doi: [10.55892/jrg.v6i12.531](https://doi.org/10.55892/jrg.v6i12.531).

PLAUT, Z.; CARMI, A.; GRAVA, A. Cotton root and shoot responses to subsurface drip irrigation and partial wetting of the upper soil profile. *Irrig. Sci.* 16, p. 137-148, 1996. [10.1007/BF02215618](https://doi.org/10.1007/BF02215618)

PURCELL, L.C.; KING, C.A.; BALL, R.A. Soybean cultivar differences in ureides and the relationship to drought tolerant nitrogen fixation and manganese nutrition. *Crop Sci*, v. 40, n. 4, p. 1062-1070, 2000. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4041062x>

RANGANI, J.; PARIDA, A.K.; PANDA, A.; KUMARI, A. Coordinated changes in antioxidative enzymes protect the photosynthetic machinery from salinity induced oxidative damage and confer salt tolerance in an extreme halophyte *Salvadora persica* L. *Front. Plant Sci*, v. 10, n. 7, p. 50, 2016. doi: [10.3389/fpls.2016.00050](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00050)

RAN, X.; WANG, X.; GAO, H.; LIANG, H.; LIU, B.; HUANG, X. Effects of salt stress on the photosynthetic physiology and mineral ion absorption and distribution in white willow (*Salix alba* L.). PLoS One, v. 16, n. 11, p. e0260086, 2021. doi: [10.1371/journal.pone.0260086](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260086)

REIS, B.N.; NASCIMENTO, M.T. Atributos funcionais na restauração ecológica em florestas tropicais: estratégias e perspectivas. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 09, Ed. 02, Vol. 01, pp. 153-175, 2024. doi: [10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/biologia/restauracao-ecologica-em-florestas](https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/biologia/restauracao-ecologica-em-florestas)

RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J.; MONTENEGRO, A.A. 2003. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ V., V.H. (ed.) Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 3, p.165-208

RIBEIRO, E.M.S.; LOHBECK, M.; SANTOS, B.A. Functional diversity and composition of Caatinga woody flora are negatively impacted by chronic anthropogenic disturbance. Journal of Ecology, v. 107, n.5, p. 2291–2302, 2019. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13177>

RICHARDS, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Soil Science 78 (2), 154. Disponível em: https://journals.lww.com/soilsci/citation/1954/08000/diagnosis_and_improvement_of_saline_and_alkali.12.aspx

RODRIGUES, C.R.F.; SILVA, E.N.; FERREIRA-SILVA, S.L.; VOIGT, E.L.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J.A.G. High K⁺ supply avoids Na⁺ toxicity and improves photosynthesis by allowing favorable K⁺: Na⁺ ratios through the inhibition of Na⁺ uptake and transport to the shoots of *Jatropha curcas* plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, v. 176, n. 2, p. 157-164, 2013. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200230>

ROSADO, B.H.P.; JOLY, C.A.; BURGESS, S.S.O.; OLIVEIRA, R.S.; AIDAR, M.P.M. Changes in plant functional traits and water use in Atlantic rainforest: evidence of conservative water use in spatio-temporal scales. Trees - Structure and Function, v. 30, n. 1, p. 47–61, 2016. doi: [10.1007/s00468-015-1165-8](https://doi.org/10.1007/s00468-015-1165-8)

SANTOS, W.R.; SOUZA, M.A.G.; SOUZA, L.S.B.; ARAÚJO JÚNIOR, G.N.; SOUZA, C.A.A.; JARDIM, A.M.R.F.; SILVA, T.G.F. Emergence and the initial form of seedlings of *Cenostigma pyramidale* (Fabaceae) under saline stress. Research, Society and Development, v. 10, n. 5, p. e18910514870, 2021. doi: [10.33448/rsd-v10i5.14870](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14870)

SANTOS, W.R.; SOUZA, L.S.B.; JARDIM, A.M.R.F.; MORAIS, J.E.F.; SANTOS, M.M.P.; SOUZA, C.A.A.; SILVA, T.G.F. How is the water footprint of the species *Vachellia farnesiana*, *Amburana cearensis*, and *Handroanthus impetiginosus* influenced by abiotic stresses as water deficit and salinity? International Journal of Phytoremediation, v. 26, n. 5, 2024. <https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2267670>

SANWAL, S.K.; MANN, A.; KUMAR, A.; KESH, H.; KAUR, G.; RAI, A.K.; KUMAR, R.; SHARMA, P.C.; KUMAR, A.; BAHADUR, A.; SINGH, B.; KUMAR, P. Salt

tolerant eggplant rootstocks modulate sodium partitioning in tomato scion and improve performance under saline conditions *Agriculture*, v. 12, n. 2, p. 183, 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020183>

SENEVIRATNE, M.; RAJAKARUNA, N.; RIZWAN, M.; MADAWALA, H.A.M.S.P.; OK, Y.S.; VITHANAGE, M. Heavy metal-induced oxidative stress on seed germination and seedling development. A critical review. *Environmental Geochemistry and Health*. 41, p. 1813-1831, 2019. doi: [10.1007/s10653-017-0005-8](https://doi.org/10.1007/s10653-017-0005-8)

SILVA, T.G.F.; ALMEIDA, A.Q., 2013. Climatologia e Características Geomorfológicas (Capítulo 2). In: Santos, E.M., et al. Parque Estadual Mata da Pimenteira: Riqueza Natural e Conservação da Caatinga. Recife: EDUFRPE, 257p.

SILVA, A.M.L.; LOPES, S.F.; VITÓRIO, L.A.P.; SANTIAGO, R.R.; MATTOS, E.A.; TROVÃO, D.M.B.M. Plant functional groups of species in semiarid ecosystems in Brazil: wood basic density and SLA as an ecological indicator. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 37, n. 3, p. 229–237, 2014. doi:[10.1007/s40415-014-0063-4](https://doi.org/10.1007/s40415-014-0063-4)

SINGH, Y.P.; ARORA, S.; MISHRA, V.K.; DIXIT, H.; GUPTA, R.K. Effect of organic and inorganic amendments on amelioration of sodic soil and sustaining rice (*Oryza sativa*)-wheat (*Triticum aestivum*) productivity. *Indian J. Agric. Sci*, v. 88, n. 9, p. 1455–1462, 2018. doi:[10.5555/20203085055](https://doi.org/10.5555/20203085055)

SOUZA, B.C.; CARVALHO, E.C.D.; OLIVEIRA, R.S.; ARAUJO, F.S.; LIMA, A.L.A.; RODAL, M.J.N. Drought response strategies of deciduous and Evergreen woody species in a seasonally dry neotropical forest. *Oecologia*. 194, p. 221-236, 2020. doi: [10.1007/s00442-020-04760-3](https://doi.org/10.1007/s00442-020-04760-3)

SOUZA, L.M.; CONCEIÇÃO, E.M.; BARBOSA, M.R.; NETO, L.P.; SANTOS, A.M.M.; SOUZA, R.A.; HOULLOU, L.M. Effect of seed priming with NaCl on the induction of salinity tolerance in *Myracrodruon urundeuva* Allemão in vitro. *Ciência Florestal*. 32, p. 2199-221, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509867600>

SPEROTTO, R.A. 2014. Protocolos e métodos de análise em laboratórios de biotecnologia agroalimentar e de saúde humana. Lajeado: Editora da Univates. Disponível em: <https://www.univates.br/editora-univates/publicacao/74>

TAIZ, L., ZEIGUER, E., 2016. Fisiologia vegetal. 6. (ed). Porto Alegre.

VIOLLE, C.; NAVAS, M.L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, v. 116, n. 5, p. 882-892, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>

WALTER, J.; LÜCK, E.; BAURIEGEL, A.; FACKLAM, M.; ZEIT, J. Seasonal dynamics of soil salinity in peatlands: A geophysical approach. *Geoderma*. 310, p. 1-11, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.022>

WEI, Y., HAN, R., XIE, Y., JIANG, C., YU, Y., 2021. Recent advances in understating mechanisms of plant tolerance and response to aluminum toxicity. *Sustainability*. 13 (4), 1782. <https://doi.org/10.3390/su13041782>

WIGODA, N.; MOSHELION, M.; MORAN, N. Is the leaf bundle sheath a “smart flux valve” for K⁺ nutrition? *J. Plant Physiol*, v. 171, n. 9, p. 715–722, 2014. doi: [10.1016/j.jplph.2013.12.017](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.12.017)

WILLADINO, L.; CAMARA, R.R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. *Enciclopedia Biosfera*, v. 6, n. 11, 2010. <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4427>

WRIGHT, C.L.; LIMA, A.L.A.; SOUZA, E.S.; WEST, J.B.; WILCOX, B.P. Plant functional types broadly describe water use strategies in the Caatinga, a seasonally dry tropical forest in northeast Brazil. *Ecology and Evolution*, v. 11, n. 17, p. 11808–11825, 2021. <https://doi.org/10.1002/ece3.7949>

ZAIT, Y.; SHTEIN, I.; SCHWARTZ, A. Long-term acclimation to drought, salinity and temperature in the thermophilic tree *Ziziphus spina-christi*: Revealing different tradeoffs between mesophyll and stomatal conductance. *Tree Physiology*, v. 39, n. 5, p. 701–716, 2019. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy133>

CAPÍTULO 2- CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE DIFERENTES GRUPOS FUNCIONAIS DE PLÂNTULAS DA CAATINGA DETERMINAM A EFICIÊNCIA DE AJUSTE AO ESTRESSE SALINO

RESUMO

O aumento de áreas desertificadas em função da salinidade é uma realidade em diversas regiões semiáridas do mundo, como a Caatinga. O estresse salino limita o crescimento das plantas e pode provocar ajustes em suas características hidráulicas. Entretanto, não se tem registros da eficiência hidráulica em espécies de diferentes grupos funcionais sob condições de estresse salino. Avaliou-se como diferentes grupos funcionais de plântulas do semiárido do Brasil respondem a salinidade em termos de eficiência hidráulica. O experimento foi conduzido em viveiro a 70% de sombreamento, incluindo espécies decíduas de alta densidade de madeira (ADM) e de baixa densidade de madeira (BDM). As plântulas foram submetidas a diferentes condutividades elétricas, sendo: 0,15 (controle) 2,5; 3,5 e 4,5 dS m⁻¹ ao longo de 90 dias. Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Foram avaliados a condutância estomática (g_s) aos 60 e 90 dias, potencial hídrico (Ψ_{xilema}), relação Na^+/K^+ em folha (na planta e caídas), caule e raiz, número de folhas (na planta e caídas), características anatômicas do xilema, condutividade hidráulica potencial (K_p) e índice vulnerabilidade do vaso do xilema do caule e raiz. Os dados foram submetidos a análise de regressão polinomial e teste de tukey (5%). A concentração de sais foi correlacionada negativamente com os parâmetros hidráulicos das espécies vegetais. O grupo ADM apresentou maior g_s (400 mmol m⁻² s⁻¹), maior número de folhas na planta e queda foliar com elevada relação Na^+/K^+ , maior densidade estomática (20%), maior renovação de folhas e maior espessura da parede dos vasos do xilema em comparação com espécies BDM. O grupo BDM, exibiu Ψ_{xilema} (-1 MPa) mais elevado, maior relação Na^+/K^+ na raiz (58,3%), menor queda foliar, maior redução do diâmetro do lúmen dos vasos do xilema (60%) e redução no índice de vulnerabilidade (90%) e K_p (80%) com a salinidade. Espécies ADM apresentaram menor vulnerabilidade à salinidade, ao contrário de espécies BDM. Este trabalho indica que as variações nas características hidráulicas das espécies vegetais nativas, pode garantir a sobrevivência em ambiente salino e pode auxiliar na escolha correta de espécies nativas em atividades de restauração ambiental em áreas afetadas pela salinidade.

Palavras-chaves: Arquitetura hidráulica, fisiologia, semiárido, traços funcionais.

1. INTRODUÇÃO

Nas regiões de clima semiárido, o uso inadequado de terras agrícolas e florestas, tem contribuído para aumento da salinidade do solo, alterações no clima e riscos de desertificação (Walter *et al.*, 2018; Pessoa *et al.*, 2022). O sucesso do reflorestamento de áreas salinizadas depende da capacidade das plântulas em suportar ou se ajustar a estas condições para se estabelecer (Mukhopadhyay *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021). Como resposta ao estresse, os traços funcionais são descritores úteis das espécies à variação de recursos ambientais (Orlandi *et al.*, 2015; Rosado *et al.*, 2016). Portanto, o estudo de espécies lenhosas com base nos traços funcionais, como a densidade de madeira, pode gerar previsões sobre o sucesso de adaptação das plantas às mudanças ambientais (Chaturvedi *et al.*, 2011; Burmester *et al.*, 2022). Embora o estudo dos grupos funcionais de plantas lenhosas seja relativamente bem difundido em regiões semiáridas, ainda não há trabalhos que avaliem como espécies de diferentes densidades de madeira respondem à salinidade em termos de eficiência hidráulica (Chaturvedi *et al.*, 2011).

O estresse salino causa desequilíbrio no interior da planta (Costa *et al.*, 2020; Zait; Shtein; Schwartz, 2019). Isso resulta na redução da área foliar, senescência de folhas devido à elevada concentração de Na^+ e Cl^- (Marenco; Lopes, 2005). Essas alterações foliares ocasionam redução no número de estômatos, o que por sua vez interfere na eficiência de transporte de água pelas plantas (Marenco; Lopes, 2005), com redução da condutância estomática (Haworth *et al.*, 2021), do potencial hídrico (Mukhopadhyay *et al.*, 2021) e do fluxo da seiva xilemática, podendo romper a integridade da membrana e prejudicar a passagem de seiva pelo xilema (Acosta-Motos, 2017). Outras consequências na estrutura anatômicas das plantas, provocadas pela salinidade incluem: aumento nas espessuras das camadas de hipoderme, parede do vaso do xilema, parênquima paliçádico e redução do diâmetro do vaso do xilema (Barhoumi *et al.*, 2022). Essas características são importantes para adaptação das espécies em condições salinas (Barhoumi *et al.*, 2022).

As respostas de espécies lenhosas da Caatinga à salinidade podem não divergir daquelas identificadas em espécies não lenhosas (Llanes *et al.*, 2021). Entretanto, estudos revelam diferentes respostas de espécies da Caatinga no cenário salino, variando desde espécies tolerantes (Dutra *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2021) a sensíveis à salinidade (Pereira *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2024). As diversas estratégias de tolerância ao estresse por espécies nativas, tem levado à necessidade de simplificar as comunidades vegetais, a

fim de prever o funcionamento das plantas com as mudanças ambientais (Oliveira *et al.*, 2014; Arend *et al.*, 2021; Mantova *et al.*, 2022; Dutra *et al.*, 2022).

As espécies de plantas nativas que coexistem em determinado ambiente apresentam comportamento distintos, as quais podem ser mais bem explicados pelos traços funcionais (Zilverberg *et al.*, 2016; Wright *et al.*, 2021). Os traços funcionais incluem características morfofisiológicas, bioquímicas e fenológicas que influenciam o desempenho dos organismos (Villéger *et al.*, 2010; Díaz *et al.*, 2013; Fagundes *et al.*, 2022). A seleção de um bom conjunto de características funcionais leva a uma melhoria na descrição da funcionalidade da comunidade (Gómez-Ortiz *et al.*, 2019), além disso essa abordagem pode ser usada para identificar o potencial da espécie para os ambientes degradados (Morin, 2011).

Dentre os traços funcionais, a densidade da madeira auxilia na separação de espécies vegetais em grupos funcionais de plantas, ou seja, em espécies que apresentam respostas ambientais similares (Fonseca; Ganade, 2001; Violle *et al.*, 2007; Lima *et al.*, 2012; Burmester *et al.*, 2022). Em florestas tropicais secas no mundo, já foram identificadas espécies com diferentes densidades de madeira que coexistem no mesmo ambiente, a) espécies de alta densidade de madeira (ADM): identificada como tolerante a seca; apresentam uma maior resistência hidráulica com maior espessamento das paredes dos vasos xilemáticos (Lima *et al.*, 2012; P´erez-de-Lis *et al.*, 2018; Brito *et al.*, 2022), e b) espécies de baixa densidade de madeira (BDM): apresenta elevada eficiência do armazenamento de água, e evitam a seca; geralmente possuem grandes vasos com alta eficiência hidráulica, mas com baixo segurança do xilema (Lima *et al.*, 2012; P´erez-de-Lis *et al.*, 2018; Brito *et al.*, 2022; Fagundes *et al.*, 2022). No entanto, a eficiência hidráulica de diferentes grupos funcionais em função da salinidade não foi explorada.

A salinidade do solo precisa ser mais amplamente reconhecida como um fator determinante na biodiversidade e nos padrões de vegetação (Morales *et al.*, 2015; Ribeiro *et al.*, 2019). Avaliou-se neste estudo como diferentes grupos funcionais de plântulas do semiárido do Brasil respondem à salinidade em termos de eficiência hidráulica. Tem-se como hipótese que espécies ADM mantém a eficiência de segurança hidráulica, enquanto espécies BDM apresentam ajuste hidráulico com aumento da salinidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O experimento foi conduzido em estufa agrícola sombreada à 70%, localizada na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST) (7°57'19.3''S 38°17'44.7''W), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) no município de Serra Talhada, Pernambuco. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger o clima local é do tipo BSh' (clima semiárido quente). Os dados de temperatura e umidade do ar da estufa agrícola foram monitorados através de um termohigrômetro (OM-EL-USB-2-LCD, da OMEGA Enginnering, INC.) ao longo dos 90 dias de experimento, nos meses de dezembro/2022 (início da aplicação dos tratamentos), janeiro e fevereiro/2023. A umidade do ar na casa de vegetação foi maior no início do experimento, e manteve-se em torno de 75%, enquanto a temperatura variou entre 35 e 25°C (Fig. 1).

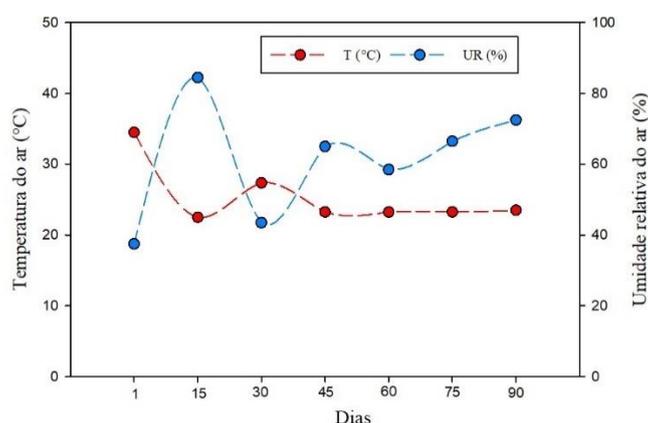


Fig. 1. Condições meteorológicas no período do experimento, em intervalos de 15 dias, a partir de 01 de dezembro/2022 ao dia 28 de fevereiro/2023 da casa de vegetação na Unidade Acadêmica de Serra Talhada-PE.

2.2. Tratamentos e condições experimentais

2.2.1. Espécies utilizadas

Foram escolhidas duas espécies lenhosas de cada grupo funcional, conforme Lima *et al.* (2012), sendo, espécies decíduas de alta densidade de madeira (ADM): *Myracrodruon urundeuva* M. Allemão (Anacardiaceae) e *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud (Fabaceae); e espécies decíduas de baixa densidade de madeira (BDM):

Amburana cearenses (Allemão) A.C.Sm (Fabaceae) e *Pseudobombax marginatum* (A.St.-Hil., Juss. & Cambess) A. Robyns (Malvaceae).

2.2.2. Coleta de sementes

A coleta foi realizada no Parque Estadual Mata da Pimenteira (PEPM), localizada, em torno das seguintes coordenadas geográficas 7°53'21" e 7° 57' 36" S e 38°18'42" e 38° 17'7" W (Silva; Almeida, 2013). Foram coletadas 100 sementes de cada espécie (4 plantas matrizes). Na ocasião, também foram obtidas sementes do Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA), como meio alternativo, em caso de inviabilidade das sementes coletadas.

As sementes de *B. cheilantha* e *P. marginatum* foram submetidas a escarificação mecânica com lixa de 100 e posteriormente semeadas quatro sementes em copos plásticos, contendo areia e vermiculita (1:1 v/v). Posteriormente, foram postas para germinar em 15 de setembro/2022, colocadas em casa de vegetação e regadas diariamente com água abaixo de 1 dS m⁻¹. Após dez dias da germinação, foi realizado um desbaste e mantidas as plântulas com características mais vigorosas. Aos 35 dias, as plântulas foram transplantadas para vasos contendo solo da área de estudo, caracterizado como um Cambissolo Eutrófico Háplico de acordo com a classificação da Embrapa (2013). As plântulas foram transferidas para a estufa agrícola em 20 de outubro/2022, onde permaneceram em estabelecimento por mais 40 dias sem aplicação dos tratamentos salinos.

2.2.3. Irrigação salina

Com 75 dias após a semeadura, os diferentes grupos funcionais de plântulas foram submetidos a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação, sendo: 0,15 (controle), 2,5, 3,5 e 4,5 dS m⁻¹, onde permaneceram por 90 dias sob tratamento.

O preparo das soluções foi feito com o NaCl comercial, dissolvidos na água de menor salinidade até atingir a condutividade elétrica desejada. Antes de preparar a água salina nas diferentes condutividades elétricas desejadas, as concentrações foram transformadas de dS m⁻¹ para g/L, sendo utilizada a fórmula do Total de Sais Dissolvidos (1) (Bessa et al., 2017). A água para irrigação foi armazenada em baldes de 100L.

$$TSD = 0,64CE \quad (1)$$

Sendo, TSD os Totais de sais dissolvidos (g/L) e CE= Condutividade Elétrica (dS m⁻¹)

A irrigação foi realizada em intervalos de um dia com base em 80% da Capacidade de Vaso (CV) seguindo a metodologia de Plaut *et al.* (1996); Purcell *et al.* (2000) e Casaroli; Jong van Lier (2008).

2.2.4. Análise do solo

O solo foi coletado próximo a área experimental. Foi realizada análise química e física seguindo a metodologia da Embrapa (2005). A área foi dividida em função de características semelhantes e percorrida em ziguezague. Cinco amostras foram retiradas em uma profundidade 0-20 cm, destorroados, e armazenados 250 g em sacos plásticos, e enviado ao laboratório para análise. O solo apresentou condutividade elétrica de 0,29 dS m⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas do solo na camada 0,00 – 0,20 m, localizado no município de Serra Talhada – PE, Brasil.

Propriedades Físicas							
ρ	ϕ_t	Areia	Silte	Argila			
g/cm ³	%	-----g kg ⁻¹ -----					
1,39	42,27	828,6	148,25	23,15			
Propriedades Químicas							
pH	CE	P	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	V
	dS m ⁻¹	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----				%
6,76	0,29	57,8	3,71	0,54	0,04	1,21	75

ρ = Densidade do solo; ϕ_t = Porosidade total do solo; EC= Condutividade elétrica; P = Fósforo; Ca²⁺= Cálcio; Na⁺= Sódio; K⁺= Potássio; Mg²⁺= Magnésio; V=Saturação de Bases.

2.3. Análises

2.3.1. Condutância estomática, potencial hídrico e número de folhas

A condutância estomática foi avaliada aos 60 e 90 dias após aplicação dos tratamentos salinos, por intermédio de um porômetro portátil (*SC-1 Leaf Porometer*), sendo realizadas às 12:00h. O potencial hídrico foliar foi medido em seguida, às 13h00,

utilizando uma câmara de pressão tipo *Scholander*, modelo 1505D-EXP (Borchert, 2002). Foram contadas o número de folhas na planta e folhas que estavam caídas no vaso de cada indivíduo ao final do experimento.

2.3.2. *Extração dos sais e mensuração de Na⁺ e K⁺*

Foram estimados os teores dos elementos salinos em folhas (na planta e folhas caídas), caule e raiz. Os teores de sódio (Na⁺) e potássio (K⁺) foram determinados através de fotometria de chama (Malavolta *et al.*, 1989). Os tecidos foram secos em estufa e posteriormente macerados. As amostras de 50 mg de farinhas foram submetidas a extração por incubação em tubos de ensaio, contendo 10 ml de água ultrapura, e fervidos em banho maria a 100 °C por 1 h. Posteriormente os extratos foram filtrados e utilizados nas leituras de Na⁺ e K⁺ em fotômetro de chama (Micronal, Mod. B462) (Rodrigues *et al.*, 2013). Com os valores obtidos foi estimado a relação Na⁺/K⁺.

2.3.3. *Densidade estomática*

Para a densidade estomática foi utilizado o método de diafanização, com a dissociação da epiderme. Para isso, ao final dos 90 dias, foi coletado três folhas de cada indivíduo e deixadas em hipoclorito de sódio (NaClO) por 5 dias até clarificar, em seguida foi submetido ao corante Safranina para avaliação dos estômatos, em microscópio trinocular. A densidade estomática (SD) foi obtida pela razão entre número de estômatos por unidade de área (SD= n° de estômatos / área (mm²)) (Segatto *et al.*, 2004).

2.3.4. *Anatomia do xilema*

Ao final dos 90 dias, foi realizado o processamento das amostras para as análises anatômicas, onde foram coletados caules e raízes. As amostras dos tecidos foram fixadas em FAA 50% por 72 horas (Johansen, 1940). As análises laboratoriais foram feitas no Laboratório de microscopia do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV).

As amostras fixadas foram desidratadas em série etílica crescente (60%, 70%, 85% e 95%), seguido pelo processo de pré-infiltração e infiltração e polimerização da historesina, segundo as orientações do kit Historesina – hidroxietilmetacrilato, Leica, Heidelberg (Meira; Martins, 2003). Foram feitas secções transversais auxílio de um micrótomo semiautomático (CUT-5062), obtendo amostras de 5 µm de espessura. Os

cortes anatômicos foram corados com o corante metacromático Azul de toluidina para visualização de estruturas celulósicas (corando azul) (Meira; Martins, 2003). Foram mensurados diâmetro, densidade e espessura da parede vasos xilemáticos. As amostras foram fotografadas, utilizando uma câmera digital acoplada a um microscópio óptico (LX 50), e as imagens foram avaliadas com auxílio do software Imagem J 1.8.0_354.

2.3.5. Condutividade hidráulica potencial e Índice de vulnerabilidade de caule e raiz

A condutividade hidráulica potencial (Kp) foi calculada a partir de valores de diâmetros de vasos, de acordo com a lei de Hagen-Poiseuille (Longui *et al.*, 2018) (2). E o índice de vulnerabilidade (V), sendo: $V = D/VD$, onde D= diâmetro médio e VD= densidade de vaso. Os resultados com valor próximo ou superior a 1 são considerados como representando uma espécie vulnerável ao estresse, valores próximos de zero indicam plantas mais resistente (Carlquist, 1977).

$$kp = \left(\frac{\pi \rho_w}{128 \eta} \right) x V d \times D_h^4 \quad (2)$$

Onde, Kp é a Condutividade hidráulica potencial ($\text{kg m}^{-1} \text{Mpa}^{-1} \text{s}^{-1}$); ρ_w é a densidade de água a 20 °C ($998,2 \text{ kg m}^{-3}$); η é o índice de viscosidade da água ($1,002 \times 10^{-9} \text{ Mpa} \cdot \text{s}^{-1}$), a 20 °C); VD é a densidade dos vasos (células dos vasos m^{-2}), e Dh (3) é o diâmetro hidráulico do vaso (m).

$$D_h = \left[\left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n D^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

Onde, n é o número de vasos do xilema e D é o diâmetro médio de vasos do xilema.

2.4. Delineamento experimental e análise estatística

Foi adotado o delineamento estatístico Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial 2x2x4. Sendo dois grupos funcionais (baixa densidade de madeira e alta densidade de madeira), duas espécies representando cada grupo e quatro níveis crescentes de condutividade elétrica com cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk). Os dados que apresentaram

distribuição normal foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Esta análise envolveu a comparação das médias do fator qualitativo (espécies e grupos funcionais) e o ajuste de modelos polinomiais de regressão para o fator quantitativo (níveis de salinidade). Foi obtida uma matriz de correlação e uma Análise de Componentes Principais (APC) para analisar potenciais relações e agrupamentos das variáveis. Para as análises foi utilizado o pacote de software R (ExpDes.pt) versão: 2022.11.04-20. Os gráficos foram gerados no SigmaPlot versão 15.

3. RESULTADOS

O aumento da salinidade influenciou todas as variáveis analisadas, entretanto houve diferenças entre os diferentes grupos funcionais. O grupo de alta densidade de madeira (ADM) apresentou maior condutância estomática (g_s) aos 60 e 90 dias, potencial hídrico (Ψ_{xilema}) mais negativo, maior quantidade de folhas e maior perda de folhas ao longo do tempo com elevada relação Na^+/K^+ , maior densidade estomática, maiores de densidade dos vasos do xilema, ao contrário de espécies BDM. Por outro lado, espécies BDM apresentaram maior diâmetro do lúmen dos vasos do xilema, aumento da espessura da parede vaso do xilema com a salinidade, maior relação Na^+/K^+ na raiz, maior alteração da condutividade hidráulica potencial (K_p) e maior índice de vulnerabilidade do xilema com o aumento da salinidade.

3.1. Condutividade elétrica do solo

Ao final do experimento a condutividade elétrica (CE) referente aos diferentes tratamentos aumentou significativamente, de duas a 20 vezes mais em relação à salinidade inicial do solo ($0,29 \text{ dS m}^{-1}$) (Fig. 2).

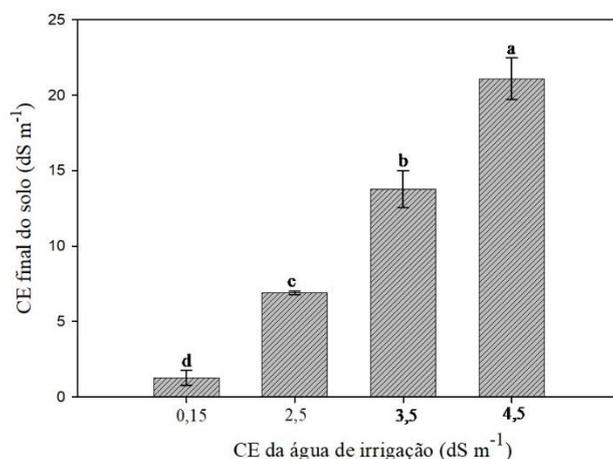


Fig. 2. Valores de condutividade elétrica (CE) do solo, obtidos ao final do experimento, nos diferentes tratamentos de salinidade aplicados durante 90 dias.

3.2. Respostas morfofisiológicas

Houve interação significativa entre os fatores avaliados ($p < 0,01$) e diferença significativa entre os grupos funcionais (Fig. 3 A e B).

As doses crescentes de sais reduziram a condutância estomática (g_s) de ambos os grupos nos dois períodos avaliados (Fig. 3). Entretanto, nota-se que o grupo ADM apresentou elevada g_s nos dois períodos (4,7% e 66,66%) quando comparado com espécies BDM (Fig. A e B).

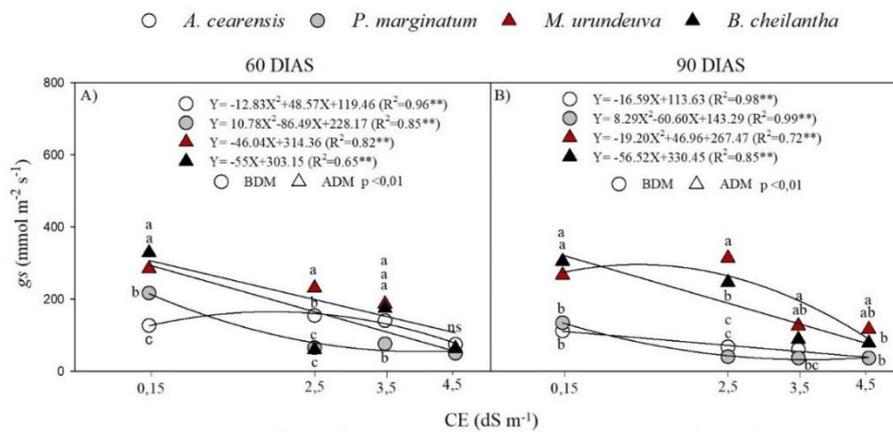


Fig. 3. Valores de condutância estomática A) aos 60 dias e B) aos 90 dias, em dois grupos funcionais de plantas da Caatinga, baixa densidade de madeira (BDM) e alta densidade de madeira (ADM), submetidas a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre espécies no nível de sal.

O potencial hídrico (Ψ_{xilema}) reduziu com aumento da salinidade em todas as espécies vegetais (Fig. 4). Entretanto, nota-se que o Ψ_{xilema} do grupo BDM manteve com valores mais elevados (40% a mais) quando comparado com as ADM (Fig. 4).

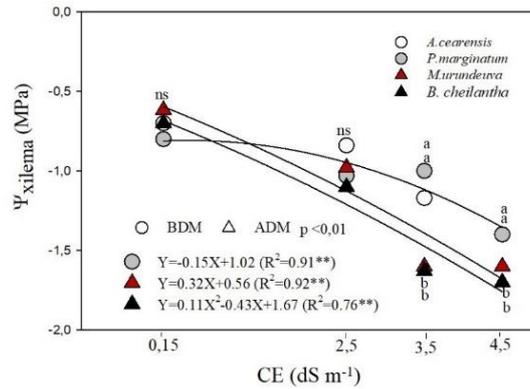


Fig. 4. Valores de potencial hídrico do xilema (Ψ_{xilema}) de dois grupos funcionais de plântulas da Caatinga (BDM- baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira) submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CE). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre espécie dentro do nível de salinidade.

Houve interação significativa entre os fatores para a relação Na^+/K^+ , e diferença estatísticas entre os grupos e espécies vegetais ($p < 0,01$). Com aumento da salinidade o grupo BDM aumenta a relação Na^+/K^+ , na folha (40%), caule (35%) e na raiz (62,5%) quando comparado com espécies ADM (Fig. 5).

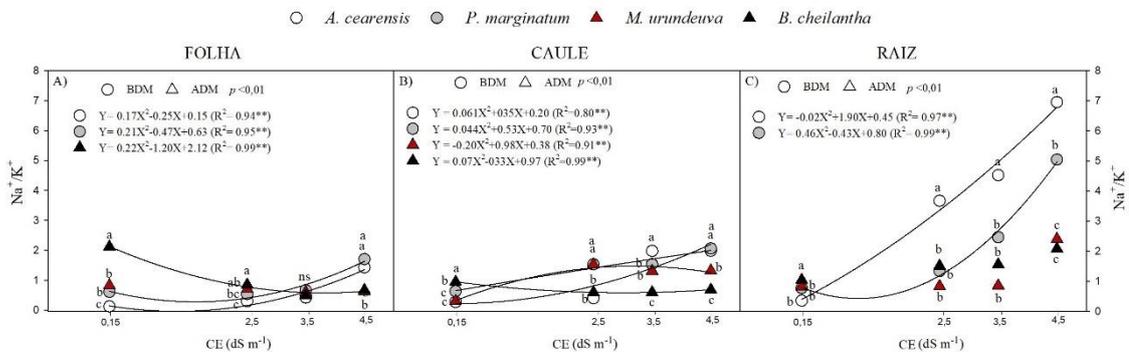


Fig. 5. Valores médios de sais Na^+/K^+ em A) folha; B) caule e C) raiz de dois grupos funcionais de plântulas da Caatinga (BDM- baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira) submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CE). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre espécie dentro do nível de salinidade.

O número de folhas reduziu conforme o aumento da salinidade, entretanto variou entre os grupos funcionais (Fig. 6A). Observa-se que o grupo ADM apresentou uma maior

quantidade de folhas (34,4%) (Fig. 6A), e maior quantidade de folhas caídas com aumento da salinidade (18%), em comparação com BDM (Fig. 6 B). Observou-se que as folhas caídas apresentaram valores expressivos da relação Na^+/K^+ , especialmente em *M. urundeuva* (ADM) que apresentou relação Na^+/K^+ maior que 1 nos tratamentos de 3,5 e 4,5 dS m^{-1} (Fig. 6 B).

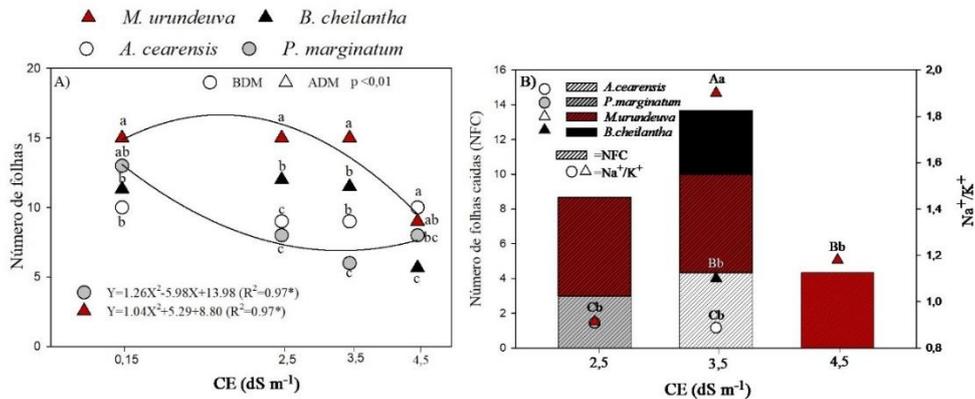


Fig. 6. Valores de A) número de folhas na planta, B) número de folhas caídas com a relação Na^+/K^+ , em diferentes grupos funcionais de plantas da Caatinga (BDM-baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira), submetidas os diferentes níveis de condutividade elétrica (CE). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre as espécies dentro do nível salino.

3.3. Respostas anatômicas

Para a densidade estomática, houve interação significativa entre os fatores analisados ($p < 0,01$) e diferença estatística entre os grupos funcionais (Fig. 7). Observou-se que o aumento da salinidade provocou redução da densidade estomática de todas as espécies (Fig. 7). Entretanto, houve variação entre os grupos funcionais. O grupo ADM apresentou uma elevada densidade estomática (20%) quando comparada com o grupo BDM (Fig. 7). Observou-se a presença de tricomas glandulares em espécies BDM e tectores em ADM (Fig. 7).

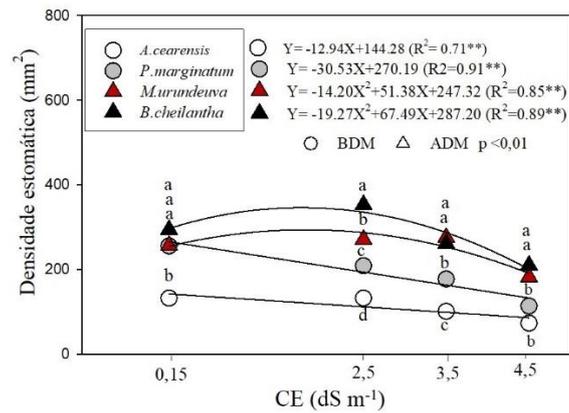


Fig. 7. Valores de densidade estomática de dois grupos funcionais da Caatinga (BDM- baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira) submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre as espécies em cada nível salino.

Houve interação significativa entre os fatores para as variáveis espessura da parede do vaso do xilema e diâmetro do lúmen do vaso (Fig. 8 A-D). Houve um ajuste quadrático da espessura da parede dos vasos do xilema do caule e raiz, para todas as espécies conforme o aumento da salinidade, entretanto, com variação entre os grupos (Fig. 8 A e B). Observou-se que o grupo ADM apresentou uma maior espessura dos vasos do xilema, especialmente no caule (54,54%), quando comparado com espécies BDM (Fig. 8 A e B).

O diâmetro do lúmen do vaso do xilema em espécies BDM foi mais elevado no tratamento controle para caule e raiz (58,3% e 50%), em comparação com espécies ADM, mas reduziu significativamente com aumento de salinidade. Enquanto espécies ADM não apresentaram influência significativa no diâmetro do lúmen com aumento da irrigação salina (Fig. 8 C e D).

Não houve interação significativa entre os fatores para a densidade de vasos do xilema no caule (Fig. 8 E), entretanto a densidade de vasos no caule e raiz reduziu conforme aumento da salinidade (Fig. 8 E, F). Na raiz houve interação significativa entre os fatores. Nota-se que o grupo ADM apresentou maior densidade de vasos (60%) em comparação com espécies BDM, especialmente a *M. urundeuva* (Fig. 8 F). No maior nível de salinidade foi possível observar as diferenças qualitativas do xilema de ambos os grupos funcionais no caule e raiz (Fig. 9).

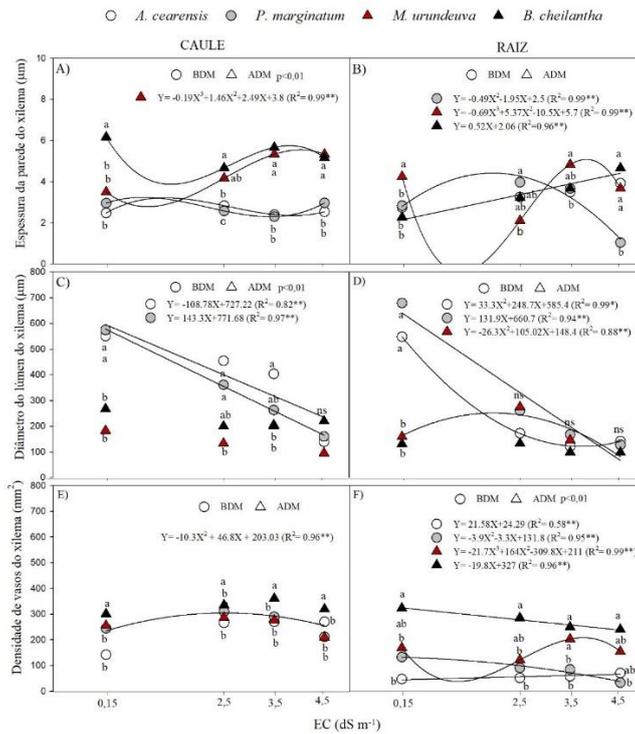


Fig. 8. Valores de A-B) espessura da parede da parede do vaso do xilema; C-D) diâmetro do lúmen do vaso do xilema e E-F) Densidade dos vasos do xilema de caule e raiz de diferentes grupos funcionais de plantas da Caatinga (BDM-baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira), submetidos a diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação. Letras diferentes indicam diferença estatística entre espécies no nível de salinidade.

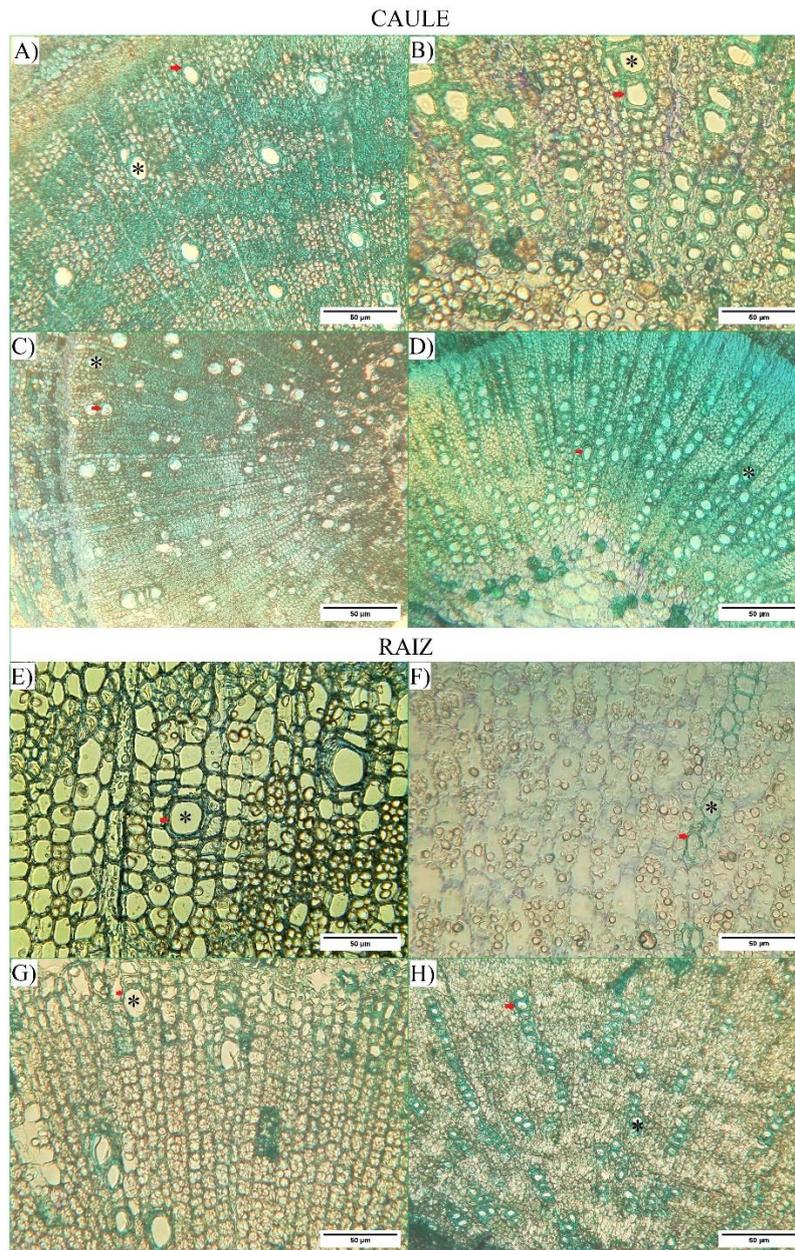


Fig. 9. Seções transversais do caule e raiz, corados com azul de toluidina. A-B) grupo BDM; C-D) grupo ADM, E-F) grupo BDM e G-H) grupo ADM, mostrando os vasos de xilema das plântulas no maior nível controle salinidade. (*) = vasos do xilema, (setas vermelhas) = paredes dos vasos do xilema.

Houve interação significativa entre os parâmetros hidráulicos de K_p e Índice de vulnerabilidade no caule e raiz ($p < 0,01$). Observou-se que o aumento da irrigação salina influenciou negativamente esses parâmetros. Entretanto, com variação entre os grupos (Fig. 10). Observou-se que espécies BDM apresentaram maiores valores de K_p (70% e 52%), de duas a quatro vezes maiores valores de vulnerabilidade quando comparados com

espécies ADM (Fig. 10 C-D). No entanto, o aumento da salinidade em espécies BDM ocasionou uma grande redução dessas variáveis, enquanto o grupo ADM não apresentou influência significativa na Kp com aumento da salinidade (Fig. 10).

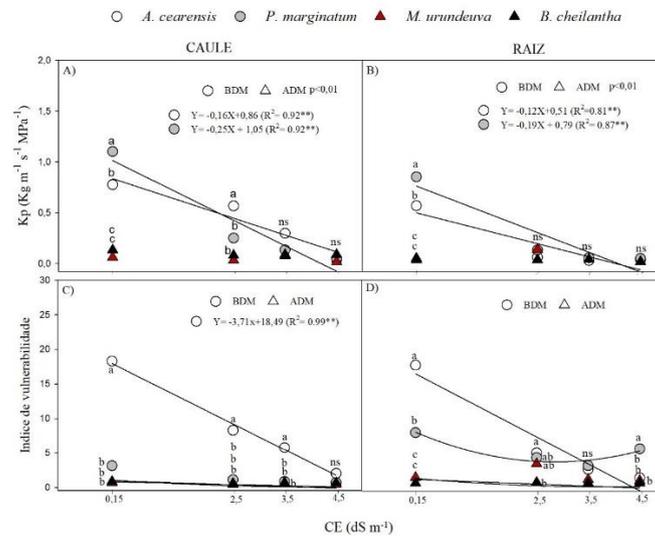


Fig. 10. Valores da condutividade A-B) Condutividade hidráulica potencial e C-D) vulnerabilidade hidráulica de caule e raiz de diferentes grupos funcionais de plântulas da Caatinga (BDM- baixa densidade de madeira e ADM- alta densidade de madeira), submetidos a diferentes níveis de condutividade elétricas (CE). Letras diferentes indicam diferença estatística entre as espécies dentro do nível de salinidade.

3.4. Relações fisiológicas x anatômicas x grupos funcionais

As variáveis fisiológicas (g_s , potencial hídrico do xilema) foram positivamente correlacionadas às variáveis de densidade estomática e anatômicas (diâmetro do vaso do xilema do caule, raiz e espessura da parede do xilema) (Fig. 11). A condutividade hidráulica e índice de vulnerabilidade, foram positivamente correlacionados com o diâmetro do vaso do xilema da planta (Figura 11). Por outro lado, observa-se que todos esses parâmetros foram negativamente correlacionados com a relação Na^+/K^+ (Figura 11).

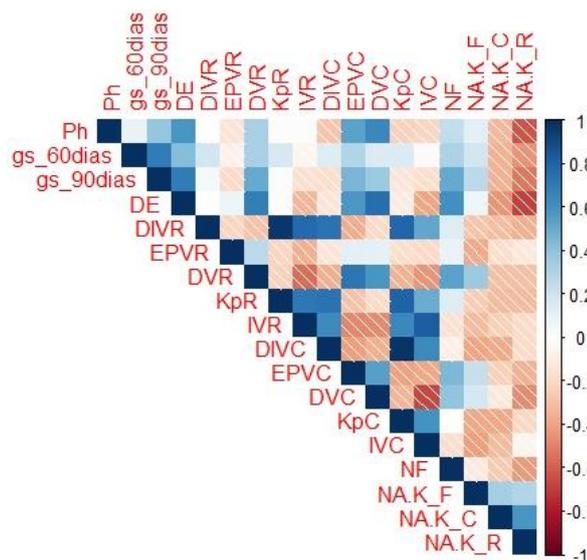


Fig. 11. Matriz de Correlação entre as variáveis analisadas. Ph= potencial hídrico, *gs_60dias* e *gs_90dias*= condutância estomática aos 60 e 90 dias; NF = número de folhas; NA.K_F,C,R= relação sódio e potássio em folhas, caule e raiz; DE= densidade estomática; DIVC e DIVR= diâmetro do vaso do xilema do caule e raiz; EPVC e EPVR= espessura da parede do vaso do xilema da raiz e caule; DVC e DVR= densidade de vasos do xilema do caule e raiz; KpR e KpC= Condutividade hidráulica potencial da raiz e caule e IVR e IVC= Índice de vulnerabilidade do caule e raiz.

A PCA para os grupos funcionais explicou 60,6% da variância dos dados (Fig. 12). No eixo 1 as variáveis condutância estomática (60 e 90 dias), densidade estomática e espessura da parede do vaso foram fortemente correlacionados com o grupo ADM, representado 34,7% da variância (Fig. 12 A). No eixo 2, as variáveis diâmetro do vaso, condutividade hidráulica potencial e índice de vulnerabilidade de raiz e caule foram fortemente correlacionados com o grupo BDM, com 25,9% de representatividade (Fig. 12 A). Para os níveis de condutividade elétrica, observou-se que as variáveis de índice de vulnerabilidade, diâmetro do vaso da raiz e caule, variáveis fisiológicas e densidade estomática foram influenciadas pelo aumento da salinidade (Fig. 12 B).

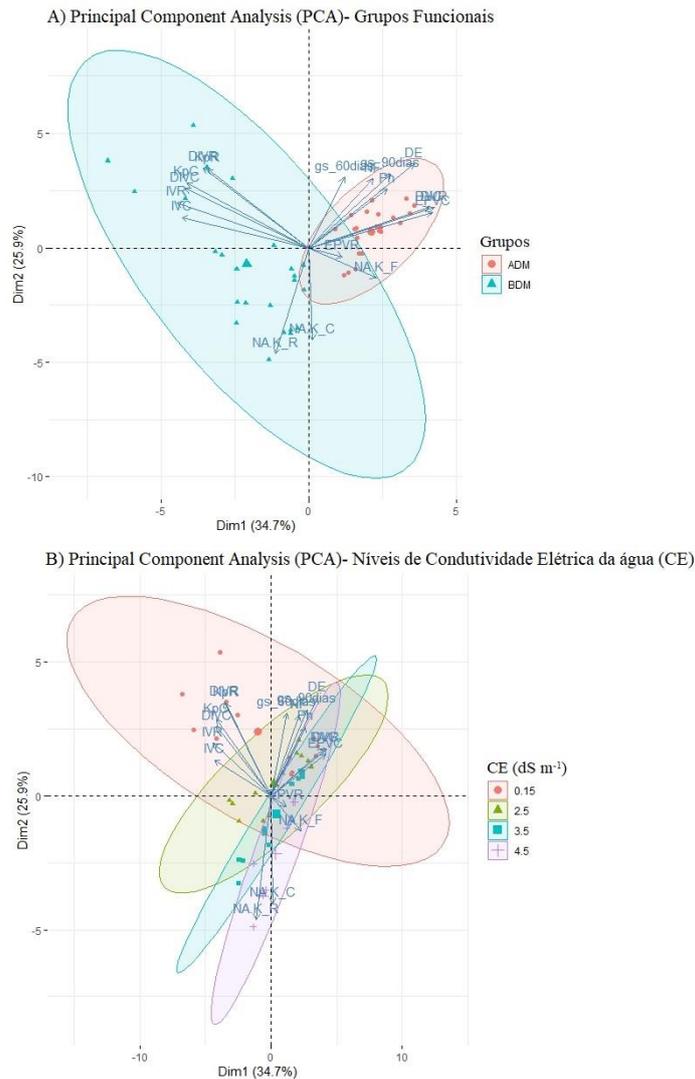


Fig. 12. Análise de Componentes Principais, A) Grupos Funcionais e B) Níveis de Condutividade elétrica da água de irrigação. Ph= potencial hídrico, gs_60dias e gs_90dias= condutância estomática aos 60 e 90 dias; NF = número de folhas; NA.K_F,C,R= relação sódio e potássio em folhas, caule e raiz; DE= densidade estomática; DIVC e DIVR= diâmetro do vaso do xilema do caule e raiz; EPVC e EPVR= espessura da parede do vaso do xilema da raiz e caule; DVC e DVR= densidade de vasos do xilema do caule e raiz; KpR e KpC= Condutividade hidráulica potencial da raiz e caule e IVR e IVC= Índice de vulnerabilidade do caule e raiz.

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos comprovam que o estudo das estruturas anatômicas associados aos aspectos morfofisiológicos auxilia em um melhor entendimento sobre os

processos específicos de tolerância entre espécies vegetais aos estresses ambientais. Observou-se que o aumento crescente da salinidade na água de irrigação influenciou negativamente todas as variáveis avaliadas. As plantas exibiram vários mecanismos para lidar com o excesso de Na^+ e Cl^- , todos os quais requerem a produção de energia e, portanto, impactam negativamente o desenvolvimento das plantas (Litalien; Zeeb, 2020).

No presente estudo, observou-se que, mesmo com a influência negativa da salinidade sobre as plântulas, os diferentes grupos funcionais apresentaram respostas distintas à salinidade, o que pode servir como ferramenta para identificar o potencial de adaptação das espécies vegetais. Sabe-se que a salinidade exerce efeitos graves para as plantas; no entanto a magnitude dos danos, podem ser amenizados, dependendo do tempo de exposição da planta à salinidade e da tolerância da espécie vegetal a determinados níveis salinos (Mukhopadhyay *et al.*, 2021).

O grupo ADM manteve-se com elevada condutância estomática nos dois períodos analisados, quando comparado com espécies BDM. Esses resultados podem ser explicados pela elevada quantidade de folhas na planta observada para esse grupo, bem como a elevada densidade estomática. O elevado número de folhas em plantas sobre estresse salino auxilia em uma melhor distribuição dos íons, aliado a elevada densidade de estômatos, facilita a perda de vapor d'água e aproveitamento dos recursos (Krüger; Van Grondelle, 2017; Liu; Sun; Han, 2022). A baixa condutância estomática, em espécies BDM, trata-se de uma estratégia adaptativa. O fechamento estomático em resposta ao aumento da salinidade permite que a planta se mantenha hidratada através do controle do fluxo da água, evitando também o acúmulo de íons tóxicos no tecido fotossintético (Creek *et al.*, 2020). Além disso, essa maior regulação estomática em espécies BDM promove segurança contra o embolismo em condições de estresse, tendo em vista que esse grupo é hidraulicamente vulnerável à cavitação (Brito *et al.*, 2022).

O fechamento estomático observado em espécies BDM favoreceu o potencial hídrico, o qual se manteve mais elevado para esse grupo. Já está bem documentado que espécies decíduas BDM apresentam elevada capacidade de armazenamento de água em condições desfavoráveis (Lima *et al.*, 2021; Brito *et al.*, 2022). Entretanto, esse grupo é extremamente sensível ao estresse, e para evitar colapso dos vasos do xilema, mantém um maior controle estomático e o potencial hídrico mais elevado (Creek *et al.*, 2020; Mantova *et al.*, 2022). Por outro lado, o grupo ADM tendem a aproveitar rapidamente os recursos assim que disponível (Lima *et al.*, 2021; Brito *et al.*, 2022). Portanto, o aumento

da condutância estomática, aliado ao aumento do potencial de solutos no solo, promove redução severa do potencial hídrico da planta (Willadino *et al.*, 2010).

As estratégias dos grupos funcionais em função da salinidade, também pode ser explicada a partir das variações fisiológicas registradas e sua relação com a queda de folhas e ao acúmulo de íons tóxicos. As espécies ADM apresentaram maior renovação das folhas, bem como, foi observado que a relação Na^+/K^+ foi altamente expressiva em folhas caídas. Essa condição indica que esse grupo acumula muitos íons nas folhas, e para que não comprometa o aparato fotossintético e o estabelecimento, essas espécies perdem suas folhas, ao mesmo tempo em que investem energia para a produção de novos ramos (Krüger; Van Grondelle, 2017; Stavi; Thevs; Priori, 2021). Por outro lado, o grupo BDM apresentou baixa quantidade de folhas na planta, ao mesmo tempo em que a queda de folhas também foi baixa em comparação com espécies ADM. Observou-se nesse grupo, que no maior nível salino houve acúmulo de íons de Na^+ nas folhas, caules e em maior quantidade nas raízes. Os íons tóxicos podem ser transportados e acumulados nas folhas pela corrente transpiratória (Munns, 2008). A baixa perda de vapor de água nesse grupo é uma estratégia eficiente nessa ocasião, evitando a toxidez e queda de folhas (Stavi; Thevs; Priori, 2021). No entanto, vale ressaltar, que as espécies avaliadas são produtoras de raízes tuberosas, que em condições de salinidade acumulam íons especialmente nesse órgão, podendo causar danos irreversíveis (Pereira *et al.*, 2023).

As respostas morfofisiológicas dos diferentes grupos funcionais podem ser melhor entendidas através dos resultados anatômicos obtidos. A densidade estomática reduziu significativamente com a salinidade para todas as espécies. Os resultados aqui registrados são semelhantes ao de Pereira e Polo (2011), que ao estudarem *Handroanthus serratifolius*, observaram que houve redução de área foliar e densidade estomática com aumento da concentração salina. No presente estudo, o grupo BDM apresentou uma menor densidade estomática em comparação com as espécies ADM. A baixa densidade estomática induz a redução na transpiração e fotossíntese em condições de estresse (Haworth *et al.*, 2021). A salinidade exerce efeitos graves na estrutura anatômicas das plantas, entretanto, a capacidade de manter uma alta densidade estomática em ambiente estressante, pode garantir uma melhor eficiência fisiológica, como observado em espécies ADM (Liu; Sun; Han, 2022; Yao *et al.*, 2023).

As características anatômicas do xilema do caule e raiz variaram conforme a salinidade e grupos funcionais. Espécies ADM apresentaram maior espessura da parede e densidade dos vasos do xilema na raiz e caule, além de um menor diâmetro do lúmen

dos vasos do xilema, e apresentaram baixa modificação dessas estruturas com aumento da salinidade, em comparação com espécies BDM. Essas características conferem ao grupo uma maior segurança hidráulica (Beeckman, 2016), tendo em vista que o menor tamanho do vaso xilema, sendo esse com paredes mais espessas e em maior quantidade, promove maior resistência ao colapso e uma maior possibilidade de caminhos para o fluxo de água, garantindo uma maior eficiência de transpiração (Pérez-de-Lis *et al.*, 2018; Brito *et al.*, 2022).

Por outro lado, o grupo o grupo BDM exibiu um diâmetro do lúmen dos vasos do xilema mais largo e uma baixa quantidade de vasos. Entretanto, com o aumento da irrigação salina, esse grupo apresentou aumento da espessura da parede dos vasos do xilema. Essa modificação na parede do vaso do xilema promove maior resistência a danos mecânicos (Doupis *et al.*, 2016). Estudos comprovam que o grupo de espécies BDM são hidráulicamente mais vulneráveis, devido ao baixo espessamento da parede dos vasos de xilema, podendo ocorrer obstruções por tiloses (Pérez-de-Lis *et al.*, 2018). Portanto, o grupo BDM investem nas compensações entre o nível de capacidade de reservas de água e a resistência à cavitação do xilema (Scholz *et al.*, 2011).

Essas variações anatômicas influenciaram na condutividade hidráulica potencial (K_p) e vulnerabilidade hidráulica do vaso do xilema no caule e raízes das plântulas. O grupo BDM apresentou maior K_p e maior vulnerabilidade no tratamento controle, entretanto, com o aumento da salinidade esses parâmetros foram fortemente reduzidos. A disfunção hidráulica das árvores pode ser atenuada por diversos ajustes da planta, incluindo a vulnerabilidade do xilema ao estresse (Arend *et al.*, 2021). Portanto, o aumento da espessura dos vasos do xilema e redução do índice de vulnerabilidade encontrado nesse grupo indica uma estratégia de ajuste em casos extremos. O excesso de sais pode reduzir o fluxo da seiva xilemática devido ao estresse hídrico que podem romper a integridade da membrana em raízes e, conseqüentemente, levar a uma obstrução do carregamento de seiva no xilema da raiz e reduzir a K_p (Scoffoni *et al.*, 2017; Ye *et al.*, 2022). O aumento da salinidade não afetou significativamente o índice de vulnerabilidade e K_p para o grupo ADM. Esses resultados indicam que as características hidráulicas desse grupo podem permanecer eficientes mesmo em condições de elevados estresse, tornando-as tolerantes à salinidade.

Até o momento, não estavam esclarecidos os mecanismos fisiológicos e hidráulicos que governam espécies de diferentes densidades de madeira em condições de salinidade. Com os achados desse estudo, pode-se destacar que as espécies BDM buscam

“evitar” o estresse, uma vez que, com o aumento da salinidade elas reduzem o tamanho das células do xilema e aumentam espessamento das paredes celulares. Enquanto espécies ADM “toleram” o estresse, pois conseguem manter as características anatômicas e equilíbrio de suas funções fisiológicas, mesmo com aumento da salinidade (Begg; Turner, 1976; Santos; Carlesso, 1999). Esses resultados auxiliam na compreensão da dificuldade de estabelecimento de plântulas nativas em ambiente salino, que pode estar diretamente ligada a espécies menos tolerantes a mudanças ambientais, podendo levar ligeiramente a mortalidade, modulada por fatores fisiológicos e hidráulicos (Arend *et al.*, 2021; Mantova *et al.*, 2022).

5. CONCLUSÃO

As estratégias e mecanismos morfofisiológicos dos grupos funcionais de plantas do semiárido mostraram ser de grande relevância para compreender às respostas das espécies ao efeito da salinidade. Foi encontrado um *trade-off* entre segurança e armazenamento hídrico, que garante a sobrevivência dos diferentes grupos de plantas em condições salinas. As espécies de alta densidade de madeira (ADM) são resistentes à salinidade, enquanto as de baixa densidade de madeira (BDM) são mais vulneráveis quanto aos parâmetros anatômicos. Estrategicamente, as ADM mantêm elevadas taxas de condutância estomática, produção e perda de folhas com elevados valores de sais, sendo esta uma estratégia para eliminar os sais em excesso. Por outro lado, as BDM reduzem o tamanho das células condutoras e concentram os sais nas raízes, como uma estratégia para manter melhores condições fisiológicas e evitar o estresse. Portanto, espécies com diferentes densidades de madeira devem ser levadas em consideração em estudos envolvendo mudanças climáticas, tendo em vista que as diferenças na densidade de madeira permitem diferentes estratégias de tolerância entre espécies que coexistem no mesmo habitat.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, AZIZ NACIB. O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras. **Geomorfologia**, n. 43, p. 1-39, 1974. Disponível em: biblio.fflch.usp.br/AbSaber_AN_1348621_ODominioMorfoclimatico.pdf.

ACOSTA-MOTOS, J. R.; ORTUÑO, M. F.; VICENTE, A. B; VIVANCOS, P. D.; BLANCO, M. J. S.; HERNANDEZ, J. A. Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. **Agronomy**, v. 7, p. 1- 38, 2017. doi: [10.3390/agronomy7010018](https://doi.org/10.3390/agronomy7010018)

ALENCAR, S.S.; FREIRE, J.N.T.; ARAUJO, M.N.; SILVA, J.C.; GOMES, R.A.; ANTONIO, R.P.; DANTAS, B.F. Seleção de genótipos do gênero *Manihot* tolerantes à salinidade durante estabelecimento inicial. **Scientia Plena**, v. 18, n. 3, 013502-1. doi: [10.14808/sci.plena.2022.031502](https://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.031502)

AREND, M.; LINK, R.M.; PATTHEY, R.; HOCH, G.; SCHULDT, B. KAHMEN, A. Rapid hydraulic collapse as cause of drought-induced mortality in conifers Proc. Natl. Acad. Sci. USA, v. 118, 16, p. 1-6, 2021. <https://doi.org/10.1073/pnas.2025251118>

ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. Improving plant abiotic-stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycinebetaine and proline. **Env Exp Bot**, v. 59, p. 206–16, 2007. <https://www.scienceopen.com/document?vid=e4fc9a37-f1f8-4986-afd7-0193d39a72bc>

ASHRAF, M.; SHAHZAD, S.M.; IMTIAZ, M.; RIZWAN, M.S. Salinity effects on nitrogen metabolism in plants—focusing on the activities of nitrogen metabolizing enzymes: a review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 8, p.1065–1081, 2018. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1431670>

BARHOUMI, Z.; ATIA, A.; AHMAD, A.H.; TAHANI, A.; KAMEL, A.S. Effects of high salinity on photosynthesis characteristics, leaf histological components and chloroplasts ultrastructure of *Avicennia marina* seedlings. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 44, n. 8, 2022. doi: [10.1007/s11738-022-03418-2](https://doi.org/10.1007/s11738-022-03418-2)

BEGG, J.E.; TURNER, N.C. Crop water deficits. **Advances in Agronomy San Diego**. 28, 161-217, 1976. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60464-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60464-2)

BESSA, M. C.; LACERDA, C. F.; AMORIM, A. V.; BEZERRA, A. M. E.; LIMA, A. D. Mechanisms of salt tolerance in seedlings of six woody native species of the Brazilian semi-arid. **Rev. Cienc. Agron**, v. 48, n. 1, p. 157–165, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170018>

BEECKMAN, H. **Wood anatomy and trait-based ecology**. IAWA J. 37, 127–151, 2016. <https://doi.org/10.1163/22941932-20160127>.

BORCHERT, R.; RIVERA, G.; HAGNAUER, W. Modification of vegetative phenology in a tropical semi-deciduous forest by abnormal drought and rain. **Biotropica**, v. 34, p. 27-39, 2002. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2002.tb00239.x>

BRITO, N. D. S.; MEDEIROS, M.J.S.; SOUZA, E. S.; LIMA, A.L.A. Drought response strategies for deciduous species in the semiarid Caatinga derived from the interdependence of anatomical, phenological and bio-hydraulic attributes. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 288, p. 152-099, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2022.152009>

BUI, E.N. Soil salinity: A neglected factor in plant ecology and biogeography. **Journal of Arid Environments**, v. 92, p. 14-25, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.12.014>

BURMESTER, L.P.; QUANDT, F.L.; JÚNIOR, J.C.F.M. Determinação de grupos funcionais para a gestão da conservação de remanescentes da floresta atlântica. **Revista Estudo & Debate**, Lajeado, v. 29, n. 1, 2022. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-036X.v29i1a2022.2863>

BUSH, D.; MARCAR, N.; ARNOLD, R.; CRAWFORD, D. Assessing genetic variation within *Eucalyptus camaldulensis* for survival and growth on two spatially variable saline sites in southern Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 306, n. 1, p. 68-78, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.008>

CARLQUIST, S. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. **Am. J. Bot.** 64, 887–896, 1977. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1977.tb11932.x>.

CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 59–66, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100007>

CHATURVEDI, R.K.; RAGHUBANSHI, A.S.; SINGH, J.S. Plant functional traits with particular reference to tropical deciduous forests: A review. **J. Biosci**, v. 36, p. 963–981, 2011. doi: [10.1007/s12038-011-9159-1](https://doi.org/10.1007/s12038-011-9159-1).

CONDE, A.; SILVA, P.; AGASEE, A.; CONDE, C.; GERÓS, H. Mannitol transport and mannitol dehydrogenase activities are coordinated in *Olea japonica* under salt and osmotic stress. **Plant & Cell Physiology**, v. 52, n. 1, p. 1766–1775, 2011. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr121>

CORNELISSEN, J. H. C.; LAVOREL, S.; GARNIER, E.; DÍAS, S.; BUCHMANN, N.; GURVICH, D.E.; REICH, P. B.; STEEGE, H.T.; MORGAN, M.G.A. HEIJDEN, V.D.; PAUSAS, J.G.; POOTER, H. A Handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 51, p. 335-380, 2003. doi: [10.1071/BT02124](https://doi.org/10.1071/BT02124)

COSTA, M. S.; FERREIRA, K. E. B.; BOTOSSO, P. C.; CALLADO, C. H. Growth analysis of five Leguminosae native tree species from a seasonal semideciduous lowland forest in Brazil. **Dendrochronologia**, v.36, p. 23-32, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.08.004>

CREEK, D.; LAMARQUE, L.J.; TORRES-RUIZ, J.M.; PARISE, C.; BURLETT, R.; TISSUE, D.T.; DELZON, S. Xylem embolism in leaves does not occur with open stomata: evidence from direct observations using the optical visualization technique. **J Exp Bot** 71:1151–1159, 2020. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz474>

DAS, S.; PARVIN, S.; ISLAM, M.M.; RAHMAN, A.; MOHI-UD-DIN, M.; AHMED, M.; MIAH, M.G.; ALAMRI, S.; ALMUNQEDHI, B.M.A. Morpho-physiological and biochemical responses of *Vitex negundo* to seawater induced salt stress. **South African Journal of Botany**, v. 166, p. 648-662, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.01.069>

DALIAKOPOULOS, I.N.; TSANIS, I.K.; KOUTROULIS, A.; KOURGIALAS, N.N.; VAROUCHAKIS, A.E.; KARATZAS, G.P.; RITSEMA, C.J. The threat of soil salinity:

a European scale review. **Science of The Total Environment**, v. 573, p.727-739, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>

DÍAZ, S.; PURVIS, A.; CORNELISSEN, J.H.; MACE, G.M.; DONOGHUE, M.J.; EWERS, R.M.; JORDANO, P.; PEARSE, W.D. Functional traits, the phylogeny of function, and ecosystem service vulnerability. **Ecology and Evolution**, v. 3, n. 9, p. 2958-2975, 2013. doi: [10.1002/ece3.601](https://doi.org/10.1002/ece3.601)

DOUPIS, G.; BOSABALIDIS, A.M.; PATAICAS, A. Comparative effects of water deficit and enhanced UV-B radiation on photosynthetic capacity and leaf anatomy traits of two grapevine (*Vitis vinífera* L.) cultivars. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 28, n. 1, p. 131-141, 2016. doi: [10.1007/s40626-016-0055-9](https://doi.org/10.1007/s40626-016-0055-9)

DUTRA, T. R.; MASSAD, M.D.; RIBEIRO, ÉRIKA, S.M.; MOREIRA, P.R.; E OTONI, B.A.S. Germinação de sementes de três espécies arbórea submetidas ao estresse salino: Seed germination of three tree species subjected to salt stress. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 11, p. 71243–71249, 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n11-031>

EL HASINI, S.; HALIMA, I. O.; AZZOUZI, M. E.; DOUAIK, A.; AZIM, K., ZOUAHRI, A. Organic and inorganic remediation of soils affected by salinity in the sebkha of sed el mesjoune – marrakech (Morocco). **Soil Tillage Res**, v. 193, p. 153–160. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.06.003>

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2005. **Análise de Solo**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1354346/17477991/Amostragem+solo/9d72a599-d653-4a4a-9d40-d17657f1f8f0>

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2013. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos, 3º ed. Revista e Ampliada**, Brasília. Disponível em: <https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00053080.pdf>

FAGUNDES, M.V.; SOUZA, A.F.; OLIVEIRA, R.S.; GANADE, G. Functional traits above and below ground allow species with distinct ecological strategies to coexist in the largest seasonally dry tropical forest in the Americas. **Sec. Tropical Forests**. 5, 2022. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.930099>

FAO. Global Soil Partnership. Available online: <https://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/en/c/1412475/>.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Extent of salt-affected soils. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/en/.com>, 2016.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Extent and causes of salt-affected soils in participating countries. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. FAO-AGL website, 2000.

FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Métodos para determinação da Densidade Básica de cavacos para Coníferas e Folhosas. IPEF n.2/3,

p.65-74, 1971. Disponível em:
https://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1972_Metodos_OPapel.pdf

FONSECA, C.R.; GANADE, G. Species functional redundancy, random extinctions and the stability of ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 89, p. 118- 125, 2001. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2001.00528.x>

FU, X.; MEINZER, F.C.; WOODRUFF, D.R.; LIU, Y.Y.; SMITH, D.D.; MCCULLOH, K.A.; HOWARD, A.R. Coordination and trade-offs between leaf and stem hydraulic traits and stomatal regulation along a spectrum of isohydry to anisohydry. **Plant Cell Environ**, v. 42, p. 2245–2258, 2019. <https://doi.org/10.1111/pce.13543>.

GÓMEZ-ORTIZ, Y.; MARTÍN-REGALADO, C.N.; ORTEGA-MARTÍNEZ, J.; PÉREZ-HERNÁNDEZ, C. Diversidad funcional de las comunidades ecológicas. En: Moreno CE (Ed) La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México, pp. 237-264.2019.

GONÇALVES-ARAÚJO, M.D.O.; CARVALHO, C.E.; PEQUENO, P.A.C.L.; TRINDADE, D.P.F.; HUGHES, F.; ARAÚJO, F.S.; PARTEL, M.; SFAIR, C. Observed and dark diversity of plants'life-forms are driven by climate and human impacts in a tropical dry forest. **Biodiversity and Conservation**, v, 33, p. 759-773, 2024. [Doi: 10.1007/s10531-023-02771-z](https://doi.org/10.1007/s10531-023-02771-z)

HAWORTH, M.; MARINO, G.; LORETO, F.; CENTRITTO, M. Integrating stomatal physiology and morphology: evolution of stomatal control and development of future crops. **Oecologia**, v. 197, n. 4, p. 867-883, 2021. [doi: 10.1007/s00442-021-04857-3](https://doi.org/10.1007/s00442-021-04857-3).

HENRIQUE, C.; CASTELLETTI, M.; TABARELLI, M. **Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar**. 2003.

HEUPERMAN, A. F. Trees in irrigation areas: The biopumping concept. **Trees and Natural Resources**, v. 34, p. 20-25, 1992. https://www.academia.edu/21100538/Biodrainage_potential_of_Eucalyptus_tereticornis_for_reclamation_of_shallow_water_table_areas_in_north_west_India

JIANG, G.F.; GOODALE, U.M.; LIU, Y.Y.; HAO, G.Y.; CAO, K.F. Salt management strategy defines the stem and leaf hydraulic characteristics of six mangrove tree species. **Tree Physiology**, v. 37, p. 389–401, 2017. [doi:10.1093/treephys/tpw131](https://doi.org/10.1093/treephys/tpw131).

JOHANSEN, D. A. **Plant Microtechnique**. p. 523, 1940

KRÜGER, T. P. J.; VAN GRONDELLE, R. The role of energy losses in photosynthetic light harvesting. **Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics**, v. 50, n. 13, p. 132001, 2017. [doi: 10.1088/1361-6455/aa7583](https://doi.org/10.1088/1361-6455/aa7583)

LLANES, A.; PALCHETTI, M.V.; VILO, C.; IBANEZ, C. Molecular control to salt tolerance mechanisms of woody plants: recent achievements and perspectives. **Annals of Forest Science**, v. 78, p. 96, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01107-7>.

LIMA, A. L. A.; SAMPAIO, E. V. S. A. B.; CASTRO, C. C.; RODAL, M. J. N.; ANTONINO, A. C. D.; MELO, A. L. Do the phenology and functional stem attributes of woody species allow for the identification of functional groups in the semiarid region of Brazil? **Trees**. v. 26, p.1605–1616, 2012. doi: [10.1007/s00468-012-0735-2](https://doi.org/10.1007/s00468-012-0735-2)

LIMA, A.L.A.; RODAL, M.J.N.; CASTRO, C.C.; ANTONINO, A.C.D.; MELO, A.L.; GONÇALVES-SOUSA, T.; SAMPAIO, E.V.S.B. Phenology of high- and low-density wood deciduous species responds differently to water supply in tropical semiarid regions. **Journal of Arid Environments**, v. 193, p. 104-594, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104594>

LITALIEN, A.; AND ZEEB, B. Curing the Earth: A Review of Anthropogenic Soil Salinization and Plant-Based Strategies for Sustainable Mitigation. **Sci. Total Environ.** 698, 134235, 2020. doi:[10.1016/j.scitotenv.2019.134235](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134235)

LONGUI, E.L.; GALAO, A.T.D.; RAJPUT, K.S.; DE MELO, A.C.G. Anatomical investigation of root, stem and branch wood in 10-year-old *Inga laurina* in the context of anatomical adaptation to hydraulic and mechanical stresses. **An. Biol**, p. 31–39, 2018. <https://doi.org/10.6018/analesbio.40.04>.

LIU, Y.; SU, M.; HAN, Z. Effects of NaCl Stress on the Growth, Physiological Characteristics and Anatomical Structures of *Populus talassica* × *Populus euphratica* Seedlings. **Plants** 2022, 11, 3025. <https://doi.org/10.3390/plants11223025>

LARBI, A.; KCHAOU, H.; GAALICHE, B.; GARGOURI, K.; BOULAL, H.; MORALES, F. Supplementary potassium and calcium improves salt tolerance in olive plants. **Ciência. Hortico**, v. 260, p.912, 2020.

MAAS, E. V. Crop salt tolerance. In: Tanji, K. K. (ed.) *Agricultural salinity assessment and management*. New York: ASCE, 1990. Cap. 13, p.262-304.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. 1989. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: POTAFOS. pp. 201.

MANTOVA, M.; HERBETTE, S.; COCHARD, H.; TORRES-RUIZ, J.M. Hydraulic failure and tree mortality: from correlation to causation. **Trends Plant Sci**, v. 27, p. 335–345, 2022. <https://doi.org.ez19.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.tplants.2021.10.003>.

MARANGON, G. P.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; SCHNEIDER, P. R.; LOUREIRO, G. H. Modelagem da distribuição diamétrica de espécies lenhosas da Caatinga, semiárido Pernambucano. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 863-874, 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509824214>.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa, UFV, 2005, 451p.

MEENA, M.D.; YADAV, R.K.; NARJARY, B.; YADAV, G.; JAT, G.; SHEORAN, P.; MEENA, M.K.; ANTIL, R.S.; MEENA, B.L.; SINGH, H.V.; MEENA, V.S.; RAI, P.K.; GHOSH, A.; MOHARANA, P.C. Strategies to improve salt affected soil sustainability:

a review. **Waste Manag**, v. 84, p. 38–53, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.020>

MEIRA, R. M. S. A.; MARTINS, F. M. Inclusão de material herborizado em metacrilato para estudos de anatomia vegetal. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 109–112, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000100015>

MINHAS, P.S.; YADAV, R.K.; BALI, A. Perspectives on reviving waterlogged and saline soils through plantation forestry. **Agricultural Water Management**, v. 232, p. 106-063, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106063>.

MIRANDA, M. F. A. **Diagnóstico e recuperação de solos afetados por sais em perímetro irrigado de Pernambuco**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2013. 102p. Tese Doutorado

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends Plant Sci**, v. 7, p. 405–10, 2002. doi: [10.1016/s1360-1385\(02\)02312-9](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(02)02312-9)

MORALES, J.; SQUEO, F. A.; TRACOL, Y.; ARMAS, C.; GUTIERREZ, J. R. Resource economics and coordination among above- and below-ground functional traits of three dominant shrubs from the Chilean coastal desert. **Journal of Plant Ecology**, v. 8, n. 1, p. 70–78, 2015. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtu010>

MORAIS, M. C.; PANUCCIO, M.R.; MUSCOLO, A.; FREITAS, H. Salt tolerance traits increase the invasive success of *Acacia longifolia* in Portuguese coastal dunes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 55, n. 1, p. 60-65, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.03.013>

MORIN, P.J. 2011. **Community ecology**. Wiley Blackwell, Estados Unidos.

MOUKHTARI, A.E.L.; CABASSA-HOURTON, C.; FARISSI, M.; SAVOURÉ, A. How does proline treatment promote salt stress tolerance during crop plant development? **FrontPlant Sci**, v. 11, p. 1127, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01127>

MUKHOPADHYAY, R.; SARKAR, B.; JAT, H.S.; SHARMA, P.C.; BOLAN, S.N. Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*. **Academic Press**, 15 fev. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111736>

MUNNS, R.; AND TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annu. Rev. Plant Biol.** 59, 651–681, 2008. doi: [10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911](https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911)

MUNNS, R.; PASSIOURA, J. B.; COLMER, T. D.; AND BYRT, C. S. Osmotic Adjustment and Energy Limitations to Plant Growth in saline Soil. **New Phytol.** 225, 1091–1096, 2019. doi: [10.1111/nph.15862](https://doi.org/10.1111/nph.15862)

NEGRÃO, S.; SCHMÖCKEL, S.M.; TESTER, M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. **Ann Bot**, v. 119, n. 1, p. 1–11, 2017. doi: [10.1093/aob/mcw191](https://doi.org/10.1093/aob/mcw191)

NOVOA, A.; GOZÁLEZ, L.; MARAVCOVÁ, L.; PYSEK, P. Constraints to native plant species establishment in coastal dune communities invaded by *Carpobrotus edulis*: implications for restoration. **Biological Conservation**, v. 164, n. 1, p. 1-9, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.04.008>

OLIVEIRA, G.M.; MATIAS, J.R.; SILVA, P.P.; RIBEIRO, R.C.; DANTAS, B.F. Germinação de sementes de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) e Mororó (*Bauhinia cheilantha* (Bong) Stend.) em diferentes condutividades elétricas. **Revista SODEBRAS**, v. 9, n. 104, 2014. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/995373>

OLIVEIRA, G. M.; SILVA, F. F. S.; ARAUJO, M. N.; COSTA, D. C. C.; GOMES, S. E. V.; MATIAS, J. R.; ANGELOTTI, F.; CRUZ, C. R. P.; SEAL, C. E.; DANTAS, B. F. Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds. **Journal of Seed Science**, v. 41, 2019. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n1191945>

ORLANDI, L.M.O.; CIANCIARUSO, M.V.; SAMIA, D.S.M. Functional diversity: an overview of its history and applicability. **Natureza & Conservação**, v. 13, n. 2, p. 112-116, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.11.001>

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A.T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015. doi: [105902/2236117016544](https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.11.001)

PEREIRA, F. J.; POLO, M. Growth and ion accumulation in seedlings of *Handroanthus serratifolius* (VAHL.) cultivated in saline solution. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 441-446, dez. 2011. <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/28919>

PEREIRA, F. R. A.; PEREIRA, W. E.; PESSOA, A. M. DOS S.; VASCONCELOS, E. S. A. G. DE. Crescimento inicial de mudas de *Spondia tuberosa* irrigadas com água salina. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, Brasil, São Paulo, v. 6, n. 12, p. 494–513, 2023. DOI: 10.55892/jrg.v6i12.531. Disponível em: <https://revistajrg.com/index.php/jrg/article/view/531>.

P'EREZ-DE-LIS, G.; ROZAS, V.; VAZQUEZ-RUIZ, R.A.; GARCÍA-GONZALEZ, I. DO ring-porous oaks prioritize earlywood vessel efficiency over safety? Environmental effects on vessel diameter and tyloses formation. **Agric. For. Meteorol.** 248, 205–214, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.09.022>.

PESSOA, L.G.M.; FREIRE, M.B.G.S.; GREEN, C.H.M.; MIRANDA, M.F.A.; FILHO, J.C.A.; PESSOA, W.R.L.S. Assessment of soil salinity status under diferente land-use conditions in the semiarid region of Northeastern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 141, p. 109-139, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109139>

PLAUT, Z.; CARMI, A. GRAVA, A. Cotton root and shoot responses to subsurface drip irrigation and partial wetting of the upper soil profile. **Irrig. Sci**, v. 16, p. 137-148, 1996. doi: [10.1007/BF02215618](https://doi.org/10.1007/BF02215618)

PRADO-JUNIOR, J. A.; SCHIAVINI, I.; VALE, V. S.; ARANTES, C.S.; VAN DER SANDE, M.T.; LOHBECK, M.; POORTER, L. Conservative species drive biomass productivity in tropical dry forests. **Journal of Ecology**, v. 104, p. 817–827, 2016. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12543>

PURCELL, L. C.; KING, C. A.; BALL, R. A. Soybean cultivar differences in ureides and the relationship to drought tolerant nitrogen fixation and manganese nutrition. **Crop Sci**, v. 40, p. 1062-1070, 2000. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4041062x>

QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D.; FERNANDES, M. F.; MORO, M. F. **Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga domain**. In J.M. C.; Silva, I. R.; Leal, e M.; Tabarelli (Eds.), *Caatinga; The largest tropical dry forest region in South America* (pp. 23–64), 2017. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. Doi: [10.1007/978-3-319-68339-3_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_2)

RAMOS, D.L.D.; SANTOS, R.S.; MATIAS, J.R.; REIS, R.C.R.; DANTAS, B.F. Processo germinativo e teor de proteínas de aroeira-do-sertão (*Astronium urundeuva* Fr. (M. Allemão).) germinadas em água bioessalina. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 1, n. 1, p. 1–8, 2018. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/946004>

RAM, J.; DAGAR, J. C.; KHAJANCHI, L.; SINGH, G.; TOKY, O. P.; TANWAR, V. S.; DAR, S. R.; CHAUHAN, M. K. Biodrainage to combat waterlogging, increase farm productivity and sequester carbon in canal command areas of northwest India. **Current Science**, v. 100, p.1673-1680, 2011. <https://www.currentscience.ac.in/Volumes/100/11/1673.pdf>

REICH, P. B. The world-wide ‘fast-slow’ plant economics spectrum: a traits manifesto. **Journal of Ecology**, n. 102, p. 275-301, 2014. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12211>

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: Curi, N.; Marques, J.J.; Guilherme, L.R.G.; Lima, J.M.; Lopes, A.S.; Alvarez V., V.H. (ed.) **Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2003, v.3, p.165-208

RIBEIRO, E. M. S.; LOHBECK, M.; SANTOS, B. A.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; TABARELLI, M.; LEAL, I. R. Data from: Functional diversity and composition of Caatinga woody flora are negatively impacted by chronic anthropogenic disturbance. **Dryad Digital Repository**, 2019. <https://doi.org/10.5061/dryad.0d1s343>

RITO, K. F.; TABARELLI, M.; LEAL, I. R. Euphorbiaceae responses to chronic anthropogenic disturbances in Caatinga vegetation: From species proliferation to biotic homogenization. **Plant Ecology**, v. 218, p. 749–759, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11258-017-0726-x>

RODRIGUES, C.R.F.; SILVA, E.N.; FERREIRA-SILVA, S.L.; VOIGT, E.L.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J.A.G. High K⁺ supply avoids Na⁺ toxicity and improves photosynthesis by allowing favorable K⁺: Na⁺ ratios through the inhibition of Na⁺ uptake and transport to the shoots of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 2, p. 157-164, 2013. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200230>

ROSADO, B.H.P.; JOLY, C.A.; BURGESS, S.S.O.; OLIVEIRA, R.S.; AIDAR, M.P.M. Changes in plant functional traits and water use in Atlantic rainforest: evidence of conservative water use in spatio-temporal scales. **Trees**, v. 30, p. 47–61, 2016. doi [10.1007/s00468-015-1165-8](https://doi.org/10.1007/s00468-015-1165-8).

SANTOS, W.R.; SOUZA, L.S.B.; JARDIM, A.M.R.F.; MORAIS, J.E.F.; SANTOS, M.M.P.; SOUZA, C.A.A.; SILVA, T.G. How is the water footprint of the species *Vachellia farnesiana*, *Amburana cearensis*, and *Handroanthus impetiginosus* influenced by abiotic stresses as water deficit and salinity? **International Journal of Phytoremediation**, v. 26, n. 5, 2024. <https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2267670>

SANTOS, W.R.; SOUZA, M.A.G.; SOUZA, L.S.B.; ARAÚJO JÚNIOR, G.N.; SOUZA, C.A.A.; JARDIM, A.M.R.F.; SILVA, T.G.F. Emergence and the initial form of seedlings of *Cenostigma pyramidale* (Fabaceae) under saline stress. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, 2021. e18910514870, 2021. doi: [10.33448/rsd-v10i5.14870](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14870)

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Enrolamento e expansão das folhas de milho submetidas a déficit hídrico em diferentes solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n.1, p 1-6, 1999. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n1p01-06>

SCHOLZ, F. G.; PHILLIPS, N.; BUCCI, S.J.; MEINZER, F.C.; GOLDSTEIN, G. Hydraulic capacitance: biophysics and functional significance of internal water sources in relation to tree size. In: MEINZER, F.C.; LACHENBRUCH, B.; DAWSON, T.E (eds) Size- and age-related changes in tree structure and function. Springer, Dordrecht, pp 341–361, 2011. doi: [10.1007/978-94-007-1242-3_13](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1242-3_13)

SCHULZ, K.; VOIGT, K.; BEUSCH, C.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; KOWARIK, I.; WALZ, A.; & CIERJACKS, A. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 367, p. 62–70, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.02.011>

SCOFFONI, C.; ALBUQUERQUE, C.; BRODERSEN, C.R.; TOWNES, S.V.; JOHN, G.P.; BARTLETT, M.K.; BUCKLEY, T.N.; MCELDRONE, A.J.; SACK, L. Outside-Xylem vulnerability, not xylem embolism, controls leaf hydraulic decline during Dehydration. **Plant Physiology**, v. 173, n. 2, p. 1197-1210, 2017. <https://doi.org/10.1104/pp.16.01643>

SEGATTO, F. B.; BISOGNIN, D.A.; BENEDETTI, M.; COSTA, L.C.; RAMPELOTTO, M.V.; NICOLOSO, F.T. A technique for the anatomical study of potato leaf epidermis. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1597–1601, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000500042>

SHABALA, S.; CHEN, G.; CHEN, Z.H.; POTTOSIN, I. The energy cost of the tonoplast futile sodium leak. **New Phytol**, 2019. <https://doi.org/10.1111/nph.15758>.

SILVA, T.G.F.; ALMEIDA, A.Q. 2013. **Climatologia e Características Geomorfológicas** (Capítulo 2). In: Santos, E.M., et al. Parque Estadual Mata da Pimenteira: Riqueza Natural e Conservação da Caatinga. Recife: EDUFRPE, 257p.

SILVA, N.K.C.; TEIXEIRA, M.V.; LIMA, R.M.; MEDEIROS, J.F.; MEDEIROS, A.M.A.; OLIVEIRA, F.L. Evolução da salinidade do solo em função de diferentes doses de nitrogênio e salinidade da água de irrigação. **Revista ACSA – OJS**, v. 9, n. 2, p. 126-136, 2013. <http://150.165.111.246/ojs-patos/index.php/ACSA>

SILVA, J.M.C.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M. (2017). **Caatinga; The largest tropical dry forest region in South America**. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.

SILVA, G.D.; SALIMON, C.I.; ANDERSON, I.O.; MACHADO, C.C.C. Woody Species Richness and Precipitation as drivers of Primary Productivity in Dry Forests of Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 1, 2024. doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.1.p244-259>

SIRAULT, X.R.R.; JAMES, R.A.; FURBANK, R.T. A new screening method for osmotic component of salinity tolerance in cereals using infrared thermography. **Funct. Plant Biol**, v. 36, p. 970–977, 2009. doi: [10.1071/FP09182](https://doi.org/10.1071/FP09182)

SOLIVERES, S.; MAESTRE, F. T.; BOWKER, M. A.; TORICES, R.; QUERO, J. L.; GARCÍAGÓMEZ, M.; NOUMI, Z. Functional traits determine plant co-occurrence more than environment or evolutionary relatedness in global drylands. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 16, n. 4, p. 164–173, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2014.05.001>.

SOUSA, L.F.; MENEZES-SILVA, P.E.; BATISTA, P.F.; ALVES, A.P.S.; SILVA, M.C.A.P.; ALMEIDA, S.E.S.; ALVES, R.D.F.B.; LOURENÇO, L.L.; BESSA, L.A.; SILVA, A.A.; COSTA, A.C.; SILVA, A.R.; FARNESE, F.S. Environmental vulnerability index in *Dipteryx alata*: influence of abiotic stresses on central processes of plant physiology and metabolism. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 46, n. 31, 2024. Doi: [10.1007/s11738-024-03660-w](https://doi.org/10.1007/s11738-024-03660-w)

SOUZA, D.; SFAIR, J.; PAULA, A.; BARROS, M.; RITO, K.; TABARELLI, M. Multiple drivers of aboveground biomass in a human modified landscape of the Caatinga dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 435, p. 57–65, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.042>.

STAVI, I.; THEVS, N.; PRIORI, S. Soil Salinity and Sodicity in Drylands: A review of Causes, Effects, Monitoring, and Restoration Measures. **Front. Environ.Sci.** 9, 2021. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>

TRABELSI, L.; KAMEL; MOHAMED.; MBADRA, C.; HASSENA, A.B.; NCUBE, B.; SOUA, N.; MAKTOUF, S.; KHLIFI, M.; STADEN, J.V.; GARGOURI, R. The effect of drought and saline water on the nutritional behaviour of the olive tree (*Olea europaea* L.) in an arid climate. **South African Journal of Botany**, v. 165, p. 126-135, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.11.047>

TYREE, M.T.; SPERRY, J. S. Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. **Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol**, v. 40, p. 19–38, 1989. <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.pp.40.060189.000315>

VANDERLEI, R.S.; BARROS, M.F.; DEXTER, K.G.; TABARELLI, M.; SANTOS, M.G. Human disturbances reduce tree abundance and stimulate woody plant resprouting and clonal growth in a tropical dry forest, v. 555, 121694, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121694>

VASCONCELOS, R. R. A.; BARROS, M. F. C.; SILVA, E. F. F.; GRACIANO, E. S. A.; FONTENELE, A. J. P. B.; SILVA, N. M. L.; Características físicas de solos salino-sódicos do semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.12, p.1318–1325, 2013.

VÉRY, A.-A.; NIEVES-CORDONES, M.; DALY, M.; KHAN, I.; FIZAMES, C.; AND SENTENAC, H. Molecular biology of K⁺ transport across the plant cell membrane: what do we learn from comparison between plant species? **J. Plant Physiol**, v. 171, p. 748–769, 2014. doi: [10.1016/j.jplph.2014.01.011](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.01.011)

VILLÉGER, S.; MIRANDA, J.R.; HERNÁNDEZ, D.F.; MOUILLOT, D. Contrasting changes in taxonomic vs. functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. **Ecological Applications**, v. 20, p. 1512-1522, 2010. <https://doi.org/10.1890/09-1310.1>

VIOLLE, C.; NAVAS, M.L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, v. 116, p. 882-892, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>

WALTER, J.; LÜCK, E.; BAURIEGEL, A.; FACKLAM, M.; ZEITZ, J. Seasonal dynamics of soil salinity in peatlands: A geophysical approach. **Geoderma**, v. 310, p. 1-11, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.022>

WICKE, B.; SMEETS, E.; DORNBURG, V.; VASHEV, B.; GAISER, T.; TURKENBURG, W.; FAAIJ, A. The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. **Energy & Environmental Science**, v. 4, p. 2669–2681, 2011. <https://doi.org/10.1039/C1EE01029H>

WILLADINO, L.; CAMARA, R. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera**. Departamento de Química UFRPE. 2010. <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4427>

WRIGHT, C. L. LIMA, A.L.; SOUZA, E.S.; WEST, J.B.; WILCOX, B.P. Plant functional types broadly describe water use strategies in the Caatinga, a seasonally dry tropical forest in northeast Brazil. **Ecology and Evolution**, v. 11, n. 17, p. 11808–11825, 1 set. 2021. <https://doi.org/10.1002/ece3.7949>

XU, D.; CHUNLEI, L.; XIAO, S.; HONGYAN, R. The dynamics of desertification in the farming-pastoral region of North China over the past 10 years and their relationship to climate change and human activity. **Catena**, v.123, p.11-22, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.07.004>

YAO, X.C.; MENG, L.F.; ZHAO, W.L.; MAO, G.L. Changes in the morphology traits, anatomical structure of the leaves and transcriptome in *Lycium barbarum* L. under salt stress. **Front. Plant Sci**, v. 14, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1090366>

YE, Q.; TANG, W.; LIU, H.; *et al.* Hydraulic vulnerability segmentation between branches and roots increases with environmental aridity. **Authorea**. November 02, 2022. doi: [10.22541/au.166737979.94728877/v1](https://doi.org/10.22541/au.166737979.94728877/v1)

YOUSIF, B. S.; NGUYEN, T. N.; FUKUDA, Y.; HAKATA, H.; OKAMOTO, Y.; MASAOKA, Y.; SANEOKA, H. Effect of Salinity on Growth, Mineral Composition, Photosynthesis and Water Relations of Two Vegetable Crops; New Zealand Spinach (*Tetragonia tetragonioides*) and Water Spinach (*Ipomoea aquatica*). **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 12, p. 211-216, 2010. <http://www.fspublishers.or>

ZAIT, Y.; SHTEIN, I.; SCHWARTZ, A. Long-term acclimation to drought, salinity and temperature in the thermophilic tree *Ziziphus spina-christi*: Revealing different tradeoffs between mesophyll and stomatal conductance. **Tree Physiology**, v. 39, n. 5, p. 701–716, 2019. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy133>

ZHANG, M.; LIU, Y.; HAN, G.; ZHANG, Y.; WANG, B.; CHEN, M. Salt tolerance mechanisms in trees: research progress. **Trees**, v. 35, n. 3, p. 717–730, 2021. [10.1007/s00468-020-02060-0](https://doi.org/10.1007/s00468-020-02060-0)

ZILVERBERG, C. J.; TEOH, K.; BOE, ARVID.; JOHNSON, W. C.; OWENS, V. Strategic use of native species on environmental gradients increases diversity and biomass relative to switchgrass monocultures. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 215, p.110-121, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.006>