



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

**RICARDO LEONI GONÇALVES BASTOS**

**MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS JOVENS DE CAJUEIRO ANÃO SUBMETIDAS  
À SOLUÇÕES SALINAS DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES IÔNICAS**

**FORTALEZA**

**2023**

RICARDO LEONI GONÇALVES BASTOS

MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS JOVENS DE CAJUEIRO ANÃO SUBMETIDAS À  
SOLUÇÕES SALINAS DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES IÔNICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Marlos Alves Bezerra.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- B33m Bastos, Ricardo Leoni Gonçalves.  
Morfofisiologia de plantas jovens de cajueiro anão submetidas à soluções salinas de diferentes composições iônicas / Ricardo Leoni Gonçalves Bastos. – 2023.  
76 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Marlos Alves Bezerra.
1. Anacardium occidentale L.. 2. Salinidade. 3. Irrigação. 4. Crescimento. 5. Fotossíntese. I. Título.  
CDD 630
-

RICARDO LEONI GONÇALVES BASTOS

MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS JOVENS DE CAJUEIRO ANÃO SUBMETIDAS À  
SOLUÇÕES SALINAS DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES IÔNICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: 26/04/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marlos Alves Bezerra (Orientador)  
Embrapa Agroindústria Tropical (EMBRAPA)

---

Prof. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Amanda Soraya Freitas Calvet  
FUNCAP/Embrapa Agroindústria Tropical (EMBRAPA)

A Deus.

À minha mãe Francisca Maria, por todo o  
amor, carinho e educação.

**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer ao Grande Arquiteto do Universo por cada degrau alcançado nesta minha jornada. Por sempre me proteger e nortear nos desafios enfrentados, mantendo-me firme e focado no meu projeto de vida. Sem Ele, nada disso seria possível.

Aos meus pais, Francisca Maria de Sousa Carvalho e Elias Gonçalves Bastos Filho, expresso meu agradecimento pelo amor incondicional e incentivo. Eles são meu alicerce e minha força, sempre me dando carinho, apoio e direcionamento. O estímulo de vocês foi fundamental em minha trajetória.

À Valéria Barbosa Pinto, agradeço pelo amor, carinho, compreensão e companheirismo nos momentos que mais precisei. Ela celebra minhas conquistas como se fossem suas e sempre acreditou em mim, mesmo quando eu duvidava.

Ao meu orientador, Dr. Marlos Alves Bezerra, expresso minha gratidão pela orientação, disponibilidade, compreensão e amizade ao longo dessa caminhada.

À Universidade Federal do Ceará, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA, agradeço a todo o corpo docente que contribuiu ativamente para minha formação profissional.

À FUNCAP, agradeço pela concessão da bolsa de mestrado.

À Embrapa Agroindústria Tropical, sou grato por todo o material e instalações que tornaram viável a realização deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Fisiologia Vegetal (LFV) da Embrapa Agroindústria Tropical - Ionete, Amanda, Beatriz, Karine e Denilson -, meu muito obrigado pelo convívio, ajuda, paciência e ensinamentos repassados. A participação de vocês nas avaliações do experimento foi fundamental para a concretização deste trabalho.

Aos amigos que estiveram ao meu lado durante toda essa trajetória, sejam aqueles de infância ou os que conheci durante a graduação e pós-graduação, saibam que os levarei por toda minha vida. Aos verdadeiros amigos, sintam-se todos aqui citados.

Por fim, agradeço aos participantes da banca examinadora, Prof. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita e Dra. Amanda Soraya Freitas Calvet, por terem aceitado o convite e por todas as contribuições valiosas dadas ao trabalho.

**“ E a todos que, de alguma forma, contribuíram para o meu desenvolvimento técnico, científico e pessoal, o meu mais sincero e genuíno obrigado! ”**

“O homem não é nada além daquilo que a educação faz dele” (Immanuel Kant).

## RESUMO

A baixa disponibilidade hídrica do semiárido nordestino e a elevada presença de sais nas águas têm se tornado um problema para expansão da agricultura na região, tornando necessária a adoção de estratégias para garantir a produção agrícola, como o uso de águas salinas. Entretanto, a concentração de sais na água pode causar reduções significativas na morfologia e fisiologia das plantas. Neste contexto, objetivou-se avaliar os efeitos da concentração e da composição salina da água de irrigação sobre a morfofisiologia e o teor de minerais em plantas jovens de cajueiro anão, genótipo CCP 06. O experimento foi conduzido na Embrapa Agroindústria Tropical, localizada no município de Fortaleza, Ceará. Os tratamentos foram dispostos em blocos ao acaso em arranjo fatorial 4 x 3, referentes a quatro níveis de salinidade da água de irrigação (CEa de 0,5; 1,5; 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>) e três tipos de sais usados na composição da água (NaCl, CaCl<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), com quatro repetições e cinco plantas por parcela. A aplicação dos tratamentos se iniciou aos 25 DAS e as avaliações foram realizadas até os 70 DAS. O aumento da salinidade da água de irrigação comprometeu o crescimento das plantas, com reduções na produção de matéria seca. A irrigação com K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> promoveu os melhores resultados no crescimento e na produção de matéria seca, quando comparada com a irrigação com NaCl e CaCl<sub>2</sub>. As trocas gasosas analisadas aos 15 e 45 DAT responderam negativamente ao aumento da CEa de irrigação. Os teores de minerais nas folhas e raízes aumentaram com a salinidade da água de irrigação. A irrigação com NaCl proporcionou os maiores teores de Na e Cl tanto nas folhas quanto nas raízes. Houve uma maior translocação de Na<sup>+</sup> da raiz para parte aérea das plantas com o aumento da CEa de irrigação, assim como uma translocação mais intensiva de K para as folhas. Nas folhas das plantas irrigadas com NaCl e CaCl<sub>2</sub>, o íon cloreto apareceu em maior quantidade que os demais minerais analisados. A irrigação com CaCl<sub>2</sub> proporcionou os maiores teores de P, Ca e Mg tanto nas folhas quanto nas raízes. O valor limiar da salinidade foi de 2,34 dS m<sup>-1</sup>, classificando o cajueiro anão (CCP 06) como ‘moderadamente tolerante’ na fase inicial de crescimento.

**Palavras-chave:** *Anacardium occidentale* L.; salinidade; irrigação; crescimento; fotossíntese.



## ABSTRACT

The low water availability in the semi-arid Northeastern region of Brazil and the high presence of salts in the water have become a problem for the expansion of agriculture in the area, making it necessary to adopt strategies to ensure agricultural production, such as the use of saline waters. However, the concentration of salts in the water can cause significant reductions in the morphology and physiology of plants. In this context, the objective was to evaluate the effects of concentration and saline composition of irrigation water on the morphophysiology and mineral content in young dwarf cashew plants, genotype CCP 06. The experiment was conducted at Embrapa Agroindústria Tropical, located in the municipality of Fortaleza, Ceará. Treatments were arranged in a randomized block design in a 4 x 3 factorial arrangement, referring to four levels of irrigation water salinity (EC<sub>w</sub> of 0.5; 1.5; 3.0 and 4.5 dS m<sup>-1</sup>) and three types of salts used in water composition (NaCl, CaCl<sub>2</sub> and K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), with four replications and five plants per plot. The application of treatments began at 25 DAS, and evaluations were performed until 70 DAS. The increase in irrigation water salinity compromised plant growth, with reductions in dry matter production. Irrigation with K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> promoted the best results in growth and dry matter production, when compared to irrigation with NaCl and CaCl<sub>2</sub>. Gas exchanges analyzed at 15 and 45 DAT responded negatively to the increase in irrigation EC<sub>w</sub>. The mineral content in leaves and roots increased with irrigation water salinity. Irrigation with NaCl provided the highest levels of Na and Cl in both leaves and roots. There was a greater translocation of Na<sup>+</sup> from the root to the aerial part of the plants with the increase in irrigation EC<sub>w</sub>, as well as a more intensive translocation of K to the leaves. In the leaves of plants irrigated with NaCl and CaCl<sub>2</sub>, chloride ions appeared in greater quantities than the other minerals analyzed. Irrigation with CaCl<sub>2</sub> provided the highest levels of P, Ca, and Mg in both leaves and roots. The threshold value of salinity was 2.34 dS m<sup>-1</sup>, classifying the dwarf cashew (CCP 06) as 'moderately tolerant' in the initial growth phase.

**Keywords:** *Anacardium occidentale* L.; salinity; irrigation; growth; photosynthesis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Conjunto de ilustrações botânicas do cajueiro ( <i>Anacardium occidentale</i> L.) .....	18
Figura 2 – Composição do caju (pedúnculo floral + castanha), fruta símbolo da Sociedade Brasileira de Fruticultura .....	19
Figura 3 – Principais estados do Brasil produtores de castanha de caju, segundo o IBGE (2022) .....	20
Figura 4 – Dados de temperatura e umidade relativa do ar dentro da casa de vegetação durante o período experimental (agosto a outubro de 2022) .....	24
Figura 5 – Croqui do delineamento utilizado no experimento para avaliar o efeito da concentração e composição salina da água de irrigação sobre plantas jovens de cajueiro anão .....	25
Figura 6 – Altura (AP) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da <b>A.</b> composição salina da água de irrigação (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e <b>B.</b> níveis crescentes de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	32
Figura 7 – <b>A.</b> Diâmetro do caule (DC) e <b>B.</b> Número de folhas (NF) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função dos níveis crescentes de salinidade da água de irrigação (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	33
Figura 8 – <b>A.</b> Área foliar (AF) e <b>B.</b> Área foliar específica (AFE) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função dos níveis crescentes de salinidade da água de irrigação (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	34
Figura 9 – Razão de área foliar (RAF) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e os níveis de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	36
Figura 10 – Matéria seca do caule (MSC), da parte aérea (MSPA) e total (MST) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), em função da composição salina da água de irrigação (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	38
Figura 11 – Matéria seca: <b>A.</b> da folha (MSF), <b>B.</b> da raiz (MSR), <b>C.</b> da parte aérea	

(MSPA) e <b>D.</b> total (MST) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), em função dos níveis crescentes de salinidade da água de irrigação (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	39
Figura 12 – Razão de massa foliar (RMF) e razão de massa caulinar (RMC) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e os níveis de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	42
Figura 13 – <b>A.</b> Matéria seca do caule (MSC) e <b>B.</b> Razão de massa foliar (RMF) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e os níveis de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	43
Figura 14 – <b>A.</b> Matéria seca do caule (MSC) e <b>B.</b> Razão de massa foliar (RMF) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e os níveis de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	44
Figura 15 – Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), em função dos níveis crescentes de salinidade da água de (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	45
Figura 16 – <b>A.</b> Fotossíntese ( <i>A</i> ), <b>B.</b> transpiração ( <i>E</i> ) e <b>C.</b> condutância estomática ( <i>gs</i> ) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), aos 15 e 45 DAT, em função dos níveis crescentes de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	47
Figura 17 – Teor de cloreto (Cl) em folhas e raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da <b>A.</b> composição salina da água de irrigação (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e <b>B.</b> níveis crescentes de salinidade da água de irrigação (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	50
Figura 18 – Teor de cloreto (Cl) em raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e os níveis de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	51
Figura 19 – Teor de sódio (Na) em folhas e raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da <b>A.</b> composição salina da água de irrigação (NaCl,	

CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e <b>B.</b> níveis crescentes de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	52
Figura 20 – Teor de sódio (Na) em <b>A.</b> folhas e <b>B.</b> raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e os níveis de sal da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	53
Figura 21 – Teor de potássio (K) em folhas e raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da <b>A.</b> composição salina da água de irrigação (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e <b>B.</b> níveis crescentes de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	54
Figura 22 – Teor de potássio (K) em <b>A.</b> folhas e <b>B.</b> raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e os níveis crescentes de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	55
Figura 23 – Teor de fósforo, cálcio, magnésio e enxofre em folhas e raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da composição salina da água de irrigação (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e dos níveis crescentes de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Produção, área colhida e produtividade dos principais estados produtores de castanha de caju em 2022 .....	20
Tabela 2	– Análise da água de abastecimento local utilizada no preparo da água de irrigação .....	25
Tabela 3	– Características do substrato comercial Turfa Fértil® informadas pelo fabricante .....	26
Tabela 4	– Resumo da análise de variância para os dados de altura de planta (AP), diâmetro do caule (DP), número de folhas (NF), área foliar (AF), área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em resposta à irrigação com águas de diferentes composições salinas (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e níveis crescentes de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	31
Tabela 5	– Resumo da análise de variância para os dados de matéria seca da folha (MSF), caule (MSC) e raiz (MSR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em resposta à irrigação com águas de diferentes composições salinas (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e níveis crescentes de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	37
Tabela 6	– Resumo da análise de variância para os dados de razão de massa foliar, caulinar e radicular (RMF, RMC e RMR, respectivamente) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), em resposta à irrigação com águas de diferentes composições salinas (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e níveis crescentes de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	41
Tabela 7	– Resumo da análise de variância para os dados de fotossíntese (A), transpiração (E) e condutância estomática (gs) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), aos 15 e 45 DAT, em resposta à irrigação com águas de diferentes composições salinas (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e níveis crescentes de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	46

Tabela 8 – Resumo da análise de variância para os teores de potássio (K), sódio (Na e cloreto (Cl) analisados nas folhas e nas raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), em resposta à irrigação com águas de diferentes composições salinas (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e níveis crescentes de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	49
Tabela 9 – Resumo da análise de variância para os teores de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) analisados nas folhas e nas raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em resposta à irrigação com águas de diferentes composições salinas (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e níveis crescentes de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	56
Tabela 10 – Valores médios dos teores de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) analisados nas folhas e nas raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em resposta à irrigação com águas de diferentes composições salinas (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e níveis crescentes de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m <sup>-1</sup> ) .....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADP	Adenosine Diphosphate
AF	Área Foliar
AFE	Área Foliar Específica
AP	Altura de Planta
ATP	Adenosine Triphosphate
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de Cálcio
CCP	Clone Cajueiro de Pacajus
CE	Condutividade Elétrica
cm	Centímetro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CV	Coefficiente de Variação
DAE	Dias Após a Emergência
DAS	Dias Após a Semeadura
DAT	Dias Após o Transplântio
DBC	Delineamento em Blocos Casualizados
DC	Diâmetro do Caule
dS	Decisiemens
FAO	Food and Agriculture Statistics
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Fe (NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	Nitrato férrico
FV	Fonte de Variação
GL	Grau de Liberdade
HClO <sub>4</sub>	Ácido perclórico
Hg (SN) <sub>2</sub>	Tiocianato de mercúrio
HNO <sub>3</sub>	Ácido nítrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPNI	International Plant Nutrition Institute
IQD	Índice de Qualidade de Dickson
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfato de potássio
KCl	Cloreto de potássio

kg	Quilograma
min	Minutos
MgCl <sub>2</sub>	Cloreto de magnésio
mL	Mililitro
mm	Milimetro
mM	Milimolar
mmol	Milimol
mS	Milisiemens
MS	Matéria Seca
MSC	Matéria Seca do Caule
MSF	Matéria Seca da Folha
MSPA	Matéria Seca da Parte Aérea
MSR	Matéria Seca da Raiz
MST	Matéria Seca Total
NaCl	Cloreto de sódio
NF	Número de Folhas
nm	Nanômetro
ns	Não significativo
pH	Potencial hidrogeniônico
RAF	Razão de Área Foliar
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
RM	Razão de Massa
RMC	Razão de Massa Caulinar
RMF	Razão de Massa Foliar
RMR	Razão de Massa Radicular
Sindicaju	Sindicato das Indústrias de Beneficiamento de castanha de Caju e Amêndoas Vegetais do Estado do Ceará
μmol	Micromol



## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcetagem
°C	Graus Celsius
®	Marca registrada
Ca	Cálcio
Cl	Cloreto
g	Gramas
H <sub>2</sub> O	Água
K	Potássio
L	Litro
m	Metro
Mg	Magnésio
Na	Sódio
NO <sub>3</sub>	Nitrato
P	Fósforo
S	Enxofre
s	Segundos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
<b>3.1</b>	<b>Aspectos gerais, botânicos e morfológicos do cajueiro</b> .....	17
<b>3.2</b>	<b>Produção e importância socioeconômica do cajueiro</b> .....	19
<b>3.3</b>	<b>Salinidade</b> .....	21
<b>3.4</b>	<b>Efeitos da salinidade sobre as plantas</b> .....	22
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
<b>4.1</b>	<b>Localização geográfica e caracterização da área experimental</b> .....	24
<b>4.2</b>	<b>Delineamento experimental</b> .....	24
<b>4.3</b>	<b>Material vegetal e condições de crescimento</b> .....	26
<b>4.4</b>	<b>Variáveis analisadas</b> .....	27
<b>4.4.1</b>	<i>Avaliações de crescimento e produção de matéria seca</i> .....	27
<b>4.4.2</b>	<i>Trocas gasosas</i> .....	28
<b>4.4.3</b>	<i>Teor de minerais</i> .....	29
<b>4.4.3.1</b>	<i>Determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, S e Na</i> .....	29
<b>4.4.3.2</b>	<i>Determinação do teor de Cloreto (Cl)</i> .....	29
<b>4.5</b>	<b>Análises estatísticas</b> .....	30
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	31
<b>5.1</b>	<b>Análises de crescimento das plantas</b> .....	31
<b>5.2</b>	<b>Produção de matéria seca das plantas</b> .....	37
<b>5.3</b>	<b>Trocas gasosas</b> .....	46
<b>5.4</b>	<b>Minerais</b> .....	48
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	62
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	63

## 1 INTRODUÇÃO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma planta frutífera, nativa do Brasil, amplamente cultivada na região semiárida do Nordeste devido à sua adaptação às condições edafoclimáticas da região, sendo uma importante fonte de emprego e renda (ARAÚJO *et al.*, 2014; PAIVA, 2018; SERRANO; PESSOA, 2016). Segundo o IBGE (2022), o Nordeste é a maior região produtora de castanha do país, responsável por 99,4% da produção nacional (145,7 mil t), sendo os principais estados produtores o Ceará (95.758 t), Piauí (21.674 t) e Rio Grande do Norte (18.169 t).

Apesar do sucesso da cajucultura no Nordeste, a região semiárida nordestina é caracterizada por apresentar, na maior parte do ano, elevadas taxas de evapotranspiração e baixos índices pluviométricos, onde o uso da irrigação se torna uma prática recomendável para a exploração agrícola (PAIVA, 2020). Entretanto, grande parte da água disponível para irrigação na região apresenta elevada concentração de sais (DALCHIAVON *et al.*, 2016), que tende a restringir o crescimento e/ou desenvolvimento das plantas (BAATH *et al.*, 2017, ALHARBY; COLMER; BARRETT-LENNARD, 2018). Assim, o uso racional de águas salinas se torna uma alternativa interessante para garantir a produção agrícola e a expansão de áreas irrigadas.

Na literatura, há diversos relatos de que águas salinas, classificadas como inadequadas para irrigação, podem ser usadas na irrigação de diversas culturas, desde que utilizados materiais genéticos, sistemas de produção e manejo adequados (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000). Contudo, a utilização de forma inadequada pode causar reduções significativas na morfologia e fisiologia das plantas (LIMA *et al.*, 2022), pois o excesso de sais pode causar modificações morfológicas, estruturais e metabólicas nas plantas (LIMA *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2018) devido à redução do potencial hídrico da solução do solo e/ou ao acúmulo excessivo de íons nos tecidos vegetais, podendo causar toxicidade iônica e/ou desequilíbrio na absorção de nutrientes (DIAS *et al.*, 2019; ZHU *et al.*, 2019; ARAÚJO *et al.*, 2014).

O efeito do estresse salino sobre as culturas ocorre de formas distintas, onde os efeitos deletérios às plantas variam com o genótipo, estágio fenológico das plantas, da natureza iônica da água, da intensidade e duração do estresse, manejo cultural, irrigação, das condições edafoclimáticas, entre outros (ALVARENGA *et al.*, 2019; LIMA *et al.*, 2019). O cajueiro, por exemplo, mesmo apresentando adaptação às condições edafoclimáticas da região Nordeste, apresenta tolerância moderada à salinidade em sua fase adulta (SUASSUNA *et al.*,

2016; AMORIM *et al.*, 2010), sendo severamente afetado na fase de germinação (VOIGT *et al.*, 2009), crescimento inicial (LIMA *et al.*, 2020a; LIMA *et al.*, 2020b; SOUZA *et al.*, 2021) e na fase de pós-enxertia (BEZERRA *et al.*, 2002; CARNEIRO *et al.*, 2012). Assim, ao passo que as águas salinas são uma importante fonte para a agricultura, também constituem um sério problema, evidenciando a necessidade de estudos e adoção de estratégias que possibilitem uma produção satisfatória da cultura mesmo em ambientes sob altas concentrações de sais e de diferentes composições iônicas da água (LIMA *et al.*, 2019).

Embora existam pesquisas desenvolvidas com cajueiro sob irrigação com águas salinas, são escassos os estudos avaliando a composição (natureza) iônica da irrigação sobre o cultivo de plantas jovens de cajueiro anão. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da concentração e da composição salina da água de irrigação sobre a morfofisiologia e o teor de minerais em plantas jovens de cajueiro anão (clone CCP 06).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o efeito da concentração e da composição salina da água de irrigação sobre a morfofisiologia e o teor de minerais em plantas jovens de cajueiro anão.

### **2.2 Objetivo Específicos**

- Avaliar as variáveis de crescimento e fisiológicas de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da concentração e composição iônica da água de irrigação.
- Avaliar o teor de minerais em plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da concentração e composição iônica da água de irrigação.
- Definir o nível de salinidade ( $\text{dS m}^{-1}$ ) limiar da água de irrigação para obtenção de mudas de qualidade de plantas jovens de cajueiro anão precoce (CCP 06).
- Identificar qual íon ou íons afetam mais negativamente o crescimento e a fisiologia das plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06).

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Aspectos gerais, botânicos e morfológicos do cajueiro

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma frutífera perene classificada como pertencente ao seguinte conjunto taxonômico: Reino: *Plantae*; Divisão: *Magnoliophyta*; Classe: *Magnoliopsida*; Ordem: *Sapindales*; Família: *Anacardiaceae*; Gênero: *Anacardium*; Espécie: *Anacardium occidentale* L. (OLIVEIRA *et al.*, 2010). A família *Anacardiaceae* é composta por cerca de 70 gêneros e 700 espécies de plantas, incluindo árvores e arbustos tropicais e subtropicais (AMORIM *et al.*, 2010; CARVALHO; GAIAD, 2012). Pela taxonomia clássica, foram identificadas 21 espécies do gênero *Anacardium* (JOHNSON, 1974); no entanto, esse número foi reduzido para 10 pela taxonomia numérica (MITCHELL; MORI, 1987). Dentre essas espécies, a *Anacardium occidentale* L. é a única espécie cultivada e distribuída em todo o mundo tropical, sendo domesticada e explorada comercialmente (BARROS; CRISÓSTOMO, 1995; LIMA, 1988).

Quanto à origem do cajueiro, as teorias atuais fundamentam-se ainda em provas circunstanciais, tais como as referências bibliográficas pioneiras, a distribuição geográfica, o comportamento ecológico e os parâmetros de variação da espécie. A origem etimológica da palavra “caju” (nome original tupi “acaiuba”, que significa cajueiro, e “acaiu”, que significa caju) e suas variações em outros idiomas apontam o Brasil, ou pelo menos o norte da América do Sul e parte da América Central, como os mais prováveis centros de origem e domesticação da espécie (BARROS *et al.*, 2002). Segundo Bezerra *et al.* (2007), a região Amazônica é considerada o centro da diversidade do gênero *Anacardium* e a região do cerrado como centro secundário. No entanto, a maior diversidade da *Anacardium occidentale* L. encontra-se no Nordeste brasileiro (HAMMED; ANIKWE; ADEDEJI, 2008). Atualmente, o cajueiro encontra-se disseminado em todo o território nacional (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

O cajueiro apresenta grande variabilidade genética, sendo estudado em dois grupos distintos: o cajueiro comum (*A. occidentale* L.) e o cajueiro anão (*A. occidentale* var. *Nanum*), assim classificados em função do porte (CRISÓSTOMO *et al.*, 2001). O tipo comum, também conhecido como gigante, é o mais difundido, apresentando porte elevado, altura entre 8,0 e 15,0 metros, e envergadura da copa que pode atingir até 20 metros, apresentando capacidade produtiva bastante variável. O tipo anão caracteriza-se pelo porte baixo, altura inferior a 4,0 metros, copa homogênea, diâmetro do caule e envergadura bem inferiores ao do tipo comum, porém com capacidade produtiva superior (CAVALCANTI;

BARROS, 2009; MONTENEGRO *et al.*, 2011; FREITAS *et al.*, 2014). Ademais, o tipo anão apresenta precocidade etária, iniciando o florescimento entre 6 e 18 meses, motivo pelo qual é conhecido por muitos como precoce (BARROS; PAIVA; CAVALCANTI, 1998).

Do ponto de vista morfológico, o cajueiro apresenta sistema radicular pivotante bem desenvolvido, que pode atingir mais de 10 metros de profundidade, além de apresentar raízes laterais absorventes nas camadas de 15 cm a 32 cm de profundidade (BARROS, 1995; LEITE, 2013). O caule, em geral, é curto, grosso, tortuoso e ramificado logo acima do nível do solo (FERRÃO, 1995). As folhas são simples, inteiras, alternadas e de aspecto subcoriáceo com alto teor de tanino (BARROS *et al.*, 2002). Ademais, é uma planta andromonóica, com inflorescência do tipo paniculada, onde se encontram flores masculinas (estaminadas) e hermafroditas (perfeitas) na mesma planta, em quantidades e proporções variadas, tanto entre plantas como entre panículas na mesma planta (LIMA, 1988; FERRÃO, 1995; VIDAL NETO *et al.*, 2013; CRISÓSTOMO *et al.*, 2001). As flores são pequenas, com coloração variando do verde esbranquiçado ao vermelho, com corola e cálice normalmente pentâmeros, dispostas em amplas panículas terminais (LIMA, 1988; FERRÃO, 1995).

**Figura 1** – Conjunto de ilustração botânicas do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.).



Fonte: Valderrama, B. C. (2015). Material adaptado pelo autor.

O cajueiro produz o caju, que é formado pela castanha (fruto verdadeiro) e pelo pedúnculo floral (pseudofruto) (Figura 2). A castanha é um fruto do tipo aquênio reniforme, constituído externamente por um pericarpo (casca), uma película e internamente por uma amêndoa (semente), que está inserida ao pedúnculo, ou pseudofruto. Este último tem aspecto carnoso e suculento e, apesar de apresentar uma excelente qualidade gustativa e alto valor

nutritivo, além de várias cores e formatos, não é amplamente apreciado para consumo *in natura*, devido ao seu sabor e adstringência (LIMA, 1988; BEEJOHUN *et al.*, 2015). A castanha é a parte mais importante em termos comerciais, pois dela aproveitam-se o líquido da casca da castanha e a amêndoa, que é o principal produto comercializado do cajueiro (PARREIRAS, 2007; AMORIM, 2019).

**Figura 2** – Composição do caju (pedúnculo floral + castanha), fruta símbolo da Sociedade Brasileira de Fruticultura.



Fonte: Shutterstock. Material adaptado pelo autor.

### 3.2 Produção e importância socioeconômica do cajueiro

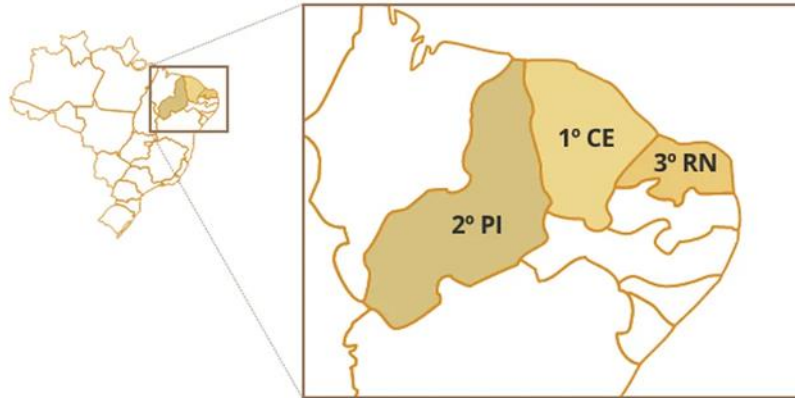
O cajueiro é uma planta frutífera amplamente cultivado no Brasil, com grandes perspectivas econômicas no mercado internacional (ANDRADE *et al.*, 2022). Da cultura, aproveita-se praticamente tudo, sendo comercializados: a amêndoa da castanha de caju; a película que reveste a amêndoa; o líquido da casca da castanha de caju; o resíduo da casca; o pedúnculo do caju; e até a casca das árvores, folhas e restolhos de galhos (SERRANO; PESSOA, 2016). Contudo, a amêndoa da castanha de caju é o produto do caju mais comercializado no mundo. Os maiores produtores mundiais de castanha de caju são a Costa do Marfim, Índia e Vietnã (FAOSTAT, 2023). De acordo com os dados da FAOSTAT (2023), em 2021, o Brasil foi o 12º maior produtor mundial de castanha de caju, com uma produção de 111,1 mil toneladas em uma área de 427,1 mil hectares. Apesar da produção de castanha de caju brasileira ser inferior à dos principais produtores mundiais, o Brasil é o maior produtor mundial de pedúnculo de caju com 1,11 milhão de toneladas produzidas em 2021.

No Brasil, o Nordeste é a maior região produtora de castanha do país sendo responsável por 99,4% da produção nacional. Em 2022, produziu 145,7 mil toneladas de castanha de caju. Os principais estados produtores são o Ceará (95.758 toneladas), Piauí (21.674 toneladas) e Rio Grande do Norte (18.169 toneladas) (IBGE, 2022). O sucesso da cajucultura na região semiárida nordestina deve-se à sua adaptação às condições



edafoclimáticas da região (SERRANO; PESSOA, 2016), sendo uma atividade de grande importância socioeconômica na geração de emprego e renda (SILVA *et al.*, 2018).

**Figura 3** – Principais estados do Brasil produtores de castanha de caju segundo o IBGE (2022).



Fonte: IBGE (2022), Instituto Brasileiro do Caju e Ministério da Agricultura.

**Tabela 1** – Produção, área colhida e produtividade dos principais estados produtores de castanha de caju em 2022.

	<b>Produção (t)</b>	<b>Área colhida (ha)</b>	<b>Produtividade (kg/ha)</b>
Ceará	95.758	272.288	354
Piauí	21.674	73.047	297
Rio Grande do Norte	18.169	48.378	376

Fonte de dados: IBGE – Produção Agrícola Municipal 2022. Material elaborado pelo autor.

De acordo com Serrano & Pessoa (2016), a cajucultura possui um papel estratégico na geração de emprego e renda, tanto no campo quanto nas indústrias, principalmente para as regiões semiáridas nordestinas. Isso ocorre porque pode ser cultivada no período seco, na entressafra das demais espécies cultivadas, sendo explorada por aproximadamente 195 mil produtores, sendo 75% deles pequenos produtores. Estima-se ainda que anualmente sejam gerados cerca de 250 mil empregos com mão-de-obra direta e indireta.

Por sua vez, o sindicato das Indústrias de Açúcar e de Doces e Conservas Alimentares do Estado do Ceará (Sindicaju) contabiliza 20 mil empregos diretos apenas na indústria processadora de castanha e suco do caju (PESSOA; LEITE, 2021). Dessa forma, a cajucultura é uma atividade relevante para o impulsionamento da economia nos estados do Nordeste, pois oferece às pessoas de baixa renda a oportunidade de se inserirem não só como empregados, mas também como empreendedores, seja de forma individual ou coletiva, por meio das cooperativas (OLIVEIRA, 2019).

### 3.3 Salinidade

As plantas são frequentemente submetidas a condições estressantes que afetam negativamente o seu crescimento, desenvolvimento e/ou produtividade. Segundo Larcher (2006), o estresse pode ser definido como um desvio significativo das condições ótimas para a vida, induzindo mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo. Esse estresse é um fator externo que exerce uma influência desvantajosa para a planta (TAIZ *et al.*, 2017) e pode ser causado por fatores bióticos e abióticos. O estresse biótico é causado por organismos vivos, como microrganismos, insetos e plantas invasoras, enquanto o estresse abiótico é desencadeado por condições ambientais adversas ao pleno desenvolvimento da cultura. Dentre os estresses abióticos que limitam o desenvolvimento das plantas, a salinidade é um dos mais importantes, pois é responsável por limitar o crescimento e a produtividade das culturas (SOUZA *et al.*, 2021). Contudo, não afeta apenas a produção agrícola, mas também impacta negativamente os aspectos ecológicos, sociais e econômicos em áreas salinas (HUSSAIN *et al.*, 2018). Estima-se que cerca de 20% de toda a área irrigada estejam atualmente afetados pelo estresse salino (TAIZ *et al.*, 2017), sendo este problema mais severo nas regiões áridas e semiáridas (KHAN *et al.*, 2018).

O termo salinidade se refere à existência de níveis de sais solúveis no solo que possam prejudicar significativamente o rendimento das plantas cultivadas (RIBEIRO *et al.*, 2007; MUNNS; TESTER, 2008). Essa salinização dos solos pode ocorrer de forma natural, devido à sua própria formação, ou de forma antrópica, devido à intervenção humana, como o manejo inadequado da irrigação (RIBEIRO, 2017). Neste último caso, a salinização ocorre em função do acúmulo progressivo de sais no solo, em sua maioria íons de sódio e cloreto, que advém da própria água de irrigação, seja através da elevada concentração de sais na água ou pela deficiência de drenagem dos solos (BARROS; SOUSA; MEDEIROS, 2003; RIBEIRO, 2017). No Nordeste brasileiro, estima-se que aproximadamente 30% dos perímetros irrigados públicos já estejam sofrendo com problemas oriundos da salinidade e que no Polígono das Secas, região nordestina mais afetada pelo déficit hídrico e solos salinos, mais de nove milhões de hectares já enfrentam este problema (MIRANDA *et al.*, 2002).

As plantas são classificadas em dois tipos: halófitas, que são plantas tolerantes e que se desenvolvem em solos salinos, conseguindo completar seu ciclo; e as glicófitas, que não são capazes de se desenvolver em ambientes com elevadas concentrações salinas (maioria das plantas) (FLOWERS; TROKE; YEO, 1977). Ademais, a sensibilidade à salinidade não difere apenas entre espécies, mas também entre variedades ou cultivares de uma mesma

espécie, e nas diferentes fases fenológicas da planta (FAGERIA; GHEYI, 1997). Sabe-se, inclusive, que algumas culturas produzem rendimentos aceitáveis a altos níveis de salinidade, enquanto outras são sensíveis a níveis relativamente baixos (AYERS; WESTCOT, 1999). Conforme Schossler *et al.* (2012), algumas plantas apresentam mecanismos que lhes permitem sobreviver em ambientes altamente salinos, devido a processos adaptativos relacionados à absorção, transporte e distribuição de íons de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em diferentes órgãos da planta (FARIAS *et al.*, 2009).

### 3.4 Efeitos da salinidade sobre as plantas

A utilização de água de baixa qualidade para a irrigação torna-se um fator limitante para a produção vegetal, uma vez que a salinidade é responsável por afetar o crescimento e o metabolismo das plantas em função dos efeitos osmóticos, iônicos específicos ou distúrbios nutricionais (FREIRE *et al.*, 2010; DIAS *et al.*, 2016; TAIZ *et al.*, 2017). Os danos causados pela salinidade podem reduzir significativamente os rendimentos, e sua magnitude depende do tempo, da concentração de íons, da tolerância das plantas e do uso da água pelas culturas (DIAS; BLANCO, 2010).

O primeiro efeito do estresse salino sobre as plantas corresponde ao efeito osmótico, em que as elevadas concentrações de sais dissolvidos na solução do solo reduzem o potencial osmótico e hídrico. Consequentemente, promovem uma diminuição na disponibilidade de água e nutrientes às plantas, podendo atingir um nível em que as plantas não terão forças suficientes para a absorção de água e, conseqüentemente, de nutrientes, devido à condição de estresse hídrico, também conhecido como seca fisiológica (ALVES *et al.*, 2011; DIAS; BLANCO, 2010; SCHOSSLER *et al.*, 2012).

Outro efeito do estresse salino sobre as plantas é a toxicidade iônica, devido ao acúmulo excessivo de íons nos tecidos vegetais, como os íons de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . Isso promove desbalanceamento e danos ao citoplasma, resultando principalmente em danos na bordadura e no ápice das folhas (DIAS; BLANCO, 2010). Os processos diretamente associados com a toxicidade iônica são a senescência e a morte celular programada. Na folha, a sintomatologia aparece na forma de clorose foliar, devido à degradação da clorofila e o surgimento de pontos cloróticos no limbo foliar (SILVEIRA *et al.*, 2010). Contudo, a redução no crescimento das plantas, devido à salinidade, também pode ser atribuída ao desbalanço nutricional, onde o excesso de íons no solo inibe a absorção radicular de outros íons. Um exemplo disso é quando

a concentração de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  no solo é alta, a absorção de nutrientes minerais como  $\text{NO}_3$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  é reduzida (SCHOSSLER *et al.*, 2012).

Assim, o excesso de sais pode causar reduções significativas na morfologia e fisiologia das plantas, devido ao estresse hídrico causado pela redução do potencial osmótico da solução do solo, e/ou devido ao acúmulo excessivo de íons nos tecidos vegetais ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ). Isso pode causar toxicidade iônica e/ou desequilíbrio na absorção de nutrientes (DIAS *et al.*, 2019; ZHU *et al.*, 2019; ARAÚJO *et al.*, 2014). Contudo, as plantas respondem de formas distintas ao estresse salino, dependendo do genótipo, fase de desenvolvimento das plantas, da natureza iônica da água, da intensidade e duração do estresse e das condições edafoclimáticas, entre outros (ALVARENGA *et al.*, 2019).

Apesar de o cajueiro ser cultivado em condições semiáridas e ser classificado como moderadamente sensível à salinidade (FERREIRA-SILVA *et al.*, 2009), alguns estudos constataram que a salinidade provoca efeitos negativos na germinação de plântulas de cajueiro e no desenvolvimento inicial dessas plântulas (VIÉGAS *et al.*, 2001; BEZERRA *et al.*, 2002), comprometendo severamente a cultura, na fase inicial de crescimento (LIMA *et al.*, 2020a; LIMA *et al.*, 2020b; SOUZA *et al.*, 2021) e na fase pós-enxertia (BEZERRA *et al.*, 2002). Contudo, são escassos ou inexistentes os trabalhos avaliando a composição iônica da água de irrigação salina sobre o cultivo de plantas jovens de cajueiro, visto que, segundo LIMA *et al.* (2019) a concentração total de sais e a composição iônica da água de irrigação são algumas das variáveis que influenciam nas respostas das plantas ao estresse salino. Então, é pertinente buscar alternativas que visem aumentar a tolerância do cajueiro à salinidade ou amenizar os efeitos deletérios provocados pelo excesso de sais, permitindo seu cultivo em áreas com problemas de salinidade.

Apesar do sucesso da cajucultura na região, o semiárido do Nordeste brasileiro apresenta limitações que impedem uma produção ainda maior. O déficit hídrico ocorre frequentemente devido às baixas precipitações pluviométricas e às altas taxas de evaporação, tornando o uso da irrigação recomendável para a exploração agrícola (PAIVA, 2020). Essa prática é capaz de proporcionar incrementos significativos na produtividade (KHALLOUFI *et al.*, 2017). No entanto, as águas dos mananciais dessa região, principalmente na parte semiárida, contêm altas concentrações de sais, o que pode causar modificações morfológicas, estruturais e metabólicas nas plantas (LIMA *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2018). Neste contexto, a utilização de água salina na exploração agrícola vem sendo apontado como uma alternativa importante para atenuar o problema da escassez hídrica no semiárido brasileiro (FEITOSA *et al.*, 2015).

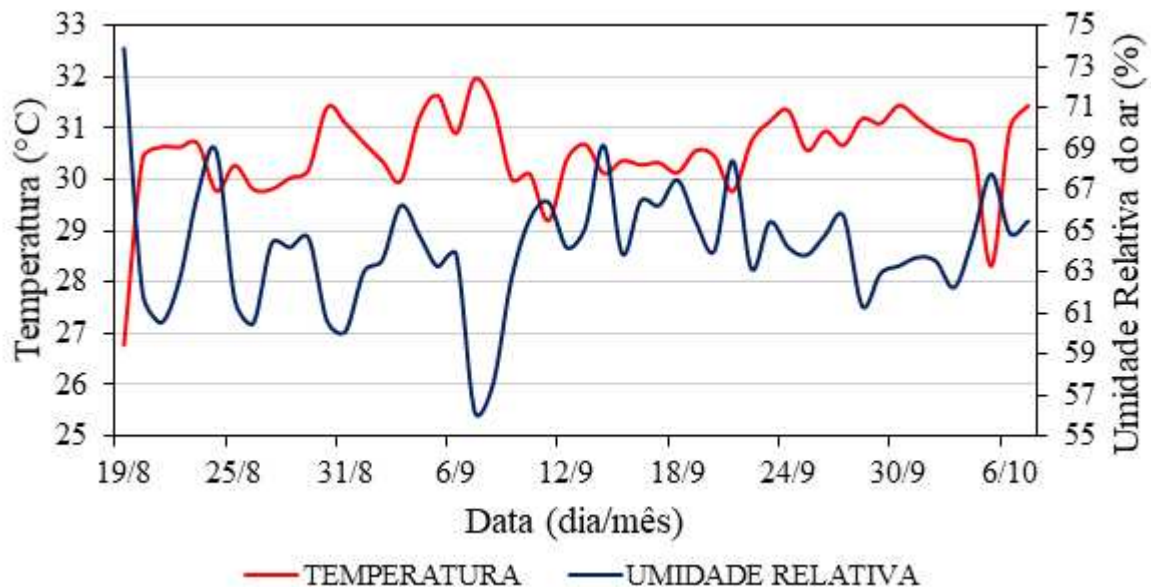
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização geográfica e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em ambiente protegido (telado) na área experimental da Embrapa Agroindústria Tropical, no município de Fortaleza, Ceará, Brasil (3° 43' S; 38° 32' W e 19,6 m de altitude), no segundo semestre de 2022. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw (clima tropical chuvoso), caracterizado como quente e subúmido, com temperatura média anual de 26,7 °C e precipitação média anual de 1042 mm (CLIMATE DATE, 2023).

Durante o experimento, as condições meteorológicas foram monitoradas dentro do telado por um data-logger da marca Instrutherm (modelo HT-500), que coletava dados de temperatura e umidade relativa do ar a cada 30 minutos (Figura 4). A temperatura e a umidade relativa do ar médias dos meses do experimento foram de 30,6°C e 64,3%, respectivamente.

**Figura 4** – Dados da temperatura e da umidade relativa do ar dentro da casa de vegetação durante o período experimental (agosto a outubro de 2022).

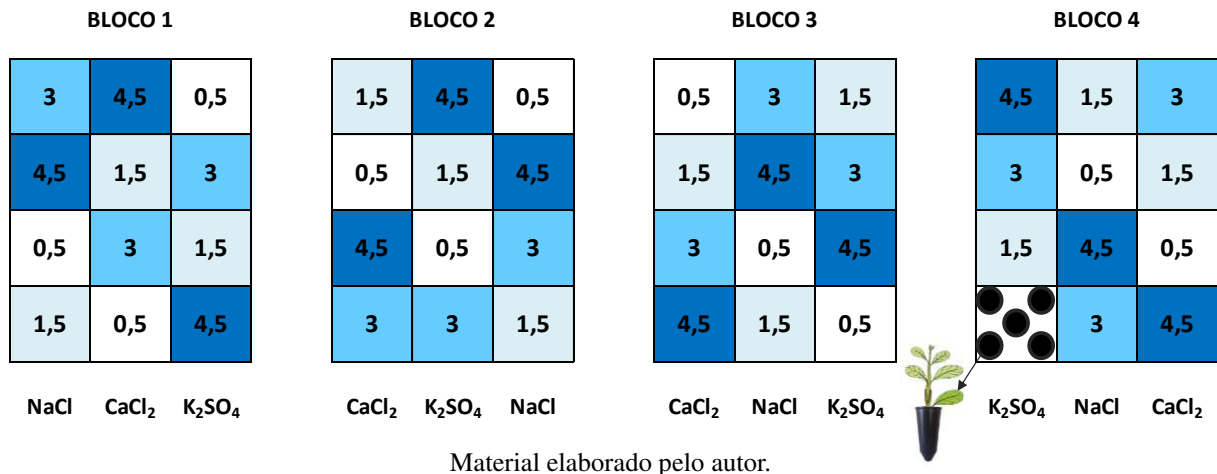


### 4.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso (DBC), em arranjo fatorial 4 x 3, com quatro repetições e cinco plantas por parcela experimental. Os tratamentos consistiam na combinação entre dois fatores: quatro níveis de salinidade da água

de irrigação, com condutividade elétrica da água (CEa) de 0,5; 1,5; 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>; e três tipos de sais usados na composição da água (NaCl, CaCl<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

**Figura 5** – Croqui do delineamento utilizado no experimento para avaliação do efeito da concentração e composição salina da água de irrigação sobre plantas jovens de cajueiro anão.



O preparo das águas salinas empregadas nos tratamentos foi realizado mediante adição de sais de cloreto de sódio (NaCl) ou cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) ou sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), de acordo com o tratamento almejado, na água de abastecimento local (CEa de 0,42 dS m<sup>-1</sup>) (Tabela 2), obedecendo-se à relação entre CEa e a concentração dos sais (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> = CE x 10) proposta por Rhoades, Kandiah e Mashali (2000). Para ajustar cada uma das concentrações desejadas, utilizou-se um condutivímetro portátil (DiST® 4). As soluções foram preparadas e acondicionadas em galões de plástico de 10 L e diariamente aplicadas às plantas.

**Tabela 2** – Análise da água de abastecimento local utilizada no preparo da água de irrigação.

Características Químicas							
dS m <sup>-1</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
pH	CE	RAS	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
6,8	0,42	1,97	0,2	0,4	1,2	2,5	4,6
Resultado da análise da água			C2 média salinidade				
			S1 baixo conteúdo de sódio				

Fonte de dados: Laboratório de solos da Embrapa Agroindústria Tropical.

### 4.3 Material vegetal e condições de crescimento

Foram utilizadas mudas de cajueiro anão, genótipo CCP 06, produzidas a partir de sementes (castanhas) obtidas dos jardins clonais do Campo Experimental de Pacajus da Embrapa Agroindústria Tropical (EMBRAPA-CNPAT). As castanhas selecionadas foram desinfetadas em solução de hipoclorito de sódio a 5% (v/v) por 10 min, lavadas em água corrente e semeadas em tubetes de 288 cm<sup>3</sup> contendo o substrato comercial Turfa Fértil®, constituído por uma mistura em partes iguais de casca de arroz carbonizada, bagana de carnaúba seca e triturada e solo hidromórfico (Tabela 3).

**Tabela 3** – Características do substrato comercial Turfa Fértil® informadas pelo fabricante.

<b>Características do substrato</b>	
Condutividade elétrica (mS/cm)	0,7 ± 0,3
Densidade em base seca (kg/m <sup>3</sup> )	280
Potencial hidrogeniônico (pH)	5,8 ± 0,5
Umidade máxima (%)	55
Capacidade de retenção de água (%)	80
Matéria prima	Turfa e calcário calcítico aditivado com N (0,04%), P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (0,04%) e K <sub>2</sub> O (0,05%)

Fonte de dados: Turfa Fértil®. Material elaborado pelo autor.

Para o plantio, a umidade do substrato foi mantida próxima à capacidade de campo e a semeadura foi realizada inserindo uma castanha por tubete, na posição vertical com a base voltada para cima (ponto de inserção da castanha ao pedúnculo), na profundidade de aproximadamente 1 cm de solo acima da castanha, conforme recomendações da EMBRAPA-CNPAT. A aplicação dos tratamentos ocorreu 15 dias após a emergência das plântulas (DAE) e durou 45 dias, sendo realizada aplicação diária de 50 mL de solução, por tubete, de acordo com o tratamento. O controle fitossanitário foi realizado de acordo com a necessidade da cultura, sendo realizadas aplicações de fungicidas para controle de oídio e inseticidas para controle de pulgão e mosca branca.

## 4.4 Variáveis analisadas

### 4.4.1 Avaliações de crescimento e produção de matéria seca

As avaliações de crescimento foram realizadas aos 70 DAS através das variáveis altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF). A AP foi determinada com o auxílio de uma régua graduada (cm), medindo-se a distância entre o colo e o ponto de inserção do meristema apical. O DC foi determinado através de um paquímetro digital (mm) a 3 cm do colo das plantas e o NF foi mensurado pela contagem manual das folhas completamente expandidas (com mais de 5 cm de comprimento).

Ao final das avaliações, as plantas foram coletadas e separadas em folhas, caules e raízes. As folhas foram utilizadas para a determinação da área foliar (AF) por meio de um integrador de área (LI-3100, Li-Cor, Inc. Lincoln, NE, USA), e as raízes foram lavadas em água e secadas para retirar o excesso de umidade. Todo o material (folhas, caules e raízes) foi acondicionado em sacos de papel, devidamente etiquetados, e levado à estufa com circulação de ar a 70°C até atingir peso constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas em balança analítica para determinação da matéria seca da folha (MSF), caule (MSC), raiz (MSR), da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST).

A área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF) foram mensuradas conforme Benincasa (2003) nas equações 1 e 2, descritas abaixo.

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad (1)$$

Onde:

AFE = área foliar específica (cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>);

AF = área foliar (cm<sup>2</sup>);

MSF = matéria seca da folha (g);

$$RAF = \frac{AF}{MSPA} \quad (2)$$

Onde:

RAF = razão de área foliar (cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>);

AF = área foliar (cm<sup>2</sup>);

MSPA = matéria seca da parte aérea (g);



Também foram mensuradas as variáveis razão de massa (RM) nos diferentes órgãos da planta (folha, caule e raiz) (equação 3), conforme Benincasa (2003), e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) proposto por Dickson, Leaf e Hosner (1960), que visa mensurar a qualidade das mudas usadas no experimento (equação 4).

$$\text{RM do órgão} = \frac{\text{MS do órgão}}{\text{MST}} \quad (3)$$

Onde:

RM = razão de massa ( $\text{g g}^{-1}$ );

MS = matéria seca (g);

MST = matéria seca total (g);

$$\text{IQD} = \frac{\text{MST}}{(\text{AP}/\text{DC}) + (\text{MSPA}/\text{MSR})} \quad (4)$$

Onde:

IQD = índice de qualidade de Dickson;

MST = matéria seca total (g);

AP = altura de planta (cm);

DC = diâmetro do caule (cm);

MSPA = matéria seca da parte aérea (g)

MSR = matéria seca da raiz (g);

#### **4.4.2 Trocas gasosas**

Aos 15 e 45 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT), foram mensuradas as taxas de fotossíntese líquida ( $A$ ), transpiração ( $E$ ) e condutância estomática ( $gs$ ) utilizando-se um analisador portátil de gás no infravermelho – IRGA (modelo LCI, ADC, BioScientific, Inglaterra). As leituras foram realizadas no período de 8:00 às 10:00 horas da manhã, em uma folha madura e completamente expandida, usando uma fonte de luz artificial com intensidade de  $1200 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , temperatura, umidade e  $\text{CO}_2$  ambientes.

### 4.4.3 Teor de minerais

#### 4.4.3.1 Determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, S e Na

Para as análises dos minerais (P, K, Ca, Mg, S e Na) nas folhas e raízes, o material seco em estufa foi triturado em um moinho de facas tipo Wiley até a obtenção de pequenas partículas que foram utilizadas no processo de digestão via úmida (nitro-perclórica) para obtenção de um extrato para leitura.

Para o processo de digestão nitro-perclórica ( $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$ ), pesou-se aproximadamente 0,5 g do material vegetal triturado e adicionou-se a 8 mL da mistura ácida nitro-perclórica na proporção 3:1 (v/v). A mistura preparada foi mantida a frio por 3-4 horas, e em seguida levada ao bloco digestor para aquecer. No bloco digestor, a temperatura inicial de aquecimento das amostras foi de 60 °C, que de 30 em 30 minutos foi aumentada gradativamente até alcançar a temperatura máxima de 250 °C. Depois de retiradas do bloco digestor e esfriadas, as amostras foram agitadas, uma por uma, em um vórtex e o conteúdo do frasco foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL, onde o volume foi completado com água destilada. Em seguida, as amostras foram filtradas em papel filtro de velocidade lenta, sendo o filtrado armazenado em frascos etiquetados. A análise dos minerais foi realizada por espectrômetro de emissão ótica por plasma acoplado indutivamente (Agilent, ICP-OES 5100) que faz as leituras simultaneamente para todos os analitos do experimento (CARMO *et al.*, 2000).

#### 4.4.3.2 Determinação do teor de Cloreto (Cl)

O teor de cloreto (Cl) nas folhas e raízes foi determinado pelo método recomendado por Gaines, Parker e Gasho (1984). Neste método, aproximadamente 0,5 g do material vegetal triturado foi homogeneizado em 25 mL de água deionizada e, em seguida, submetido à agitação por duas horas. Posteriormente, foi filtrado em papel filtro de velocidade lenta, obtendo-se como resultado desse processo o extrato final da amostra que foi armazenado em frascos identificados e mantido refrigerado até o momento das determinações.

Para a determinação do cloreto, coletou-se uma alíquota de 0,1 mL do extrato preparado e completou-se o volume para 3,0 mL com água deionizada. Em seguida, adicionaram-se 0,5 mL da mistura de tiocianato de mercúrio [ $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ ] a 13,2 mM, em metanol a 100%, e nitrato férrico [ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ] a 20,2% (p/v) na proporção 4:1. A mistura foi

agitada para homogeneização e, após um repouso por 15 min, foram efetuadas as leituras de absorvância a 460 nm no espectrofotômetro (BioMate 3, Thermo Scientific). Antes de proceder à leitura da amostra, o espectrofotômetro foi calibrado com solução branco, constituída de água deionizada no lugar do extrato e os demais reagentes. A curva padrão foi elaborada utilizando soluções com concentrações crescentes de NaCl, sendo o extrato dosado em duplicatas.

#### **4.5 Análises estatísticas**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade. Quando significativos, os tratamentos qualitativos (tipo de sal) foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias, e os tratamentos quantitativos (níveis de salinidade da água de irrigação) submetidos à análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR versão 5.7 (FERREIRA, 2011).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises de crescimento das plantas

De forma geral, todas as variáveis de crescimento analisadas responderam significativamente aos níveis crescentes de salinidade da água de irrigação (S) (Tabela 4). Contudo, a composição salina da água (T) afetou significativamente apenas as variáveis altura de planta (AP) e razão de área foliar (RAF) ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, enquanto que a interação entre as fontes de variação (T) x (S) influenciou significativamente apenas a RAF ( $p < 0,01$ ).

**Tabela 4** – Resumo da análise de variância para os dados de altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em resposta à irrigação com águas de diferentes composições salinas (NaCl, CaCl<sub>2</sub> ou K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e níveis crescentes de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>).

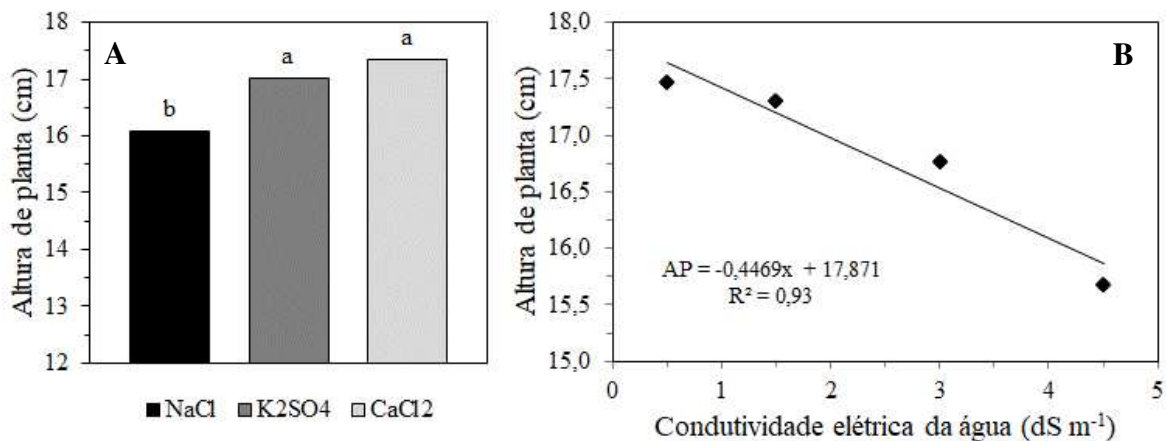
FV	GL	Quadrados médios					
		AP	DC	NF	AF	AFE	RAF
Sal (T)	2	6,90**	0,15 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	2229,76 <sup>ns</sup>	182,34 <sup>ns</sup>	1341,15**
CEa (S)	3	7,84**	0,70*	1,24*	6035,54**	1796,01*	351,14**
T x S	6	2,19 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	1482,06 <sup>ns</sup>	370,58 <sup>ns</sup>	260,63**
Blocos	3	2,43 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	243,97 <sup>ns</sup>	389,79 <sup>ns</sup>	85,38 <sup>ns</sup>
Resíduo	33	1,01	0,23	0,39	796,75	567,25	52,19
CV (%)		6,0	11,8	20,3	8,9	11,1	7,9

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; <sup>ns</sup> não significativo; \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Ao comparar as diferentes composições salinas da água de irrigação sobre a AP (Figura 6A), observa-se que as mudas de cajueiro irrigadas com CaCl<sub>2</sub> ou K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> foram estatisticamente superiores (7,8% e 5,9%, respectivamente) à AP das mudas irrigadas com NaCl. Sousa Jr (2016), trabalhando com plantas de girassol 70 DAS, constatou que não houve diferença significativa entre a aplicação de águas de diferentes naturezas catiônicas (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, KCl, NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub>) sobre a altura de plantas. Segundo Silva (2021), os íons de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> são os principais causadores do estresse iônico nas plantas. Assim, elevadas concentrações de NaCl na zona radicular podem ter aumentado a absorção, especialmente de

$\text{Na}^+$ , para as zonas meristemáticas, provocando efeitos deletérios sobre o crescimento. Por outro lado, o excesso isolado do  $\text{Na}^+$  no mesofilo não ocasionou distúrbios no protoplasma, como desbalanço iônico ( $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ ) ou efeitos específicos deste íon sobre as enzimas e membranas (FLORES, 1990), uma vez que não houve redução nos demais parâmetros de crescimento das plantas quando comparado com o uso de outros sais, sem  $\text{Na}^+$ . Ademais, plantas irrigadas com águas preparadas com sais de cálcio tendem a crescer mais em altura, especialmente em níveis de salinidade mais elevados (COSTA *et al.*, 2005).

**Figura 6** – Altura (AP) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da **A.** composição salina da água de irrigação ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  ou  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) e **B.** níveis crescentes de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5  $\text{dS m}^{-1}$ ).

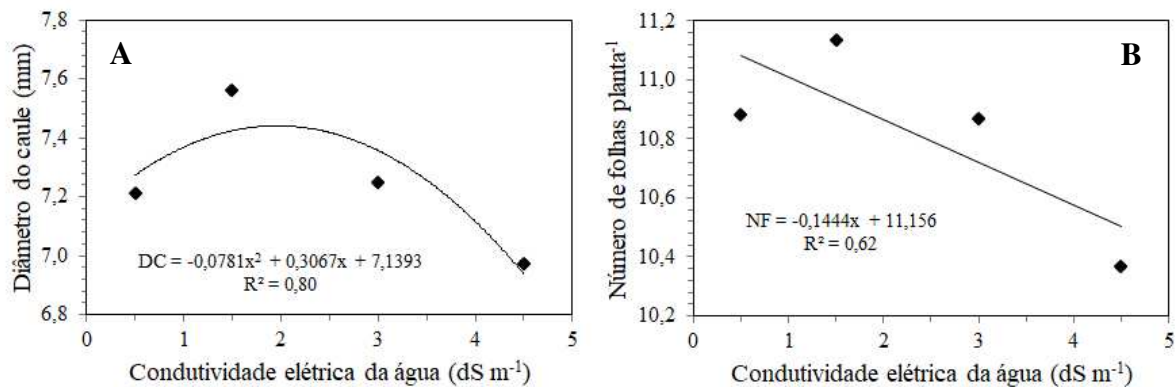


Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os resultados mostram que, independentemente do sal utilizado, a altura das plantas reduziu linearmente com o aumento da salinidade da água de irrigação (Figura 6B), com decréscimo relativo de 2,5% (0,45 cm) por aumento unitário da CEa. As mudas irrigadas com água de 4,5  $\text{dS m}^{-1}$  obtiveram uma redução de 10,1% (1,78 cm) na AP quando comparadas com as mudas irrigadas com água de baixa salinidade (0,5  $\text{dS m}^{-1}$ ). Resultados similares foram observados por Souza *et al.* (2018), que, ao avaliar os efeitos da irrigação com águas salinas na morfofisiologia do cajueiro anão (Faga 11), constataram uma redução de 18,04% na altura das plantas cultivadas com CEa de 3,1  $\text{dS m}^{-1}$ , em comparação com aquelas sob o menor nível de salinidade (0,3  $\text{dS m}^{-1}$ ). Em condições de estresse salino, a redução na altura das plantas atua como uma resposta à diminuição do potencial osmótico da solução do solo, que causa fechamento estomático e redução da transpiração e, conseqüentemente, diminuição da absorção de água e nutrientes (LIMA *et al.*, 2015).

Apesar de o diâmetro do caule (DC) ter sido significativamente afetado pelo aumento da salinidade da água de irrigação, os dados desse parâmetro não se ajustaram a nenhum modelo matemático testado neste trabalho, obtendo-se valor médio de 7,25 mm e valor máximo de 7,56 mm, obtido na CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup> (Figura 7A). O mesmo foi observado por Andrade *et al.* (2022) com mudas enxertadas de cajueiro anão. Já o número de folhas (NF) reduziu linearmente 1,3% para cada incremento unitário da CEa de irrigação (Figura 7B). Em ambos os casos, o nível mais alto de salinidade (CEa de 4,5 dS m<sup>-1</sup>) apresentou os menores valores observados, 6,94 mm e 10,5 folhas, uma redução de 3,3% e 4,7% no DC e no NF, respectivamente, quando comparadas ao tratamento de baixa salinidade (0,5 dS m<sup>-1</sup>).

**Figura 7** – **A.** Diâmetro do caule (DC) e **B.** Número de folhas (NF) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função dos níveis crescentes de salinidade da água de irrigação (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>).



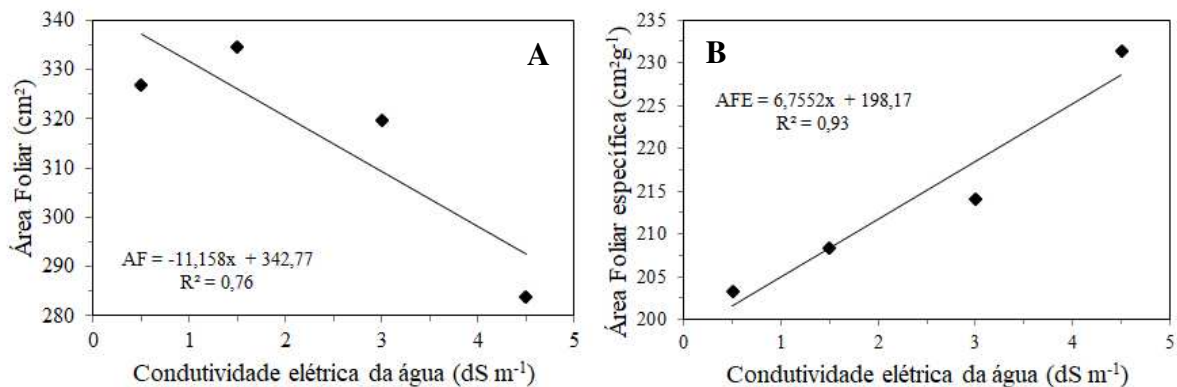
As reduções no diâmetro do caule e no número de folhas, associadas ao aumento da CEa de irrigação, podem estar relacionadas à redução do potencial osmótico-hídrico da solução do solo, causada pelo excesso de absorção de sais na zona radicular, o que promove uma diminuição da turgescência e, conseqüentemente, resulta em uma diminuição na expansão celular (KHALID; SILVA, 2010). A redução no número de folhas é uma adaptação das plantas ao estresse salino, reduzindo a perda de água pela transpiração, mitigando o efeito osmótico dos sais (OLIVEIRA *et al.*, 2013). Ademais, vale ressaltar que a redução no número de folhas atua como um mecanismo para manter a absorção de água satisfatória.

Resultados similares aos do experimento foram obtidos por Sousa, Bezerra e Farias (2011), no qual a salinidade da água de irrigação afetou linearmente o crescimento das plantas de cajueiro comum (clones BRS 274 e BRS 275), com decréscimos relativos (comparados ao controle) de 3,8% e 1,01% para altura e diâmetro do caule, respectivamente, para cada incremento unitário de CEa. O mesmo foi obtido por Carneiro *et al.* (2007), que,

trabalhando com cajueiro anão CCP 76 sob estresse salino, observaram uma diminuição de 4,86% e 5,23% na altura e no diâmetro do caule, respectivamente, para cada aumento da salinidade da água de irrigação (CEa).

Como consequência da redução do número de folhas, o aumento da salinidade da água de irrigação afetou negativamente a área foliar (AF) das plantas (Figura 8A), proporcionando uma diminuição na AF de 3,3% para cada aumento unitário de CEa, ou seja,  $11,16 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ . Dessa forma, as mudas irrigadas com CEa de  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$  (nível salino mais alto) tiveram uma redução de 13,2% ( $44,63 \text{ cm}^2$ ) quando comparadas com as mudas irrigadas com o menor nível de salinidade ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ).

**Figura 8** – **A.** Área foliar (AF) e **B.** Área foliar específica (AFE) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função dos níveis crescentes de salinidade da água de irrigação ( $0,5$ ,  $1,5$ ,  $3,0$  e  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ ).



De acordo com a literatura, a redução na área foliar é considerada como um mecanismo adaptativo das plantas ao estresse salino, visto que reduz a superfície transpirante e evita uma maior perda de água pela transpiração (TAIZ *et al.*, 2017; TESTER; DAVENPORT, 2003). Ademais, a diminuição na AF em função da salinidade está relacionada à dificuldade da planta em absorver água do solo, portanto, associada ao estresse osmótico. Essa proposição foi observada por Torres *et al.* (2014), em que as mudas de cajueiro anão (CCP 76) irrigadas com águas salinas reduziram a área foliar das plantas em resposta ao estresse osmótico, como forma de diminuir a perda de água pela transpiração.

Tendências decrescentes para AF em plantas de cajueiro anão também foram registradas por Andrade *et al.* (2022). Eles observaram que o incremento salino da água de irrigação diminuiu a área foliar e o número de folhas do cajueiro anão ‘BRS 226 Planalto’ em 5,57% e 2,10%, respectivamente, para cada aumento unitário da CEa. Bezerra *et al.* (2017), ao avaliarem o crescimento de dois porta-enxerto (CCP 76 e CCP1001) sob estresse salino, também observaram uma redução na AF de 4,18%.

A área foliar específica (AFE) cresceu linearmente à medida que se aumentaram os níveis de salinidade da água de irrigação (Figura 8B), com ganhos de 3,4% por aumento unitário na CEa. Ou seja, nas plantas irrigadas com CEa de 4,5 dS m<sup>-1</sup> ocorreu um aumento de 13,6% na AFE em relação às plantas irrigadas com o nível de salinidade mais baixo. Este resultado difere do obtido por Souza *et al.* (2020), que, ao avaliar a alocação de fitomassa e o crescimento de diferentes clones de cajueiro (CCP 76, Faga 11, Embrapa 51 e Crioulo) sob irrigação salina, observaram que a área foliar específica não foi influenciada pelos níveis de salinidade da água de irrigação, apenas pelos diferentes clones de cajueiro. Ademais, observa-se que a AFE apresentou comportamento inverso ao da AF, que foi reduzida nas mesmas proporções com o aumento do nível salino.

O estresse salino reduz o conteúdo de água na planta, fazendo com que as suas células se contraíam e diminuam a pressão de turgescência contra as paredes celulares, tornando a membrana plasmática mais espessa e comprimida, cobrindo uma área menor que a anterior (BEZERRA *et al.*, 2017). A AFE atua como um indicador de espessura foliar (BENINCASA, 2003), desempenhando um papel fundamental na representação das compensações entre o acúmulo de recursos e as restrições impostas pela estrutura foliar (NANDY *et al.*, 2007), onde os menores valores indicam menor superfície foliar por unidade de massa seca das folhas. Dessa forma, a salinidade reduziu a espessura das folhas, provavelmente por diminuir as camadas paliçádicas do mesófilo, ou até mesmo do mesófilo esponjoso, o que pode contribuir para reduzir a eficiência de absorção de radiação e, conseqüente, o processo fotossintético.

A composição salina da água de irrigação afetou significativamente a razão de área foliar (RAF), onde as mudas irrigadas com CaCl<sub>2</sub> foram estatisticamente superiores às mudas irrigadas com os demais tratamentos, nos níveis mais elevados de salinidade (na CEa de 4,5 dS m<sup>-1</sup>, a RAF das mudas irrigadas com CaCl<sub>2</sub> foi 26,8% e 36,6% superior à das plantas cultivadas com NaCl e com K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, respectivamente) (Figura 9A).

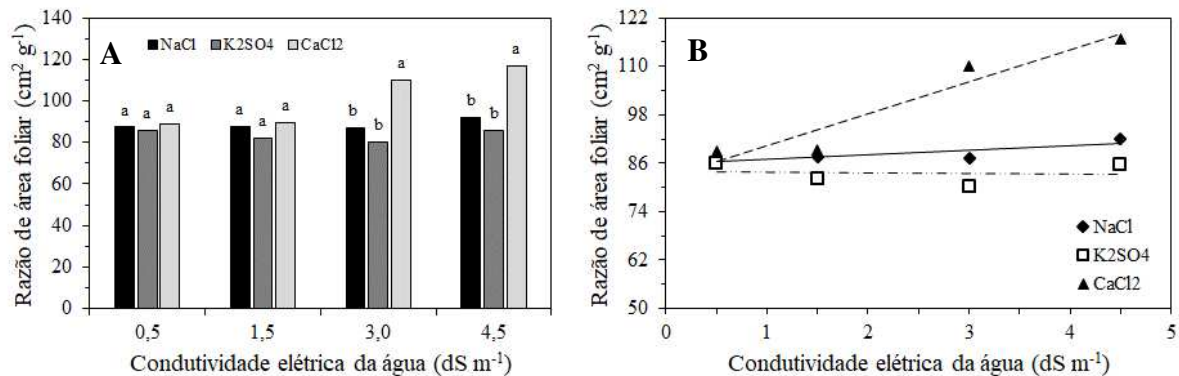
O desdobramento dos níveis de salinidade dentro de cada tipo de sal usado na água de irrigação mostra que não houve diferenças significativas entre os níveis de salinidade da água de irrigação preparada com K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e NaCl. Entretanto, as plantas cultivadas com CaCl<sub>2</sub> responderam positivamente ao aumento da salinidade da água de irrigação, onde os tratamentos salinos com 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup> apresentaram os maiores valores de RAF (109,96 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> e 116,83 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, respectivamente), diferindo estatisticamente dos demais (Figura 9B). Resultados similares foram observados por Souza *et al.* (2020), que obtiveram um efeito linear crescente de 13,04% na RAF das plantas por incremento unitário na CEa aos 65 DAS.



Por outro lado, Bezerra *et al.* (2017) constataram que a salinidade afetou negativamente a RAF nas duas épocas de avaliação (25 e 40 DAS), com decréscimos lineares de 2,57% e 1,26%, respectivamente, para cada incremento unitário de CEa. A divergência de resultado pode estar relacionada com o tempo de exposição das plantas ao estresse, pois os efeitos deletérios da salinidade foram menores com o tempo, devido, provavelmente, à adaptação das plantas ao meio salino.

Como a RAF expressa a parte foliar útil para a fotossíntese (MAGALHÃES, 1979), as plantas irrigadas com  $\text{CaCl}_2$  nas doses mais elevadas apresentaram um maior particionamento da matéria seca para produção de lâminas foliares, indicando que, nas demais soluções, a salinidade impactou proporcionalmente mais a área útil para produção de fotossíntese.

**Figura 9** – Razão de área foliar (RAF) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  e  $\text{CaCl}_2$ ) e os níveis crescentes de salinidade da água de irrigação (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5  $\text{dS m}^{-1}$ ).



#### Equações de Regressão

NaCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>
$y = 86,00^{ns}$	$y = 83,78^{ns}$	$y = 7,8525x + 82,597^{**}$ $R^2 = 0,92$

$R^2$  = coeficiente de determinação; y = variável resposta; x = CEa; \*\* e \* significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Em condições de estresse salino, é comum ocorrerem alterações morfológicas nas plantas com o objetivo de reduzir a transpiração e manter baixa a absorção de sais (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Dentre essas adaptações, estão a redução no NF e na AF, que consequentemente impactam diretamente na RAF das plantas. De acordo com Azevedo Neto e Tabosa (2000), a RAF é um parâmetro muito importante na diferenciação das características de sensibilidade ou tolerância à salinidade em uma cultivar, pois as plantas com maiores

valores na RAF apresentam elevada transpiração e, conseqüentemente, maior demanda por água e uma maior concentração de íons de  $\text{Na}^+$  e/ou  $\text{Cl}^-$  na parte aérea. Além disso, o aumento da RAF é um indicativo de estresse, pois sob a mesma área foliar há menor conversão de fotoassimilados em biomassa, podendo ser causado tanto pela menor eficiência fotossintética quanto pelo maior gasto em manutenção e restauração de compostos de carbono (NASCIMENTO NETO, 2017).

## 5.2 Produção de matéria seca das plantas

A composição salina (T) da água de irrigação influenciou significativamente todas as variáveis de matéria seca analisadas (Tabela 5), exceto as variáveis de matéria seca da folha (MSF) e matéria seca da raiz (MSR). Ademais, todas as variáveis analisadas responderam de forma significativa aos níveis crescentes de salinidade da água de irrigação (S). A interação entre as fontes de variação (S) x (T) influenciou significativamente apenas a variável matéria seca do caule (MSC) ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 5** – Resumo da análise de variância para os dados de matéria seca da folha (MSF), caule (MSC) e raiz (MSR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em resposta à irrigação com águas de diferentes composições salinas ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  ou  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) e níveis crescentes de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5  $\text{dS m}^{-1}$ ).

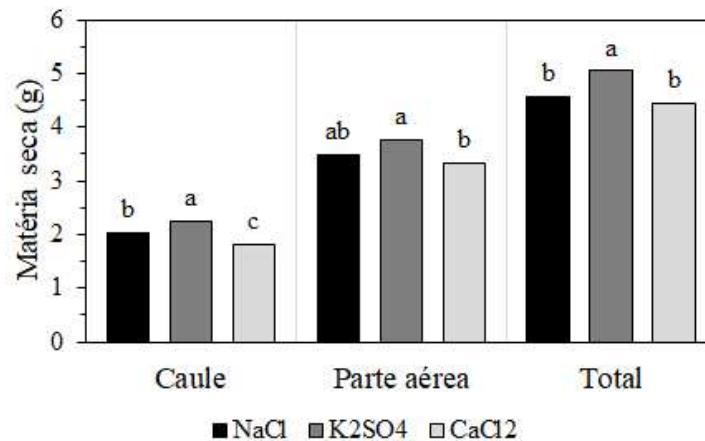
FV	GL	Quadrados médios				
		MSF	MSC	MSR	MSPA	MST
Sal (T)	2	0,03 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>**</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>**</sup>	1,65 <sup>**</sup>
CEa (S)	3	0,34 <sup>**</sup>	0,74 <sup>**</sup>	0,18 <sup>*</sup>	2,05 <sup>**</sup>	3,32 <sup>**</sup>
T x S	6	0,04 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>*</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0,01 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
Resíduo	33	0,03	0,05	0,05	0,13	0,22
CV (%)		2,4	6,4	3,1	13,4	23,7

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; <sup>ns</sup> não significativo; <sup>\*\*</sup> significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>\*</sup> significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Avaliando a resposta das plantas às diferentes composições salinas da água de irrigação (T) nas variáveis MSC, MSPA e MST, observa-se que as mudas de cajueiro irrigadas com  $\text{K}_2\text{SO}_4$  em sua composição foram 24,9%, 13,6% e 13,9% superiores, respectivamente, à

matéria seca das plantas cultivadas com  $\text{CaCl}_2$ , que apresentou o menor incremento de MS dos três sais avaliados (Figura 10).

**Figura 10** – Matéria seca do caule (MSC), da parte aérea (MSPA) e total (MST) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), em função da composição salina da água de irrigação ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  ou  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ).



Médias seguidas da mesma letra minúscula, para cada variável analisada (MSC, MSPA e MST), não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

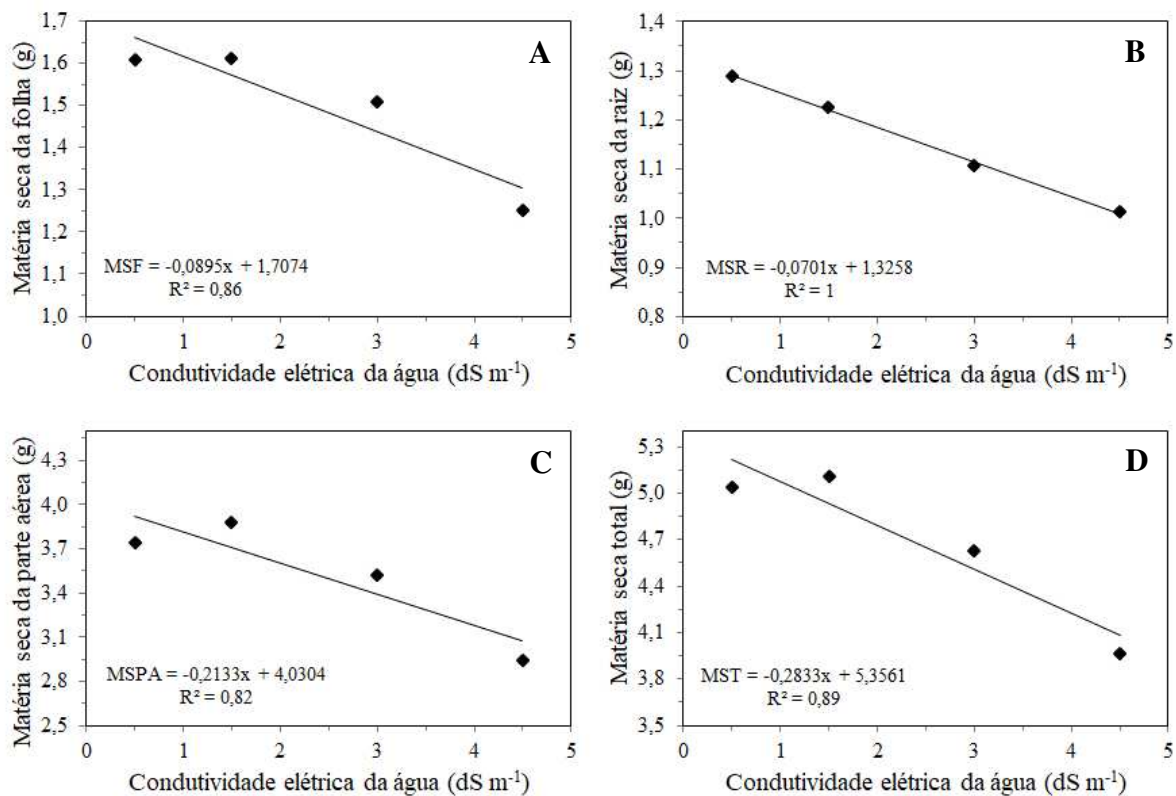
Resultado similar foi observado por Silva (2021), que constatou que a fitomassa seca total (FST) das plantas de maracujazeiro amarelo cv. BRS GA1 irrigadas com água constituída de  $\text{Ca}^{2+}$  (S3) foram estatisticamente inferiores à FST das mudas irrigadas com água de baixa salinidade (S1) e constituída de  $\text{Na}^+$  (S2). Em outro estudo, Leal *et al.* (2019), estudando o desenvolvimento inicial de plantas de Mofunbo irrigadas com águas salinizadas com  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{KCl}$  em níveis crescentes de condutividade elétrica (CEa) da água de irrigação, observaram que as plântulas apresentaram sensibilidade aos três tipos de sais, sendo as maiores sensibilidades nos cloretos de  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{KCl}$ . Em ambos os casos, os autores obtiveram um efeito positivo do  $\text{Na}^+$ , que apresentou desempenho similar à testemunha, apesar de ser considerado um dos principais causadores da toxicidade decorrente do efeito iônico do estresse salino. Segundo Asch, Dingkuhn e Dorffing (2000), a presença elevada de íons de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  na água de irrigação ou no solo pode causar disrupção na homeostase do potencial de água e desbalanço iônico na interfase solo-planta e promover toxidez no vegetal, alterando seu crescimento e a produção de matéria seca, além de promover redução na absorção de nutrientes.

Apesar de possuir um papel importante na composição da parede celular e de ser um macronutriente essencial para as plantas (SÁ *et al.*, 2018), a irrigação com água constituída de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) proporcionou o menor acúmulo de MSC, MSPA e MST.

Segundo Martins *et al.* (2019), o excesso de  $\text{Ca}^{2+}$  pode ocasionar seu redirecionamento para reações de precipitação com outros elementos, como o enxofre e o fósforo, além de competir pelos mesmos sítios ativos de absorção de nutrientes também importantes para a planta, como o potássio. Ademais, o melhor desempenho do  $\text{K}_2\text{SO}_4$  nas variáveis analisadas pode estar associado às funções do potássio no metabolismo das plantas, visto que este nutriente participa da manutenção do equilíbrio iônico e da turgidez das células, através do controle estomático (GURGEL *et al.*, 2010). Uma terceira possibilidade é o efeito do íon cloreto, presente nas duas outras soluções ( $\text{NaCl}$  e  $\text{CaCl}_2$ ), sobre o crescimento do caule, que foi predominante para a redução da MSPA e total, visto que a massa das folhas foi afetada semelhantemente em todas as soluções (Tabela 5).

A salinidade da água de irrigação afetou negativamente todos os parâmetros de matéria seca analisados (Figura 11). Houve uma redução linear média de 5,4% nas variáveis: MSF, MSR, MSPA e MST, para cada incremento unitário de CEa. Quando comparadas ao tratamento de baixa salinidade ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ), as mudas irrigadas com o nível mais alto de salinidade ( $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) apresentaram redução de 22,0%; 21,7%; 22,3% e 22,2% nas variáveis MSF, MSR, MSPA e MST, respectivamente.

**Figura 11** – Matéria seca: **A.** da folha (MSF), **B.** da raiz (MSR), **C.** da parte aérea (MSPA) e **D.** total (MST) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), em função dos níveis crescentes de salinidade da água de irrigação ( $0,5, 1,5, 3,0$  e  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ ).



As respostas obtidas para as variáveis MSF e MSC estão intimamente relacionadas com as variáveis NF e DC, onde a MSF reduziu com o aumento da salinidade da água de irrigação, devido à redução no número de folhas (Figura 7B), e a MSC que reduziu devido à redução do DC observada com o aumento da CEa da água (Figura 7A). Além disso, a redução percentual desses parâmetros pode ser explicada pela maior sensibilidade das mudas de cajueiro à salinidade nesta fase de desenvolvimento, devido aos mecanismos de ajustamento ao estresse salino, como a alocação de carbono, reduzindo assim o acúmulo de fitomassa (GUPTA; HUANG, 2014; SOUZA *et al.*, 2017). Resultados similares foram obtidos por Sousa, Farias e Bezerra (2019), que, ao avaliarem o crescimento de mudas enxertadas de cajueiro anão BRS 189, observaram um efeito linear negativo da salinidade sobre o NF, DC e MSF, mas não observaram influência significativa da salinidade sobre a MSC.

No que se refere à MST, resultados similares, porém com valores superiores, foram obtidos por Souza *et al.* (2020), em que a elevação dos sais da água de irrigação provocou uma redução de 13,9% na MST com o aumento unitário da CEa, e por Lima *et al.* (2020a), em que o incremento unitário da CEa provocou uma redução significativa de 14,43% na massa seca total das plantas de cajueiro. Os valores superiores encontrados em outros estudos podem estar relacionados ao estágio fenológico da planta, ao genótipo, às condições de crescimento (sacos plásticos, tubetes etc.), ao tempo de exposição ao estresse, dentre outras condições adversas, uma vez que o resultado esperado é a diminuição da MST da planta.

As raízes são as primeiras regiões a serem atingidas pelo estresse salino, pois estão em contato direto com o excesso de sais da solução do solo, sendo a primeira linha de defesa das plantas ao estresse (LI, BAILEY-SERRES; WERETILNYK, 2017; LIMA *et al.*, 2020c). Assim, a redução na MSR observada na Figura 11B pode ter surgido como uma estratégia de defesa da planta, com o objetivo de reduzir a incorporação dos íons tóxicos, possibilitando que a planta resista à salinidade por mais tempo (SÁ *et al.*, 2013) e/ou sugere que as plantas não conseguiram promover o ajustamento osmótico, como observado por Sousa, Farias e Bezerra (2019), em que as raízes de plantas de cajueiro, clone CCP 189, não sofreram efeito significativo da salinidade da água de irrigação salina. Essas divergências podem estar relacionadas à sensibilidade dos clones ao acúmulo de sais próximo à zona radicular, refletindo um custo maior de energia metabólica, o que reduz o acúmulo de biomassa (TRAVASSOS *et al.*, 2011). Inclusive, essa proposição já foi ratificada por Souza *et al.* (2020), onde alguns clones de cajueiro anão precoce mostraram-se mais sensíveis que outros à salinidade da água de irrigação.

Ao comparar a matéria seca das partes constituintes da planta, observa-se que os órgãos mais afetados são, na sequência: caule, folha e raízes. Contudo, é possível observar que, independentemente da parte da planta, o aumento da salinidade provoca uma redução linear na MS das mudas de cajueiro anão, genótipo CCP 06, devido à redução da disponibilidade hídrica no solo e /ou acúmulo excessivo de íons tóxicos nos tecidos vegetais.

Em relação aos demais parâmetros de crescimento (MSC e IQD) analisados na Tabela 5 e aos de produção de matéria seca analisados na Tabela 6, os resultados da análise de variância mostram que não houve efeito significativo dos níveis de salinidade da água de irrigação (S) sobre todas as variáveis analisadas. As exceções foram as variáveis MSC e índice de qualidade de Dickson (IQD), que foram significativas a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Por outro lado, a composição salina da água de irrigação (T) afetou significativamente as variáveis razão de massa foliar (RMF) e razão de massa caulinar (RMC) a 1% de probabilidade pelo teste F. A interação entre as fontes de variação (T) x (S) influenciou significativamente apenas a variável RMF a 1% de probabilidade pelo teste F.

**Tabela 6** – Resumo da análise de variância para os dados de razão de massa foliar, caulinar e radicular (RMF, RMC e RMR, respectivamente) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), em resposta à irrigação com águas de diferentes composições salinas (NaCl, CaCl<sub>2</sub> ou K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e níveis crescentes de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>).

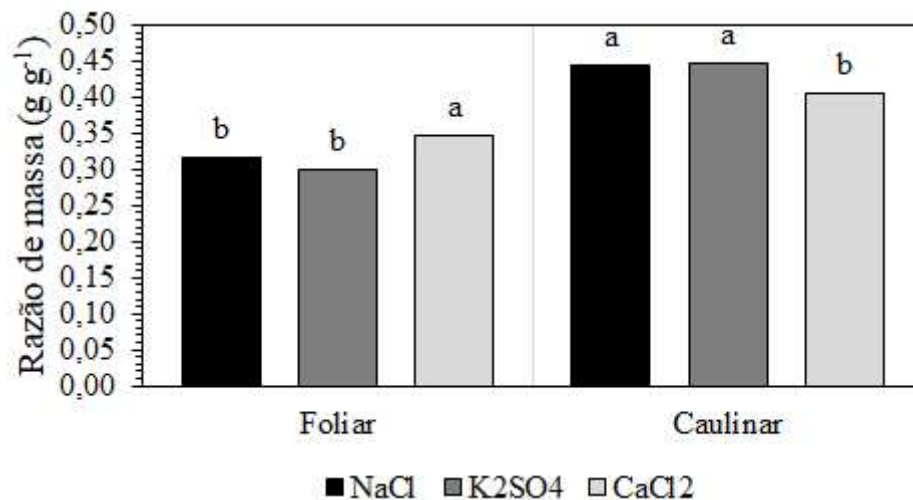
FV	GL	Quadrados médios			
		RMF	RMC	RMR	IQD
Sal (T)	2	0,0097**	0,0089**	0,0007 <sup>ns</sup>	0,065 <sup>ns</sup>
CEa (S)	3	0,0004 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,0008 <sup>ns</sup>	0,081*
T x S	6	0,0031**	0,0014 <sup>ns</sup>	0,0008 <sup>ns</sup>	0,036 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0,0010 <sup>ns</sup>	0,0004 <sup>ns</sup>	0,0004 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>
Resíduo	33	0,0007	0,0009	0,0015	0,022
CV (%)		8,1	7,1	15,8	17,1

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; <sup>ns</sup> não significativo; \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Avaliando a resposta das plantas às diferentes composições salinas da água de irrigação (T) na variável RMF, observa-se que as mudas de cajueiro irrigadas com CaCl<sub>2</sub> em sua composição foram estatisticamente superiores à RMF das mudas irrigadas com NaCl e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (10,4% e 16%, respectivamente), as quais não diferiram estatisticamente entre si pelo

teste de Tukey a 5% de probabilidade (Figura 12). Contudo, observa-se que na variável RMC a resposta é inversa ao observado na RMF, onde as plantas irrigadas com  $\text{CaCl}_2$  apresentaram os menores valores dentre os três sais avaliados. Assim, as mudas irrigadas com  $\text{CaCl}_2$  estão translocando MS do caule para outras partes da planta, visto que obtiveram menor RMC, o que justificaria esse tratamento ter o menor valor de MSC observado. Ademais, considerando que as folhas são o centro de produção de MS da planta através da fotossíntese e que o restante da planta depende da exportação dessa fitomassa, a RMF expressa a fração de massa seca não exportada das folhas para o resto da planta. Portanto, percebe-se que as mudas irrigadas com  $\text{CaCl}_2$  tiveram menor exportação de MS das folhas entre os tratamentos observados, visto que a fração de material retido nas folhas é maior que nos demais sais estudados, o que sugere um maior investimento da planta para o desenvolvimento dos órgãos de assimilação de  $\text{CO}_2$ .

**Figura 12** – Razão de massa foliar (RMF) e razão de massa caulinar (RMC) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  ou  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) e os níveis de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5  $\text{dS m}^{-1}$ ).

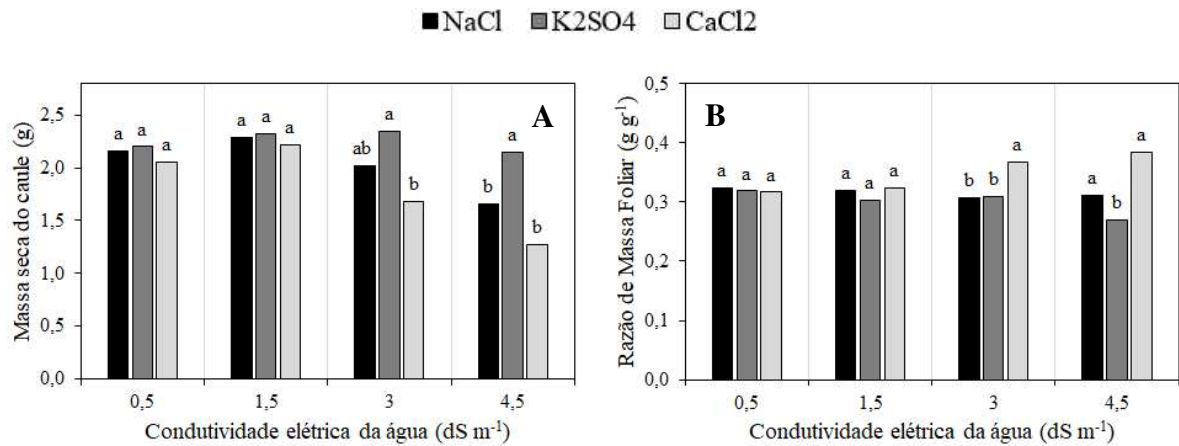


Médias seguidas da mesma letra minúscula, para cada variável analisada (RMF e RMC), não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

As MSC e a RMF não mostraram diferenças significativas entre os sais utilizados no preparo da água de irrigação nas condutividades elétricas da água de 0,5 e 1,5  $\text{dS m}^{-1}$  (Figura 13A). Contudo, no nível mais alto de salinidade da água (4,5  $\text{dS m}^{-1}$ ), nota-se que as plantas irrigadas com  $\text{NaCl}$  e  $\text{CaCl}_2$  apresentaram MSC estatisticamente inferior (23% e 41 %, respectivamente) àquelas das plantas cultivadas com  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , situação inversa ao que acontece na RMF, onde as plantas irrigadas com  $\text{K}_2\text{SO}_4$  mostraram inferioridade em relação aos demais tratamentos (Figura 13B).



**Figura 13** – **A.** Matéria seca do caule (MSC) e **B.** Razão de massa foliar (RMF) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação (NaCl, CaCl<sub>2</sub> ou K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e os níveis de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>).



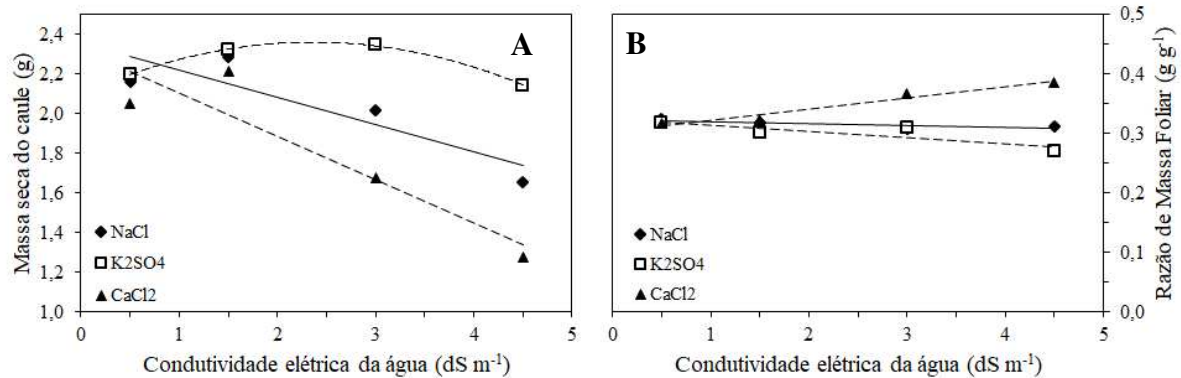
Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de cada nível de salinidade da água de irrigação, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Em ambientes com excesso de sais, como no presente estudo (3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>), o potássio presente na água de irrigação, em doses adequadas, pode atenuar o efeito da salinidade através das diversas funções que ele desempenha na planta, como o controle da turgidez, a ativação de enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese, e o controle estomático, dentre outros (MARSCHNER, 2011). Além disso, em ambientes com altas concentrações de cálcio, ocorre precipitação desse cátion com outros elementos, como o enxofre e o fósforo, além de competição pelos mesmos sítios ativos de absorção de nutrientes, também importantes para o crescimento da planta, como o potássio (MARTINS *et al.*, 2019), com efeitos diretos sobre a matéria seca. Ademais, em altas concentrações, a aplicação de NaCl aumenta a presença dos íons de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, que são considerados os principais responsáveis pela toxicidade decorrente do efeito iônico do estresse salino (SILVA, 2021), interferindo na disponibilidade de outros elementos e afetando processos importantes no desenvolvimento das culturas (DIAS; BLANCO, 2010).

Os níveis de salinidade da água de irrigação, preparada com sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), não influenciaram de forma significativa a MSC e a RMF das plantas jovens de cajueiro anão. Entretanto, para a MSC, as plantas cultivadas com NaCl e CaCl<sub>2</sub> responderam de forma negativa ao aumento da salinidade da água de irrigação (Figura 14A). Já para a RMF, apenas as plantas irrigadas com cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) sofreram influência dos níveis de sal (Figura 14B).



**Figura 14** – **A.** Matéria seca do caule (MSC) e **B.** Razão de massa foliar (RMF) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação (NaCl, CaCl<sub>2</sub> ou K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e os níveis de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>).



Equação de Regressão		
NaCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>
<b>MSC</b>		
$y = -0,1376x + 2,3572^{**}$ $R^2 = 0,79$	$y = 2,29^{ns}$	$y = -0,2195x + 2,3249^{**}$ $R^2 = 0,85$
<b>RMF</b>		
$y = 0,32^{ns}$	$y = 0,33^{ns}$	$y = 0,0188x + 0,3038^*$ $R^2 = 0,95$

R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; y = variável resposta; x = CEA; \*\* e \* significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

O NaCl e o CaCl<sub>2</sub> resultaram em reduções na MSC, provavelmente devido à toxicidade causada pelos íons de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, especialmente por esse último, único presente nas duas soluções, e pela precipitação do Ca<sup>2+</sup> junto com outros íons nas plantas irrigadas com altas concentrações de CaCl<sub>2</sub>. Ademais, vale ressaltar que, em elevadas concentrações de Ca<sup>2+</sup>, pode ter ocorrido antagonismo deste nutriente com outros essenciais ao desenvolvimento das plantas, ou, em casos mais graves (excesso de Ca<sup>2+</sup>), inibição competitiva. É notório que a salinidade afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas; contudo, os efeitos sobre as plantas variam dependendo da concentração total de sais e da composição iônica da água de irrigação. Conforme Alvarenga *et al.* (2019), as plantas respondem de formas distintas ao estresse salino, dependendo do genótipo, fase de desenvolvimento das plantas, da natureza iônica da água, da intensidade e duração do estresse, das condições edafoclimáticas, dentre outros.

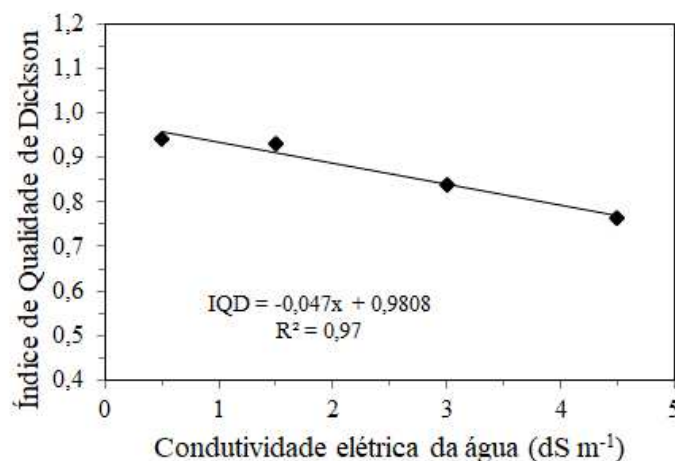
Avaliar a qualidade das mudas para produção de porta-enxertos é extremamente importante, principalmente quando as mudas são submetidas a condições ambientais adversas como a salinidade. Assim, a utilização do índice de qualidade de Dickson (IQD) é importante, pois constitui um critério de seleção amplamente utilizado para avaliar o comportamento de

mudas de várias espécies em campo (RUDEK; GARCIA; BANDEIRA, 2013) e é apontado por muitos autores como um bom indicador de qualidade das mudas, de modo que, quanto maior o valor de IQD, melhor é a qualidade da muda produzida (SOUZA; PERES, 2016).

Enquanto os tipos de sais não influenciaram o índice de qualidade de Dickson, o aumento do teor de sais na água de irrigação reduziu o IQD em 4,9% por aumento unitário da CEa, sendo encontrado valor máximo de 0,94 no tratamento de baixa salinidade (CEa de 0,5 dS m<sup>-1</sup>) (Figura 15). Contudo, mesmo no nível salino mais elevado (4,5 dS m<sup>-1</sup>), as mudas apresentaram IQD de 0,76, ou seja, mesmo em condições de salinidade elevada, as plantas apresentaram valores considerados aceitáveis para produção de mudas, pois mudas com IQD superior a 0,2 são consideradas de boa qualidade (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960; HUNT, 1990).

Resultados similares foram obtidos por Lima *et al.* (2020a), nos quais o aumento da salinidade da água de irrigação promoveu uma redução significativa no IQD de mudas de cajueiro anão. Mesmo as mudas irrigadas com alto nível de salinidade (3,6 dS m<sup>-1</sup>) apresentaram IQD acima do limite aceitável. Entretanto, os valores obtidos por Lima *et al.* (2020a) para IQD foram muito superiores (acima de 1,2) aos obtidos no presente estudo, provavelmente devido ao genótipo das plantas de cajueiro anão utilizadas (CCP 76, Faga 11 e Embrapa 51) e às condições ambientais distintas, visto que a resposta das plantas à salinidade pode variar com estes parâmetros (ALVARENGA *et al.*, 2019; TEDESCHI *et al.*, 2017). Ademais, Souza *et al.* (2019) também observaram reduções no IQD em mudas de cajueiro anão, genótipo Embrapa 51, com o aumento da CEa da água de irrigação, com valores de IQD abaixo de 0,9, porém, acima do limite aceitável.

**Figura 15** – Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função dos níveis crescentes de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>).



Todas as variáveis de crescimento foram afetadas pelo incremento da CEa de irrigação. No entanto, levando-se em consideração a redução da MST e avaliando que uma redução relativa de até 10% é considerada aceitável para o cultivo de plantas sob condição salina (AYERS; WESTCOT, 1999), o valor de CEa de 2,34 dS m<sup>-1</sup> pode ser considerado o valor para salinidade limiar para o desenvolvimento de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06). De acordo com a classificação proposta por Mass e Hoffman (1977), o cajueiro anão, genótipo CCP 06, é classificado como ‘moderadamente tolerante’ à salinidade na fase inicial de crescimento, com valor de salinidade limiar da água de irrigação de 2,34 dS m<sup>-1</sup>. Este resultado é superior ao obtido por Sousa, Farias e Bezerra (2019), que observaram uma redução de 10% no rendimento potencial do clone BRS 189 na CEa de 1,56 dS m<sup>-1</sup>, classificando o cajueiro anão BRS 189 como moderadamente sensível. Outros autores, como Carneiro *et al.* (2007), com o clone CCP 76, e Souza *et al.* (2018), com o clone Faga 11, também classificaram o cajueiro como moderadamente sensível.

### 5.3 Trocas gasosas

As variáveis de trocas gasosas analisadas aos 15 e 45 DAT responderam significativamente aos níveis crescentes de salinidade da água de irrigação (S) ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Contudo, não houve influência significativa da composição salina da água de irrigação (T) sobre os parâmetros analisados, tampouco houve interação entre os tratamentos (T) x (S) ( $p > 0,05$ ) (Tabela 7).

**Tabela 7** – Resumo da análise de variância para os dados de fotossíntese (A), transpiração (E) e condutância estomática (gs) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), aos 15 e 45 DAT, em resposta à irrigação com águas de diferentes composições salinas (NaCl, CaCl<sub>2</sub> ou K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e níveis crescentes de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>).

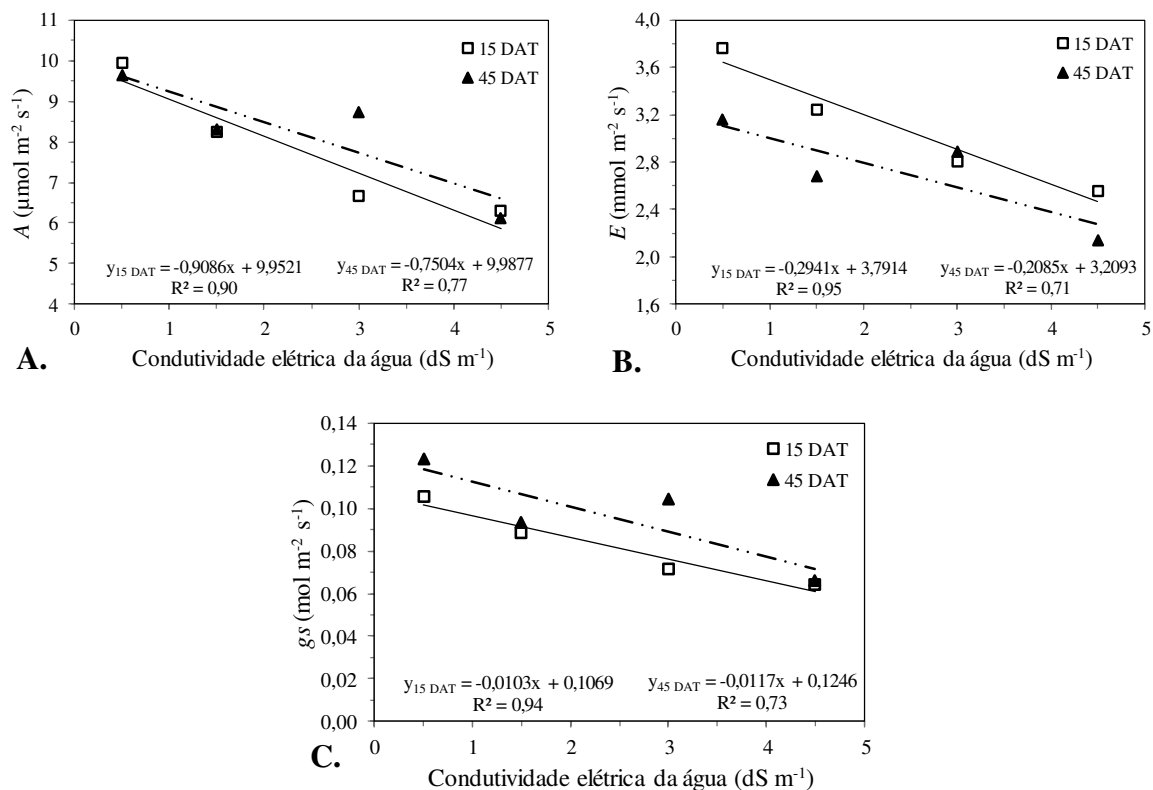
FV	GL	Quadrados médios					
		15 DAT			45 DAT		
		A	E	gs	A	E	gs
Sal (T)	2	1,53 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,00013 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,00027 <sup>ns</sup>
CEa (S)	3	33,65 <sup>**</sup>	3,35 <sup>**</sup>	0,00413 <sup>**</sup>	26,99 <sup>**</sup>	2,25 <sup>**</sup>	0,00692 <sup>**</sup>
T x S	6	4,85 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,00063 <sup>ns</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,00018 <sup>ns</sup>
Blocos	3	3,13 <sup>ns</sup>	5,17 <sup>**</sup>	0,00059 <sup>ns</sup>	7,22 <sup>ns</sup>	2,38 <sup>**</sup>	0,00233 <sup>*</sup>
Resíduo	33	4,54	0,47	0,00067	2,37	0,28	0,00072

CV (%)		27,3	22,3	31,4	18,8	19,5	27,8
--------	--	------	------	------	------	------	------

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; <sup>ns</sup> não significativo; <sup>\*\*</sup> significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Sabe-se que, dentre os principais processos afetados de forma imediata pela salinidade, destacam-se o crescimento celular e a fotossíntese (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; SANTOS *et al.*, 2020). Aos 15 e aos 45 DAT, a fotossíntese (A) das plantas mostrou um decréscimo significativo com o aumento do nível de salinidade da água de irrigação. As plantas irrigadas com o nível de salinidade mais baixo (0,5 dS m<sup>-1</sup>) apresentaram os maiores valores de fotossíntese líquida (9,96 e 9,65 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente aos 15 e 45 DAT) e um decréscimo de 9,6% e 7,8%, respectivamente aos 15 e 45 DAT, por cada dS m<sup>-1</sup> de aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 16A).

**Figura 16** – **A.** Fotossíntese (A), **B.** transpiração (E) e **C.** condutância estomática (gs) de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), aos 15 e 45 DAT, em função dos níveis crescentes de salinidade da água de irrigação (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>).



O mesmo comportamento é observado para transpiração (E), com redução de 8,1% e 6,7% de transpiração, respectivamente aos 15 e 45 DAT, e para a condutância estomática (gs), que foi reduzida em 10,1% e 9,9%, respectivamente, aos 15 e 45 DAT, para cada unidade de aumento (em dS m<sup>-1</sup>) da condutividade elétrica da água de irrigação. De

modo geral, quando comparadas ao tratamento com CEa de  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ , as mudas irrigadas com o nível mais alto de salinidade ( $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) reduziram mais de 30% a fotossíntese ( $A$ ) e a condutância estomática ( $g_s$ ) aos 15 e 45 DAT. Já a transpiração ( $E$ ) foi reduzida em 32,4% e 26,8%, respectivamente, aos 15 e 45 DAT (Figura 16B).

Souza *et al.* (2018), avaliando as trocas gasosas de plantas de cajueiro anão ‘Faga 11’, observaram reduções lineares na  $A$  e  $g_s$  de 57,14% e 64,92%, respectivamente, ao compararem os tratamentos do nível mais baixo de salinidade ( $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ ) com as mudas irrigadas com o nível mais alto de sal ( $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ ).

Os resultados mostram que, independentemente do tipo de sal empregado, a elevação da salinidade reduziu a fotossíntese das plantas de cajueiro anão, principalmente devido ao fechamento estomático e conseqüente menor incorporação de  $\text{CO}_2$  atmosférico. Por outro lado, aos 45 DAT, as plantas mantidas no nível mais elevado de salinidade mantiveram as taxas de  $A$  e de  $g_s$  semelhante às observadas aos 15 DAT, o que sugere uma possível aclimação das plantas ao estresse salino.

Os resultados deste experimento corroboram com os obtidos por Araújo *et al.* (2020), nos quais as trocas gasosas do porta-enxerto de cajueiro CCP 06 foram reduzidas em mais de 30%, quando comparado o nível mais elevado de salinidade ( $3,1 \text{ dS m}^{-1}$ ) com a CEa de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ . Araújo (2013), Sousa *et al.* (2010) e Bezerra *et al.* (2003) também constataram redução nos parâmetros de trocas gasosas em função do aumento da condutividade elétrica da água de irrigação. Contudo, os dados divergem dos obtidos por Amorim *et al.* (2010), que, trabalhando com plantas adultas de cajueiro anão, observaram que os tratamentos salinos não afetaram a taxa fotossintética, mostrando que, para o cajueiro anão, plantas adultas apresentam maior tolerância ao estresse salino para esse processo.

## 5.4 Minerais

A composição salina (T) e os níveis crescentes de salinidade da água de irrigação (S) influenciaram significativamente todos os teores de minerais analisados, tanto na folha quanto na raiz, a 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 8). Além disso, houve interação significativa entre as fontes de variação (T) x (S) para todos os minerais analisados na folha e na raiz, exceto o teor de cloreto (Cl) na folha, que não respondeu à interação ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 8** – Resumo da análise de variância para os teores de potássio (K), sódio (Na) e cloreto (Cl) analisados nas folhas e nas raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06), em resposta à irrigação com águas de diferentes composições salinas (NaCl, CaCl<sub>2</sub> ou K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e níveis crescentes de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>).

FV	GL	Quadrados médios					
		Folha			Raiz		
		K	Na	Cl	K	Na	Cl
Sal (T)	2	579,2**	170,0**	479,30**	354,9**	146,8**	265,1**
CEa (S)	3	89,3**	10,7**	375,21**	17,1**	5,4**	62,3**
T x S	6	58,4**	21,1**	135,28 <sup>ns</sup>	27,9**	12,2**	29,4**
Blocos	3	0,45 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	107,62 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>
Resíduo	33	1,39	0,31	57,06	0,76	0,06	0,93
CV (%)		8,4	14,4	31,8	10,0	6,9	7,9

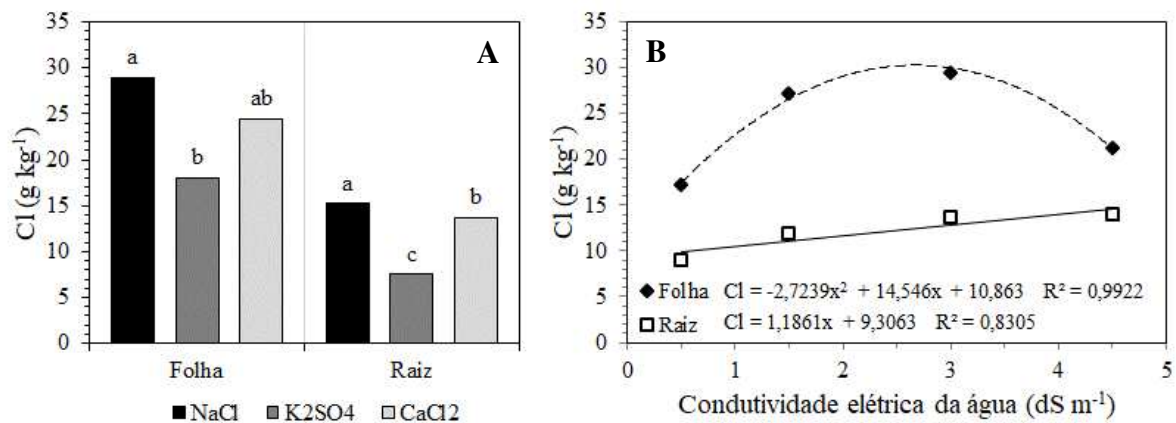
K = potássio; Na = sódio; Cl = cloreto; FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; <sup>ns</sup> não significativo; \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Ao comparar as diferentes composições salinas da água de irrigação em relação ao teor de cloreto (Cl) nas folhas e nas raízes, observa-se que o teor de Cl das mudas de cajueiro irrigadas com NaCl foi estatisticamente superior (60,4% e 102,5%, respectivamente) ao teor de Cl encontrado nas mudas irrigadas com K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, que apresentaram o menor desempenho dos três sais avaliados (18,04 g Cl kg<sup>-1</sup> nas folhas e 7,51 g Cl kg<sup>-1</sup> nas raízes) (Figura 17A). Ademais, na folha, observa-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos em que se utilizou Cl na composição salina da água de irrigação (NaCl e CaCl<sub>2</sub>). No entanto, também não foi observada diferença estatística entre as mudas irrigadas com CaCl<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, o que pode indicar um efeito sinérgico positivo entre o Cl<sup>-</sup> e o Ca<sup>2+</sup>, reduzindo a translocação desse último para as folhas.

Os teores de Cl nos órgãos estudados aumentaram de forma significativa com os níveis de salinidade da água de irrigação (Figura 17B). O teor de Cl na folha respondeu de forma quadrática ao aumento da CEa de irrigação, atingindo um valor máximo de 29,49 g Cl kg<sup>-1</sup> obtido na CEa de 3,0 dS m<sup>-1</sup>. Na raiz, o teor de Cl aumentou linearmente com o aumento da salinidade da água, com acréscimo relativo de 12% (1,19 g Cl kg<sup>-1</sup>) para cada aumento unitário da CEa. Entre os órgãos estudados, as folhas apresentaram os maiores teores deste elemento. Em síntese, o teor de Cl aparentemente foi translocado em maior intensidade para as folhas, até a concentração de 3,0 dS m<sup>-1</sup>, onde possivelmente teria atingido o limite de

armazenamento, reduzindo novamente o teor à medida que a salinidade da água aumentava. Ademais, no gráfico, é possível observar que a partir da CEa de  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ , o teor de Cl na folha diminuiu e o da raiz aumentou com o aumento da CEa de irrigação, o que sugere uma translocação de Cl da parte aérea da planta para as raízes.

**Figura 17** – Teor de cloreto (Cl) em folhas e raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da **A.** composição salina da água de irrigação (NaCl,  $\text{CaCl}_2$  ou  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) e **B.** níveis crescentes de salinidade da água ( $0,5, 1,5, 3,0$  e  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ ).



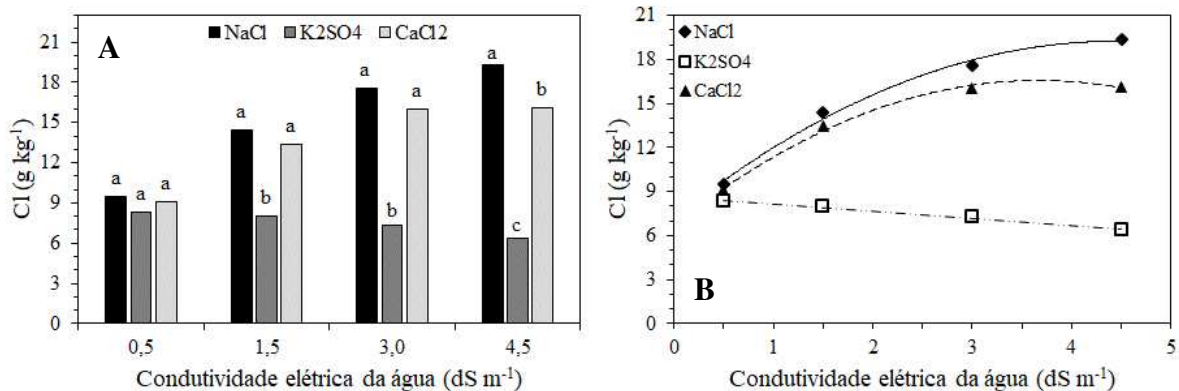
Médias seguidas da mesma letra minúscula, por órgão, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A translocação de cloreto (Cl) das folhas para as raízes é uma estratégia da planta para diminuir o acúmulo excessivo dos íons tóxicos nas folhas, pois plantas sensíveis costumam acumular cloreto nas folhas, enquanto que plantas mais tolerantes são capazes de distribuir esse íon tóxico para outros órgãos da planta. Inclusive, quanto mais tolerante, mas a planta é capaz de distribuir esse íon. Na literatura, há registros de mecanismos de retranslocação de  $\text{Cl}^-$  de folhas jovens de macieira via xilema, de modo a evitar efeitos tóxicos à planta (EBERT, 1998).

Ao avaliar a resposta das plantas à interação entre as fontes de variação (T) x (S) na raiz, observa-se que, no nível mais baixo de salinidade ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ), não houve diferença estatística no teor de Cl entre os sais aplicados na água de irrigação. No entanto, à medida que se aumentou a CEa da água, as mudas irrigadas com  $\text{CaCl}_2$  e, principalmente, com NaCl, foram estatisticamente superiores às mudas irrigadas com  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , com a maior diferença no teor de Cl observada no nível mais elevado de salinidade (por exemplo, na CEa de  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ , o teor de Cl das mudas irrigadas com NaCl foi 203,1% e 19,9% superior ao das plantas cultivadas com  $\text{K}_2\text{SO}_4$  e com  $\text{CaCl}_2$ , respectivamente) (Figura 18A). Além disso, é possível observar que há uma diferença significativa entre os níveis de salinidade da água de irrigação preparada com os três sais avaliados, onde as plantas irrigadas com NaCl e  $\text{CaCl}_2$

responderam positivamente, de forma quadrática, ao aumento da salinidade da água de irrigação, e as mudas irrigadas com  $K_2SO_4$  apresentaram uma diminuição gradual e linear do teor de Cl com o aumento da CEa de irrigação (Figura 18B). Não houve interação entre os tipos de sais utilizados na água de irrigação (T) e o aumento da CEa (S) sobre o teor de Cl na folha ( $p > 0,05$ ).

**Figura 18** – Teor de cloreto (Cl) em raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação (NaCl,  $CaCl_2$  ou  $K_2SO_4$ ) e os níveis de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5  $dS m^{-1}$ ).



Equações de Regressão	
NaCl	$y = -0,6085x^2 + 5,4185x + 7,1699^{**}$ $R^2 = 0,9922$
$K_2SO_4$	$y = -0,4909x + 8,6759^*$ $R^2 = 0,987$
$CaCl_2$	$y = -0,7334x^2 + 5,3815x + 6,6917^{**}$ $R^2 = 0,9946$

$R^2$  = coeficiente de determinação; y = variável resposta; x = CEa; \*\* e \* significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

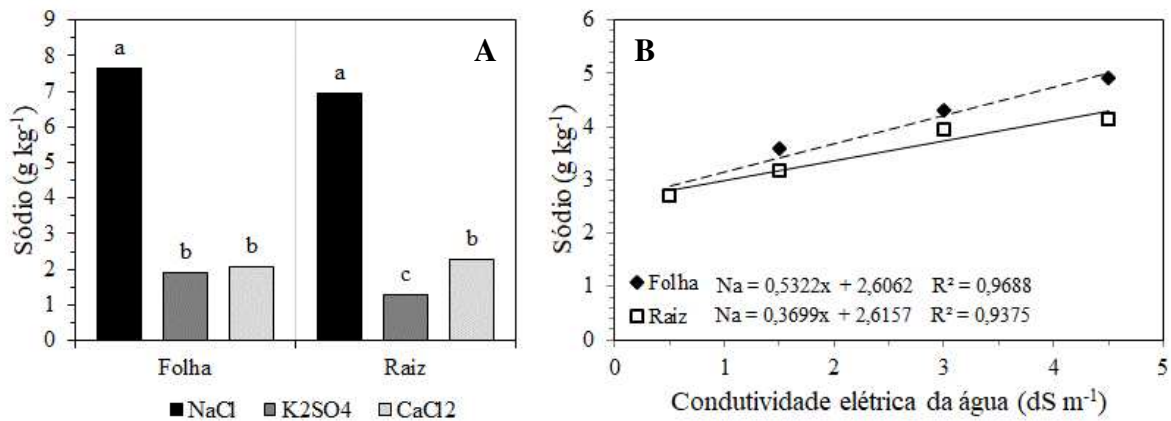
Quanto ao teor de sódio (Na) nas folhas e raízes, as mudas irrigadas com NaCl apresentaram os maiores teores observados: 7,63 g Na kg<sup>-1</sup> e 6,94 g Na kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses valores representam uma diferença de 5,7 g kg<sup>-1</sup> em relação ao encontrado nas folhas e raízes de mudas irrigadas com  $K_2SO_4$  (1,91 g Na kg<sup>-1</sup> e 1,27 g Na kg<sup>-1</sup>, respectivamente) (Figura 19A). Na folha, não foram observadas diferenças significativas nas plantas irrigadas com  $K_2SO_4$  e  $CaCl_2$ . Além disso, o incremento dos níveis de salinidade da água de irrigação promoveu aumentos lineares significativos nos teores de sódio em todos os órgãos da planta (Figura 19B), com acréscimos relativos nas folhas e raízes de 18,5% e 13,2%, respectivamente, para cada aumento unitário da CEa.

As interações entre as fontes de variação (T) x (S) mostraram que, na folha, não houve diferenças significativas nos teores de Na nas plantas irrigadas com água de baixa



salinidade (CEa de  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) (Figura 20A). Contudo, nos demais níveis de salinidade, nota-se que as plantas irrigadas com NaCl apresentaram teores foliares de Na estatisticamente superiores aos das plantas irrigadas com  $\text{CaCl}_2$  e com  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , sendo essa diferença maior com o aumento da CEa de irrigação. Por outro lado, na raiz, as divergências entre os sais aplicados são visíveis desde o tratamento de baixa salinidade ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ), onde as mudas irrigadas com  $\text{K}_2\text{SO}_4$  apresentaram o menor teor de Na dos três sais avaliados, resultado esperado, visto que em ambientes com alta concentração de potássio ( $\text{K}^+$ ) ocorre uma diminuição na absorção de sódio ( $\text{Na}^+$ ), e vice-versa.

**Figura 19** – Teor de sódio (Na) em folhas e raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da **A.** composição salina da água de irrigação (NaCl,  $\text{CaCl}_2$  ou  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) e **B.** níveis crescentes de salinidade da água ( $0,5, 1,5, 3,0$  e  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ ).



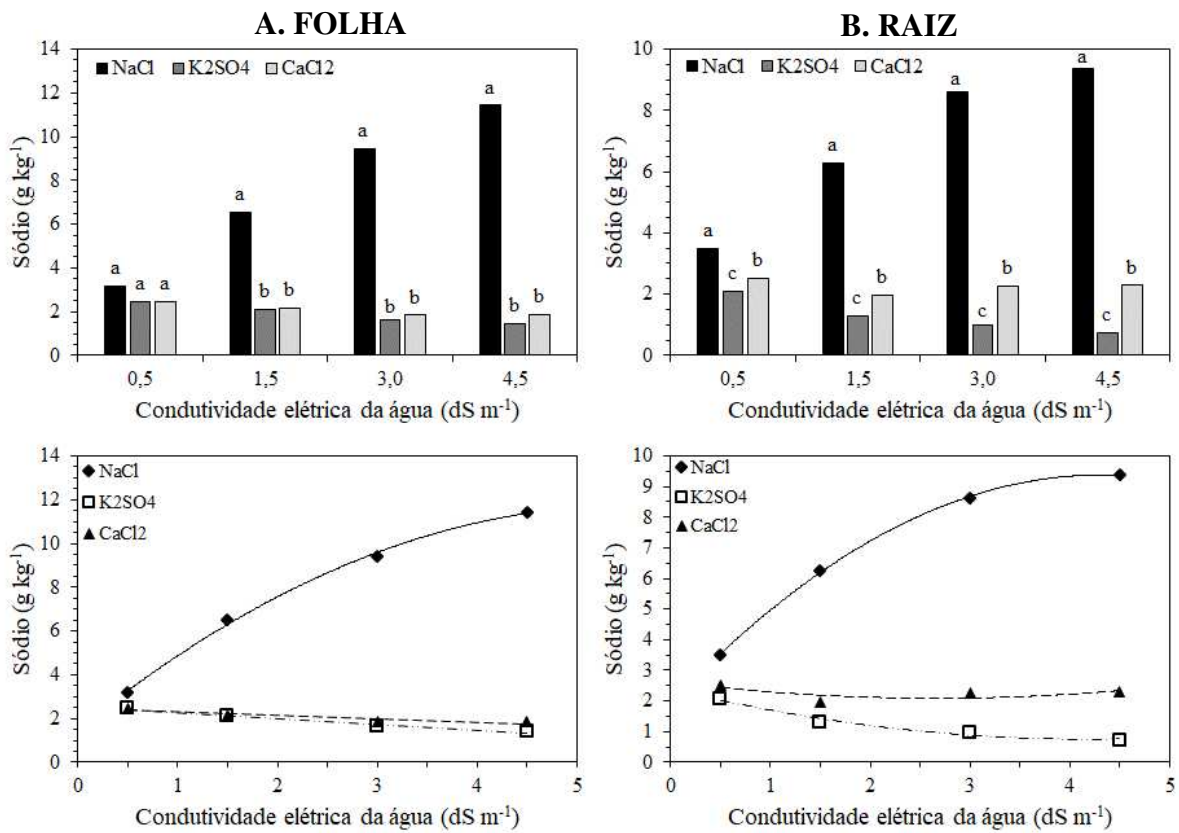
Médias seguidas da mesma letra minúscula, por órgão, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Ao avaliar o desdobramento dos níveis de salinidade dentro dos tipos de sais usados na água de irrigação, verifica-se que, na folha, não houve diferenças significativas entre os níveis de salinidade da água de irrigação preparada com  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Entretanto, na raiz, ocorreram diferenças significativas entre as CEa da água de irrigação preparada com os três sais avaliados ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), sendo que, em ambos os órgãos vegetativos avaliados, o NaCl o tratamento com melhor desempenho dentre os três. Ademais, as plantas cultivadas com NaCl responderam positivamente ao aumento da salinidade da água de irrigação, onde o tratamento salino com  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$  apresentou o maior teor de Na observado ( $11,43 \text{ g Na kg}^{-1}$  nas folhas e  $9,39 \text{ g Na kg}^{-1}$  nas raízes).

Sabe-se que, em elevadas concentrações de NaCl, o íon  $\text{Na}^+$  tende a substituir o  $\text{K}^+$  nos sítios de absorção nas raízes, efeito que pode ser até mais prejudicial do que o efeito osmótico (KAWASAKI; AKIBA; MORITSUGU, 1983), pois o aumento na concentração de íons de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  leva ao consequente desequilíbrio nutricional, provocando deficiências de

K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (MACHADO; SERRALHEIRO, 2017), nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas. Ademais, sabe-se que o aumento da concentração de Ca<sup>2+</sup> na zona radicular é apontado como uma alternativa para minorar os efeitos negativos da salinidade sobre o crescimento das plantas (LACERDA, 1995; RENGEL, 1992), pois, além de reduzir a absorção de íons potencialmente tóxicos, como o Na<sup>+</sup>, favorece a absorção de íons essenciais, como o K<sup>+</sup> e o próprio Ca<sup>2+</sup> (COLMER *et al.*, 1996; MAAS; GRIEVE, 1987).

**Figura 20** – Teor de sódio (Na) em **A.** folhas e **B.** raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação (NaCl, CaCl<sub>2</sub> ou K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e os níveis de sal da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>).

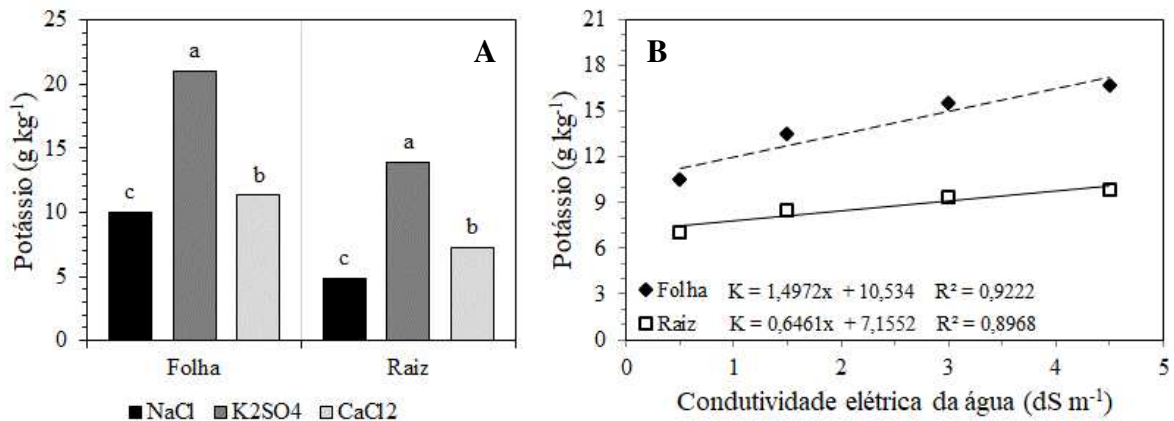


Equação de Regressão		
NaCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>
<b>Folha</b>		
$y = -0,335x^2 + 3,702x + 1,4989^{**}$ $R^2 = 0,9976$	$y = 2,53^{ns}$	$y = 2,43^{ns}$
<b>Raiz</b>		
$y = -0,4001x^2 + 3,4581x + 1,9075^{**}$ $R^2 = 0,9995$	$y = 0,0947x^2 - 0,7894x + 2,3961^{**}$ $R^2 = 0,97$	$y = 0,0745x^2 - 0,3973x + 2,6174^*$ $R^2 = 0,4485$

R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; y = variável resposta; x = CEa; \*\* e \* significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O potássio (K) foi outro nutriente afetado significativamente pela composição salina da água de irrigação. O teor de K nas folhas e raízes das mudas irrigadas com  $K_2SO_4$  foi estatisticamente superior aos das mudas irrigadas com os demais tratamentos, principalmente em relação às mudas irrigadas com NaCl, que apresentaram a menor concentração de K dos três sais avaliados ( $9,97 \text{ g K kg}^{-1}$  nas folhas e  $4,84 \text{ g K kg}^{-1}$  nas raízes) (Figura 21A). Além disso, os dados mostram que há um maior teor de potássio nas mudas irrigadas com  $CaCl_2$  do que nas irrigadas com NaCl, pois o íon de  $Na^+$  tende a substituir o  $K^+$  nos sítios de absorção, principalmente nas raízes.

**Figura 21** – Teor de potássio (K) em folhas e raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da **A.** composição salina da água de irrigação (NaCl,  $CaCl_2$  ou  $K_2SO_4$ ) e **B.** níveis crescentes de salinidade da água ( $0,5, 1,5, 3,0$  e  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ ).



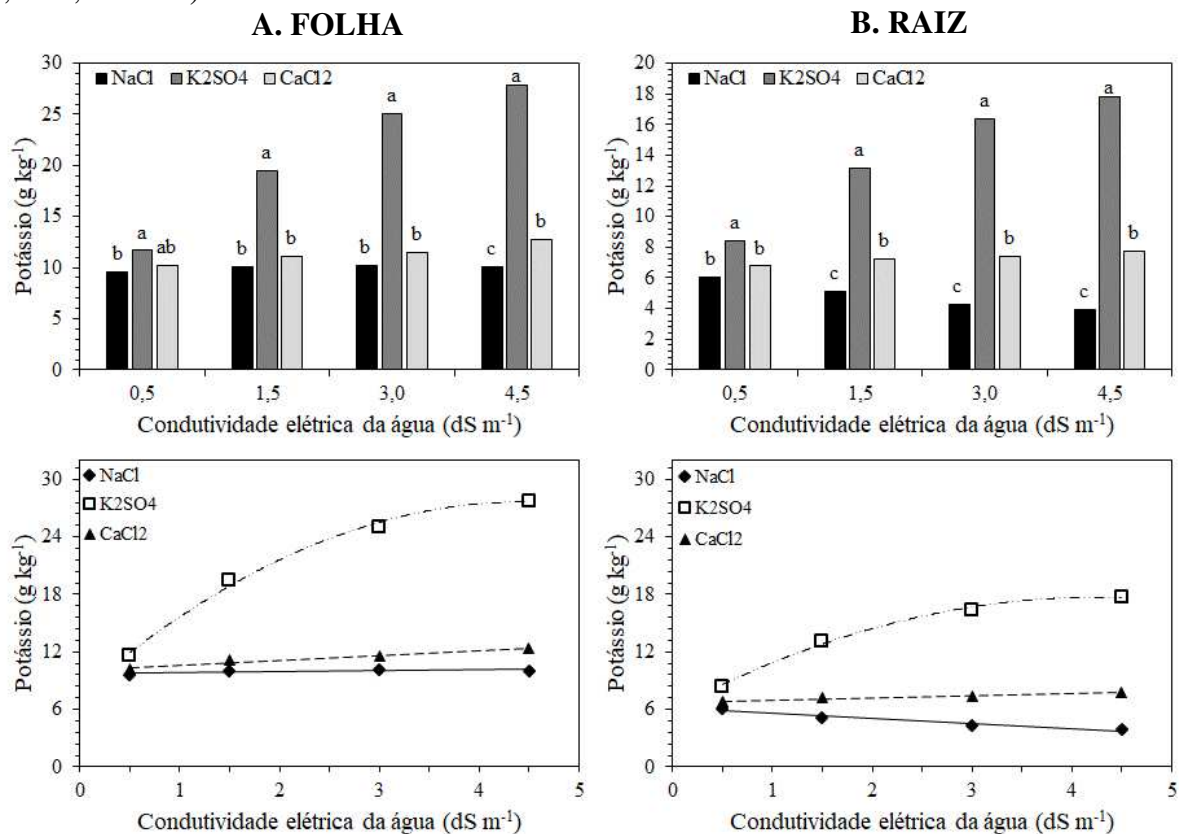
Médias seguidas da mesma letra minúscula, por órgão, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A salinidade da água de irrigação também influenciou o teor de potássio nas folhas e raízes de plantas jovens de cajueiro anão, com crescimento linear relativo de 13,3% e 8,6%, respectivamente, para cada incremento unitário da CEa de irrigação. Quando comparadas ao tratamento de baixa salinidade ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ), as mudas irrigadas com o nível mais alto de salinidade ( $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) apresentaram um aumento no teor de potássio de 59,1% e 38,4% na folha e na raiz, respectivamente (Figura 21B).

A interação entre as fontes de variação mostra que o teor de K das mudas irrigadas com  $K_2SO_4$  nos órgãos vegetativos avaliados foi estatisticamente superior ao das mudas irrigadas com os demais tratamentos. Em relação ao aumento da CEa de irrigação, os níveis de salinidade da água preparados com  $K_2SO_4$  influenciaram de forma significativa no teor de K, com os maiores valores foliares e radiculares observados na CEa de  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$  ( $27,79 \text{ g K kg}^{-1}$  e  $17,77 \text{ g K kg}^{-1}$ , respectivamente). Por sua vez, nas plantas cultivadas com NaCl e  $CaCl_2$ , não houve aumento de K nas folhas com o aumento da salinidade da água, mas

também não houve redução desse elemento, que poderia ter ocorrido em função da competição com o Na pelo sítio de ligação do transportador (Figura 22B). Na raiz, apenas as mudas irrigadas com  $\text{CaCl}_2$  não apresentaram efeito significativo do aumento da CEA de irrigação ( $p > 0,05$ ).

**Figura 22** – Teor de potássio (K) em **A.** folhas e **B.** raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da interação entre os tipos de sais utilizados na composição da água de irrigação ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  ou  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) e os níveis crescentes de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5  $\text{dS m}^{-1}$ ).



	Equação de Regressão		
	NaCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>
<b>Folha</b>	$y = 9,74^{ns}$	$y = -1,0069x^2 + 8,9655x + 7,6931^{**}$ $R^2 = 0,9961$	$y = 10,14^{ns}$
<b>Raiz</b>	$y = -0,5286x + 6,0998^{**}$ $R^2 = 0,9358$	$y = -0,6442x^2 + 5,483x + 6,0211^{**}$ $R^2 = 0,9948$	$y = 6,76^{ns}$

$R^2$  = coeficiente de determinação; y = variável resposta; x = CEA; \*\* e \* significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Em condições de estresse salino, a capacidade da planta em reter potássio nos tecidos é uma característica importante para tolerância da cultura (WU *et al.*, 2018), pois o potássio está envolvido em diversas reações metabólicas e processos fisiológicos na planta

(MARSCHNER, 2012), podendo mitigar os efeitos adversos do sódio ( $\text{Na}^+$ ) ou mesmo do cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) (SHABALA; POTTOSIN, 2014; WANG *et al.*, 2013), além de participa da homeostase iônica e de pH, ajudando a adequar o potencial osmótico da membrana (AHMAD; MAATHIUS, 2014).

De modo geral, a composição salina (T) e os níveis crescentes de salinidade da água de irrigação (S) influenciaram significativamente todos os teores de minerais analisados, tanto na folha quanto na raiz, a 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 8). Ademais, houve interação significativa entre as fontes de variação (T) x (S) para todos os minerais analisados na folha e na raiz, a 1% de probabilidade pelo teste F, exceto o teor de enxofre na solha (S) e fósforo (P) na raiz, que foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

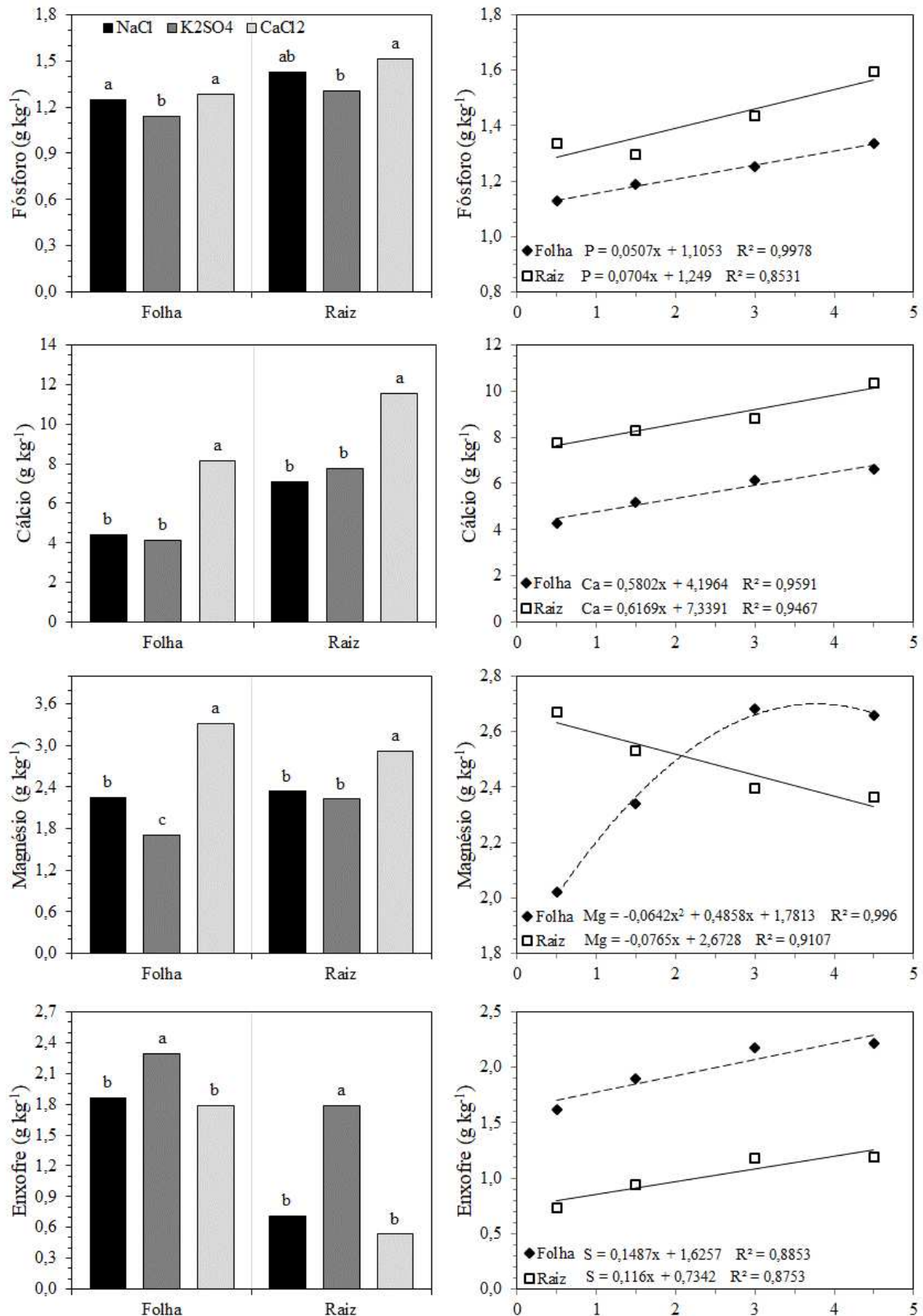
**Tabela 9** – Resumo da análise de variância para os teores de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) analisados nas folhas e nas raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em resposta à irrigação com águas de diferentes composições salinas ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  ou  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) e níveis crescentes de salinidade (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5  $\text{dS m}^{-1}$ ).

FV	GL	Quadrados médios							
		Folha				Raiz			
		P	Ca	Mg	S	P	Ca	Mg	S
Sal (T)	2	0,09**	80,4**	10,7**	1,18**	0,17*	92,8**	2,20**	7,31**
CEa (S)	3	0,09**	12,9**	1,17**	0,92**	0,21**	14,8**	0,24**	0,57**
T x S	6	0,03**	17,1**	1,93**	0,22*	0,10*	14,7**	0,14**	0,75**
Blocos	3	0,02 <sup>ns</sup>	1,50*	0,30*	0,24*	0,03 <sup>ns</sup>	4,49**	0,04 <sup>ns</sup>	0,42*
Resíduo	33	0,01	0,35	0,08	0,07	0,03	1,20	0,04	0,12
CV (%)		7,0	10,7	12,0	13,7	13,0'	12,4	7,5	33,9

K = potássio; Na = sódio; Cl = cloreto; FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; <sup>ns</sup> não significativo; \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A aplicação de  $\text{CaCl}_2$  nas plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) promoveu os maiores teores de P, Ca e Mg, analisados tanto na folha quanto na raiz (Figura 23). Para o fósforo, é possível observar que as mudas irrigadas com sais à base de Cl ( $\text{NaCl}$  e  $\text{CaCl}_2$ ) não apresentaram diferenças estatísticas entre si, tanto na folha quanto na raiz, diferindo estatisticamente apenas das mudas irrigadas com  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , que apresentaram o menor desempenho entre os sais avaliados, com uma redução de 11% e 13,6% no teor de fósforo nas folhas e raízes, respectivamente, quando comparadas com as mudas irrigadas com  $\text{CaCl}_2$  (1,28  $\text{g P kg}^{-1}$  nas folhas e 1,51  $\text{g P kg}^{-1}$  nas raízes).

**Figura 23** – Teor de fósforo, cálcio, magnésio e enxofre em folhas e raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em função da composição salina da água de irrigação (NaCl, CaCl<sub>2</sub> ou K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e dos níveis crescentes de salinidade da água (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>).



Médias seguidas da mesma letra minúscula, por órgão da planta, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



Via de regra, a salinidade diminui a concentração de P nos tecidos vegetais devido aos efeitos de força iônica e à diminuição da solubilidade deste mineral com o aumento dos níveis de salinidade no solo (GARCIA *et al.*, 2005). No entanto, no presente trabalho, foi observado o contrário, onde as mudas irrigadas com sais à base de Cl apresentaram os maiores teores de P observados. A relação entre o teor de fósforo nas plantas e a salinidade é complexa e depende da espécie, cultivar, estágio fenológico da planta, quantidade de fósforo no substrato, tipos de sais e nível de salinidade (GRATTAN; GRIEVE, 1999).

Na análise do teor de Ca, é possível observar que não há diferenças estatísticas entre as plantas irrigadas com  $K_2SO_4$  e NaCl, diferindo apenas das mudas irrigadas com  $CaCl_2$ , que proporcionaram um aporte significativo de cálcio nos tecidos vegetais analisados (8,16 g Ca  $kg^{-1}$  nas folhas e 11,56 g Ca  $kg^{-1}$  nas raízes). Além disso, foi constatado que o teor de P e Ca foi maior nas raízes do que nas folhas, com uma taxa de crescimento linear relativa de 5,5% e 8,1% no teor de P e Ca radicular, respectivamente, para cada incremento unitário da CEA de irrigação. Na folha, o aumento no teor de cálcio foi mais acentuado que na raiz, com acréscimos de 12,9% para cada aumento unitário na salinidade (Figura 23).

A absorção de cálcio pelas plantas é afetada pela salinidade do solo, pois o excesso de sódio ( $Na^+$ ) e cloro ( $Cl^-$ ) interfere na disponibilidade e no transporte desse nutriente. O sódio compete com o cálcio pelos sítios de absorção nas raízes, reduzindo a entrada de cálcio nas plantas. Não o bastante, o cloro forma complexos insolúveis com o cálcio, diminuindo a sua concentração na solução do solo (KAWASAKI; AKIBA; MORITSUGU, 1983).

Quanto ao teor de magnésio (Mg), observa-se que, independentemente do órgão vegetativo analisado, o teor de Mg foi maior nas mudas irrigadas com  $CaCl_2$  (3,32 g Mg  $kg^{-1}$  nas folhas e 2,91 g Mg  $kg^{-1}$  nas raízes), principalmente em relação às mudas irrigadas com  $K_2SO_4$ , que apresentaram o menor teor de Mg entre os sais avaliados (1,71 g Mg  $kg^{-1}$  nas folhas e 2,22 g Mg  $kg^{-1}$  nas raízes).

A redução do teor de Mg com a presença do  $K_2SO_4$  é esperada, pois, de acordo com Marschner (2012), ocorre uma inibição não competitiva entre o  $K^+$  e  $Mg^{2+}$ . Ademais, no experimento, não foi constatada uma inibição competitiva entre o  $Ca^{2+}$  e o  $Mg^{2+}$ , que geralmente tende a acontecer, muito menos a presença do efeito antagônico, ou seja, o excesso de um prejudicar a absorção do outro, como relatado por Prado (2008), já que as plantas irrigadas com  $CaCl_2$  apresentaram os melhores resultados (Figura 23).

O resultado satisfatório com a aplicação de  $CaCl_2$  pode estar relacionado ao efeito sinérgico promovido pelo aumento da concentração de  $Ca^{2+}$ . Segundo o IPNI (2023), o

sinergismo ocorre quando um íon aumenta a absorção de outro íon, proporcionando efeito benéfico no desenvolvimento da planta. Desta forma, a presença de  $\text{Ca}^{2+}$  em concentrações elevadas na solução do solo teria aumentado a absorção de alguns íons, como o Mg. Vale ressaltar também que o Cl desempenha diversas funções importantes nas plantas, tais como o transporte de nutrientes com cargas positivas, como, por exemplo, o potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), pois age como um contra-íon para manter o equilíbrio elétrico (IPNI, 2017).

Dentre as principais funções no Mg na planta, destaca-se a de constituinte estrutural da clorofila, substância responsável pela absorção de luz e transferência de energia na fotossíntese, e de ativador de enzimas relacionadas ao metabolismo energético, além de atuar na ligação entre as estruturas de pirofosfato do ATP e ADP (TAIZ; ZEIGER, 2013). Ademais, na literatura consta que o magnésio contribui para a absorção de fósforo, pois o  $\text{Mg}^{2+}$  têm influência positiva na absorção do íon ortofosfato, principal forma de P absorvida pelas plantas (MALAVOLTA, 1976). Inclusive, as interações positivas entre P e Mg são esperadas, uma vez que o Mg é um ativador das enzimas quinases e de muitas reações envolvendo a transferência de fosfato (FAGERIA, 2001). Assim, o aumento da concentração de  $\text{CaCl}_2$  no solo promoveu o aumento no transporte de Mg, que indiretamente, levou a um aumento no teor de P observado no experimento (Figura 23), pois ocorre um sinergismo entre o P e o Mg (MALAVOLTA, 2006). Além disso, a interação existente entre P e Mg já foi estudada por diversos autores (SALEQUE *et al.*, 2001; LANGE, 2007).

O aumento da salinidade da água de irrigação promoveu uma redução no teor de Mg na raiz (2,9% para cada aumento unitário na CEa), ao passo que promoveu um aumento acentuado do nutriente na folha, com valor máximo na CEa de  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$  ( $2,68 \text{ g Mg kg}^{-1}$ ). O gráfico sugere uma translocação de magnésio da raiz para folha (Figura 23). O magnésio influencia o balanço de carboidratos entre a fonte e os drenos, representados pelas raízes, flores e frutos (HERMANS *et al.*, 2005). Desse modo, é crucial para alongação radicular das plantas, ou seja, para o crescimento das raízes, pois, segundo o IPNI (2017), o magnésio assegura que os carboidratos produzidos nas folhas sejam exportados para outros órgãos das plantas para serem utilizados para energia e estrutura. Silva *et al.* (2005), trabalhando com raízes de soja na presença ou ausência do Al em condições controladas (fitotron), destacaram, sobretudo, a importância do Mg na alongação radicular.

É possível observar que, em termos gerais, o aumento no teor de K, promovido pela irrigação com  $\text{K}_2\text{SO}_4$  no solo, causou uma diminuição dos teores de Ca e Mg nas plantas. Essa interação, inclusive, é a mais conhecida de todas e pode ser explicado pelo efeito da diluição, como abordado por Rosolem (2005), e/ou pelo efeito da inibição competitiva entre



esses íons. Por outro lado, a aplicação de sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ) promoveu os maiores teores de enxofre (S) analisados, tanto na folha quanto na raiz ( $2,29 \text{ g S kg}^{-1}$  e  $1,78 \text{ g S kg}^{-1}$ , respectivamente), não havendo diferenças estatísticas entre a aplicação das fontes salinas compostas por cloreto (Cl). Ao contrário do observado nos demais nutrientes, o teor de enxofre (S) foi encontrado em maiores quantidades nas folhas do que nas raízes, com crescimento linear relativo de 8,7% por cada unidade da CEa da água de irrigação (Figura 23). Ademais, o Cl em maiores concentrações no solo diminui a absorção de enxofre devido ao efeito antagonista entre esses elementos (ORTEGA; MALAVOLTA, 2012; PAIVA; NICODEMO, 1994).

Ao avaliar as interações entre as fontes de variação (T) x (S) (Tabela 10), pode-se observar que, de modo geral, em ambos os órgãos vegetativos analisados, as mudas de cajueiro anão (CCP 06), irrigadas com  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$  de  $CaCl_2$ , apresentaram os maiores teores minerais analisados (P, Ca e Mg). Como esperado, o teor de S foi maior nas plantas irrigadas com  $K_2SO_4$  nos níveis mais altos de salinidade da água de irrigação ( $3,0$  e  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ ).

**Tabela 10** – Valores médios dos teores de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) analisados nas folhas e nas raízes de plantas jovens de cajueiro anão (CCP 06) em resposta à irrigação com água de diferentes composições salinas (NaCl,  $CaCl_2$  ou  $K_2SO_4$ ) e níveis crescentes de salinidade ( $0,5$ ,  $1,5$ ,  $3,0$  e  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ ).

<b>Fósforo (P)</b>						
CEa ( $\text{dS m}^{-1}$ )	Folha			Raiz		
	NaCl	$K_2SO_4$	$CaCl_2$	NaCl	$K_2SO_4$	$CaCl_2$
0,5	1,15 aB	1,14 aA	1,10 aB	1,30 aA	1,36 aA	1,36 aB
1,5	1,26 aAB	1,13 aA	1,18 aB	1,33 aA	1,24 aA	1,31 aB
3,0	1,25 abAB	1,16 bA	1,35 aA	1,48 aA	1,37 aA	1,46 aB
4,5	1,34 bA	1,15 cA	1,52 aA	1,59 bA	1,26 cA	1,93 aA
<b>Cálcio (Ca)</b>						
CEa ( $\text{dS m}^{-1}$ )	Folha			Raiz		
	NaCl	$K_2SO_4$	$CaCl_2$	NaCl	$K_2SO_4$	$CaCl_2$
0,5	4,19 aA	4,35 aA	4,35 aD	7,40 aA	7,52 aA	8,34 aC
1,5	4,53 bA	4,65 bA	6,44 aC	6,98 bA	8,17 abA	9,79 aC
3,0	4,59 bA	3,97 bA	9,91 aB	6,98 bA	7,19 bA	12,29 aB
4,5	4,33 bA	3,65 bA	11,93 aA	6,98 bA	8,21 bA	15,82 aA

<b>Magnésio (Mg)</b>						
CEa (dS m <sup>-1</sup> )	Folha			Raiz		
	NaCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>
0,5	1,99 aA	2,03 aA	2,04 aC	2,63 aA	2,57 aA	2,82 aA
1,5	2,30 bA	1,87 bAB	2,85 aB	2,38 bAB	2,33 bAB	2,90 aA
3,0	2,40 bA	1,59 cAB	4,06 aA	2,19 bB	2,03 bB	2,98 aA
4,5	2,31 bA	1,35 cB	4,33 aA	2,15 bB	1,97 bB	2,97 aA
<b>Enxofre (S)</b>						
CEa (dS m <sup>-1</sup> )	Folha			Raiz		
	NaCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>
0,5	1,60 aA	1,73 aB	1,53 aA	0,75 aA	0,94 aB	0,51 aA
1,5	1,97 aA	2,03 aB	1,71 aA	0,82 bA	1,46 aB	0,55 bA
3,0	1,79 bA	2,84 aA	1,90 bA	0,68 bA	2,37 aA	0,48 bA
4,5	2,09 bA	2,56 aA	2,00 bA	0,61 bA	2,37 aA	0,60 bA

Médias seguidas da mesma letra **minúscula** na linha, e **maiúscula** na coluna, dentro de cada órgão vegetativo da planta, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 0,05 de probabilidade.

Um dos fatores de maior preocupação na agricultura atual é a salinidade do solo, especialmente o solo irrigado, onde o efeito da salinidade sobre o desenvolvimento das plantas tem sido amplamente em vários países, principalmente naqueles que apresentam regiões áridas e semiáridas (RIBEIRO *et al.*, 2009). Como evidenciado neste trabalho e em tantos outros encontrados na literatura, pode-se observar que os sais exercem efeitos de forma direta ou indireta, lenta ou brusca, total ou parcial sobre o desenvolvimento e produção das culturas (SERTÃO, 2005), e que não apenas a CEa de irrigação deve ser avaliada, mas também a composição da água utilizada.

## 6 CONCLUSÃO

O aumento da salinidade da água de irrigação comprometeu o crescimento das plantas jovens de cajueiro anão, com reduções aceitáveis (10%) no crescimento e na produção de matéria seca até a CEa de  $2,34 \text{ dS m}^{-1}$ , valor limiar da salinidade, classificando o cajueiro como ‘moderadamente tolerante’ à salinidade na fase inicial de crescimento.

Independente da solução utilizada, a salinidade reduziu o crescimento e as trocas gasosas das plantas, indicando que o efeito mais pronunciado foi o osmótico.

Dentre as três soluções, a irrigação com  $\text{K}_2\text{SO}_4$  promoveu os melhores desempenhos no crescimento e na produção de matéria seca em condições de elevada CEa da água de irrigação.

As respostas foram semelhantes quando as plantas foram irrigadas com NaCl e com  $\text{CaCl}_2$ , indicando que o cloreto é o íon que mais afeta o crescimento e a fisiologia das plantas jovens de cajueiro anão.

As trocas gasosas analisadas aos 15 e 45 DAT responderam negativamente ao aumento da CEa de irrigação, independentemente do sal utilizado, apresentando uma leve aclimação ao estresse aos 45 DAT.

A irrigação com NaCl resultou nos maiores teores de Na e Cl tanto nas folhas quanto nas raízes das mudas de cajueiro anão (CCP 06), enquanto a irrigação com  $\text{K}_2\text{SO}_4$  levou ao maior teor de K nos órgãos vegetativos analisados. Houve uma maior translocação dos íons citados para as folhas com o aumento da CEa de irrigação da respectiva solução.

No que diz respeito aos demais nutrientes analisados, a irrigação das mudas de cajueiro anão com  $\text{CaCl}_2$  proporcionou os maiores teores de P, Ca e Mg analisados tanto nas folhas quanto nas raízes, e os teores foram maiores com o aumento da CEa de Irrigação.

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, I.; MAATHUIS, F. J. M. Cellular and tissue distribution of potassium: physiological relevance, mechanisms and regulation. **Journal of Plant Physiology**. v. 171, n. 9, p. 708–714, 2014.
- ALHARBY, H. F.; COLMER, T. D.; BARRETT-LENNARD, E. G. Salinization of the soil solution decreases the further accumulation of salt in the root zone of the halophyte *Atriplex nummularia* Lindl. growing above shallow saline groundwater. **Plant, Cell & Environ.**, v. 41, n. 1, p. 99-110, 2018.
- ALVARENGA, C. F. S. *et al.* Morfofisiologia de aceroleira irrigada com águas salinas sob combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista de Ciência Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 194-205, 2019.
- ALVES, F. A. L. *et al.* Efeito do  $\text{Ca}^{2+}$  externo no conteúdo de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  em cajueiros expostos a salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 602-608, 2011.
- AMORIM, A. V. *et al.* Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro-anão precoce à salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza-CE, v. 41, n. 1, p. 113-121, 2010.
- AMORIM, F. F. V. R. **Doses de ferro no crescimento, trocas gasosas e eficiência nutricional de mudas enxertadas de cajueiro-anão**. 2019. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Fitotecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- ANDRADE, E. M. G. *et al.* Cultivo inicial de cajueiro anão precoce com água salina e esterco bovino. **Revista Verde**, Paraíba, v. 17, n. 1, p. 10-16, 2022.
- ARAÚJO, E. B. G. *et al.* Fisiologia e fitomassa de porta-enxerto de cajueiro sob águas salinizadas e adubação orgânica. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá-PR, v. 13, n. 3, p. 1001-1017, 2020.
- ARAÚJO, L. F. **Desenvolvimento e trocas gasosas de plantas de cajueiro anão precoce sob irrigação salina em neossolo quartzarênico**. 2013. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- ARAÚJO, L. F. de. *et al.* Alocação de íons e crescimento de plantas de cajueiro anão-precoce irrigadas com água salina no campo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, (Suplemento), p. 34–38, 2014.
- ASCH, F.; DINGKUHN, M.; DORFFLING, K. Salinity increases  $\text{CO}_2$  assimilation but reduces growth in field-grown, irrigated rice. **Plant and Soil**, The Hague, v. 2018, p. 1-10, 2000.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2 ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- AZEVEDO NETO, A. D. de.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: parte II:

distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande- PB, v. 4, n. 2, p. 165-171, 2000.

BAATH, G. S. *et al.* Irrigation water salinity influences at various growth stages of *Capsicum annuum*. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 246-253, 2017.

BARROS, A. D.; SOUSA, A. P.; MEDEIROS, J. F. Comportamento produtivo do meloeiro em relação à salinidade e frequência de irrigação. **Irriga**, Botucatu, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 44-50, 2003.

BARROS, L. M. Botânica, origem e distribuição geográfica. *In.*: ARAÚJO, J. P. P.; SILVA, V. V. (Org.). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPq, p. 55-71, 1995.

BARROS, L. M. *et al.* Botânica, origem e distribuição geográfica. *In.*: BARROS, L. M. (ed.) **Caju produção: Aspectos técnicos**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. (Frutas do Brasil, 30), v. 1, p. 18-20, 2002.

BARROS, L. M.; CRISÓSTOMO, J. R. Melhoramento genético do cajueiro. *In.*: ARAÚJO, J. P. P.; SILVA, V. V. (Org.). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, p. 73-93, 1995.

BARROS, L. M.; PAIVA, J. R.; CAVALCANTI, J. J. V. Cajueiro anão precoce. **Biotechnology**, v. 2, n. 6, p. 18-21, 1998.

BEEJOHUN, V. *et al.* Cashew apple extract inhibition of fat storage and insulin resistance in the diet-induced obesity mouse model. **Journal of Nutritional Science**, England, v. 4, p. 1-9, 2015.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BEZERRA, I. L. *et al.* Germinação, formação de porta-enxertos e enxertia de cajueiro anão precoce, sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 6, n. 3, p. 420-424, 2002.

BEZERRA, I. L. *et al.* Índices fisiológicos e de crescimento de porta-enxertos de cajueiro anão-precoce sob estresse salino. **Revista Espacios**, v. 38, n. 2, p. 4, 2017.

BEZERRA, M. A. *et al.* Fotossíntese de plantas de cajueiro-anão precoce submetidas ao estresse salino. **Proceedings Interamerican Society for Tropical Horticultural**, Flórida, v. 47, p. 149-152, 2003.

BEZERRA, M. A. *et al.* Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 449-461, 2007.

CARMO, G. A do. *et al.* Crescimento de bananeiras sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 25, n. 3, p. 513-518, 2003.

CARNEIRO, P. T. *et al.* Sensibilidade do cajueiro anão precoce ao estresse salino na pré-floração. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 2, n. 2, p. 150-155, 2007.

CARVALHO, P. E. R.; GAIAD, S. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Agência de Informação EMBRAPA, 2012.

CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. M. Avanços, desafios e novas estratégias do melhoramento genético do cajueiro no Brasil. *In*: Simpósio Nordeste de Genética e Melhoramento de Plantas, 1., 2009, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, p. 83-101, 2009.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.

CLIMATE-DATA. ORG. **CLIMA: CEARÁ**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/ceara-212/>. Acesso em: 3 jan. 2023.

COLMER, T. D. *et al.* Interactive effects of Ca<sup>2+</sup> and NaCl stress on the ionic relations and proline accumulation in the primary root tip of *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum**, v. 97, n. 3, p. 421-424, 1996.

COSTA, E. G. *et al.* Crescimento inicial do maracujazeiro amarelo sob diferentes tipos e níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 9, (Suplemento), p. 242-247, 2005.

CRISÓSTOMO, L. A. *et al.* **Cultivo do cajueiro Anão Precoce: aspectos fitotécnicos com ênfase na adubação e na irrigação**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. 20p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica; n. 08). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT-2010/7103/1/Ci-008.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

DALCHIAVON, F. C. *et al.* Efeito de stress salino em sementes de *Phaseolus vulgaris*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, p. 404-412, 2016.

DIAS, A. S. *et al.* Gas exchanges, quantum yield and photosynthetic pigments of west indian cherry under salt stress and potassium fertilization. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v. 32, n. 2, p. 429-439, 2019.

DIAS, N. S. *et al.* Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. *In*: GHEYI H. R. *et al.* (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 151-162.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal. 2010. 472p.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

EBERT, G. Growth, ion uptake and gas exchange of two *Annona* species under salt stress. **Angewandte Botanik**, Berlin, v. 72, n. 1/2, p. 61-65, 1998.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares. *In: Simpósio: “Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada”*, 1997, Campina Grande, PB. **Anais[...]**, Campina Grande: UFPB, 1997. p. 363-383.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 8, p. 1269-1290, 2001.

FAOSTAT. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Castanha de caju com casca. 2023**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 4 mar. 2023.

FARIAS, S. G. G. *et al.* Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunthe x Steud) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p. 1499-1505, 2009.

FEITOSA, S. O. *et al.* Crescimento do feijão caupi irrigado com diferentes concentrações efluente tratado e água salina. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 36, n. 1, p. 146-155, 2015.

FERRÃO, J. E. M. **O cajueiro: *Anacardium occidentale* L.** Lisboa: Instituto de Investigação Científica Tropical, 1995, 298p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA-SILVA, S. L. *et al.* Influência de porta enxertos na resistência de mudas de cajueiro ao estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 4, p. 361-367, 2009.

FLORES, H. E. Polyamines and plant stress. *In: LASCHER, R. G.; CUMMING, J. R. Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanism*. New York, 1990. p. 217-239.

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

FREIRE, A. L. O. *et al.* Crescimento, acúmulo de íons e produção de tomateiro irrigado com água salina. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1 (Suplemento), p. 1133-1144, 2010.

FREITAS, B. M. *et al.* **Plano de manejo para polinização da cultura do cajueiro: conservação e manejo de polinizadores para agricultura sustentável, através de uma abordagem ecossistêmica**, Rio de Janeiro: FUNBIO, 2014. 52p. Disponível em: [https://www.semabelhasalimenta.com.br/wp-content/uploads/2015/02/GEF-Cajueiros\\_SITE\\_04-12.pdf](https://www.semabelhasalimenta.com.br/wp-content/uploads/2015/02/GEF-Cajueiros_SITE_04-12.pdf). Acesso em: 30 jan. 2023.

GAINES, T. P; PARKER, M. B.; GASCHO, G. J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. **Agronomy Journal**, v. 76, n. 3, p. 371-374, 1984.

GARCIA, G. O. *et al.* Estresse salino em plantas de milho: I – macronutrientes aniônicos e

suas relações com o cloro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9 (suplemento), p. 26-30, 2005.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity-mineral relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 78, n. 1-4, p. 127-157, 1998.

GUPTA, B.; HUANG, B. Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. **International Journal of Genomics**, v. 1, artigo 701596, p. 1-18, 2014.

GURGEL, M. T. *et al.* Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 14, n. 1, p. 3-10, 2010.

HAMMED, L. A.; ANIKWE, J. C.; ADEDEJI, A. R. Cashew nuts and production development in Nigeria. **American-Eurasian Journal of Scientific Research**, v. 3, n. 1, p. 54-61, 2008.

HERMANS, C. *et al.* Magnesium deficiency in sugar beet alters sugar partitioning and phloem loading in young mature leaves. **Planta**, v. 220, p. 541-549, 2005.

HUNT, G. A. Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. *In*: ROSE, R.; CAMPBELL, S. J.; LANDIS, T. D. Target seedling symposium, meeting of the western forest nursery associations, general technical report RM-200. 1990, Roseburg: Proceedings. Collins: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1990. p. 218-222.

HUSSAIN, M. *et al.* Rice in saline soils: physiology, biochemistry, genetics, and management. **Advances in Agronomy**, v. 148, p. 231-287, 2018.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/cgi-bin/prtabi> . Acesso em: 28 dez. 2022.

IPNI. INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. **Nutri-Fatos: – n° 6 Magnésio**. Piracicaba-SP, 2017. 2p. (Informação agrônômica sobre nutrientes para as plantas. Ref. #6 #17022).

JOHNSON, D. V. **O caju no Nordeste do Brasil: um estudo geográfico**. Fortaleza: BNB/ETENE, 1974. 169p.

JOHNSON, D. V. The botany, origin and spread of cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Journal of plantation crops**, Kasaragod, v. 1, p. 1-7, 1973.

KAWASAKI, T.; AKIBA, T.; MORITSUGU, M. Effects of high concentrations of sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants. I. Water culture experiments in a greenhouse. **Plant and Soil**, v. 75, p. 75-85, 1983.

KHALID, A.; SILVA, J. A. T. Rendimento, teor de óleo essencial e pigmento de *Calendula officinalis* L. capítulos florais cultivados sob condições de estresse salino. **Scientia**



**Horticulturae**, v.126, p.297-305, 2010.

KHALLOUFI, M. *et al.* The interaction between foliar GA<sub>3</sub> application and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improves growth in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants by modifying the hormonal balance. **Journal of Plant Physiology**, v. 214, p. 134-144, 2017.

KHAN, W. U. D. *et al.* Silicon nutrition mitigates salinity stress in maize by modulating ion accumulation, photosynthesis, and antioxidants. **Photosynthetica**, v. 56, n. 4, p. 1047-1057, 2018.

LACERDA, C. F. **Efeitos da salinidade no desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do Ca<sup>2+</sup> como meio para minorar tais efeitos**. 1995. 87p. Dissertação (mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 1995.

LANGE, J. L. **Suprimento combinado de fósforo e magnésio para a produção e nutrição do capim-Tanzânia**. 2007. 78f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução: Prado, C. H. B. A. São Carlos: Ed. Rima, 2006, 531p.

LEAL, C. C. P. *et al.* Initial development of *Combretum leprosum* Mart. Seedlings irrigated with saline water of different cationic natures. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 2, p. 300-306, 2019.

LEITE, D. F. de L. **Consumo e digestibilidade aparente de dietas com níveis crescentes do subproduto do caju em ovinos**. 2013. 35f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba-RN, 2013.

LIMA, G. S. de. *et al.* Indices and phytomass partition in precocious dwarf cashew clones irrigated with saline waters. **Comunicata Scientiae**, v. 11, n. 1, e 3196, 2020b.

LIMA, G. S. de. *et al.* Irrigação com águas salinas e aplicação de prolina foliar em cultivo de pimentão ‘All Big’. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 4, p. 513-522, 2016.

LIMA, G. S. de. *et al.* Potassium does not attenuate salt stress in yellow passion fruit under irrigation management strategies. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 4, p. 1082-1091, 2020c.

LIMA, G. S. de. *et al.* Saline water irrigation and nitrogen fertilization on the cultivation of colored fiber cotton. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 1, p. 151-160, 2018.

LIMA, G. S. de. *et al.* Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 180-189, 2022.

- LIMA, G. S. de. *et al.* Tolerance of precocious dwarf cashew clones to salt stress during rootstock formation stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PBv. 24, n. 7, p. 474-481, 2020a.
- LIMA, G. S. *et al.* Cell damage, water status and gas exchanges in castor bean as affected by cationic composition of water. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v. 32, n. 2, p. 482-492, 2019.
- LIMA, L. A. *et al.* Tolerância da berinjela à salinidade da água de irrigação. **Revista Agroambiente**, v. 9, n. 1, p. 27-34, 2015.
- LIMA, V. P. M. S. **Cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil**. 1. ed., Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza, p. 195- 230, 1988.
- MAAS, E. V.; GRIEVE, C. M. Sodium-induced calcium deficiency in salt stressed corn. **Plant, Cell & Environment**, v. 10, n. 7, p. 559-564, 1987.
- MACHADO, R. M. A.; SERRALHEIRO, R. P. Soil salinity: Effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. **Horticulturae**, v. 3, n. 30, p. 1-13, 2017.
- MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. *In*: FERRI, M.G. (Coord.). **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: EPU, 1979. v. 1, 362p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Ceres, 1976. 528p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. New York: Academic Press, 2011. 672p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3ª ed. London: Academic Press, 2012. 649p.
- MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3ª ed. Austrália: Elsevier, 2012, 651p.
- MARTINS, J. B. *et al.* Water relations in parsley plants cultivated in brackish nutrient solutions of different cationic natures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 23, n. 9, p. 662-668, 2019.
- MASS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance – current assessment. **Journal of the irrigation and Drainage Division**, v. 103, n. 2, p. 115-134, 1977.
- MIRANDA, J. R. P. *et al.* Silício de cloreto de sódio na nutrição mineral e produção de matéria seca de plantas de moringa (*Moringa oleifera* LAM.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Minas Gerais, v. 26, p. 957-965, 2002.
- MITCHELL, J. D.; MORI, S. A. **The cashew and its relatives (*Anacardium: Anacardiaceae*)**. New York: Memoirs of the New York Botanical Garden, 1987. v. 42, 76p.

MONTENEGRO, A. A. T.; VIDAL NETO, F. das C.; SERRANO, L. A. L. *In*: MONTENEGRO, *et al.* **Plantio, manejo e comercialização da cultura do cajueiro anão precoce**. Fortaleza: Instituto Frutal, 2011. p. 15-23.

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

NANDY, P. *et al.* Effects of salinity on photosynthesis, leaf anatomy, ion accumulation and photosynthetic nitrogen use efficiency in five Indian mangroves. **Wetlands Ecology and Management**, v. 15, n. 4, p. 347-357, 2007.

OLIVEIRA, A. F. *et al.* Interação entre salinidade e fontes de nitrogênio no desenvolvimento inicial da cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 479-484, 2010.

OLIVEIRA, F. T. *et al.* Fontes orgânicas e volumes de recipiente no crescimento inicial de porta-enxertos de goiabeira. **Revista Verde**, Mossoró-RN, v.7, n. 2, p. 97-103, 2013.

OLIVEIRA, N. C. G. de. **Alternativas econômicas para a cultura do caju: um estudo no município de Aracati/CE**. 2019. 8p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró-RN, 2019.

ORTEGA, A. E.; MALAVOLTA, E. Los más recientes micronutrientes vegetales. **Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica**, v. 7, n. 1, p. 16-25, 2012.

PAIVA, F. J. da S. **Desempenho agrônomo do maracujazeiro-amarelo sob irrigação com águas de diferentes naturezas catiônicas**. 2020. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, 2020.

PAIVA, P. S. R.; NICODEMO, M. L. F. **Enxofre no sistema solo-planta-animal**. Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC, 1994. 45p. (Embrapa-CNPGC. Documentos, 56).

PAIVA, T. F. P. **Desenvolvimento de plântulas de cajueiro anão sob diferentes níveis de adubação e submetidas à diferentes níveis de salinidade**. 2018. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2018.

PARREIRAS, L. E. **Negócios solidários em cadeias produtivas: protagonismo coletivo e desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: IPEA: ANPEC: Fundação Banco do Brasil, 2007. 224p.

PESSOA, P. F. A. de P.; LEITE, L. A. de S. Importância socioeconômica do cajueiro. *In*: **árvore do conhecimento do caju**. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 2021.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Unesp, 2008. 407p.

RENGEL, Z. The role of calcium in salt toxicity. **Plant, Cell & Environment**, v. 15, n. 6, p. 625-632, 1992.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB: FAO, 2000. 117p. (Papeis Irrigação e Drenagem, 48).

RIBEIRO, J. S. *et al.* O estresse abiótico em regiões semiáridas: respostas metabólicas das plantas. *In:* MOURA, A. N.; ARAÚJO, E. L.; ALBUQUERQUE, U. P. (Orgs.)

**Biodiversidade, potencial econômico e processos eco- fisiológicos em ecossistemas nordestinos**, Recife: Comunigraf., 2007. 361p.

RIBEIRO, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. *In:* GHEYI, H.R.; DIAS, N.da S.; LACERDA, C.F.de. **Manejo da Salinidade na Agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, CE: Expressão Gráfica e Editora, 2017. p. 9-19.

RIBEIRO, M. R. *et al.* Química dos solos salinos e sódicos. *In:* MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (ed.). **Química e mineralogia do solo. Parte II – Aplicações**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 449-484, 2009.

ROSOLEM, C. A. Interação do potássio com outros íons. *In:* YAMADA, T.; ROBERTS, T. I. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2005. p. 239-260.

RUDEK, A.; GARCIA, F. A. O.; BANDEIRA, F. S. Avaliação da qualidade de mudas de eucalipto pela mensuração da área foliar com o uso de imagens digitais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 3775- 3787, 2013.

SÁ, F. V. S. *et al.* Correção de solo salino-sódico com condicionadores e doses de fósforo para cultivo do sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 12, n. 5, p. 2854-2865, 2018.

SÁ, F. V. S. *et al.* Crescimento inicial e acúmulo de massa seca de cultivares de mamoeiro submetidas à salinidade da água em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 435-440, 2013.

SALEQUE, M. A. *et al.* Influences of phosphorus deficiency on the uptake of nitrogen, potassium, calcium, magnesium, sulfur, and zinc in lowland rice varieties. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 24, n. 10, p. 1621-1632, 2001.

SCHOSSLER, T. R. *et al.* Salinidade: Efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 1563-1578, 2012.

SERRANO, L. A. L.; PESSOA, P. F. A. P. Aspectos econômicos da cultura do cajueiro. *In:* SERRANO, L. A. L. (org.). **Sistema de Produção do Caju**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2016. p. 2-10.

SERTÃO, M. A. J. **Uso de corretivos e cultivo do capim Urocloa (*Urocloa mosambicensis* (Hack.) Daudy) em solos degradados do semi-árido**. 2005. 75f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Campina Grande, Patos-PB, 2005.

SHABALA, S.; POTTOSIN, I. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. **Physiologia Plantarum**, v. 151, n. 3, p. 257–279, 2014.

SILVA, E. M. da. *et al.* Growth and gas exchanges in soursop under irrigation with saline water and nitrogen sources. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,

Campina Grande-PB, v. 22, n. 11, p. 776-781, 2018.

SILVA, I. R. *et al.* Interactions between magnesium, calcium, and aluminum on soybean root elongation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 747-754, 2005.

SILVEIRA, J. A. *et al.* Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**, v. 1, p. 161-18, 2010.

SILVA, J. J. L. **Composições catiônicas da água e peróxido de hidrogênio na produção de mudas de maracujazeiro amarelo**. 2021. 78f. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) – Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB, 2021.

SOUSA, A. B. O de; BEZERRA, M. A.; FARIAS, F. C. Germinação e desenvolvimento inicial de clones de cajueiro comum sob irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 15, n. 4, p. 390-394, 2011.

SOUSA, A. B. O. *et al.* Trocas gasosas de plântulas de cajueiro comum sob estresse salino. *In: XXI Congresso Brasileiro de Fruticultura*, 2010, Natal. **Anais[...]**, Natal: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2010.

SOUSA, A. B. O.; FARIAS, F. C.; BEZERRA, M. A. Crescimento inicial de plantas enxertadas de cajueiro anão precoce, irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.13, n. 2, p. 3380-3389, 2019.

SOUZA, L. de P. *et al.* Alocação de fitomassa e crescimento de clones de cajueiro irrigados com águas de diferentes salinidades. **Revista Desafios**, v. 7, n. 1, p. 52-63, 2020.

SOUZA, L. de P. *et al.* Índices fisiológicos e crescimento de porta-enxertos de cajueiro sob estresse salino e concentrações de prolina. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 169-183, 2021.

SOUZA, L. de P. *et al.* Morfofisiologia e qualidade de porta-enxerto de cajueiro sob peróxido de hidrogênio e estresse salino. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza-CE, v. 13, n. 3, p. 3477-3486, 2019.

SOUZA, L. de P. *et al.* Morphophysiology of ‘Faga 11’ Cashew Rootstock Under Saline Water Irrigation and Exogenous Proline Application. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 9, 2018.

SOUZA, L. de P. *et al.* Produção de porta-enxerto de goiabeira cultivado com águas de diferentes salinidades e doses de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 48, n. 4, p. 596-604, 2017.

SOUZA, L. de P. **Tolerância ao estresse salino de clones de cajueiro na fase de mudas**. 2019. 126f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2019.

SOUZA, L. R. de; PERES, F. S. B. Uso de biofertilizantes à base de aminoácidos na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 87, p. 211-

218, 2016.

SUASSUNA, C. F. *et al.* Produção de mudas de cajueiro anão precoce cultivado em diferentes substratos e ambientes. **Agrarian**, Dourados, v. 9, n. 33, p. 197-209, 2016.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

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

TEDESCHI, A. *et al.* Effect of salinity on growth parameters, soil water potential and ion composition in *Cucumis melo* cv. Huanghemi in North-Western China. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 203, n. 1, p. 41-55, 2017.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. **Annals of Botany**, v. 91, n. 5, p. 503-527, 2003.

TORRES, E. C. M. *et al.* Biometria de mudas de cajueiro anão irrigadas com águas salinas e uso de atenuadores do estresse salino. **Nativa**, Sinop, v. 2, n. 2, p. 71-78, 2014.

TRAVASSOS, K. D. *et al.* Crescimento e produção de flores de girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, n. 2, p. 123-133, 2011.

VIDAL NETO, F. das. C. *et al.* Melhoramento genético e cultivares de cajueiro. *In*: ARAÚJO, J. P. P. de. (Ed). **Agronegócio caju: práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, p. 481-508, 2013.

VIÉGAS, R. A. *et al.* Effects of NaCl-salinity on growth and inorganic solute accumulation in young cashew plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 5, n. 2, p. 216-222, 2001.

VOIGT, E. L. *et al.* Source-sink regulation of cotyledonary reserve mobilization during cashew (*Anacardium occidentale*) seedling establishment under NaCl salinity. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, n. 1, p. 80-89, 2009.

WANG, M. *et al.* The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. **International Journal, Molecular Sciences**, v. 14, n. 4, p. 7370-7390, 2013.

WU, H. *et al.* It is not all about sodium: revealing tissue specificity and signalling roles of potassium in plant responses to salt stress. **Plant and Soil**, v. 431, p. 1-17, 2018.

ZHU, G. *et al.* Effects of gibberellic acid on water uptake and germination of sweet sorghum seeds under salinity stress. **Chilean journal of agricultural research, Chillan**, v. 79, n. 3, 2019.