UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
MESTRADO EM FITOTECNIA

GABRIELA CARVALHO MAIA DE QUEIROZ

CRESCIMENTO, ACÚMULO DE SOLUTOS E DISTRIBUIÇÃO IÔNICA NO SORGO SACARINO BRS 506 EM RESPOSTA AOS ESTRESSES SALINO E HÍDRICO

MOSSORÓ – RN
2023

GABRIELA CARVALHO MAIA DE QUEIROZ

CRESCIMENTO, ACÚMULO DE SOLUTOS E DISTRIBUIÇÃO IÔNICA NO SORGO SACARINO BRS 506 EM RESPOSTA AOS ESTRESSES SALINO E HÍDRICO

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestra em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição, Irrigação e Salinidade

Orientador: José Francismar de Medeiros, Prof. Dr.

MOSSORÓ – RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C3c Carvalho Maia de Queiroz, Gabriela.
Crescimento, acúmulo de solutos e distribuição iônica no sorgo sacarino BRS 506 em resposta aos estresses salino e hídrico / Gabriela Carvalho Maia de Queiroz. - 2023.
75 f. : il.

Orientador: José Francismar de Medeiros.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2023.

1. Sorghum bicolor. 2. Salinidade. 3. Déficit hídrico. 4. Tolerância. I. de Medeiros, José Francismar, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automáto em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC´s) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

GABRIELA CARVALHO MAIA DE QUEIROZ

CRESCIMENTO, ACÚMULO DE SOLUTOS E DISTRIBUIÇÃO IÔNICA NO SORGO SACARINO BRS 506 EM RESPOSTA AOS ESTRESSES SALINO E HÍDRICO

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestra em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição, Irrigação e Salinidade

Defendida em: 16/02/2023.

BANCA EXAMINADORA

_____
José Francismar de Medeiros, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

_____
Reginaldo Gomes Nobre, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

_____
Claudivan Feitosa de Lacerda, Prof. Dr. (UFC)
Membro Examinador

_____
Andréa Raquel Fernandes Carlos da Costa, Profª Dra. (FACENE)
Membro Examinador

“A toda ciência e toda poesia, porque são duas, ao passo que também são uma só”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ser luz, amor, esperança e muito mais. Por estar dentro de cada um de nós e ao mesmo tempo ser algo além. Desejo antes de tudo trilhar meu caminho em direção a Ti, e expressar gratidão por tudo que tenho e que já tive.

Agradeço ao acaso, aos não acontecimentos e às coincidências, que certamente influenciaram minha jornada mais do que eu possa imaginar.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa AT-NS e auxílio financeiro para os recursos utilizados para pesquisa e à CAPES pela concessão da bolsa do mestrado, que me foi de grande valia durante este período.

Ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água e à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, pelos docentes, técnicos, estrutura e oportunidades oferecidas durante o mestrado.

À Banca Examinadora por aceitarem o convite e pelas contribuições feitas para a melhoria do trabalho.

À minha família de sangue, Maria Glaucineide (mainha), Paulo Maia (paim), Clarice (irmã), Gerlane e José (madrinha e padrinho), Melquides, Francisco, Júnior, Elita, George e Vivian (primos), Glaucinete, Vamberto, Glaucia, Socorro (tias e tio), por me apoiarem e serem uma família divertida e unida. Coloco também meu cachorro Bob Xodó, por ter me proporcionado alegria sempre, só por existir, porque cada medida dele é perfeita para ocupar meu coração por inteiro.

Ao orientador, José Francismar, por ser uma pessoa humilde, inteligente e presente, que trata tudo com muita responsabilidade e também sempre tem um assunto para conversar. Por toda a paciência para tirar minhas dúvidas, ajudar em campo e laboratório e por ser exemplo de pesquisador, sou grata.

Aos trabalhadores do sítio Cumaru, em nome de Fernando, agradeço a contribuição para conduzir o experimento em campo.

Ao meu parceiro de pesquisa, Rodrigo Rafael da Silva, pela responsabilidade e organização em campo, pelas brincadeiras e piadas, por ter colocado uma playlist de MPB enquanto estávamos em campo, pelo jeito animado, mas mesmo assim compromissado de ser, enfim, sou grata, e acredito que você vai longe.

À família de laboratório, família Francismar, em especial Maria Vanessa e Leonardo Vieira, com quem convivi desde minha bolsa AT-NS, Maria Isabela, Elidayane Nóbrega e Francimar Maik, que me acompanharam desde o início do mestrado, e Matheus Nathan e Darcio César, que chegaram no finalzinho como colegas da iniciação científica. O companheirismo de vocês todos sem dúvida deixou tudo mais fácil. Vocês merecem uma gratidão especial.

Ainda da família Francismar, agradeço a parceria de Alex Álvares, Amanda Cibele, Carla Jamile, Fagner Nogueira, Francyelle Gurgel, Jéssica Christie, Marlon Morais, Rita Magally e Vinícius Pimentel. Foi um prazer gigante estar junto a vocês, dividindo os momentos bons e a correria que é trabalhar com pesquisa.

À Juliana Maria, técnica do laboratório de Ecofisiologia Vegetal, que me ajudou mais do que eu poderia imaginar dentro e fora do laboratório. Obrigada pelas conversas, por mostrar que dá pra tentar de novo antes de desistir e por todo o carinho e luz que você emana.

À Monallisa Oliveira, Ana Quézia Braga e Erivaldo Sousa, amigos da graduação aos quais quero muito bem.

À Família Lasapsa, uma família gigante, que trabalha com amor e dedicação. Alcigério, Alex, Alrivan, Amanda, Arthur, Darcio, Diego, Éder, Elídio, Éric, Fagner, Francismar, Francyelle, Geisiane, Giovanna, Gislaine, Helena, Isabela, Isaque, Jamile, Jandeilson, Jeane, Jéssica, Joaquim, Keila, Layla, Léo, Lizandra, Luciara, Luirla, Lunara, Magally, Maik, Marcelo, Marcondes, Matheus, Paulo, Pedro, Roberta, Rodrigo, Sávio, Tamires, Tayd, Valdiglezia, Vanies, Vinícius, Wandson e Weverton. Amo os momentos que passamos juntos e amo quem sou perto de vocês, a sensação de pertencimento é inegável. A todos, tenho muito carinho e gratidão.

“Há mais coisas entre o céu e a Terra do que pode imaginar nossa vã filosofia”

William Shakespeare

RESUMO

A escassez e salinidade das águas de irrigação demandam estudos de culturas resistentes aos estresses salino e hídrico, como é o caso do sorgo sacarino. Visto o potencial desta cultura na contribuição do desenvolvimento agrícola do semiárido potiguar, objetivou-se avaliar o crescimento e demais parâmetros característicos de tolerância à salinidade e déficit hídrico, como extravasamento de eletrólitos (EE), conteúdo relativo de água (CRA), acúmulo de solutos orgânicos e distribuição iônica no sorgo BRS 506. O experimento foi conduzido no sítio Cumaru, localizado em Upanema-RN. Tratou-se de um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 3, sendo o fator LAM composto por três lâminas de irrigação (55%, 83% e 110% da ETc) e o fator SAL, por três níveis de salinidade, expressos em termos de condutividade elétrica da água de irrigação (1,50; 3,75 e 6,00 dS m^{-1}). O crescimento foi avaliado aos 36, 46, 57 e 68 dias após o plantio (DAP). Aos 39 e 64 DAP, foram quantificados EE e CRA, e aos 81 DAP, o acúmulo de prolina, aminoácidos totais e açúcares solúveis totais no tecido foliar. Também durante o ciclo, ocorreram três coletas de duas plantas por parcela aos 39, 60 e 81 DAP para quantificação da massa seca (MS) e teores de Na^+, K^+ e Cl^- na raiz, folha e colmo. A análise estatística dos dados deu-se pelo teste F, avaliando os efeitos isolados da salinidade e lâmina, bem como a interação. A interpretação dos dados deu-se por teste de Tukey a 5% de probabilidade. Aos 36 e 46 DAP, os estresses reduziram o crescimento, em que o efeito de SAL foi observado para a CE de 6,00 dS m^{-1} comparado às demais salinidades, ao passo que a redução de LAM diminuiu o crescimento progressivamente. No decorrer do ciclo, o sorgo adaptou-se aos estresses, visto que SAL e LAM reduziram apenas a altura do colmo aos 68 DAP. Para EE e CRA, a interação foi significativa apenas aos 39 DAP, ao passo que aos 64 DAP ocorreu apenas o efeito isolado de SAL para ambos, indicando que no início do ciclo o sorgo possui maior necessidade de água do que na época da floração. Os teores de prolina, aminoácidos totais e açúcares solúveis totais não foram afetados pelos estresses. Dentre as épocas estudadas, os efeitos da interação no acúmulo de íons e de massa seca foram mais observados aos 81 DAP. No decorrer do ciclo, o sorgo priorizou o acúmulo de Na^+ nas raízes como estratégia para evitar o acúmulo nas folhas e o de K^+ e Cl^- no colmo, por ser o órgão com maior biomassa. A MS das folhas não foi afetada pelos estresses de forma isolada ou interativa aos 81 DAP. Por fim, observou-se que: (1) o principal mecanismo de tolerância adotado pelo sorgo foi a compartimentação do Na^+ nas células da raiz, (2) Mecanismos de tolerância foram mais responsivos ao estresse salino que o hídrico e (3) O estresse hídrico foi mais prejudicial ao crescimento que o salino.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*. Salinidade. Déficit hídrico. Tolerância.

ABSTRACT

The scarcity and salinity of irrigation water demand studies on crops resistant to salt and water stress, such as sweet sorghum. Given the potential of this crop to the agricultural development of the Potiguar semi-arid region, this work aimed to evaluate the growth and other characteristic parameters of tolerance to salinity and water deficit, such as electrolyte leakage (EE), relative water content (WRC), accumulation of organic solutes and ionic distribution in BRS 506 sorghum. The experiment occurred at the Cumaru site, placed at Upanema-RN. It was a randomized block design with 4 replications, in a 3 x 3 factorial scheme, with the LAM factor referent at of 3 irrigation depths (55%, 83%, and 110% of ETc) and the SAL factor by 3 levels of salinity, expressed in terms of electrical conductivity of the irrigation water (1.50; 3.75 and 6.00 dS m^{-1}). Growth at 36, 46, 57, and 68 days after planting (DAP) was evaluated. At 39 and 64 DAP, EE and CRA were quantified, and at 81 DAP, the accumulation of proline, total amino acids, and total soluble sugars in the leaf tissue. Also during the cycle, there were 3 collections of 2 plants per plot at 39, 60, and 81 DAP for dry mass (DM) quantification and Na+, K+, and Cl- contents in the root, leaf and stem. It was applied the F test to perform the statistical analysis of the data, evaluating the isolated effects of salinity, depth, and the interaction. It was performed data interpretation using Tukey's test at 5% probability. At 36 and 46 DAP, the stresses reduced the growth, in which we observed the effect of SALT for the EC of 6.00 dS m^{-1} compared to the other salinities, whereas the reduction of LAM progressively reduced the growth. During the cycle, sorghum adapted to the stresses, since SAL and LAM reduced only the stem height at 68 DAP. For EE and CRA, the interaction was significant only at 39 DAP, while at 64 DAP there was only the isolated effect of SAL for both, suggesting that at the beginning of the cycle sorghum has a greater need for water than at the time of flowering. Stress did not affect the levels of proline, total amino acids, and total soluble sugars. Among the times studied, the effects of the interaction on the accumulation of ions and dry mass were more observed at 81 DAP. During the cycle, sorghum prioritized the accumulation of Na+ in the roots as a strategy to avoid the accumulation in the leaves and the accumulation of K+ and Cl- in the stem, as it is the organ with the highest biomass. Stresses did not affect leaf DM in an isolated or interactive way at 81 DAP. Finally, it was observed that: (1) the main tolerance mechanism adopted by sorghum was Na+ compartmentalization in root cells, (2) tolerance mechanisms were more responsive to saline than water stress, and (3) stress water was more harmful to growth than saline.

Keywords: *Sorghum bicolor*. Salinity. Water deficit. Tolerance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estágios de desenvolvimento do sorgo.....26
Figura 2 – Diagrama das respostas do sorgo aos estresses salino e hídrico.....30
Figura 3 – Detalhe sobre os espaçamentos (A) e croquis da área experimental (B).....37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Dados coletados pela estação meteorológica na área estudada.....36

Gráfico 2 – ETc e ETo registradas em Mossoró (Mos) e observadas na área (Área) (A) e Kc (B) do sorgo BRS 506 no período estudado.....38

Gráfico 3 – Lâminas aplicadas diariamente no sorgo BRS 506 no período estudado.....39

Gráfico 4 – Superfície de resposta para altura do colmo aos 46 DAP.....46

Gráfico 5 – Superfícies de resposta para extravasamento de eletrólitos (A) e conteúdo relativo de água (B) nas folhas de sorgo aos 39 DAP.....48

Gráfico 6 – Superfícies de resposta para teor de Cl- na raiz (A) e massa seca da folha (B) aos 39 DAP.....53

Gráfico 7 – Superfícies de resposta para teor de Na^+ na raiz (A), teor de Cl^- na raiz (B), massa seca da raiz (C), teor de K^+ no colmo (D), teor de Cl^- no colmo (E) e teor de Cl^- na folha (F) aos 81 DAP.....57

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Localização da área estudada.....35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo das características agronômicas do sorgo sacarino, cana-de-açúcar e milho.....28
Quadro 2 – Identificação da nomenclatura dos tratamentos aplicados.....38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química do solo da área experimental na camada 0 – 20 cm.....36

Tabela 2 – Composição química das águas utilizadas na irrigação da área estudada.....36

Tabela 3 – Teste F para área foliar (AF), diâmetro do colmo (DC), altura total (HTot) e altura do colmo (HC) aos 36, 46, 57 e 68 DAP.....45

Tabela 4 – Quadro de médias para as variáveis cuja interação SALxLAM foi significativa: AF_46 (A) e HC_46 (B).....46

Tabela 5 – Teste F para extravasamento de eletrólitos e conteúdo relativo de água aos 39 e 64 DAP.....47

Tabela 6 – Valores médios para as variáveis cuja interação SALxLAM foi significativa: EE_39 (A) e CRA_39 (B).....48

Tabela 7 – Teste F para Prolina, Aminoácidos e Açúcares aos 81 DAP.....48

Tabela 8 – Teste F para teores de Na+, K+ e Cl- e massa seca aos 39, 60 e 81 dias após o plantio nas raízes, colmo e folhas.....49

Tabela 9 – Teste F e quadro de médias para conteúdo de Na^+, K^+ e Cl^- na raiz, colmo e folha do sorgo BRS 506 aos 39, 60 e 81 dias após o plantio.....50

Tabela 10 – Valores médios para as variáveis de concentração iônica e massa seca cuja interação SALxLAM foi significativa aos 39 DAP: Na_R39 (A), Cl_R39 (B) e MS_F39 (C).....52

Tabela 11 – Valores médios para as variáveis de concentração iônica e massa seca cuja interação SALxLAM foi significativa aos 60 DAP: K_R60 (A), Cl_R60 (B), Na_C60 (C), K_C60 (D), Cl_F60 (E) e MS_F60 (F).....54

Tabela 12 – Valores médios para as variáveis de concentração iônica e massa seca cuja interação SALxLAM foi significativa: aos 81 DAP: Na_R81 (A), Cl_R81 (B), MS_R81 (C), Na_C81 (D), K_C81 (E), Cl_C81 (F), MS_C81 (G) e Cl_F81 (H).....55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Área foliar
AF_36	Área foliar aos 36 dias após o plantio
AF_46	Área foliar aos 46 dias após o plantio
ANOVA	Análise de variância
ATP	Adenosina trifosfato
BSh	Clima semiárido e quente
C.V.	Coeficiente de variação
C_D	Comprimento da folha diagnose
CE	Condutividade elétrica
Cl_C60	Acúmulo de íons cloreto no colmo aos 60 dias após o plantio
Cl_C81	Acúmulo de íons cloreto no colmo aos 81 dias após o plantio
Cl_F60	Acúmulo de íons cloreto nas folhas aos 60 dias após o plantio
Cl_F81	Acúmulo de íons cloreto nas folhas aos 81 dias após o plantio
Cl_R39	Acúmulo de íons cloreto na raiz aos 39 dias após o plantio
Cl_R60	Acúmulo de íons cloreto na raiz aos 60 dias após o plantio
Cl_R81	Acúmulo de íons cloreto na raiz aos 81 dias após o plantio
CRA	Conteúdo relativo de água
CRA_39	Conteúdo relativo de água aos 39 dias após o plantio
D_36	Diâmetro do colmo aos 36 dias após o plantio
D_46	Diâmetro do colmo aos 46 dias após o plantio
DAP	Dias após o plantio
DC	Diâmetro do colmo
EC1	Estágio de crescimento 1
EC2	Estágio de crescimento 2
EC3	Estágio de crescimento 3
EE	Extravasamento de eletrólitos
EE_39	Extravasamento de eletrólitos aos 39 dias após o plantio
ERO's	Espécies reativas de oxigênio
ETc	Evapotranspiração da cultura
ETo	Evapotranspiração de referência
GL	Graus de liberdade
HC	Altura do colmo
HC_36	Altura do colmo aos 36 dias após o plantio
HC_46	Altura do colmo aos 46 dias após o plantio
HC_57	Altura do colmo aos 57 dias após o plantio
HC_68	Altura do colmo aos 68 dias após o plantio
HTot	Altura total
HTot_36	Altura total aos 36 dias após o plantio
HTot_46	Altura total aos 46 dias após o plantio
HTot_57	Altura total aos 57 dias após o plantio
K_C60	Acúmulo de íons potássio no colmo aos 60 dias após o plantio

K_C81	Acúmulo de íons potássio no colmo aos 81 dias após o plantio
K_R60	Acúmulo de íons potássio na raiz aos 60 dias após o plantio
Kc	Coeficiente de cultura
L1	Nível de lâmina de irrigação a 55% da ETc
L2	Nível de lâmina de irrigação a 83% da ETc
L3	Nível de lâmina de irrigação a 110% da ETc
LAM	Efeito isolado da lâmina de irrigação
L_D	Largura da folha diagnose
MF	Massa fresca
MS	Massa seca
MS_C39	Massa seca do colmo aos 39 dias após o plantio
MS_C81	Massa seca do colmo aos 60 dias após o plantio
MS_F39	Massa seca das folhas aos 39 dias após o plantio
MS_F60	Massa seca das folhas aos 60 dias após o plantio
MS_R39	Massa seca da raiz aos 39 dias após o plantio
MS_R81	Massa seca da raiz aos 60 dias após o plantio
Na_C39	Acúmulo de íons sódio no colmo aos 39 dias após o plantio
Na_C60	Acúmulo de íons sódio no colmo aos 60 dias após o plantio
Na_C81	Acúmulo de íons sódio no colmo aos 81 dias após o plantio
Na_R39	Acúmulo de íons sódio na raiz aos 39 dias após o plantio
Na_R60	Acúmulo de íons sódio na raiz aos 60 dias após o plantio
Na_R81	Acúmulo de íons sódio na raiz aos 81 dias após o plantio
NF	Número de folhas fotossinteticamente ativas
pH	Potencial hidrogeniônico
r	Coeficiente de correlação de Pearson
Reg	Valores registrados de ETc e ETo
Rg	Radiação global
S1	Nível salino a 1,50 dS m^{-1}
S1L1	Nível salino a 1,50 dS m^{-1} e lâmina a 55% da ETc
S1L2	Nível salino a 1,50 dS m^{-1} e lâmina a 83% da ETc
S1L3	Nível salino a 1,50 dS m^{-1} e lâmina a 110% da ETc
S2	Nível salino a 3,75 dS m^{-1}
S2L1	Nível salino a 3,75 dS m^{-1} e lâmina a 55% da ETc
S2L2	Nível salino a 3,75 dS m^{-1} e lâmina a 83% da ETc
S2L3	Nível salino a 3,75 dS m^{-1} e lâmina a 110% da ETc
S3	Nível salino a 6,00 dS m^{-1}
S3L1	Nível salino a 6,00 dS m^{-1} e lâmina a 55% da ETc
S3L2	Nível salino a 6,00 dS m^{-1} e lâmina a 83% da ETc
S3L3	Nível salino a 6,00 dS m^{-1} e lâmina a 110% da ETc
SAL	Efeito isolado da salinidade
SALxLAM	Efeito interativo da salinidade e lâmina
T. Máxima	Temperatura máxima
T. média	Temperatura média
T. Mínima	Temperatura mínima

UR	Umidade relativa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....21
1.1 Hipóteses.....22
2 OBJETIVOS.....24
2.1 Objetivo geral.....24
2.2 Objetivos específicos.....24
3 REVISÃO DE LITERATURA.....25
3.1 Características agronômicas do sorgo sacarino.....25
3.2 Importância econômica do sorgo sacarino no semiárido.....27
3.3 Respostas fisiológicas do sorgo sacarino aos estresses hídrico e salino.....29
***3.3.1 Parâmetros de crescimento*.....30**
***3.3.2 Danos à membrana*.....31**
***3.3.3 Produção de solutos no tecido vegetal*.....31**
***3.3.4 Concentração de íons no metabolismo vegetal*.....32**
4 METODOLOGIA.....35
4.1 Caracterização da área de estudo.....35
4.2 Material vegetal, delineamento experimental e tratamentos.....37
4.3 Análises realizadas.....40
***4.3.1 Crescimento*.....40**
***4.3.2 Extravasamento de eletrólitos e Conteúdo relativo de água*.....41**
***4.3.3 Acúmulo de solutos – Prolina, Aminoácidos totais e açúcares totais*.....42**
***4.3.4 Massa seca e concentração e conteúdo dos íons Na^+, K^+ e Cl^- no tecido vegetal*.....42**
4.4 Análise estatística.....43
5 RESULTADOS.....45
5.1 Crescimento.....45
5.2 Extravasamento de eletrólitos e conteúdo relativo de água.....47
5.3 Acúmulo de solutos – Prolina, aminoácidos totais e açúcares totais.....48
5.4 Concentração e conteúdo dos íons Na^+, K^+ e Cl^- e massa seca no tecido vegetal.....49
6 DISCUSSÕES.....59
6.1 Crescimento.....59
6.2 Extravasamento de eletrólitos e Conteúdo relativo de água.....61
6.3 Prolina, aminoácidos totais e açúcares solúveis totais.....62
6.4 Concentração dos íons Na^+, K^+ e Cl^- e massa seca no tecido vegetal.....64

7 CONCLUSÕES.....66
REFERÊNCIAS.....67

1 INTRODUÇÃO

Originário da África, o sorgo é o 5º cereal mais cultivado no mundo, produzido principalmente nos Estados Unidos, Nigéria e Etiópia (FAOSTAT, 2020). Assim como o milho e a cana-de-açúcar, o sorgo é uma planta C_4, o que permite alto rendimento mesmo sob condições adversas (DAR *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2020). Algumas dessas condições são a escassez hídrica e a salinidade da água de irrigação, fatores comuns em regiões semiáridas, aos quais a cultura é tolerante. Sob salinidade, o sorgo desenvolve-se sem perdas de produtividade quando a CE da solução do solo é de 6,8 dS m^{-1} e a da água de irrigação é de 4,5 dS m^{-1} (AYERS; WESTCOT, 1985); além disso, a cutícula cerosa nas folhas e o profundo sistema radicular fazem do sorgo uma das culturas mais bem adaptadas às áreas de escassez hídrica (ABDEL-GHANY *et al.*, 2020).

Existem cinco tipos de sorgo: granífero, sacarino, forrageiro, biomassa e vassoura (MAY, 2013). As cultivares sacarinas, como a BRS 506, são caracterizadas pela produção de caldo rico em açúcares fermentáveis (MILNE *et al.*, 2013; OLIVEIRA, 2018), que pode ser consumido *in natura*, rapadura ou utilizado na produção de bioetanol, sendo este último o principal subproduto estudado e utilizado na indústria. Também pode ser aproveitado para produção de forragem, apesar de a cultivar BRS 506 ser menos digestiva que outras cultivares sacarinas (ORRICO JÚNIOR *et al*., 2015). A possibilidade de se utilizarem esses subprodutos em regiões semiáridas evidencia o potencial dessa cultura como fonte de renda em ambientes com problemas relacionados à água de irrigação.

Além disso, é importante considerar a importância da irrigação no semiárido brasileiro, visto que são áreas de alta evapotranspiração, caracterizadas por longos períodos de secas e chuvas variando no tempo e espaço, o que representa um risco à agricultura familiar, principal atividade econômica da região (TINÔCO *et al.*, 2018). No semiárido potiguar, boa parte da irrigação provém das águas estocadas no Arenito Açu e Calcário Jandaíra, sendo as águas desse último ricas em cálcio (Ca^{2+}), bicarbonatos (HCO^{3-}) e cloretos (Cl^-) (MEDEIROS *et al.*, 2003). Em razão da litologia local, os poços oriundos da Formação Jandaíra são rasos, com cerca de 100 m de profundidade (MEDEIROS *et al.*, 2003), de modo que o volume disponível para uso agrícola é consideravelmente limitado.

Quanto aos efeitos fisiológicos da irrigação relacionados ao estresse salino, muitos trabalhos abordam águas com concentrações elevadas de NaCl, em que é comum a redução dos parâmetros de crescimento, teor de clorofila e umidade relativa na folha (NXELE; KLEIN; NDIMBA, 2017). No entanto, a proporção de outros sais na água de irrigação pode gerar efeitos

diferentes dos estudados utilizando-se água adicionada apenas com NaCl. Cada elemento desencadeia sintomas típicos de toxicidade, causando desequilíbrio osmótico seguido de danos ao citoplasma, refletidos em danos na bordadura e no ápice das folhas mais velhas (DIAS *et al.*, 2016). Nisso, um dos mecanismos adotados pelas plantas é a osmorregulação, mediada pelo acúmulo de açúcares e aminoácidos, principalmente prolina no tecido vegetal (WEIMBERG; LERNER; POLJAKOFF-MAYBER, 1984), mas outros como a compartimentação de íons e a busca pela homeostase iônica, também podem ser observados.

Semelhantemente ao estresse salino, a escassez hídrica também provoca a ação de respostas fisiológicas para garantir a sobrevivência da planta com mínimos prejuízos ao seu desenvolvimento. Por exemplo, no início do estresse hídrico a planta mantém a massa radicular e reduz o crescimento do caule, buscando ao máximo manter a competitividade por recursos e o crescimento da parte aérea quando o estresse passa a ser moderado (MA; DIAS; FREITAS, 2020). Outras respostas observadas são a redução do potencial hídrico das folhas, mudanças no turgor das células, fechamento estomático e alterações no metabolismo fotossintético (FRACASSO; TRINDADE; AMADUCCI, 2016).

É válido ressaltar que a combinação dos estresses hídrico e salino pode resultar em respostas diferentes das observadas quando essas condições ocorrem isoladamente, não podendo ser extrapoladas com base nos efeitos individuais (MA; DIAS; FREITAS, 2020). Ambos os estresses levam à toxicidade iônica seguida do desequilíbrio osmótico nas células, de modo a prejudicar o crescimento e desenvolvimento da planta e, portanto, a homeostase iônica e osmótica precisa ser reestabelecida para manter a tolerância (GUPTA *et al.*, 2022). Desse modo, quantificar as respostas fisiológicas do sorgo sacarino a níveis de salinidade e estresse hídrico permite compreender os mecanismos de tolerância dessa cultura. Portanto, caso confirmada a tolerância à salinidade e déficit hídrico, o sorgo sacarino BRS 506 pode vir a ser fonte de renda em áreas com problemas de disponibilidade hídrica e presença de águas ricas em sais.

1.1 Hipóteses

Com base em experimentos realizados pelo grupo de pesquisa anteriormente, foram elucidadas duas hipóteses:

1. As variáveis ligadas ao crescimento (área foliar, diâmetro do colmo, altura total e altura do colmo) são mais sensíveis ao estresse hídrico que ao salino;

2. A compartimentação de íons tóxicos é uma das respostas fisiológicas que o sorgo utiliza para atenuar os efeitos do estresse salino.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar como os estresses salino e hídrico influenciaram no crescimento e mecanismos associados à tolerância (extravasamento de eletrólitos, conteúdo relativo de água, produção de solutos e concentração de íons Na^+, K^+ e Cl^-) do sorgo BRS 506 plantado em condições semiáridas.

2.2 Objetivos específicos

Averiguar os efeitos isolados e a interação da salinidade e lâmina deficitária nos parâmetros associados ao crescimento: área foliar, diâmetro do colmo, altura total e altura do colmo.

Observar como os estresses salino e hídrico afetaram o extravasamento de eletrólitos e conteúdo relativo de água nas folhas no início do ciclo e na época de floração.

Verificar a produção de solutos orgânicos nos tecidos foliares ao fim do ciclo mediante os estresses salino e hídrico aplicados.

Constatar as concentrações e conteúdo dos íons Na^+, K^+ e Cl^- nas raízes, colmo e folhas do sorgo BRS 506 quando submetido à salinidade e lâmina deficitária sob condições semiáridas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Características agronômicas do sorgo sacarino

O sorgo é originado da África, continente de maior variabilidade de espécies silvestres e cultivadas (OLIVEIRA, 2021). Pertence à família *Poaceae*, onde o caule é seccionado em nós, as folhas são de enervação paralela e presas ao caule por uma bainha, sendo a estrutura reprodutiva uma inflorescência. É uma planta de metabolismo C_4, portanto a fixação de CO_2 se dá pela fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPC), de modo que a fotorrespiração é reduzida, o que proporciona maior fixação de CO_2 e, consequentemente, maior rendimento da cultura (KUHNERT *et al.*, 2021; WALKER *et al.*, 2016).

O sorgo sacarino é uma cultura que possui mais de um ancestral de origem, não podendo ser completamente separado das cultivares graníferas (RITTER *et al.*, 2007; WANG *et al.*, 2009). Semelhantemente à cana-de-açúcar, o sorgo sacarino é caracterizado pela produção de caldo rico em açúcares fermentáveis (SILVA *et al.*, 2019), que pode ser utilizado na produção de bioetanol. O colmo suculento e a concentração dos açúcares neste estão associados à falta da expressão do locus *Dry* ou *D*, responsável por participar da biossíntese da parede celular secundária e, portanto, controlar a quantidade de água armazenada nos colmos (ZHANG *et al.*, 2018). Os principais açúcares constituintes do caldo são sacarose (maior proporção), frutose e glicose, mas em graças à diversidade de genótipos o °Brix é bastante variável, de 8,3 a 19,4 °Brix (PINNAMANENI *et al.*, 2022).

Adaptadas às regiões de clima quente, as cultivares sacarinas são encontradas em áreas subtropicais, tropicais e temperadas, entre latitudes 40°N e 40°S, apresentando tolerância à seca e baixa exigência em insumos, na comparação a outras gramíneas C_4, como o milho e a cana-de-açúcar (DAR *et al.*, 2018; NAOURA *et al.*, 2020; UMAKANTH *et al.*, 2019; ZHANG *et al.*, 2019). De fato, o sorgo sacarino, fonte de alimento, fibra e combustível, pode inclusive aumentar o teor de açúcares quando sob condições salinas (YANG *et al.*, 2020). Desenvolve-se em solos de textura argilosa a arenosa, e embora cresça entre 15 e 45 °C, a temperatura ideal para o desenvolvimento do sorgo sacarino varia de 25 a 40 °C, especialmente entre 32 e 34 ºC, e em áreas de precipitação pluviométrica de 550 a 800 mm (DAR *et al.*, 2018; UMAKANTH *et al.*, 2019). Apesar de ser uma planta de dias curtos (10 – 14 horas), a interação genótipo-ambiente influencia fortemente a sensibilidade ao fotoperíodo, ou seja, a duração dos estágios de crescimento, destacando-se as fases de floração e reprodução (DAR *et al.*, 2018; UMAKANTH *et al.*, 2019).

O acúmulo de matéria seca e nutrientes ocorre desde a iniciação da panícula ao começo da floração, enquanto da floração à maturidade fisiológica, os nutrientes deslocam-se do colmo para as panículas (parte reprodutiva) (FERNANDES *et al.*, 2014). Sob esse ponto, é válido ressaltar que é uma planta de ciclo curto (4 – 5 meses), mas em condições semiáridas, o acúmulo de biomassa e açúcares nos colmos pode levar mais dias, dado que a maturidade fisiológica ocorre mais cedo (NAOURA *et al.*, 2020). Em cultivares sacarinas tropicais, a floração ocorre entre 55 e 70 dias após a germinação, e em geral a iniciação da panícula é marcada por fases mais sensíveis ao fotoperíodo (DAR *et al.*, 2018).

É uma cultura que pode ser cultivada em dois ciclos no ano, podendo a 1ª colheita ser realizada na entressafra da cana-de-açúcar, entre os meses de março e abril (SOUZA *et al.*, 2016). Outra característica das variedades sacarinas é o porte alto (3 – 5 m), com panícula cheia de grãos no ápice, o que torna estas propensas ao acamamento (DURÃES, 2011).

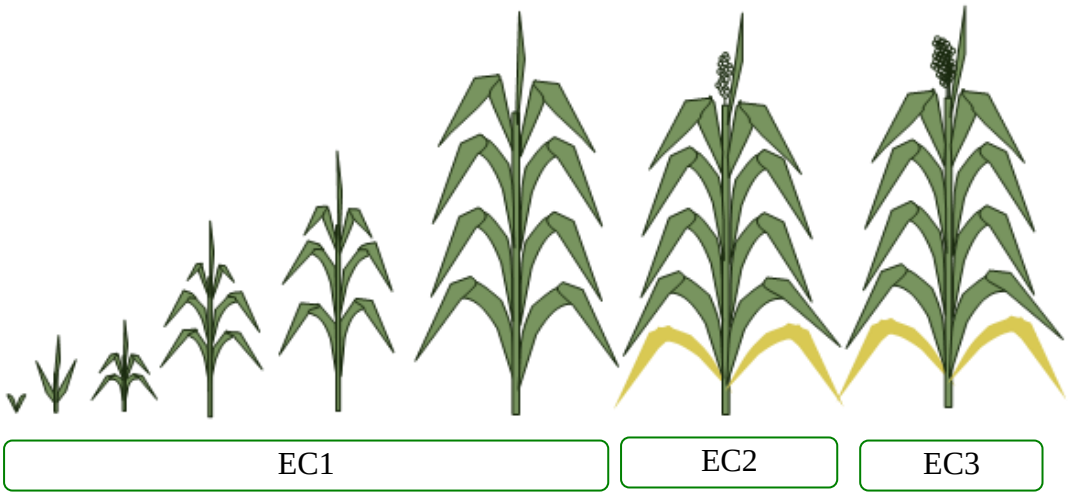
Baseado no exposto, o crescimento do sorgo é dividido em três estágios (MAGALHÃES, DURÃES & SCHAFFERT, 2000):

- EC1: Caracterizado pelo crescimento lento e mau controle de plantas daninhas, compreende desde o plantio até a iniciação da panícula. É essencial que nessa fase a germinação, emergência e estabelecimento da planta ocorram rapidamente;

- EC2: Vai da iniciação da panícula até o início da fase reprodutiva, envolve o desenvolvimento da área foliar, sistema radicular, acúmulo de matéria seca e estabelecimento do número potencial de sementes;

- EC3: Refere-se ao enchimento de grãos, que ocorre entre a floração e a maturação fisiológica.

Figura 1 – Estágios de desenvolvimento do sorgo.



Fonte: Autoria própria (2022).

A cultura também se destaca por: alta eficiência fotossintética (1), alta eficiência de uso do nitrogênio (2), tolerância moderada à salinidade (3) tolerância ao estresse hídrico, tanto pelo excesso quanto escassez (4). Além disso, adaptam-se a solos argilosos e arenosos, de pH entre 5,0 e 8,5 (DAR *et al.*, 2018). Tais características propiciam ao sorgo uma produtividade de biomassa entre duas a três vezes maior que a do milho (YANG *et al.*, 2020), de cerca de 60 a 80 t ha^{-1}, aliado a um alto rendimento de etanol, algo entre 50 e 77 l por tonelada de massa verde (DURÃES, 2011).

3.2 Importância econômica do sorgo sacarino no semiárido

Nas Américas do Norte e do Sul, Europa e Austrália, a produção de sorgo destina-se principalmente à alimentação animal, ao passo que na África, Ásia, Rússia e América Central o principal destino deste cereal é a alimentação humana (SOUZA *et al.*, 2020). Em nível global, o Brasil figura como o 9º maior produtor de sorgo no mundo, contribuindo com cerca de 2940 giga toneladas, com destaque para os estados de Goiás (39%), Minas Gerais (16%) e Mato Grosso (13%) (USDA, 2022). Apesar da produção ainda se concentrar no Centro-Oeste do país, o sorgo é adaptado às condições semiáridas do Nordeste brasileiro, podendo ser explorado neste e, portanto, conferir fonte de renda às famílias da região. Com especial atenção às variedades sacarinas, a produção de bioetanol proveniente do sorgo pode servir como complemento às destilarias na entressafra da cana-de-açúcar.

A disponibilidade de água é fundamental na agricultura, porém as mudanças climáticas vêm proporcionando alterações na qualidade e quantidade deste recurso. Em ambientes semiáridos, as chuvas são irregulares tanto no espaço quanto no tempo, o que, aliado à alta evapotranspiração, ocasiona o acúmulo de sais nos solos, de modo que a agricultura irrigada é um desafio nessas regiões. Considerando que a composição das águas do Nordeste segue da mistura dos sais NaCl, $CaCl_2$. $2H_2O$ e $MgSO_4$. $6H_2O$ na proporção 7:2:1 (MEDEIROS, 1992), percebe-se que são águas salobras, o que agrava a problemática da salinidade.

Nesse sentido, visto que a disponibilidade de água de boa qualidade para irrigação é escassa, é necessária a busca de alternativas para o desenvolvimento da agricultura nessa região. Como exemplo, pode-se citar a exploração de culturas menos sensíveis aos estresses salino e hídrico, como é o caso do sorgo sacarino. Conforme Ayers & Westcot (1985), os limites da condutividade elétrica para que a cultura do sorgo mantenha a produtividade são de 6,8 dS m^{-1} para o solo e 4,5 dS m^{-1} para a água de irrigação.

O sorgo sacarino é uma alternativa interessante não apenas pela tolerância aos estresses citados, como também pela semelhança fisiológica e de manejo agrícola a outras culturas já estabelecidas no mercado, como o milho e a cana-de-açúcar. Todas são gramíneas de metabolismo C_4 e podem ser utilizadas na produção de bioetanol, no entanto a variabilidade do genótipo das cultivares de cada uma dessas três culturas impossibilita a definição de intervalos fixos das características técnicas (biomassa, fibra, açúcares totais, rendimento de etanol, etc.) associadas à produção de etanol. Porém, a fim de elucidar essas diferenças, alguns dos resultados obtidos na literatura estão reunidos no Quadro 1:

Quadro 1 – Comparativo das características agronômicas do sorgo sacarino, cana-de-açúcar e milho.

Característica	Sorgo Sacarino	Cana-de-Açúcar	Milho	Referência
Plantio	Nov. – Abr. (Época chuvosa) [1]	Set. – Out. / Mar. – Abr. [2]	Jan. – Abr. / Ago. – Dez. [3]	[1] (TABOSA, 2020) [2] (SOUZA *et al.*, 2016) [3] (TABOSA *et al.*, 2008)
Custo/ha (R$)	1100 [4]	5500 [4]	5870 [5]	[4] (OLIVEIRA, 2021) [5] (RICHETTI; MOTTA; GARCIA, 2021)
Duração do ciclo (meses)	4 [6]	12 – 14 [6]	3 – 4 [6]	[6] (UMAKANTH *et al.*, 2019)
Teor de açúcares (%)	7 – 12 [6]	10 – 12 [6]	s.i.	[6] (UMAKANTH *et al.*, 2019)
Plantio	8 kg sementes. ha^{-1} [7]	40000 talos. ha^{-1} [7]	8 kg sementes. ha^{-1} [7]	[7] (DA SILVA *et al.*, 2019)
Etanol (L ha^{-1}) (1 ciclo)	2000 – 3500 [6]	4350 – 7000 [6]	3113 – 3547 [8]	[6] (UMAKANTH *et al.*, 2019) [8] (WORTMANN *et al.*, 2010)
Rendimento do caldo (L ha^{-1})	8.3 – 12.0 [7]	6698 [3] (por ano)	8764 [3] (por ano)	[7] (DA SILVA *et al.*, 2019) [3] (QUINTERO *et al.*, 2008)
Custo energético (MJ ha^{-1})	15.105 [9]	14.371 [10]	15.634 [10]	[9] (QUEIRÓZ, 2014) [10] (SALLA; CABELLO, 2010)
Custo energético por litro de etanol (MJ l^{-1})	0,92 [11]	1,5 [10]	7,9 [10] 9,7 [6]	[11] (WESCHENFELDER, 2011) [10] (SALLA; CABELLO, 2010) [6] (ECKERT *et al.*, 2018)

Nota: s.i.: Sem informação
Fonte: Autoria própria (2022).

Com relação ao cultivo, o sorgo sacarino é totalmente mecanizável e pode ser plantado em áreas de reforma e áreas marginais para a cana (EMYGIDIO *et al.*, 2011; FRACASSO; TRINDADE; AMADUCCI, 2016). Além disso, apresenta alta produtividade de biomassa (60 – 80 t ha^{-1}). Para elencar a viabilidade do sorgo sacarino como fonte bioenergética, deve-se considerar o balanço energético proporcionado pelo sorgo (DAR *et al.*, 2018). Em outras palavras, a energia ofertada pelo biodiesel deve ser superior ao total de energia fóssil investida

no processo produtivo, como a produtividade da cultura e o consumo de fertilizantes (SCAVVA, 2019). Nesse ponto, a seleção das variedades que retornarão maior rendimento de açúcares está associada ao ºBrix encontrado nas cultivares sacarinas (CECCON; TEODORO; DOS SANTOS, 2017).

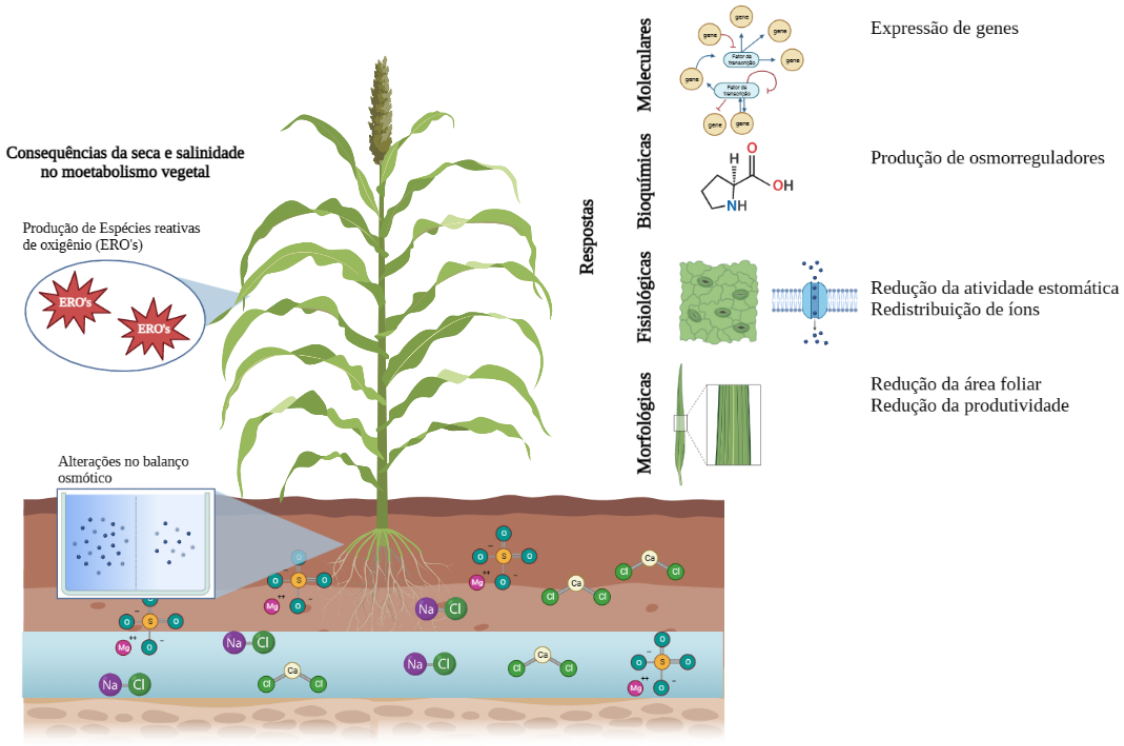
Em regiões onde a disponibilidade de água para irrigação é restrita, é essencial aprofundar estudos sobre a viabilidade de culturas tolerantes à seca e salinidade, especialmente em culturas com dupla aptidão, como é o caso do sorgo sacarino BRS 506. O bioetanol proveniente do caldo produzido pelas cultivares sacarinas é uma alternativa simples e promissora para reduzir o uso de derivados de petróleo, especialmente devido aos preços crescentes e esgotamento das reservas de petróleo, pressão global pela redução das emissões de carbono e desenvolvimento de um mercado secundário para produtores agrícolas (DAR *et al.*, 2018).

3.3 Respostas fisiológicas do sorgo sacarino aos estresses hídrico e salino

Sob estresse hídrico, as plantas reduzem a atividade das aquaporinas e a permeabilidade da membrana de suas células, diminuindo a condutividade hidráulica das raízes e, portanto, evitando a perda de água para o meio externo (LIPIEC *et al.*, 2013). Analisar a influência do estresse hídrico no ciclo de vida das plantas é uma tarefa complexa, pois a água está envolvida na turgescência das células, abertura estomática, crescimento celular, acúmulo de massa, etc. A duração, intensidade, interação com outros estresses, bem como a fase fenológica em que a planta se encontra, influenciam diretamente em quais respostas serão adotadas visando a manter o crescimento e reprodução da planta (MARTINS *et al.*, 2018).

No estresse salino, a concentração de sais no meio externo reduz o potencial hídrico da solução do solo (KAUSAR; GULL, 2019), portanto, como meio de equilibrar o potencial osmótico, a planta demanda energia para a produção de substâncias osmorreguladoras (WEIMBERG; LERNER; POLJAKOFF-MAYBER, 1984). Além disso, ocorrem os efeitos tóxicos dos íons absorvidos no interior do metabolismo vegetal, no qual os sais que compõem a solução do solo influenciam fortemente na concentração e distribuição dos íons desses solutos nas partes da planta. Portanto, alguns dos mecanismos utilizados para lidar com o estresse salino incluem a redução da entrada de sais nos tecidos vegetais ou da concentração dos mesmos no citoplasma celular (MA; DIAS; FREITAS, 2020). Algumas das respostas à salinidade e escassez hídrica podem ser observadas na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama das respostas do sorgo aos estresses salino e hídrico.



Fonte: Criado com BioRender.com. Adaptado de Abreha *et al.* (2021).

3.3.1 Parâmetros de crescimento

A extensão dos danos causados pela seca à produtividade depende da fase do ciclo fenológico da cultura (FAHAD *et al.*, 2017). No entanto, a redução na expansão e divisão celular é geralmente o primeiro efeito da salinidade no desenvolvimento vegetal (SILVA *et al.*, 2019), com muitos trabalhos relatando a redução da produtividade sob condições de salinidade (KAUSAR; GULL, 2019; NXELE; KLEIN; NDIMBA, 2017; SILVA *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2022). Além do aumento do potencial hídrico do solo, que acaba por reduzir a absorção de água pelas raízes, o estresse salino pode promover aumento inicial do influxo de Ca^{2+} citosólico, produção de espécies reativas de oxigênio (ERO's) e liberação de ácido abscísico, de modo a iniciar respostas transcricionais (JULKOWSKA; TESTERINK, 2015).

A salinidade pode causar redução da área foliar, altura total, diâmetro do colmo, massa seca das raízes, colmo, folhas e total, pois os desequilíbrios osmótico e nutricional demandam energia e, portanto, biomassa da planta para a ação de mecanismos de reajuste necessários à sobrevivência (SILVA *et al.*, 2019). A redução da biomassa pela salinidade também depende bastante do genótipo analisado, em que as limitações no desenvolvimento não podem ser explicadas por um único processo fisiológico ou bioquímico, mas por um conjunto de variáveis,

como fotossíntese, transpiração, conteúdo de água foliar, potenciais osmótico e de turgor e condutância estomática (GULL; KAUSAR, 2019).

O estresse hídrico, seja causado pela salinidade ou não, limita a expansão foliar em razão da menor pressão de turgor (FAHAD et al., 2017). No sistema radicular, o início do estresse hídrico pode causar um fenômeno interessante, em que as raízes reduzem o crescimento em zonas mais secas e favorecem-no em zonas mais molhadas, mas, sob escassez hídrica contínua, há redução geral do crescimento (LIPIEC *et al.*, 2013). No sorgo, o período germinativo é mais sensível à escassez hídrica do que as demais épocas, mas em geral plantas submetidas a severo estresse hídrico na germinação necessitam de mais tempo para atingir o equilíbrio osmótico entre os meios intra e extracelular (ABREHA *et al.*, 2021).

3.3.2 Danos à membrana

O rompimento da membrana pode ser evidenciado pelo extravasamento de eletrólitos, compostos que reduzem o componente osmótico do potencial hídrico foliar e evitam a dessecação dos tecidos (FIOREZE *et al.*, 2013; MARTINS *et al.*, 2018).

O conteúdo relativo de água é um parâmetro de fácil obtenção fortemente associado à escassez hídrica e fundamental para conhecer o nível de hidratação do protoplasma, ligado ao crescimento celular (PELOSO *et al.*, 2017). A turgidez das plantas pela imersão em água em laboratório simula o teor de água da folha em campo, em que a folha capta a água para o interior dos tecidos por meio da pressão de sucção (WEATHERLEY, 1950). Em plantas tolerantes à seca, a elasticidade da parede celular tem papel crucial na turgescência, dado que as células podem reduzir de tamanho sem necessariamente perder o turgor (MA; DIAS; FREITAS, 2020).

3.3.3 Produção de solutos no tecido vegetal

A produção de solutos, como açúcares solúveis e prolina, decorre da necessidade de ajuste osmótico da planta ao meio, em que o acúmulo destes reduz o potencial hídrico no interior das células, garantindo o fluxo de água para a planta (WEIMBERG; LERNER; POLJAKOFF-MAYBER, 1984). A sacarose é a principal fonte de carbono e energia da planta, sendo sintetizada no citoplasma das folhas e transportada para os órgãos dreno pelo floema (YANG *et al.*, 2020). Semelhantemente à da cana-de-açúcar, a sacarose no sorgo é transferida radialmente dos complexos de células companheiras para o armazenamento nas células parenquimáticas (MILNE *et al.*, 2013).

O acúmulo de açúcares e outros solutos compatíveis, como prolina, ajuda a tamponar o potencial redox celular, proteger a estrutura das células e modificar tanto a alocação do carbono como o metabolismo do açúcar sob estresse salino (MA; DIAS; FREITAS, 2020). Na cultivar sacarina Liaotian No.1, a produção de açúcares é estimulada pelo estresse hídrico, ao passo que a prolina acumula mais em resposta aos estresses salino e a combinação hídrico-salino (WANG *et al.*, 2022).

A prolina é um iminoácido produzido em resposta ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio, como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e a consequente peroxidação lipídica (NXELE; KLEIN; NDIMBA, 2017). No sorgo, é produzida quando a concentração dos cátions monovalentes na planta é de no mínimo 200 µmol (g massa fresca^{-1}), ou seja, estresse moderado a severo (WEIMBERG; LERNER; POLJAKOFF-MAYBER, 1984). Do mesmo modo, para a cultivar sacarina Sugargraze o teor de prolina aumentou em 37% nas plantas submetidas ao estresse hídrico e 63% sob estresse salino (NXELE; KLEIN; NDIMBA, 2017).

O acúmulo de açúcares pode ser observado em irrigações de maiores salinidades e menores lâminas (SUI *et al.*, 2015). Tendo em vista que a sacarose é o principal açúcar acumulado durante a fotossíntese (YANG *et al.*, 2020), é válido ressaltar que um estresse hídrico prolongado pré e pós-floração resulta num maior teor de sacarose no sorgo devido à conversão de glucose em sacarose (EMENDACK *et al.*, 2018). Sob salinidade, o sorgo acumula substâncias osmorreguladoras, como açúcares, para manter o potencial hídrico da planta e, consequentemente, a capacidade de absorção de água, permitindo a sobrevivência da planta (YANG *et al.*, 2020).

3.3.4 Concentração de íons no metabolismo vegetal

Como alternativa aos solutos, plantas tolerantes aos estresses hídrico e salino iniciam mudanças moleculares e físico-químicas a fim de utilizar os íons como ferramenta para o ajuste osmótico, um processo que demanda a síntese de mais ATP, mas reduz o risco de danos à membrana causados pelo acúmulo de cátions e ânions em excesso (PUNIA *et al.*, 2021). Sob estresse salino, as plantas inicialmente experenciam uma fase de estresse osmótico seguida de toxicidade de íons, ao passo que o estresse hídrico pode causar desequilíbrio nutricional na medida em que é pela água da solução do solo que os nutrientes são carreados e absorvidos pelas raízes (GULL; KAUSAR, 2019; MA; DIAS; FREITAS, 2020).

Quando a água de irrigação é rica em sais compostos por Na^+, Weimberg, Lerner & Poljakoff-Mayber (1984) observaram que o sorgo exclui o íon Na^+ de seus tecidos; por outro

lado, quando os sais são compostos por K^+ esse íon se acumula mais nas folhas do que nas raízes. Os mecanismos de tolerância à salinidade por NaCl incluem: 1) Impedir a passagem de Na^+ para a parte aérea; 2) Compartimentalizar o Na^+ nos vacúolos; 3) Remover o Na^+ por meio de um antiportador Na^+/H^+ ou transportador de alta afinidade de K^+ (YANG *et al.*, 2020).

Quando se busca avaliar a tolerância de uma planta à salinidade e estresse hídrico, analisar em qual parte da planta ocorre o acúmulo de íons tóxicos é essencial. Plantas tolerantes à salinidade geralmente acumulam o excesso de Na^+ e Cl^- nos tecidos da raiz, onde ficam armazenados e não prejudicam o desenvolvimento vegetal. O propósito desse mecanismo é evitar a translocação desse excesso de íons para as folhas, a fim de minimizar os danos ao aparato fotossintético e, portanto, garantir a sobrevivência da planta (UKWATTA *et al.*, 2021).

A 1ª etapa envolvida nas respostas fisiológicas e bioquímicas à salinidade é o bloqueio do transporte de Na^+ para a parte aérea, fazendo-o permanecer nas raízes por meio de barreiras apoplásticas, como a banda Caspariana e lamelas de suberina (KRISHNAMURTHY *et al.*, 2011; YANG *et al.*, 2020). Em seguida, o Na^+ é transportado para os vacúolos, onde é compartimentalizado e diluído no citoplasma (BLUMWALD, 2000; YANG *et al.*, 2020). Por fim, o Na^+ pode ser excluído do metabolismo vegetal por antiportadores Na^+/H^+ na membrana plasmática ou por um transportador de alta afinidade de K^+ (BYRT *et al.*, 2014; YANG *et al.*, 2020).

É válido ressaltar também a importância do K^+, pois plantas capazes de alterar a disponibilidade e distribuição de K^+ e Na^+ podem regular também a homeostase de Cl^-, aclimatando-as à salinidade (KONG *et al.*, 2011). Sob estresse salino, o acúmulo de Na^+ e Cl^- nas folhas inibe a absorção de K^+, resultando num desequilíbrio nutricional (MA; DIAS; FREITAS, 2020). O K^+ é o cátion mais abundante em plantas (WANG *et al.*, 2013), essencial na osmorregulação, manutenção da pressão de turgor, movimento estomático, alongamento celular e outros (KONG *et al.*, 2011). Além disso, o K^+ também é um cofator em muitas atividades enzimáticas e pode ser um dos parâmetros para avaliar a tolerância à salinidade (GULL; KAUSAR, 2019). A deficiência de K^+ pode reduzir a condutância hidráulica das raízes e a atividade das aquaporinas devido a uma mudança nos canais transportadores de K^+, resultando numa menor distribuição da água para os demais órgãos das plantas (GULL; KAUSAR, 2019).

Cl^- é o 2º ânion mais rapidamente absorvido e, por apresentar carga negativa, é facilmente repelido pelos coloides do solo, permanecendo dissolvido na solução do solo (MARTINEZ URIBE *et al.*, 2020). Além da alta mobilidade na absorção, é móvel no metabolismo da planta, sendo rapidamente translocado da raiz para os demais órgãos (GULL;

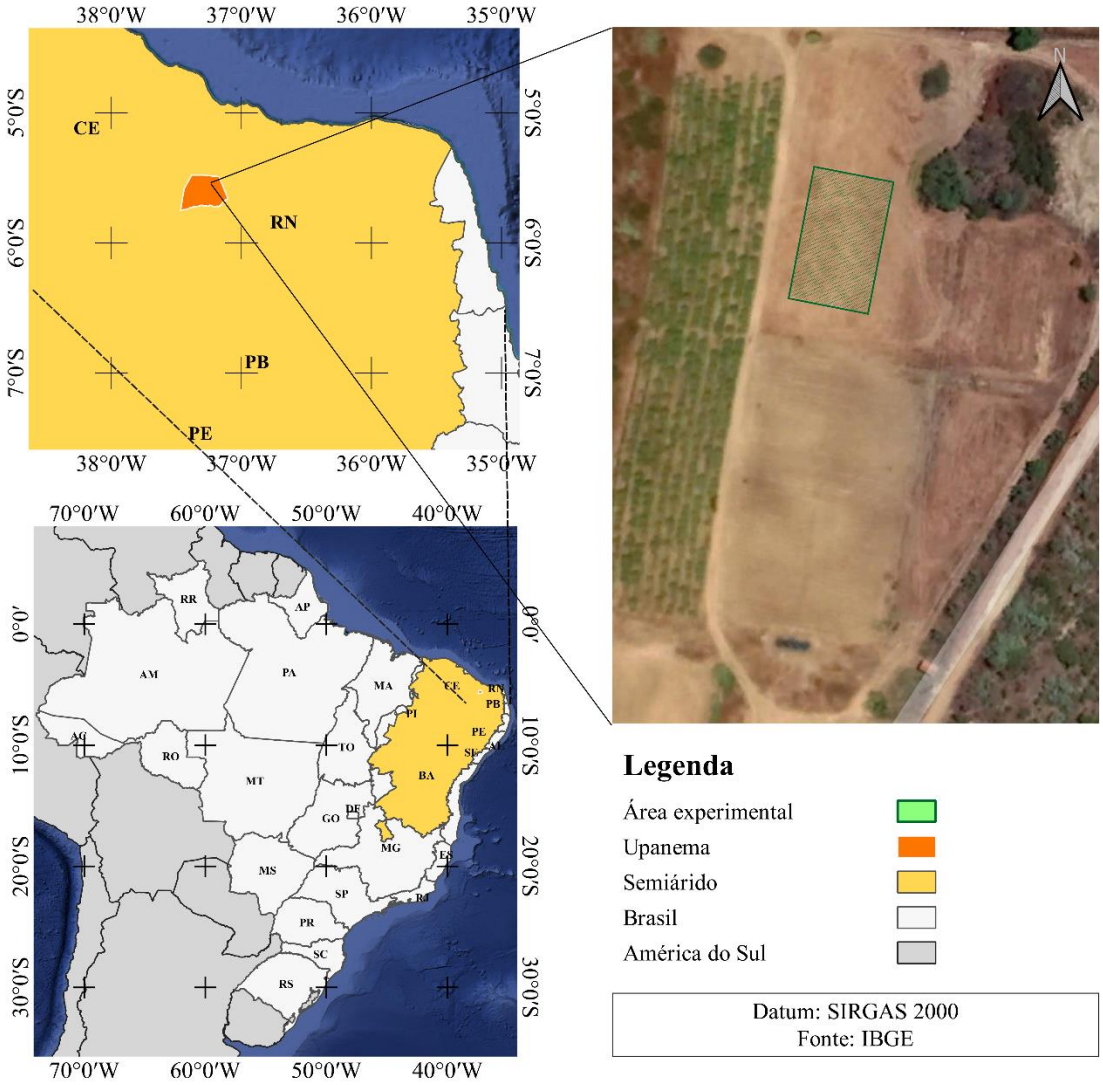
KAUSAR, 2019). Cl^- é o ânion mais abundante nos vacúolos celulares e, em virtude da similaridade física e osmorregulatória com o NO_3^-, pode promover o crescimento vegetal e a eficiência de uso de nitrogênio, visto que o Cl^- pode ficar armazenado nos vacúolos da folha enquanto o NO_3^-, fonte de N, é utilizado no crescimento (ROSALES *et al.*, 2020).

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa ocorreu numa região de clima BSh (DUBREUIL *et al.*, 2018), ou seja, semiárido e quente, no sítio Cumaru, localizado em Upanema-RN, sob as coordenadas 5º 33' 30" S 37º 11' 56" W, conforme ilustrado no Mapa 1. É uma região de período chuvoso variando de fevereiro a maio e seco de agosto a dezembro, com média de precipitação pluviométrica de 633 mm anuais nos últimos 30 anos (EMPARN, 2022). Ao longo do experimento, foram realizados testes de vazões, medição da condutividade elétrica das águas de irrigação e coleta dos dados meteorológicos da estação instalada na área, a fim de garantir o controle experimental.

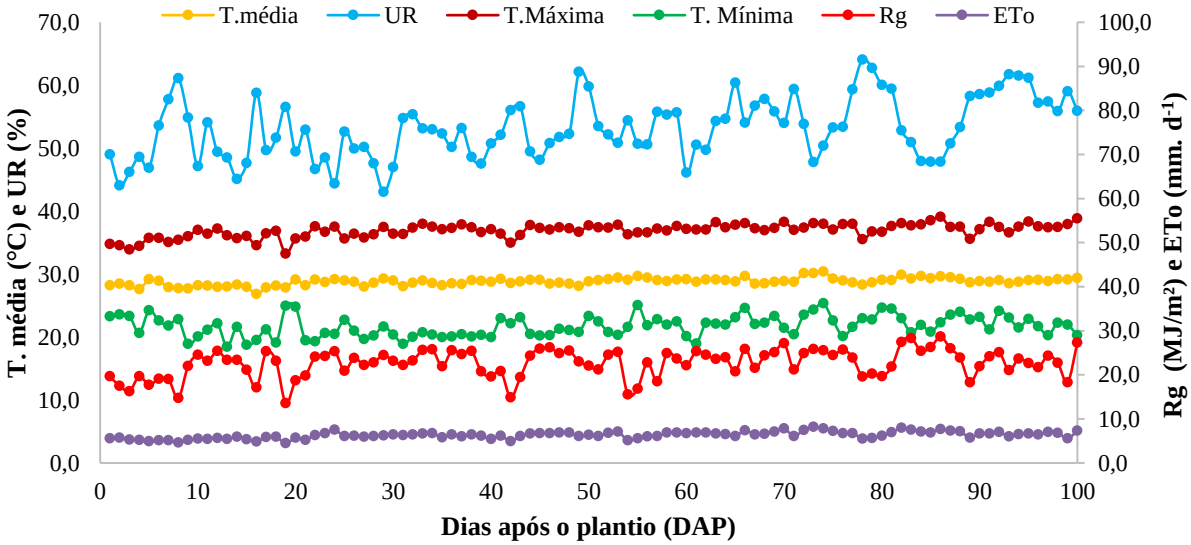
Mapa 1 – Localização da área estudada.



Fonte: Autoria própria (2022).

Os dados registrados pela estação meteorológica instalada podem ser observados no Gráfico 1. A pesquisa ocorreu no período seco, no início de agosto, em que a temperatura oscilou entre 21,6 e 36,8 ºC, sendo a média de 28,8 °C e a umidade relativa média foi de aproximadamente 52,5%. Não foram registradas chuvas no período estudado, e a radiação global diária variou bastante, entre 11,8 e 24,6 MJ/m², sendo a média de 19,6 MJ/m².

Gráfico 1 – Dados coletados pela estação meteorológica na área estudada.



Fonte: Autoria própria (2022).

O experimento ocorreu em uma área de Cambissolo, em que a caracterização química do solo na camada 0 – 20 cm pode ser observada na Tabela 1. Além disso, a composição química das águas de irrigação está descrita na Tabela 2.

Tabela 1 – Caracterização química do solo da área experimental na camada 0 – 20 cm.

pH	CE_{es}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	P
(H_2O)	dS m^{-1}	---------$cmol_c$ dm^{-3}--------		----------mg dm^{-3}----------		
6,84	1,60	9,52	0,23	31,00	344,00	35,00

Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 2 – Composição química das águas utilizadas na irrigação da área estudada.

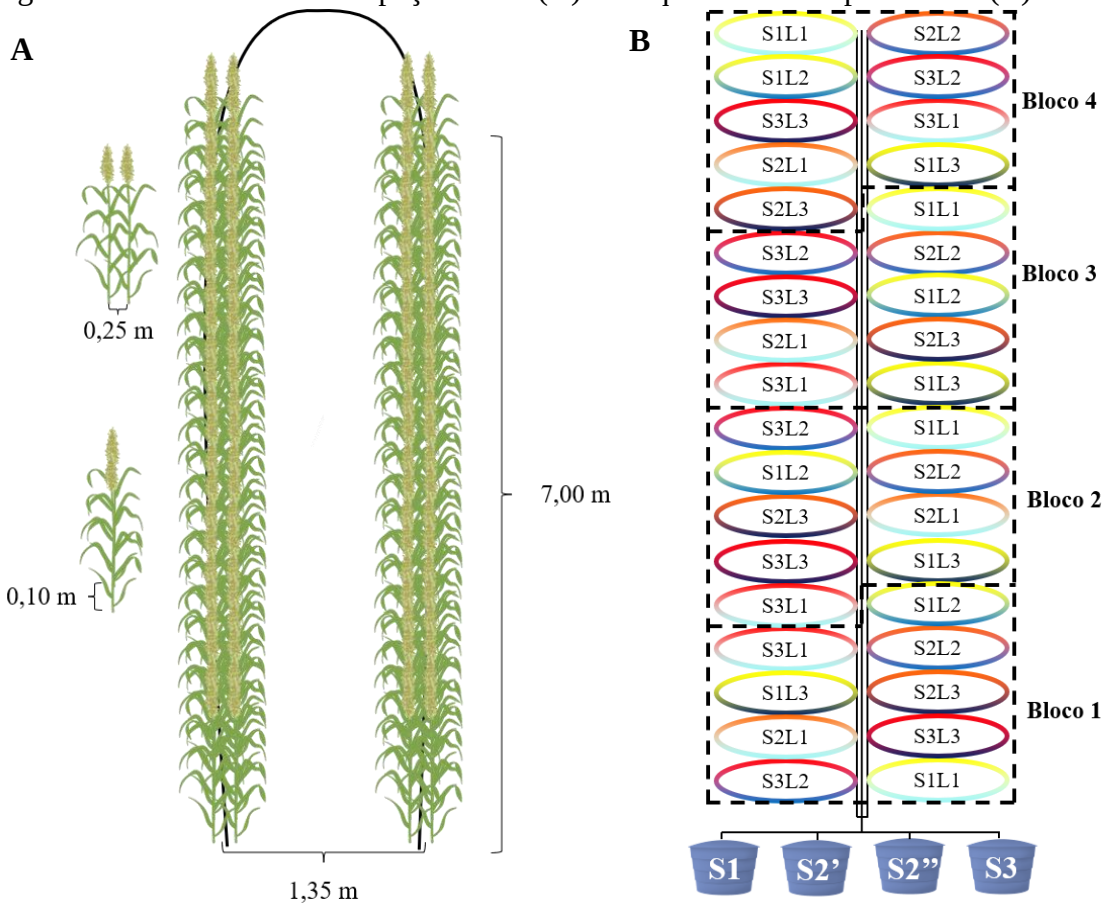
	CE	Na^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}
	dS m^{-1}	----------mmolc dm^{-3}----------						
S1	1,50	5,0	8,0	2,0	0,12	8,1	0,3	7,0
S2	3,75	23,8	10,0	3,75	0,12	28,9	2,1	6,9
S3	6,00	38,0	16,0	6,0	0,12	49,1	4,3	6,8

Fonte: Autoria própria (2021).

4.2 Material vegetal, delineamento experimental e tratamentos

A cultura estudada foi o sorgo sacarino BRS 506, cultivado em campo, em fileiras duplas de 7,0 m para cada parcela experimental, espaçadas de 1,35 x 0,25 m com plantas distanciadas de 0,10 m nas linhas. Como área útil, foram consideradas apenas as fileiras internas de cada parcela, excluindo as primeiras plantas nas bordas. O delineamento foi em blocos casualizados completos com quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 3, sendo três níveis de salinidade da água de irrigação, expressos em termos de condutividade elétrica da água de irrigação (1,50; 3,75 e 6,00 dS m^{-1}) com base na tolerância da cultura e três lâminas de irrigação (55%, 83% e 110% da ETc estimada para a cultura). A salinidade de 3,75 dS m^{-1} foi obtida da mistura de caixas d'água de CE 3,00 dS m^{-1} e 4,50 dS m^{-1}, utilizadas em experimento conduzido anteriormente no sítio. Os croquis da área e a relação entre a nomenclatura dada aos tratamentos e os níveis dos fatores aplicados são mostrados na Figura 3 e Quadro 2, respectivamente.

Figura 3 – Detalhe sobre os espaçamentos (A) e croquis da área experimental (B).



Fonte: Autoria própria (2022).

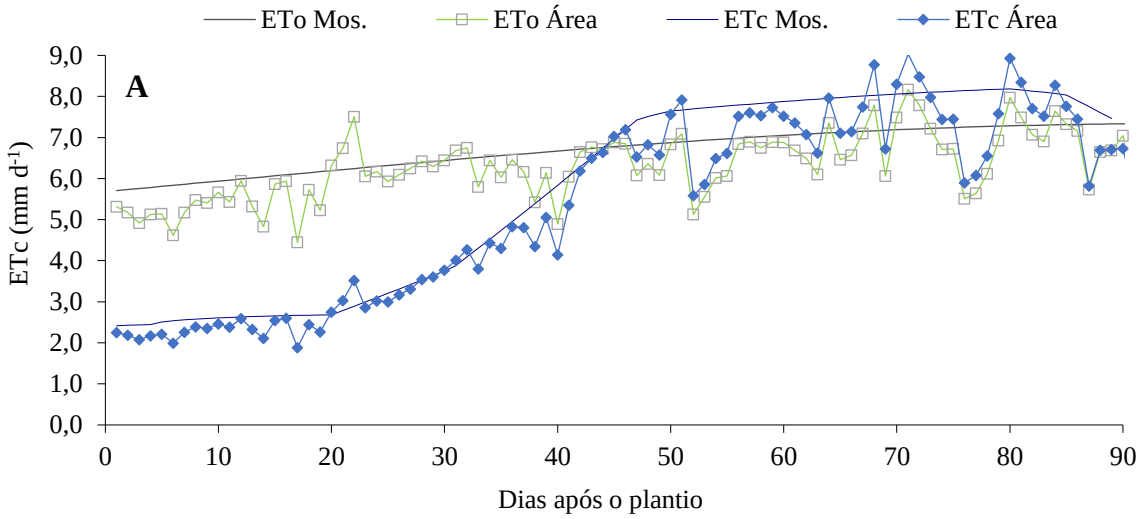
Quadro 2 – Identificação da nomenclatura dos tratamentos aplicados.

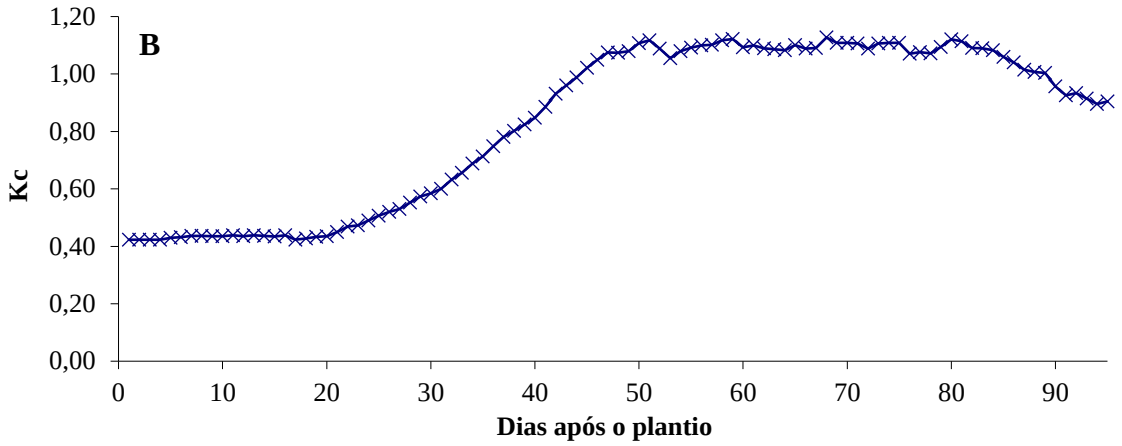
Tratamento	Condutividade elétrica	Lâmina de irrigação
	(dS m^{-1})	(% ETc)
S1L1	1,50	55%
S1L2	1,50	83%
S1L3	1,50	110%
S2L1	3,75	55%
S2L2	3,75	83%
S2L3	3,75	110%
S3L1	6,00	55%
S3L2	6,00	83%
S3L3	6,00	110%

Fonte: Autoria própria (2022).

Os três níveis de salinidade da água de irrigação corresponderam à condutividade da água natural existente em um poço próximo da área adicionada dos sais: $CaCl_2.2H_2O$, $MgSO_4.7H_2O$ e NaCl, de modo que a proporção molar das cargas de Na, Ca e Mg final nas outras águas foi de 7:2:1, que representa as águas salobras do semiárido brasileiro (MEDEIROS, 1992). As lâminas de irrigação foram definidas conforme a evapotranspiração da cultura (ETc), estimada a partir da evapotranspiração de referência (ETo) medida no local (Gráfico 2A) e coeficiente de cultura ajustados pelo método do Kc dual (ALLEN; PEREIRA; RAES, 2004) (Gráfico 2B). No gráfico 2A, a linha de ETo Reg. representa a ETo registrada por estação meteorológica no município de Mossoró, ao passo que a linha com os marcadores quadrados representa a ETo registrada na área. Assim sendo, é válido ressaltar que a ETo média da área do experimento seguiu aproximadamente o padrão esperado para a região.

Gráfico 2 – ETc e ETo registradas em Mossoró (Mos) e observadas na área (Área) (A) e Kc (B) do sorgo BRS 506 no período estudado.

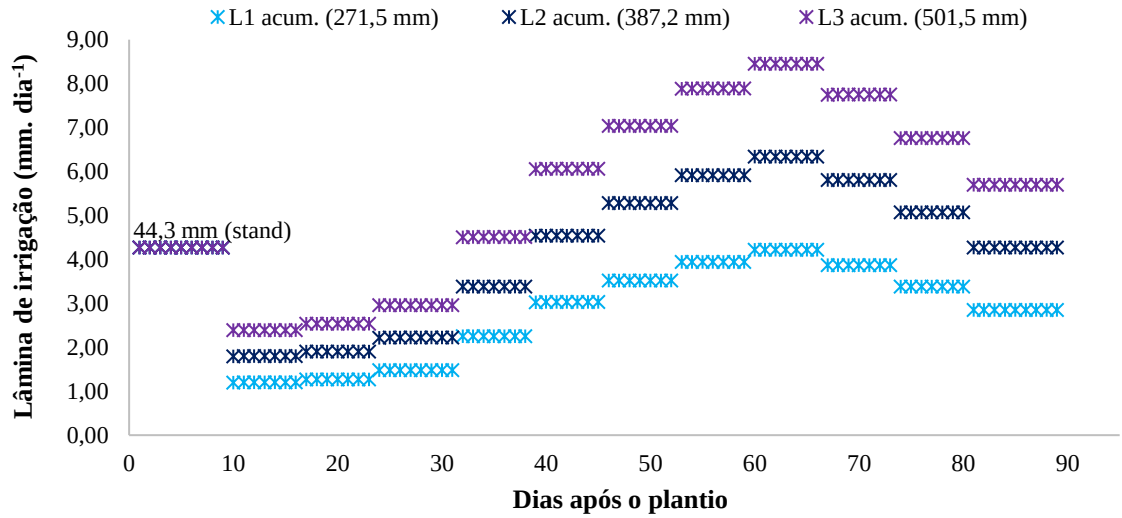




Fonte: Autoria própria (2022).

No que se refere à irrigação, a fim de garantir o estabelecimento das plântulas, no 1º dia após o plantio foi aplicada uma lâmina de 5,91 mm, seguida de nove dias em que foram aplicadas lâminas de 4,27 mm/dia, totalizando uma lâmina acumulada de 44,34 mm. Portanto, os tratamentos de estresse hídrico foram aplicados apenas aos dez dias após o plantio, como indica o Gráfico 3. Para acompanhar os valores estabelecidos de % de ETc da cultura, a partir do 10º dia, foram adotados valores fixos de lâmina a cada sete dias, em que o total acumulado a 55% da ETc foi 271,5 mm, 387,2 mm a 83%, e 501,5 mm a 110%.

Gráfico 3 – Lâminas aplicadas diariamente no sorgo BRS 506 no período estudado.



Fonte: Autoria própria (2023).

O preparo do solo consistiu em uma aração seguida de gradagem 15 dias antes da instalação do experimento, seguida de uma adubação de fundação com 17,76 kg ha^{-1} de nitrogênio e 65,34 kg ha^{-1} de fósforo. Ao longo do experimento, ocorreu a aplicação de

formicida aos 8 DAP, fertirrigação com 5 kg de ureia fosfatada e adubação de 5,5 kg de MAP aos 11 DAP e aplicação de 21 kg de sulfato de amônia aos 25 DAP. Aos 50 DAP, realizou-se fertirrigação com ureia e nitrato de potássio conforme a necessidade de 30 kg ha^{-1} de N e de K para a cultura. Para controle de pragas, também ocorreu a aplicação do pesticida Evidence®.

A irrigação adotada no experimento foi por gotejamento, com emissores espaçados em 30 cm para aplicação da lâmina a 55% da ETc, em 20 cm para as lâminas a 83%, e para 110% da ETc foram instaladas duas mangueiras gotejadoras, a fim de atender à vazão desejada por metro linear. As vazões, médias dos emissores foram de 1,5 l h^{-1}, e o coeficiente de uniformidade de emissão foi de 95% em avaliações realizadas no início e no meio do ciclo da cultura.

4.3 Análises realizadas

4.3.1 Crescimento

Aos 29 dias após o plantio (DAP), foram selecionadas seis plantas por parcela para medição dos parâmetros de crescimento. O critério utilizado nessa seleção primária foram as seis plantas cujo desenvolvimento representasse em média o desenvolvimento da parcela. O crescimento foi avaliado aproximadamente a cada dez dias, iniciando aos 36 DAP e seguindo aos 46, 57 e 68 DAP, sendo avaliadas cinco das seis plantas previamente selecionadas. Considerou-se como início do ciclo os 36 e 46 DAP, época de floração, 57 DAP e fim do ciclo, 68 DAP.

Foram avaliados a área foliar (AF), diâmetro do colmo (DC), altura total (HTot) e altura do colmo (HC). Para a obtenção da área foliar, em campo foram mensurados o número de folhas fotossinteticamente ativas (NF), comprimento (C_D) e largura (L_D) da folha diagnose, sendo aplicados na equação de Stickler Wearden & Pauli (1961) (equação 1). NF foi quantificado por contagem, ao passo que L_D e C_D foram medidos com auxílio de trena. A área foliar foi quantificada apenas até os 57 DAP.

$$AF = NF * L_D * C_D * 0{,}747 \quad (1)$$

Em que:
AF – Área foliar (cm^2);
NF – Número de folhas;
L_D – Largura da folha diagnose (cm);

C_D – Comprimento da folha diagnose (cm).

DC foi medido com paquímetro digital na base do colmo, a 20 cm do solo, ao passo que HTot e HC foram medidos com régua. A altura do colmo não foi medida aos 36 DAP, mas posteriormente foi estimada com base nas alturas de colmo de épocas posteriores. A altura total foi considerada do solo até o fim da panícula, ao passo que a altura do colmo foi obtida do solo até a base da última folha. Os dados para cada parcela foram obtidos da média das cinco plantas avaliadas.

4.3.2 Extravasamento de eletrólitos e Conteúdo relativo de água

Para análise de danos à membrana, foram coletadas cinco folhas diagnose por parcela, duas vezes no ciclo da cultura, aos 39 e 64 dias após o plantio (DAP), em que as amostras foram postas em sacos plásticos, identificadas, armazenadas em caixa térmica com gelo e levadas imediatamente a laboratório. A análise de extravasamento de eletrólitos (EE) consistiu no corte de dez discos circulares de 0,79 cm² em diferentes partes da folha, que foram submersos em água deionizada, medindo-se sua condutividade elétrica no início e após duas horas de banho-maria, conforme equação 2 (MARTINS *et al.*, 2018).

$$EE = \frac{CE_f}{CE_i}.100 \qquad (2)$$

Em que:
EE – Extravasamento de eletrólitos (%);
CE_f – Condutividade elétrica da amostra após duas horas em banho-maria a 85 ºC;
CE_i – Condutividade elétrica da amostra antes do banho-maria;

Para o conteúdo relativo de água (CRA), foram recortados 15 discos foliares, também de 0,79 cm², em que inicialmente os discos foram pesados em balança de precisão para obtenção da massa fresca. Os discos foram posteriormente submersos em água deionizada por 24 horas, retirando-se, após esse período, o excesso de água cuidadosamente com toalha de papel, para obtenção da massa saturada. Depois, os discos foram colocados em sacos de papel e levados a estufa a 65 ºC por 24 horas e pesados para obtenção da massa seca. O CRA foi então obtido

pela relação entre massa seca, saturada e fresca (WEATHERLEY, 1950), conforme a equação 3:

$$CRA = \frac{MF-MS}{MT-MS}.100 \quad (3)$$

Em que:
CRA – Conteúdo relativo de água (%);
MF – Massa fresca dos discos foliares;
MT – Massa saturada dos discos foliares;
MS – Massa seca dos discos foliares.

4.3.3 Acúmulo de solutos – Prolina, Aminoácidos totais e açúcares totais

Próximo ao fim do ciclo, aos 81 DAP, foram coletadas três folhas diagnose por parcela para as análises de prolina, aminoácidos totais e açúcares solúveis totais no tecido foliar fresco. As folhas foram acondicionadas em sacos plásticos e caixa de isopor com gelo, até a chegada ao ultra freezer, em que ficaram acondicionadas a -80 ºC. De posse do material, retirou-se 400 mg de tecido foliar de diferentes partes da folha, onde esse tecido foi macerado em nitrogênio líquido, completado com álcool até 6 ml e centrifugado para obtenção do extrato utilizado para as análises.

A prolina foi quantificada pela metodologia descrita por Bates, Waldren & Teare (1973), em que se utilizou ninhidrina ácida e ácido fosfórico e as leituras deram-se em λ = 520 nm, posteriormente convertidas para µmol. g massa freca^{-1}. Para açúcares solúveis totais, foi usado o método de Yemm & Willis (1954), em que os reagentes utilizados para as amostras foram antrona e ácido sulfúrico (H_2SO_4), a absorbância foi lida em λ = 620 nm e convertida em µg. g massa freca^{-1}. Por sua vez, os aminoácidos totais foram quantificados por Yemm, Cocking & Ricketts (1955), cujos reagentes foram tampão citrato de sódio, ninhidrina 5% em Metil Celosolve, KCN em Metil Celosolve e etanol 60%, e a absorbância é lida em λ = 570 nm, posteriormente convertida para µmol. g massa freca^{-1}.

4.3.4 Massa seca e concentração e conteúdo dos íons Na^+, K^+ e Cl^- no tecido vegetal

A fim de quantificar a massa seca, durante o ciclo do sorgo ocorreram três coletas de duas plantas por parcela experimental, aos 39, 60 e 81 dias após o plantio (DAP). As plantas foram acondicionadas, identificadas e levadas ao laboratório para separação em folhas, raízes e colmo, tendo sido as raízes lavadas e escovadas, a fim de retirar o excesso de solo, o colmo foi cortado em pedaços para facilitar a secagem na estufa, e todas as folhas fotossinteticamente ativas foram consideradas. As amostras foram então levadas à estufa de circulação forçada a 65 ºC, onde permaneceram entre 72 e 96 horas, até que atingissem massa constante, onde foram pesadas para obtenção da massa seca (MS).

De posse da massa seca das duas plantas por parcela coletadas aos 39, 60 e 81 DAP, as amostras foram moídas em moinho de facas tipo Willey SL-31, peneiradas na malha de 1,00 mm, colocadas em sacos plásticos e devidamente identificadas. As análises de Na^+ e K^+ seguiram conforme Silva (2009), em que o extrato foi obtido por digestão seca e a quantificação deu-se por fotometria de chama. Por sua vez, o cloreto foi determinado pelo método de Mohr, utilizando-se o nitrato de cálcio $Ca(NO_3)_2$ a 0,085 $mol.l^{-1}$ como solução extratora, cromato de potássio a 5% como indicador e titulação com $AgNO_3$ (SILVA; NOGUEIRA; GUIMARÃES, 2021).

As análises com fotometria de chama para Na^+ e K^+ e titulação com $AgNO_3$ para Cl^- resultaram na concentração dos íons, ou seja, mg de íon (Na^+, K^+ ou Cl^-) por g de órgão (raiz, colmo ou folha) ou g de íon por kg de órgão. Tendo em vista os dados de massa seca obtidos para cada um dos órgãos, foi possível calcular o conteúdo total em mg (ou g) de Na^+, K^+ e Cl^- em cada órgão da planta pelo produto entre a concentração e a massa seca.

4.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) à significância estatística do teste F, com auxílio do *software* RStudio versão 4.3.1, por meio do pacote ExpDes.pt. Tanto para os efeitos isolados quanto interativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, onde nos casos em que a interação foi significativa, além do desdobramento e comparação por teste de médias, foram gerados modelos de superfície de resposta.

Os modelos foram gerados também no *software* RStudio, por meio do pacote ExpAnalysis3D. A seleção das equações dos modelos deu-se pelo Critério de Informação de Akaike (AIC), considerando o modelo de menor AIC dentre os oito testados. As equações cujo desvio de regressão foi significativo a 5% de probabilidade foram desconsideradas, ao passo

que aquelas cujo desvio da regressão não foi significativo foram representadas por superfície de resposta. As superfícies foram geradas no *software* SigmaPlot versão 12.3, utilizando-se os dados da função predict3D fornecida pelo pacote ExpAnalysis3D. Além disso, também foram geradas matrizes de correlação, utilizando o *software* Statistica.

5 RESULTADOS

5.1 Crescimento

Os efeitos isolados da salinidade e lâmina de irrigação influenciaram os parâmetros de crescimento principalmente no início do ciclo. A salinidade interferiu na expansão da área foliar e altura do colmo até a época de floração (57 DAP), em que o aumento de SAL promoveu maior área foliar e redução da altura do colmo sob 6,00 dS m^{-1}, exceto aos 57 DAP, em que a maior AF observada foi sob CE de 6,00 dS m^{-1}. O aumento de LAM não influenciou o diâmetro do colmo em nenhuma das épocas estudadas, mas resultou em maiores alturas, tanto total quanto do colmo na época de floração. Aos 68 DAP, tanto o aumento de SAL quanto a redução de LAM reduziram a altura do colmo (Tabela 3). Foi possível observar, portanto, que ao longo do ciclo o sorgo adaptou-se aos níveis de salinidade e lâmina aplicados.

Tabela 3 – Teste F para área foliar (AF), diâmetro do colmo (DC), altura total (HTot) e altura do colmo (HC) aos 36, 46, 57 e 68 DAP.

		36 DAP				46 DAP				57 DAP				68 DAP		
	GL	AF	DC	HTot	HC	AF	DC	HTot	HC	AF	DC	HTot	HC	DC	HTot	HC
Bloco	3	1,69	3,10*	1,61	1,61	11,79**	1,24	6,28**	1,68	0,57	0,89	1,38	1,39	1,27	0,67	0,24
Sal	2	3,41*	3,66*	15,16**	15,16**	18,06**	5,25*	7,86**	9,82**	5,00*	0,32	3,15	6,71**	0,23	0,33	3,46*
Lam	2	10,74**	3,12	52,86**	52,86**	35,98**	0,73	53,65**	66,88**	0,41	0,09	34,21**	37,15**	0,69	3,29	20,62**
Sal x Lam	4	0,44	0,05	0,73	0,73	5,11**	2,74	1,41	2,81*	0,09	0,54	0,68	0,71	1,09	1,22	0,48
C.V. (%)		14,2	6,1	5,2	10,1	7,1	6,2	4,5	7,4	19,4	5,9	5,8	6,6	7,2	17,2	5,0
		Valores médios														
		cm²	mm	cm		cm²	mm	Cm		cm²	mm	cm		mm	cm	
1,50 dS m^{-1}		2309,2 a	17,87 ab	132,1 a	68,0 a	4120, 1	18,19 a	182,1 a	113,8	2392,0 b	17,81 a	249,3 a	224,7 a	16,69 a	243,0 a	211,6 a
3,75 dS m^{-1}		2180,2 ab	18,07 a	127,4 a	63,2 a	4323,4	17,75 ab	182,8 a	117,9	2512,3 ab	18,04 a	246,5 a	219,7 a	16,47 a	256,9 a	207,1 ab
6,00 dS m^{-1}		1984,6 b	16,96 b	118,0 b	54,2 b	3639,9	16,78 b	171,3 b	103,4	3014,1 a	18,15 a	235,6 a	204,2 b	16,37 a	248,0 a	200,6 b
55% ETc		1852,9 b	17,00 a	111,5 c	48,1 c	3458,4	17,37 a	160,3 c	90,9	2719,6 a	18,09 a	218,4 c	190,0 c	16,67 a	237,4 a	194,6 b
83% ETc		2190,7 a	17,99 a	127,4 b	63,2 b	4266,6	17,47 a	182,3 b	114,6	2663,9 a	17,91 a	247,3 b	218,5 b	16,18 a	235,3 a	203,7 b
110% ETc		2430,5 a	17,91 a	138,9 a	74,1 a	4358,4	17,88 a	193,6 a	129,6	2534,8 a	18,00 a	265,7 a	240,1 a	16,67 a	275,2 a	221,0 a

Nota: Sal: Efeito da salinidade; Lam: Efeito de lâmina; Sal x Lam: Efeito interativo salinidade e lâmina; C.V.: coeficiente de variação; ETc: evapotranspiração da cultura; GL: grau de liberdade; DAP: dias após o plantio; * e ** indicam efeito significativo a 0,05 e 0,01.

É interessante destacar que até os 46 DAP os melhores resultados em termos de crescimento foram observados para as águas de CE 1,50 e 3,75 dS m^{-1}, não ocorrendo diferença significativa entre estas. Ademais, aos 57 e 68 DAP a salinidade praticamente não afetou os parâmetros de crescimento. Do mesmo modo que para SAL, mesmo nas variáveis em que LAM foi significativa, ocorreu pouca variação entre as lâminas aplicadas, a exemplo de HC aos 68 DAP, cujo crescimento a 110% da ETc é apenas 13,57% superior ao observado a 55% da ETc.

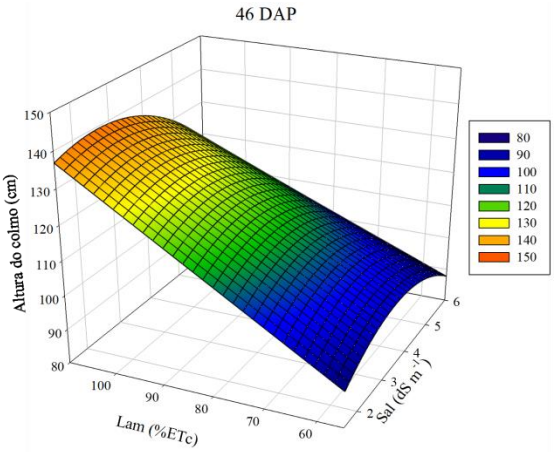
O efeito interativo SALxLAM foi observado apenas na área foliar e altura do colmo aos 46 DAP (Tabela 4), no entanto só foi possível gerar gráfico de superfície de resposta para a altura do colmo (Gráfico 6), com base nos critérios adotados para seleção dos modelos matemáticos. A menor área foliar foi observada em S3L1 (3397,2 cm²), mas não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos sob S3 na lâmina a 55% da ETc ou dos tratamentos sob L1 na salinidade a 6,00 dS m^{-1}. A maior AF ocorreu em S2L3 (4950,9 cm²), que não diferiu dos demais tratamentos sob L3 na CE de 3,75 dS m^{-1}, mas foi significativamente maior que os tratamentos S1 e S3 a 110% da ETc. A altura do colmo aumentou conforme a lâmina em todas as salinidades estudadas, sendo máxima a 110% da ETc nos tratamentos sob CE de 1,50 dS m^{-1} (132,6 cm) e 3,75 dS m^{-1} (135,9 cm). Sob lâmina a 55% da ETc, o aumento da salinidade não interferiu em HC, que variou de 88,0 cm a 93,6 cm.

Tabela 4 – Quadro de médias para as variáveis cuja interação SALxLAM foi significativa: AF_46 (A) e HC_46 (B).

A)	**AF_46**				**B)**	**HC_46**			
	cm²					cm			
	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média		55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	3572,8 aB	4494,9 aA	4292,4 bA	4120,1	1,50 dS m^{-1}	88,0 aB	120,7 aA	132,6 abA	113,8
3,75 dS m^{-1}	3405,1 aA	4614,2 aA	4950,9 aA	4323,4	3,75 dS m^{-1}	93,6 aB	124,3 aA	135,9 aA	117,9
6,00 dS m^{-1}	3397,2 aA	3690,6 bA	3832,0 bA	3639,9	6,00 dS m^{-1}	91,0 aB	98,9 bB	120,3 bA	103,4
Média	3458,4	4266,6	4358,4		Média	90,9	114,6	129,6	
Nenhuma equação testada foi significativa					$HC_46 = 23{,}00^{*} + 16{,}70CE^{**} - 1{,}85CE^{2**} + 9{,}38.10^{-1}Lam^{***} - 6{,}22.10^{-2}CELam^{*}$ ($R^2 = 0{,}94$)				

Nota 1: AF_46: Área foliar aos 46 DAP; HC_46: Altura do colmo aos 46 DAP.
Nota 2: Letras minúsculas comparam as médias na coluna, letras maiúsculas comparam as médias na linha.
Nota 3: *, ** e *** indicam efeito significativo a 0,05, 0,01 e 0,001.

Gráfico 4 – Superfície de resposta para altura do colmo aos 46 DAP.



Fonte: Autoria própria (2023).

5.2 Extravasamento de eletrólitos e conteúdo relativo de água

No início do ciclo, a combinação SALxLAM foi significativa tanto para EE quanto para CRA (Tabela 5). Na época de floração, apenas a salinidade afetou essas variáveis, tendo o aumento da CE proporcionado maior extravasamento de eletrólitos, ao passo que reduziu o conteúdo relativo de água. É válido ressaltar que aos 64 DAP tanto EE quanto CRA aumentaram quando comparados às medições aos 39 DAP.

Tabela 5 – Teste F para extravasamento de eletrólitos e conteúdo relativo de água aos 39 e 64 DAP.

FV	GL	39 DAP		64 DAP	
		EE	CRA	EE	CRA
Bloco	3	0,79	2,95	14,21**	0,75
Sal	2	0,48	1,89	3,91*	4,09*
Lam	2	5,41*	0,85	2,67	0,31
Sal x Lam	4	4,60**	3,72*	1,66	1,32
C.V. (%)		19,7	3,2	11,4	2,9
		Valores médios			
		%			
1,50 dS m^{-1}		11,45	89,87	22,12 b	95,87 a
3,75 dS m^{-1}		10,68	90,54	22,93 ab	93,26 ab
6,00 dS m^{-1}		11,44	92,09	25,06 a	92,92 b
55% ETc		12,36	90,21	24,41 a	94,19 a
83% ETc		9,52	90,61	23,72 a	94,35 a
110% ETc		11,70	91,68	21,98 a	93,51 a

Nota: Sal: Efeito da salinidade; Lam: Efeito de lâmina; Sal x Lam: Efeito interativo salinidade e lâmina; C.V.: coeficiente de variação; ETc: evapotranspiração da cultura; GL: grau de liberdade; DAP: dias após o plantio; EE: Extravasamento de eletrólitos; CRA: Conteúdo relativo de água. * e ** indicam efeito significativo a 0,05 e 0,01.

Para EE, a maior diferença entre as épocas ocorreu sob CE de 6,00 dS m^{-1}, em que o extravasamento passou de 11,44% aos 39 DAP para 25,06% aos 64 DAP, com aumento de 119,06%. Para o CRA, por sua vez, as diferenças entre 64 e 39 DAP foram menores, sendo que na CE de 1,50 dS m^{-1} o CRA subiu de 89,87 para 95,87%, aumento de 6,68%.

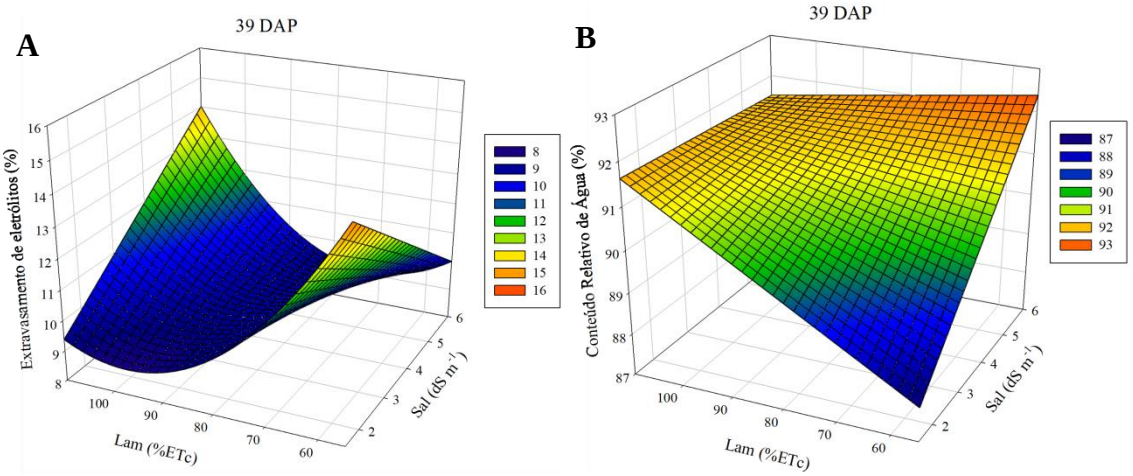
Analisando o efeito de SALxLAM observado aos 39 DAP, o extravasamento de eletrólitos foi maior em S1L1 (15,26%) e S3L3 (14,13%), ao passo que as menores médias foram observadas na lâmina a 83% da ETc, não diferindo conforme o aumento da salinidade (Tabela 6). Para CRA, não houve efeito da salinidade nas lâminas a 83 e 110% da ETc, tampouco houve efeito da lâmina na CE de 1,50 dS m^{-1}. O tratamento S3L1 resultou no maior CRA (94,75%), tanto na comparação com as demais lâminas sob mesma CE quanto com as demais CEs na mesma lâmina. As superfícies de resposta referentes às variáveis de onde ocorreu a interação estão ilustradas nos gráficos 5A e 5B.

Tabela 6 – Valores médios para as variáveis cuja interação SALxLAM foi significativa: EE_39 (A) e CRA_39 (B).

A)	**EE_39**				**B)**	**CRA_39**			
	%					%			
	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média		55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	15,26 aA	9,26 aB	9,84 bB	11,45	1,50 dS m^{-1}	88,62 bA	90,18 aA	90,81 aA	89,87
3,75 dS m^{-1}	11,60 abA	9,33 aA	11,13 abA	10,68	3,75 dS m^{-1}	87,27 bB	92,43 aA	91,94 aAB	90,54
6,00 dS m^{-1}	10,21 bB	9,98 aB	14,13 aA	11,44	6,00 dS m^{-1}	94,75 aA	89,22 aB	92,30 aAB	92,09
Média	12,36	9,52	11,70		Média	90,21	90,61	91,68	
EE_39 = 44,72*** -3,12CE*** - 6,99.10^{-1}Lam*** + 3,30.10^{-3}Lam²** + 3,78.10^{-2}CELam*** (R^2 = 0,95)					CRA_39 = 80,89*** + 2,06CE* + 9,80.10^{-2}Lam* - 1,90.10^{-2}CELam (R^2 = 0,39)				

Nota 1: EE_39: Extravasamento de eletrólitos aos 39 DAP; CRA_39: Conteúdo relativo de água aos 39 DAP.
Nota 2: Letras minúsculas comparam as médias na coluna, letras maiúsculas comparam as médias na linha.
Nota 3: *, ** e *** indicam efeito significativo a 0,05, 0,01 e 0,001.

Gráfico 5 – Superfícies de resposta para extravasamento de eletrólitos (A) e conteúdo relativo de água (B) nas folhas de sorgo aos 39 DAP.



Fonte: Autoria própria (2023).

5.3 Acúmulo de solutos – Prolina, aminoácidos totais e açúcares totais

Mesmo ao fim do ciclo, os tratamentos aplicados não resultaram em diferença no acúmulo de compostos orgânicos (Tabela 7). Calculando a média geral, o sorgo acumulou 3,95 µmol g^{-1} de prolina, 12,21 µg g^{-1} de aminoácidos totais e 17,98 µg g^{-1} de açúcares solúveis totais.

Tabela 7 – Teste F para Prolina, Aminoácidos e Açúcares aos 81 DAP.

FV	GL	Prolina	Aminoácidos	Açúcares
Bloco	3	$2,87^{ns}$	1,10	0,93
Sal	2	$0,72^{ns}$	0,08	1,56

Lam	2	0,07^{ns}	0,36	2,73
Sal x Lam	4	1,21^{ns}	0,26	0,87
C.V. (%)		2,6	11,5	18,1
		Valores médios		
		µmol. g MF^{-1}		µg. g MF^{-1}
1,50 dS m^{-1}		3,86 a	12,09 a	16,75 a
3,75 dS m^{-1}		3,89 a	12,32 a	18,06 a
6,00 dS m^{-1}		4,12 a	12,22 a	19,09 a
55% ETc		3,92 a	11,95 a	19,71 a
83% ETc		3,90 a	12,25 a	16,71 a
110% ETc		4,05 a	12,43 a	17,49 a

Nota: Sal: Efeito da salinidade; Lam: Efeito de lâmina; Sal x Lam: Efeito interativo salinidade e lâmina; C.V.: coeficiente de variação; ETc: evapotranspiração da cultura; GL: grau de liberdade

5.4 Concentração e conteúdo dos íons Na^+, K^+ e Cl^- e massa seca no tecido vegetal

Para as concentrações iônicas e massa seca, dando destaque às variáveis que não apresentaram efeito de SALxLAM, mas apenas os efeitos isolados, aos 39 DAP a salinidade afetou a concentração K^+ e a massa seca da raiz e concentração de Na^+ no colmo, sem efeitos na folha (Tabela 8). Por sua vez, a lâmina interferiu apenas na massa seca da raiz e do colmo, sem influenciar a concentração dos íons. Aos 60 DAP, SAL afetou a concentração de Na^+ na raiz e folha, ao passo que LAM interferiu na concentração de Na^+ apenas na folha. Aos 81 DAP, ocorreu o efeito isolado da CE na concentração de K^+ na raiz e na folha, ao passo que os efeitos isolados da lâmina só foram observados quando houve também a interação, sendo, portanto, desconsiderados.

Tabela 8 – Teste F para teores de Na^+, K^+ e Cl^- e massa seca aos 39, 60 e 81 dias após o plantio nas raízes, colmo e folhas.

		39 DAP				60 DAP				81 DAP			
		Na^+	K^+	Cl^-	MS	Na^+	K^+	Cl^-	MS	Na^+	K^+	Cl^-	MS
		Raiz											
FV	GL												
Bloco	3	0,72	0,43	0,05	2,54	1,66	0,34	0,68	2,88	0,33	0,69	2,17	0,09
Sal	2	129,43**	10,77**	17,75**	7,61**	223,17**	1,30	97,08**	2,95	184,44**	16,47**	42,73**	4,81*
Lam	2	1,30	1,90	16,24**	23,89**	0,68	6,80**	1,65	0,31	4,78*	1,69	3,46*	2,76
Sal x Lam	4	12,62**	2,76	3,53*	1,37	0,64	11,67**	16,83**	1,52	3,49*	2,63	3,34*	3,08*
C.V. (%)		16,4	14,9	11,9	16,9	17,7	12,0	11,7	12,5	13,5	16,9	13,5	17,3
		Valores médios											
		mg g^{-1}			g	mg g^{-1}			g	mg g^{-1}			g
1,50 dS m^{-1}		1,64	13,19 a	13,56	7,74 a	1,00 c	10,00 a	10,42	17,75 a	2,55	10,71 a	15,92	23,84
3,75 dS m^{-1}		4,93	10,30 b	16,58	7,93 a	6,89 b	9,48 a	17,44	17,08 a	7,73	7,17 c	22,50	20,46
6,00 dS m^{-1}		5,92	13,41 a	18,11	6,15 b	9,90 a	10,24 a	21,08	15,70 a	8,89	8,87 b	26,92	19,39
55% ETc		4,06 a	13,00 a	18,64	5,68 c	5,94 a	10,00	16,75 a	17,20 a	6,98	9,49 a	23,00	19,64
83% ETc		4,42 a	12,35 a	14,67	7,02 b	5,68 a	10,75	15,50 a	16,80 a	6,30	8,90 a	22,33	23,12
110% ETc		4,00 a	11,54 a	14,94	9,11 a	6,18 a	8,97	16,69 a	16,53 a	5,90	8,36 a	20,00	20,93
FV	GL	Colmo											
Bloco	3	1,54	6,05	0,23	3,07*	0,15	2,59	3,20*	0,17	0,32	0,72	1,47	3,14*

Sal	2	42,52**	1,45	0,43	2,23	78,00**	2,83	0,75	0,94	97,64**	13,05**	1,60	1,43
Lam	2	0,07	3,16	0,23	5,27*	17,56**	6,77**	3,07	0,14	18,03**	10,15**	2,41	0,67
Sal x Lam	4	1,45	2,41	0,65	1,17	5,85**	4,90**	1,74	0,75	13,63**	4,47**	3,32*	4,76**
C.V. (%)		15,5	7,3	8,8	21,3	17,0	11,4	10,3	16,4	20,6	10,6	10,5	12,0
Valores médios													
		mg g^{-1}			g	mg g^{-1}			g	mg g^{-1}			g
1,50 dS m^{-1}		0,55 c	56,98 a	46,83 a	27,69 a	0,27	18,74	24,00 a	95,61 a	0,15	14,61	18,08 a	137,78 a
3,75 dS m^{-1}		0,84 b	54,20 a	47,17 a	23,81 a	0,69	20,89	25,17 a	103,98 a	0,42	12,26	17,33 a	149,67 a
6,00 dS m^{-1}		1,01 a	55,32 a	48,33 a	23,60 a	0,65	19,55	24,17 a	103,21 a	0,60	15,20	18,72 a	142,98 a
55% ETc		0,80 a	55,38 a	46,83 a	21,34 b	0,51	17,85	23,00 a	101,84 a	0,44	12,51	18,17 a	142,96 a
83% ETc		0,80 a	53,50 a	48,00 a	25,37 ab	0,44	20,26	24,92 a	98,89 a	0,46	14,38	18,83 a	147,78 a
110% ETc		0,79 a	57,62 a	47,50 a	28,39 a	0,65	21,08	25,42 a	102,06 a	0,28	15,19	17,14 a	139,69 a
FV	GL	Folha											
Bloco	3	0,52	3,22*	3,96*	1,93	1,95	0,56	6,42**	0,57	1,50	2,70	7,37**	0,14
Sal	2	0,90	0,41	1,57	1,88	5,53*	0,30	0,86	1,27	0,00	6,78**	2,66	1,98
Lam	2	1,40	0,32	0,17	1,96	6,79**	3,03	2,42	0,64	2,01	0,90	1,44	1,86
Sal x Lam	4	1,39	1,14	1,84	3,08*	1,85	1,47	4,02*	3,59*	0,37	0,84	2,93*	2,76
C.V. (%)		17,2	6,8	9,1	15,9	18,2	9,7	6,5	14,3	19,4	9,0	8,6	10,4
Valores médios													
		mg g^{-1}			g	mg g^{-1}			g	mg g^{-1}			g
1,50 dS m^{-1}		0,41 a	27,74 a	16,83 a	23,41 a	0,14 b	13,62 a	14,58 a	37,47 a	0,12 a	11,65 ab	15,33 a	39,06 a
3,75 dS m^{-1}		0,39 a	27,08 a	16,00 a	21,82 a	0,17 ab	14,04 a	15,08 a	39,55 a	0,12 a	10,86 b	14,75 a	40,14 a
6,00 dS m^{-1}		0,43 a	27,27 a	15,83 a	20,65 a	0,17 a	13,82 a	14,94 a	36,08 a	0,12 a	12,45 a	16,00 a	42,43 a
55% ETc		0,43 a	27,70 a	16,08 a	21,18 a	0,18 a	14,42 a	15,28 a	38,50 a	0,12 a	11,37 a	15,58 a	38,75 a
83% ETc		0,38 a	27,13 a	16,17 a	21,11 a	0,14 b	13,96 a	14,92 a	38,32 a	0,13 a	11,94 a	15,67 a	42,03 a
110% ETc		0,41 a	27,26 a	16,42 a	23,59 a	0,15 ab	13,09 a	14,42 a	36,27 a	0,11 a	11,65 a	14,83 a	40,85 a

Nota: Sal: Efeito da salinidade; Lam: Efeito de lâmina; Sal x Lam: Efeito interativo salinidade e lâmina; C.V.: coeficiente de variação; ETc: evapotranspiração da cultura; GL: grau de liberdade. * e ** indicam efeito significativo a 0,05 e 0,01.

Em relação aos conteúdos, a Tabela 9 indica efeitos isolados aos 39 DAP de SAL para CK^+ no colmo e de LAM para CK^+ e CCl^- no colmo. Aos 60 DAP, a salinidade interferiu em CNa^+ na raiz e não foram observados efeitos isolados da lâmina. Aos 81 DAP, houve efeito isolado de SAL para CK^+ na raiz e na folha e CCl^- na folha e efeito de LAM para CK^+ na folha. Por sua vez, os efeitos interativos aos 39 DAP ocorreram para CNa^+, CK^+ e CCl^- na raiz, CNa^+ no colmo e CCl^- na folha. Aos 60 DAP, SALxLAM afetou CK+ e CCl^- na raiz, CNa^+ no colmo e CNa^+, CK^+ e CCl^- na folha. Aos 81 DAP, o efeito interativo foi observado para CNa^+ e CCl^- na raiz, CNa^+ e CK^+ no colmo e CNa^+ na folha.

Tabela 9 – Teste F e quadro de médias para conteúdo de Na^+, K^+ e Cl^- na raiz, colmo e folha do sorgo BRS 506 aos 39, 60 e 81 dias após o plantio.

		39 DAP			60 DAP			81 DAP		
		CNa^+	CK^+	CCl^-	CNa^+	CK^+	CCl^-	CNa^+	CK^+	CCl^-
FV	GL	Raiz								
Bloco	3	4,73**	2,00	5,25**	0,62	1,12	0,61	0,25	0,67	2,67
Sal	2	121,63**	8,94**	9,81**	159,46**	1,19	28,71**	60,70**	21,55**	24,64**
Lam	2	25,94**	11,54**	16,11**	1,13	3,58*	1,67	1,24	1,53	6,93**
Sal x Lam	4	25,48**	3,65*	6,56**	2,56	8,27**	9,60**	3,60**	1,33	8,15**
C.V. (%)		16,54	17,28	14,66	20,08	17,18	18,21	20,70	21,98	14,02
Médias										
		mg			mg			mg		

1,50 dS m^{-1}		11,60	102,10	100,27	17,76 c	178,01	186,12	60,89	252,53 a	281,85
3,75 dS m^{-1}		40,08	78,21	129,71	117,65 b	162,05	299,00	156,38	144,92 b	383,95
6,00 dS m^{-1}		35,72	81,23	109,88	154,40 a	162,51	332,71	173,27	172,18 b	423,09
55% ETc		22,55	73,04	105,40	102,52 a	172,10	289,53	137,16	187,54 a	398,43
83% ETc		28,21	85,98	99,25	90,62 a	180,46	252,80	132,87	205,81 a	368,75
110% ETc		36,63	102,51	135,21	96,68 a	150,02	275,50	120,51	176,28 a	321,71
S1L1		17,20 ± 1,85	77,03 ± 6,05	110,74 ± 8,44	12,24 ± 1,06	161,60 ± 11,92	174,61 ± 18,47	45,78 ± 6,07	223,60 ± 33,30	233,44 ± 33,74
S1L2		10,43 ± 1,72	113,19 ± 11,14	93,86 ± 4,91	16,77 ± 1,70	210,04 ± 15,07	169,12 ± 20,34	76,88 ± 5,81	273,59 ± 17,27	327,56 ± 25,73
S1L3		7,16 ± 0,70	116,06 ± 13,29	96,22 ± 11,51	24,27 ± 2,33	162,39 ± 22,59	214,63 ± 28,23	60,00 ± 7,79	260,40 ± 22,71	284,54 ± 15,60
S2L1		23,40 ± 1,44	61,20 ± 3,93	105,06 ± 4,84	121,28 ± 10,95	153,13 ± 16,57	316,71 ± 24,72	153,57 ± 6,00	149,04 ± 16,06	429,12 ± 27,80
S2L2		36,12 ± 3,81	82,30 ± 4,67	112,92 ± 14,87	102,25 ± 13,64	146,16 ± 5,93	212,19 ± 18,91	155,79 ± 13,30	171,62 ± 18,87	362,68 ± 13,60
S2L3		60,72 ± 2,47	91,12 ± 5,84	171,17 ± 10,22	129,42 ± 16,19	186,87 ± 14,94	368,09 ± 37,72	159,77 ± 22,70	114,09 ± 14,65	360,06 ± 33,79
S3L1		27,06 ± 2,87	80,88 ± 7,90	100,41 ± 9,98	174,03 ± 5,79	201,57 ± 16,48	377,26 ± 15,49	212,14 ± 18,85	189,98 ± 14,85	532,72 ± 43,81
S3L2		38,08 ± 3,71	62,45 ± 5,97	90,97 ± 2,98	152,84 ± 7,00	185,17 ± 10,12	377,10 ± 21,47	165,94 ± 11,20	172,21 ± 22,17	416,01 ± 24,45
S3L3		42,01 ± 4,73	100,36 ± 7,83	138,26 ± 15,10	136,34 ± 12,27	100,80 ± 10,09	243,77 ± 25,63	141,75 ± 12,52	154,35 ± 17,71	320,53 ± 15,72
FV	GL					Colmo				
Bloco	3	2,21	3,10*	2,90	0,22	1,18	2,53	1,38	4,93**	0,61
Sal	2	13,83**	4,12*	1,69	51,97**	2,84	2,61	63,37**	4,79*	0,87
Lam	2	4,88*	8,14**	5,55*	12,65**	1,94	1,33	12,62**	5,84**	0,20
Sal x Lam	4	2,94*	2,49	1,03	4,67**	2,41	2,50	13,88**	5,46**	0,93
C.V. (%)		20,47	19,93	21,65	22,37	20,53	14,42	26,78	13,28	21,02
						Médias				
			mg			mg			mg	
1,50 dS m^{-1}		15,15	1574,82 a	1296,23 a	25,44	1784,25 a	2276,43 a	20,34	2019,39	1725,90
3,75 dS m^{-1}		18,74	1298,51 ab	1122,27 a	71,44	2180,03 a	2601,77 a	61,58	1828,02	1808,96
6,00 dS m^{-1}		23,54	1289,65 b	1137,83 a	67,59	2021,34 a	2488,00 a	90,94	2163,09	1930,89
55% ETc		16,86	1175,70 b	999,21 b	52,26	1820,46 a	2348,91 a	63,79	1790,44	1854,09
83% ETc		18,75	1358,64 ab	1211,87 ab	43,71	2017,79 a	2435,33 a	69,42	2130,50	1847,11
110% ETc		21,82	1628,63 a	1345,25 a	68,50	2147,37 a	2581,97 a	39,64	2089,56	1764,56
S1L1		12,59 ± 1,76	1175,50 ± 38,52	1045,66 ± 45,43	21,29 ± 1,86	1578,04 ±123,27	2103,72 ± 48,86	19,18 ± 1,58	1668,90 ± 151,20	1582,85 ± 21,66
S1L2		18,45 ± 2,17	1713,63 ± 158,47	1445,69 ± 164,13	25,21 ± 2,19	1664,32 ± 245,27	2267,16 ± 206,37	19,34 ± 1,92	2097,66 ± 252,62	1843,10 ± 173,27
S1L3		14,42 ± 2,33	1835,34 ± 199,28	1397,33 ± 169,07	29,83 ± 3,65	2110,40 ± 242,06	2458,42 ± 256,31	22,50 ± 2,24	2291,62 ± 160,74	1751,76 ± 307,83
S2L1		15,28 ± 1,05	1064,16 ± 139,17	876,69 ± 115,72	70,60 ± 3,52	1809,79 ± 144,48	2358,42 ± 198,23	63,06 ± 7,97	1410,70 ± 151,63	1875,89 ± 160,51
S2L2		16,47 ± 1,57	1126,56 ± 145,55	1087,22 ± 123,19	64,29 ± 7,77	2599,47 ± 289,37	2893,01 ± 166,41	60,72 ± 5,05	1975,02 ± 121,38	1936,49 ± 213,19
S2L3		24,48 ± 2,36	1704,80 ± 264,71	1402,91 ± 205,78	79,43 ± 9,22	2130,84 ± 127,01	2553,88 ± 67,19	60,95 ± 8,60	2098,35 ± 90,09	1614,51 ± 174,20
S3L1		22,73 ± 1,12	1287,45 ± 122,09	1075,27 ± 122,30	64,88 ± 7,79	2073,55 ± 163,85	2584,60 ± 278,49	109,14 ± 11,45	2291,74 ± 86,49	2103,53 ± 148,13
S3L2		21,34 ± 1,30	1235,73 ± 108,36	1102,70 ± 105,38	41,65 ± 1,86	1789,59 ± 114,95	2145,81 ± 82,18	128,20 ± 15,26	2318,82 ± 145,89	1761,74 ± 131,58
S3L3		26,55 ± 3,72	1345,76 ± 93,29	1235,52 ± 157,65	96,24 ± 8,08	2200,88 ± 300,99	2733,61 ± 251,95	35,47 ± 4,50	1878,71 ± 204,23	1927,40 ± 222,52
FV	GL					Folha				
Bloco	3	2,49	2,82	1,52	1,07	0,74	2,64	1,38	2,03	2,41
Sal	2	1,10	1,83	3,18	3,78*	0,98	1,37	63,37**	8,49**	4,61*
Lam	2	1,88	1,36	2,20	5,74**	2,31	1,95	12,62**	3,65*	1,77
Sal x Lam	4	1,48	2,09	3,14*	4,18*	3,70*	6,19**	13,88**	0,94	0,78
C.V. (%)		20,18	18,99	19,20	21,46	19,17	16,04	26,78	12,15	12,93
						Médias				
			mg			mg			mg	
1,50 dS m^{-1}		9,53 a	653,16 a	395,41	5,17	512,21	548,87	4,56	454,75 b	597,29 ab
3,75 dS m^{-1}		8,50 a	588,78 a	349,31	6,49	557,48	598,84	4,66	435,01 b	588,58 b
6,00 dS m^{-1}		8,81 a	567,13 a	326,12	6,35	504,03	543,44	4,95	526,68 a	678,84 a
55% ETc		9,04 a	588,94 a	339,83	7,02	558,88	592,06	4,54	439,03 b	603,16 a
83% ETc		8,17 a	573,47 a	340,21	5,38	540,09	576,51	5,29	502,03 a	657,24 a
110% ETc		9,58 a	646,67 a	390,80	5,61	474,75	522,57	4,33	475,39 ab	604,16 a
S1L1		9,15 ± 0,64	588,97 ± 51,35	357,47 ± 24,92	6,67 ± 0,65	534,69 ± 25,16	586,91 ± 54,21	4,90 ± 0,53	439,77 ± 34,83	585,98 ± 33,81
S1L2		9,55 ± 1,66	650,34 ± 33,62	374,54 ± 37,45	4,55 ± 1,55	518,98 ± 61,40	544,72 ± 46,99	4,87 ± 0,35	481,78 ± 46,90	623,40 ± 52,33
S1L3		9,88 ± 1,33	720,17 ± 103,18	454,22 ± 53,87	4,30 ± 0,55	482,97 ± 25,19	514,98 ± 43,83	3,90 ± 0,22	442,71 ± 33,68	582,50 ± 18,22
S2L1		7,85 ± 1,04	515,84 ± 54,67	279,06 ± 20,35	6,05 ± 0,71	506,00 ± 52,77	522,63 ± 46,88	4,04 ± 0,40	378,00 ± 7,73	544,09 ± 34,01
S2L2		8,16 ± 0,58	574,89 ± 36,22	350,40 ± 32,99	7,13 ± 0,61	676,27 ± 80,96	740,85 ± 84,04	5,76 ± 0,37	493,59 ± 32,98	669,01 ± 33,25
S2L3		9,37 ± 0,60	675,61 ± 72,75	418,48 ± 40,02	6,28 ± 0,72	490,17 ± 19,53	533,04 ± 25,41	4,18 ± 0,41	433,44 ± 17,37	552,64 ± 56,36
S3L1		10,13 ± 0,77	662,00 ± 83,14	382,96 ± 45,44	8,35 ± 0,40	635,95 ± 73,34	666,65 ± 61,79	4,70 ± 0,50	499,33 ± 18,69	679,86 ± 63,45
S3L2		6,79 ± 0,65	495,17 ± 51,42	295,70 ± 12,05	4,45 ± 0,81	425,03 ± 36,05	443,97 ± 18,98	5,23 ± 0,57	530,70 ± 34,68	679,33 ± 48,53

S3L3	9,49 ± 0,90	544,23 ± 43,78	299,69 ± 30,63	6,26 ± 0,75	451,12 ± 25,41	519,70 ± 24,21	4,92 ± 0,67	550,01 ± 26,50	677,34 ± 27,75

Nota: DAP: Dias após o plantio; Trat: Tratamento; CNa: Conteúdo de sódio; CK: Conteúdo de potássio; CCl: Conteúdo de cloreto.

Aos 39 DAP na raiz, a diferença na MS conforme SAL foi observada apenas para a CE de 6,00 dS m^{-1} (6,15 mg. g^{-1}) em relação às demais salinidades, sendo entre 20,5 e 22,4% inferior, ao passo que o aumento de LAM ocasionou acúmulo de massa seca progressivamente. No colmo, SAL proporcionou acréscimo da concentração de Na^+, ao passo que LAM foi significativa para o aumento da massa seca conforme o aumento da lâmina. Na folha, não foram observados efeitos isolados. Atentando-se às variáveis onde a interação SALxLAM foi significativa, observou-se efeito para a concentração de Na^+, Cl^- na raiz e massa seca da folha (Tabela 10). Destas, foram obtidas equações e superfícies de resposta apenas para o Cl^- na raiz (Gráfico 6A) e massa seca da folha (Gráfico 6B).

Tabela 10 – Valores médios para as variáveis de concentração iônica e massa seca cuja interação SALxLAM foi significativa aos 39 DAP: Na_R39 (A), Cl_R39 (B) e MS_F39 (C).

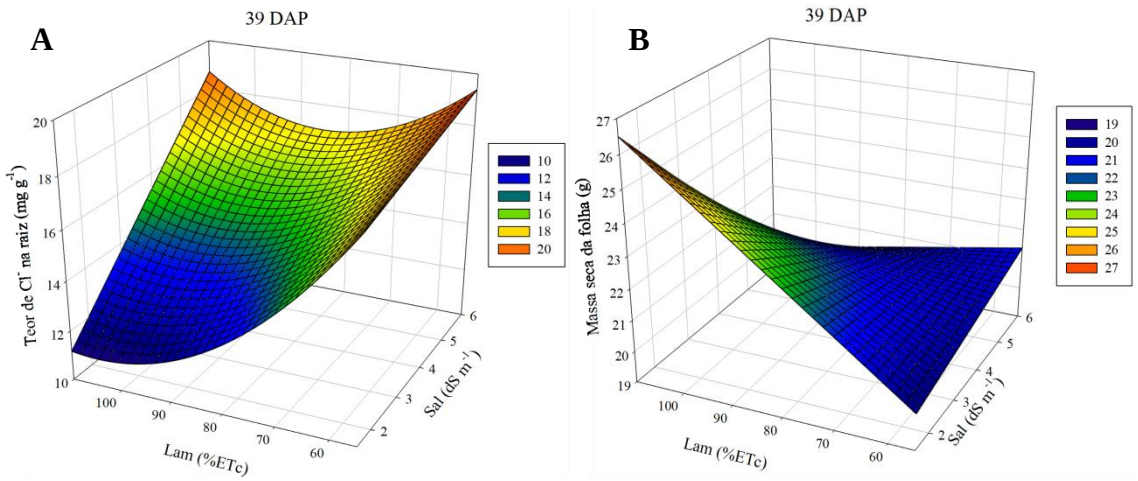
A)	**Na_R39**			
	mg g^{-1} de raiz			
	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	2,83 bA	1,28 cB	0,80 bB	1,64
3,75 dS m^{-1}	4,08 aB	4,81 bAB	5,88 aA	4,93
6,00 dS m^{-1}	5,27 aB	7,16 aA	5,33 aB	5,92
Média	4,06	4,42	4,00	
Nenhuma equação testada foi significativa				

B)	**Cl_R39**			
	mg g^{-1} de raiz			
	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	18,33 aA	11,67 bB	10,67 bB	13,56
3,75 dS m^{-1}	18,25 aA	15,00 abA	16,50 aA	16,58
6,00 dS m^{-1}	19,33 aA	17,33 aA	17,67 aA	18,11
Média	18,64	14,67	14,94	
$Cl_R39 = 42,81^{***} - 9,98.10^{-1}CE - 6,15.10^{-1}Lam^{***} + 2,77.10^{-3}Lam^{2**} + 2,43.10^{-2}CELam^{**}$ ($R^2 = 0,93$)				

C)	**MS_F39**			
	g			
	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	21,39 aA	23,60 aA	25,24 abA	23,41
3,75 dS m^{-1}	18,57 aB	20,87 aAB	26,01 aA	21,82
6,00 dS m^{-1}	23,58 aA	18,85 aA	19,52 bA	20,65
Média	21,18	21,11	23,59	
$MS_F39 = 10,72^{*} + 2,04CE + 1,64.10^{-1}Lam^{**} - 3,21.10^{-2}CELam^{*}$ ($R^2 = 0,59$)				

Nota 1: Na_R39: Acúmulo de Na^+ na raiz aos 39 DAP; Cl_R39: Acúmulo de Cl^- na raiz aos 39 DAP; MS_F39: Massa seca da folha aos 39 DAP.
Nota 2: Letras minúsculas comparam as médias na coluna, letras maiúsculas comparam as médias na linha.
Nota 3: *, ** e *** indicam efeito significativo a 0,05, 0,01 e 0,001.

Gráfico 6 – Superfícies de resposta para teor de Cl^- na raiz (A) e massa seca da folha (B) aos 39 DAP.



Fonte: Autoria própria (2023).

A maior concentração de Na^+ na raiz aos 39 DAP ocorreu em S3L2 (7,16 mg. g^{-1}), sendo significativo tanto para as demais CEs a 83% da ETc quanto para as lâminas sob CE de 6,00 dS m^{-1} (Tabela 10). As menores concentrações de Na^+ foram observadas sob CE de 1,50 dS m^{-1}, variando entre 2,83 mg.g^{-1} (55% ETc), 1,28 mg.g^{-1} (83% ETc) e 0,80 mg.g^{-1} (110% ETc). Para Cl^- na raiz, os maiores valores foram observados em LAM a 55% da ETc, sem diferença significativa conforme a salinidade, em que o conteúdo variou de 4,96 a 8,82 mg (Tabela 9). Para a massa seca foliar, ocorreu efeito significativo da salinidade apenas na lâmina a 110% da ETc, ao passo que o efeito da lâmina só foi constatado na CE de 3,75 dS m^{-1}. A maior MS observada foi de 26,01 g, obtida no tratamento S2L3.

Observando os efeitos isolados aos 60 DAP, SAL proporcionou uma concentração considerável de Na^+ na raiz, variando de 1,00 mg.g^{-1} na CE de 1,50 dS m^{-1} para 10,24 mg.g^{-1} na CE de 6,00 dS m^{-1}, em que a maior parte do Na^+ esteve distribuída na raiz (Tabela 8). No colmo, os efeitos isolados foram significativos para Na^+ e K^+, no entanto, como nestes a interação foi significativa, não foi realizada a análise. Na folha houve efeito isolado do Na^+ para SAL nem para LAM, e a concentração deste íon variou de 0,14 a 0,18 mg. g^{-1} entre as CEs e lâminas aplicadas.

A relação SALxLAM aos 60 DAP foi significativa para o Na^+ no colmo, K^+ na raiz e colmo, Cl^- na raiz e folha e a massa seca da folha (Tabela 11). Na raiz, tanto as maiores concentrações de K^+ quanto de Cl^- ocorreram nos tratamentos S3L1 e S3L2, em que a salinidade contribuiu significativamente na concentração destes íons, e S3L1 e S3L2 apresentaram maior concentração de K^+ e Cl^- que S3L3. Nota-se que tanto S3L1 quanto S3L2 apresentaram alto

conteúdo de K^+ (201,57 mg; 185,17 mg) e de Cl^- (377,26 mg; 377,10 mg) na raiz em relação aos demais tratamentos.

Tabela 11 – Valores médios para as variáveis de concentração iônica e massa seca cuja interação SALxLAM foi significativa aos 60 DAP: K_R60 (A), Cl_R60 (B), Na_C60 (C), K_C60 (D), Cl_F60 (E) e MS_F60 (F).

A)	**K_R60**				**B)**	**Cl_R60**			
	mg g^{-1} de raiz					mg g^{-1} de raiz			
	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média		55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	9,73 abAB	11,31 aA	8,97 abB	10,00	1,50 dS m^{-1}	10,50 cA	9,00 cA	11,75 cA	10,42
3,75 dS m^{-1}	8,52 bB	9,02 bAB	10,88 aA	9,48	3,75 dS m^{-1}	17,75 bB	13,25 bC	21,33 aA	17,44
6,00 dS m^{-1}	11,75 aA	11,91 aA	7,05 bB	10,24	6,00 dS m^{-1}	22,00 aA	24,25 aA	17,00 bB	21,08
Média	10,00	10,75	8,97		Média	16,75	15,50	16,69	
Nenhuma equação testada foi significativa					Nenhuma equação testada foi significativa				

C)	**Na_C60**				**D)**	**K_C60**			
	mg g^{-1} de colmo					mg g^{-1} de colmo			
	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média		55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	0,22 bA	0,27 bA	0,32 bA	0,27	1,50 dS m^{-1}	15,94 aB	17,50 bB	22,78 aA	18,74
3,75 dS m^{-1}	0,72 aAB	0,59 aB	0,75 aA	0,69	3,75 dS m^{-1}	18,43 aB	23,90 aA	20,35 aAB	20,89
6,00 dS m^{-1}	0,60 aB	0,45 aB	0,89 aA	0,65	6,00 dS m^{-1}	19,16 aA	19,38 bA	20,12 aA	19,55
Média	0,51	0,44	0,65		Média	17,85	20,26	21,08	
Nenhuma equação testada foi significativa					Nenhuma equação testada foi significativa				

E)	**Cl_F60**				**F)**	**MS_F60**			
	mg g^{-1} de folha					g			
	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média		55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	15,00 abA	14,75 abA	14,00 aA	14,58	1,50 dS m^{-1}	38,93 aA	36,77 bA	36,71 aA	37,47
3,75 dS m^{-1}	14,50 bA	16,00 aA	14,75 aA	15,08	3,75 dS m^{-1}	35,96 aB	46,42 aA	36,27 aB	39,55
6,00 dS m^{-1}	16,33 aA	14,00 bB	14,50 aB	14,94	6,00 dS m^{-1}	40,61 aA	31,79 bA	35,83 aA	36,08
Média	15,28	14,92	14,42		Média	38,50	38,32	36,27	
Nenhuma equação testada foi significativa					Nenhuma equação testada foi significativa				

Nota 1: K_R60: K^+ na raiz aos 60 DAP; Cl_R60: Cl^- na raiz aos 60 DAP; Na_C60: Na^+ no colmo aos 60 DAP; K_C60: K^+ no colmo aos 60 DAP; Cl_F60: Cl^- na folha aos 60 DAP; MS_F60: Massa seca da folha aos 60 DAP.
Nota 2: Letras minúsculas comparam as médias na coluna, letras maiúsculas comparam as médias na linha.

No colmo, a maior concentração de Na^+ aos 60 DAP foi observada em S2L3 (0,75 mg. g^{-1}) e S3L3 (0,89 mg. g^{-1}), ao passo que para K^+ a maior concentração ocorreu em S2L2 (23,90 mg. g^{-1}). É válido ressaltar que, para K^+, S2L2 também representou o tratamento com maior conteúdo (2599,47 mg), mas em todos os tratamentos foi possível observar que K^+ foi mais

distribuído no colmo, visto que entre 69,10% e 79,48% do total de K^+ no sorgo estava no colmo. Para a folha, a maior concentração de Cl^- ocorreu no tratamento de maior estresse: S3L1 (16,33 mg. g^{-1}), sendo significativamente maior do que as demais médias obtidas sob CE de 6,00 dS m^{-1}. A maior MS de folha também foi observada em S3L1 (40,61 g), no entanto não foi significativa quando comparada às demais médias sob CE de 6,00 dS m^{-1} ou sob lâmina a 55% da ETc.

Analisando os efeitos isolados de SAL e LAM aos 81 DAP, K^+ na raiz foi máximo na CE de 1,50 dS m^{-1} (10,71 mg. g^{-1}), não havendo efeito da lâmina. No colmo, em todas as variáveis nas quais foram observados efeitos isolados a interação também foi significativa, portanto, foi considerada apenas a análise da interação. Na folha, as médias de K^+ foram influenciadas por SAL, variando de 10,86 a 12,45 mg. g^{-1}, em que 12,45 mg. g^{-1} foram observados na CE de 6,00 dS m^{-1}.

Ao fim do ciclo, a interação afetou as concentrações de Na^+ e Cl^- na raiz, Na^+, K^+ e Cl^- no colmo e Cl^- na folha, bem como as massas secas da raiz e do colmo (Tabela 12). As maiores concentrações de Na^+ na raiz ocorreram sob CE de 6,00 dS m^{-1}, em que as médias a 55 e 83% da ETc foram estatisticamente iguais entre si, mas superiores às observadas a 110% da ETc. Ao todo, o conteúdo de Na^+ na raiz variou entre 45,78 e 212,14 mg, e dentre todos os tratamentos a distribuição de Na^+ variou entre 64,90 e 77,61% (Tabela 9).

Para Cl^-, a maior média observada foi em S3L1 (31,00 mg. g^{-1}), ao passo que a menor ocorreu em S1L1 (14,00 mg. g^{-1}), sem diferença conforme a lâmina. O conteúdo de Cl^- variou de 233,44 a 532,72 mg, representando entre 9,63 e 16,17% do total de Cl^- distribuído na raiz (Tabela 9). Ainda na raiz, a MS não diferiu conforme a salinidade para os tratamentos sob lâminas a 55% e 110% da ETc, tampouco diferiu conforme a lâmina nos tratamentos sob CE de 3,75 e 6,00 dS m^{-1}.

Tabela 12 – Valores médios para as variáveis de concentração iônica e massa seca cuja interação SALxLAM foi significativa: aos 81 DAP: Na_R81 (A), Cl_R81 (B), MS_R81 (C), Na_C81 (D), K_C81 (E), Cl_C81 (F), MS_C81 (G) e Cl_F81 (H).

A)	**Na_R81**				**B)**	**Cl_R81**			
	mg g^{-1} de raiz					mg g^{-1} de raiz			
	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média		55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	2,32 bA	2,71 cA	2,63 bA	2,55	1,50 dS m^{-1}	14,00 cA	17,75 bA	16,00 bA	15,92
3,75 dS m^{-1}	8,67 aA	7,04 bB	7,48 aAB	7,73	3,75 dS m^{-1}	24,00 bA	22,50 abA	21,00 abA	22,50
6,00 dS m^{-1}	9,94 aA	9,15 aA	7,60 aB	8,89	6,00 dS m^{-1}	31,00 aA	26,75 aAB	23,00 aB	26,92
Média	6,98	6,30	5,90		Média	23,00	22,23	20,00	

$Na_R81 = 4,84^{**} + 5,27CE^{***} - 3,96.10^{-1}CE^{2***} + 2,07.10^{-2}Lam - 1,07.10^{-2}CELam^{**}$ ($R^2 = 0,99$)	$Cl_R81 = 4,54 + 5,80CE^{***} + 9,77.10^{-2}Lam^{*} - 4,0.10^{-2}CELam^{**}$ ($R^2 = 0,97$)

C) MS_R81 (g)

	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	19,92 aB	28,95 aA	22,66 aAB	23,84
3,75 dS m^{-1}	17,71 aA	22,21 bA	21,47 aA	20,46
6,00 dS m^{-1}	21,30 aA	18,21 bA	18,65 aA	19,39
Média	19,64	23,12	20,93	

$MS_R81 = -7,43 + 8,48.10^{-1}CE + 7,23.10^{-1}Lam^{**} - 3,74.10^{-3}Lam^2 - 2,22.10^{-2}CELam$ ($R^2 = 0,60$)

D) Na_C81 (mg g^{-1} de colmo)

	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	0,14 cA	0,13 cA	0,17 bA	0,15
3,75 dS m^{-1}	0,45 bA	0,44 bA	0,36 aA	0,42
6,00 dS m^{-1}	0,72 aA	0,80 aA	0,30 abB	0,60
Média	0,44	0,46	0,28	

Nenhuma equação testada foi significativa

E) K_C81 (mg g^{-1} de colmo)

	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	12,21 bB	14,50 aB	17,14 aA	14,61
3,75 dS m^{-1}	10,12 bB	14,12 aA	12,55 bAB	12,26
6,00 dS m^{-1}	15,22 aA	14,52 aA	15,87 aA	15,20
Média	12,51	14,38	15,19	

$K_C81 = 9,72^{***} - 2,36CE^{**} + 5,22.10^{-1}CE^{2***} + 1,14.10^{-1}Lam^{***} - 1,73.10^{-2}CELam^{**}$ ($R^2 = 0,84$)

F) Cl_C81 (mg g^{-1} de colmo)

	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	16,00 bB	19,75 aA	18,50 aAB	18,08
3,75 dS m^{-1}	19,00 abA	17,75 aAB	15,25 aB	17,33
6,00 dS m^{-1}	19,50 aA	19,00 aA	17,67 aA	18,72
Média	18,17	18,83	17,14	

$Cl_C81 = 5,94 + 1,28.10^{-2}CE + 2,11.10^{-1}CE^2 + 3,07.10^{-1}Lam^{*} - 1,57.10^{-3}Lam^{2*} - 1,76.10^{-2}CELam^{*}$ ($R^2 = 0,62$)

G) MS_C81 (g)

	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	136,38 aA	143,62 aA	133,35 bA	137,78
3,75 dS m^{-1}	141,10 aA	140,18 aA	167,73 aA	149,67
6,00 dS m^{-1}	151,40 aA	159,56 aA	117,99 bB	142,98
Média	142,96	147,78	139,69	

Nenhuma equação testada foi significativa

H) Cl_F81 (mg g^{-1} de folha)

	55% ETc	83% ETc	110% ETc	Média
1,50 dS m^{-1}	14,50 aA	15,50 aA	16,00 aA	15,33
3,75 dS m^{-1}	16,00 aA	15,25 aAB	13,00 bB	14,75
6,00 dS m^{-1}	16,25 aA	16,25 aA	15,50 aA	16,00
Média	15,58	15,67	14,83	

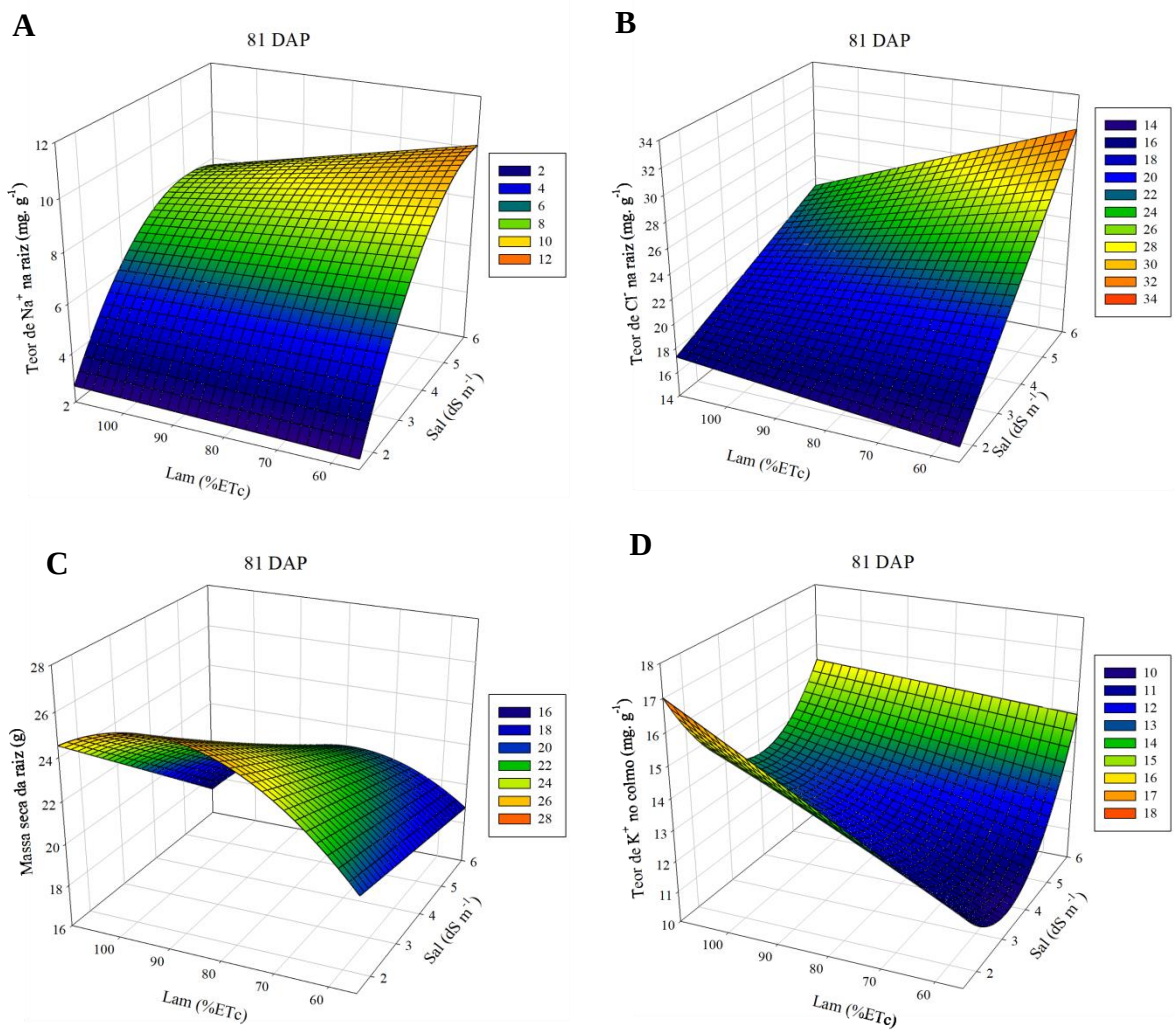
$Cl_F81 = 17,86^{**} - 1,21CE^{*} + 1,81.10^{-1}CE^2 - 1,35.10^{-2}Lam$ ($R^2 = 0,36$)

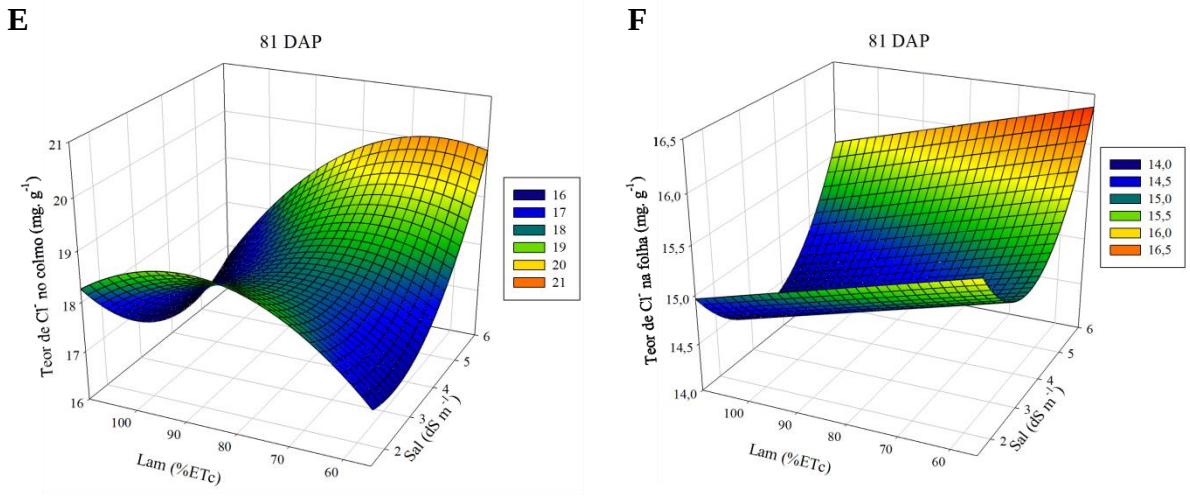
Nota 1: Na_R81: Na^+ na raiz aos 81 DAP; Cl_R81: Cl^- na raiz aos 81 DAP; MS_R81: Massa seca da raiz aos 81 DAP; Na_C81: Na^+ no colmo aos 81 DAP; K_C81: K^+ no colmo aos 81 DAP; Cl_C81: Cl^- no colmo aos 81 DAP; MS_C81: Massa seca do colmo aos 81 DAP; Cl_F81: Cl^- na folha aos 81 DAP.
Nota 2: Letras minúsculas comparam as médias na coluna, letras maiúsculas comparam as médias na linha.
Nota 3: *, ** e *** indicam efeito significativo a 0,05, 0,01 e 0,001.

No colmo, ainda aos 81 DAP, a salinidade resultou em aumento progressivo da concentração de Na^+ nas lâminas a 55% e 83% da ETc, variando de 0,13 mg. g^{-1} em S1L2 para 0,80 mg. g^{-1} em S3L2 (Tabela 12). A maior concentração de K^+ observada neste órgão ocorreu em S1L3 (17,15 mg. g^{-1}) e não diferiu estatisticamente de S3L3 (15,87 mg. g^{-1}) conforme a salinidade. É válido ressaltar que para K^+ o conteúdo no colmo variou entre 1410,70 e 2318,82 mg, representando uma distribuição que variou entre 71,32 e 79,30% entre os tratamentos, ou

seja, semelhante ao observado na floração. Para a concentração de Cl^-, não houve diferença estatística conforme a salinidade nos tratamentos a 83% da ETc nem conforme a lâmina nos tratamentos a 6,00 dS m^{-1}. A MS do colmo foi máxima em S2L3 (167,73 g), sem diferença significativa quanto aos demais tratamentos sob CE de 3,75 dS m^{-1}. Para o Cl^- na folha, por sua vez, a salinidade foi significativa apenas nos tratamentos sob LAM a 110% da ETc, ao passo que a lâmina só foi significativa nos tratamentos sob CE de 3,75 dS m^{-1}. As superfícies de resposta referentes às variáveis de onde ocorreu a interação e foi possível gerar um modelo estão ilustradas no Gráfico 7 (A, B, C, D, E e F).

Gráfico 7 – Superfícies de resposta para teor de Na^+ na raiz (A), teor de Cl^- na raiz (B), massa seca da raiz (C), teor de K^+ no colmo (D), teor de Cl^- no colmo (E) e teor de Cl^- na folha (F) aos 81 DAP.





Fonte: Autoria própria (2023).

6 DISCUSSÕES

6.1 Crescimento

Especialmente aos 36 e 46 DAP, a salinidade afetou todas as variáveis estudadas, tendo os melhores resultados sido observados nas CEs de 1,50 e 3,75 dS m^{-1} (Tabela 3). A presença de sais, especialmente na salinidade a 6,00 dS m^{-1}, reduz o potencial osmótico da solução do solo e retarda a absorção de água pelas raízes (YANG *et al.*, 2020), interferindo, portanto, nos primeiros estágios de crescimento. O aumento da CE afetou negativamente todas as variáveis em que o efeito de SAL foi significativo, com exceção da área foliar aos 57 DAP, em que a menor AF foi observada na CE de 1,50 dS m^{-1} (AF = 2392 cm^2). O estresse salino por si só afeta processos vitais das plantas, como fotossíntese, metabolismo energético e lipídico e a síntese proteica, consequentemente afetando o crescimento e rendimento da cultura (YANG *et al.*, 2020).

Apesar do sorgo ser tolerante à salinidade (NXELE; KLEIN; NDIMBA, 2017; SILVA *et al.*, 2019), o grau de tolerância varia bastante conforme o genótipo (YANG *et al.*, 2020). Alguns trabalhos apresentam a cultivar BRS 506 como mais sensível à salinidade do que outras como IPA 5202 e Ponta Negra, especialmente quanto à massa seca de colmo (COSTA *et al.*, 2019), o que explicaria o decréscimo do crescimento, especialmente no início do ciclo. Cultivares tolerantes minimizam esses danos por meio das barreiras apoplásticas, auxiliando na manutenção de um sistema fotossintético estável e aumentando a eficiência da fixação de CO_2 (YANG *et al.*, 2020).

Em cultivares menos tolerantes, os efeitos deletérios da salinidade são mais evidentes porque o estresse salino altera o potencial hídrico e a condutância estomática, prejudicando as demais funções ligadas ao desenvolvimento vegetal (GULL; KAUSAR, 2019). Porém, é interessante ressaltar que no presente estudo o aumento da CE da água de irrigação praticamente não alterou as variáveis ligadas ao crescimento nas épocas de floração (57 DAP) e fim do ciclo (68 DAP), indicando que, mesmo sendo mais sensível do que outras cultivares, o sorgo BRS 506 resiste à salinidade.

Quanto ao efeito isolado da lâmina, é válido ressaltar que, diferentemente de outros estudos envolvendo estresse hídrico (NAZARI *et al.*, 2021), DC não foi afetado em nenhuma das épocas avaliadas. Sob escassez hídrica, o colmo de cultivares sacarinas tende a reduzir, pois o potencial hídrico do solo diminui, ocasionando o fechamento estomático e, consequentemente, redução da fotossíntese e produção de biomassa (ALMODARES et al.,

2013). No entanto, os resultados encontrados corroboram com Bunphan et al. (2022), em que o estresse hídrico não afetou DC em nenhum dos estágios de desenvolvimento, semelhantemente ao encontrado por Perrier et al. (2017), que não encontraram diferença no diâmetro de entrenós.

Para as demais variáveis em que LAM foi significativa, a lâmina a 55% da ETc foi a que ocasionou maiores prejuízos ao desenvolvimento vegetal em todas as épocas estudadas (Tabela 3). No entanto, apesar de significativa, a diferença entre as lâminas de 55 e 110% da ETc foi pequena, sendo de -21,67% para HTot e -26,4% para HC aos 57 DAP e -13,6% para HC aos 68 DAP. Essa redução pequena entre as lâminas indica que podem ser utilizadas lâminas menores de irrigação, de modo a promover economia de água com perdas pequenas de produtividade.

Além disso, é válido ressaltar o efeito da LAM sobre HTot na época de floração, pois a altura total está relacionada ao ºBrix e o fato de a maturação do BRS 506 ser adiantada já contribui para um menor ºBrix (NAOURA *et al.*, 2020). Portanto, dado que a lâmina deficitária reduz ainda mais a altura total, consequentemente pode afetar o ºBrix e, portanto, a qualidade do bioetanol que pode vir a ser produzido a partir do caldo do sorgo é comprometida. Quanto à área foliar, a redução observada aos 36 e 46 DAP conforme redução de LAM (Tabela 3) serve como meio de reduzir a transpiração, como observado em outras variedades sacarinas (SILVA *et al.*, 2019). Maior área foliar significa maior taxa de fotossíntese e, portanto, mais energia luminosa é convertida em matéria seca.

É válido ressaltar que sob escassez hídrica durante todo o ciclo o diâmetro do colmo não foi afetado (Tabela 3), ao passo que a altura do colmo reduziu, o que talvez esteja relacionado ao fato de o sorgo BRS 506 ser uma cultivar sacarina. Perrier et al. (2017) atribuíram a menor altura do colmo de sorgo sob escassez hídrica a uma redução no teor de lignina, observando também que maiores quantidades de açúcares solúveis e menores teores de lignina ocorriam nas plantas de sorgo com maior diâmetro de entrenós. Em outras palavras, possivelmente, ao priorizar o acúmulo de açúcares, o sorgo mantém o diâmetro do colmo, mas devido ao estresse hídrico, menos lignina é produzida, interferindo em HC, mas não necessariamente em HTot, como observado neste estudo aos 68 DAP.

Dando destaque ao efeito interativo observado apenas em AF e HC aos 46 DAP, nota-se que estas variáveis atingiram valores maiores sob CEs entre 1,50 e 3,75 dS m^{-1} nas maiores lâminas (Tabela 4). A superfície de resposta elucidada no Gráfico 4 mostra que próximo a 3,75 dS m^{-1} os sais presentes na água podem resultar em um efeito benéfico em HC_46, ainda que não significativo, como informa o teste de Tukey a 5%, no entanto HC_46 reduz quando a CE se aproxima de 6,0 dS m^{-1}. Além disso, é válido ressaltar que o aumento da lâmina foi positivo

para HC_46 em todas as salinidades, indicando que a quantidade de água deve ser priorizada quando se visa à maior altura do colmo nos primeiros estágios de crescimento. A irrigação com águas salobras pode ocasionar o efeito de seca devido ao gradiente osmótico; nessa condição, impor o estresse hídrico reduz ainda mais a água que será utilizada pela planta, de modo que o desenvolvimento é prejudicado. Além disso, o gasto de energia para promover os ajustes osmótico e bioquímico, que garantem a tolerância, provoca limitação do crescimento (SILVA *et al.*, 2019).

6.2 Extravasamento de eletrólitos e Conteúdo relativo de água

O início do ciclo mostrou-se sensível à interação da salinidade e lâmina aplicadas, ao passo que na época de floração foi observado efeito isolado apenas da salinidade (Tabela 5). Como as medições foram realizadas na folha, isso é indicativo de que o sorgo desenvolveu mecanismos de tolerância ao estresse hídrico ao longo do ciclo, de modo a impedir danos às folhas. A prevenção de danos à folha é um mecanismo inteligente, dado que é nelas onde ocorre a fotossíntese e, portanto, todos os processos associados ao desenvolvimento vegetal.

O extravasamento de eletrólitos refere-se a danos nas paredes das membranas celulares, em que a ruptura da membrana implica na distribuição de substâncias hidrossolúveis do interior das células para os espaços intercelulares, aumentando a condutividade elétrica do tecido vegetal (JUNGKLANG; SAENGNIL; UTHAIBUTRA, 2017). No caso do sorgo estudado, o estresse hídrico limita a fotossíntese e pode ter resultado na formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), compostos que causam a peroxidação lipídica e, consequentemente, a ruptura da membrana (MARTINS *et al.*, 2018). Por sua vez, a salinidade pode ter alterado a estrutura de pigmentos fotossintéticos, de modo a danificar os centros de reação do fotossistema II e, assim como no estresse hídrico, reduzir o potencial de turgor e danificando a membrana (SILVA *et al.*, 2022).

Ao observar que a lâmina não foi significativa para EE na floração (Tabela 5), a cultivar BRS 506 parece ter maior necessidade hídrica no início do ciclo, sendo capaz de adaptar-se à escassez até a floração. A recuperação do sistema de membranas é denotada em leguminosas com potencial forrageiro como *M. lathyroides* (L.) Urb (feijão do campo), *V. luteola* Jacq. (Feijão da praia) e *D. incanum* DC. (Pega-pega) quando submetidas a déficit hídrico e reidratadas (MARTINS *et al.*, 2018), sendo possível que a cultivar de sorgo estudada também tenha adotado desta estratégia. Na Tabela 8, é possível verificar que a concentração de K^+ na folha durante a floração não foi afetada por SAL, LAM ou SALxLAM, e tendo em vista que

K^+ auxilia na estabilidade da membrana (GULL; KAUSAR, 2019), a presença desse íon pode ter contribuído para que não houvesse extravasamento significativo de eletrólitos. Mesmo nas menores salinidades, a adoção de uma lâmina inferior à necessidade da cultura resulta em extravasamento de eletrólitos superior àquela registrada quando é aplicada a lâmina a 110% da ETc (Tabela 6).

O conteúdo relativo de água, por sua vez, está associado à turgescência celular. Aos 39 DAP, o estresse salino pode estar associado ao ajuste osmótico (MA; DIAS; FREITAS, 2020), de modo que a maior concentração de solutos induzida pela CE de 6,00 dS m^{-1} pode ter reduzido o potencial hídrico da folha, consequentemente levando ao maior CRA. Destaque deve ser dado ao fato de que sob lâmina a 83 e 110% da ETc a salinidade não interferiu no CRA, indicando tolerância aos sais quando maiores lâminas são aplicadas.

Por sua vez, o efeito do estresse hídrico no CRA refere-se à própria indisponibilidade de água no solo para a planta, portanto, quanto menos água for absorvida pela planta, menos água haverá no meio intracelular. A perda da turgescência celular é uma das primeiras consequências do estresse hídrico e interfere, juntamente com o fechamento estomático, na concentração de CO_2 intracelular, resultando em danos ao aparelho fotossintético, especialmente no fotossistema II (FRACASSO; TRINDADE; AMADUCCI, 2016). No entanto, o sorgo BRS 506 mostrou diferença significativa conforme o aumento de sais apenas para S3L1 em relação às demais salinidades, o que remonta à ideia de perdas mínimas de turgescência celular e, portanto, a certo nível de tolerância.

Assim como para EE, para CRA, a lâmina ou a interação SALxLAM não foram significativas na floração (Tabela 5), o que reforça a ideia de mecanismos de tolerância ao estresse hídrico ao longo do ciclo. De fato, o conteúdo relativo de água aos 64 DAP aumentou quando comparado aos 39 DAP, mesmo nas condições de maior estresse. Por sua vez, o efeito do componente salino pode estar associado à concentração de proteínas e ao *pool* de carboidratos, que reduzem conforme a salinidade (MA; DIAS; FREITAS, 2020) e, portanto, aumentam o potencial hídrico da folha, ou seja, menos água é levada às células foliares.

6.3 Prolina, aminoácidos totais e açúcares solúveis totais

O sorgo é uma cultura tolerante à salinidade, mantendo a produtividade sob água de irrigação de CE de 4,5 dS m^{-1} ou solo com CE de 6,8 dS m^{-1} (AYERS; WESTCOT, 1985). Muitos estudos abordam a produção de prolina nas folhas quando estresses hídrico e/ou salino são aplicados (AMOAH; ANTWI-BERKO, 2020), tendo em vista que a prolina é produzida no

sorgo sob estresse salino moderado (WEIMBERG; LERNER; POLJAKOFF-MAYBER, 1984). No entanto, a tolerância do sorgo a estresses abióticos varia conforme o genótipo e, como observado no presente estudo, o uso de água na quantidade e salinidade adotadas não foi suficiente para causar diferença na produção deste aminoácido (Tabela 7).

No estresse salino, são comuns estudos relacionando a tolerância à salinidade ao teor de prolina, considerando que a prolina é importante na proteção de proteínas e eliminação de espécies reativas de oxigênio (ERO's), prevenindo danos à membrana e estruturas subcelulares (WANG *et al.*, 2022). Isso ocorre porque a prolina possui alto potencial oxidante, atua na eliminação de radicais OH^- e também na sinalização redox, sendo uma potente inibidora da apoptose (MARTINS *et al.*, 2018). No entanto, o teor de prolina por si só talvez não seja o melhor parâmetro para quantificar a tolerância aos sais em plantas de sorgo. Apesar de osmólitos e açúcares regularem a pressão de turgor celular, uma cultura sensível pode produzir tanta prolina quanto uma tolerante (UKWATTA *et al.*, 2021).

Na literatura, ainda há controvérsias sobre a possível contribuição da produção de solutos para manutenção do ajuste osmótico (MARTINS *et al.*, 2018; MA; DIAS; FREITAS, 2020), mas é fato que estes têm potencial para tamponar o potencial redox celular e proteger sua estrutura (MA; DIAS; FREITAS, 2020). Em mudas de sorgo sacarino, a regulação positiva de genes relacionados ao metabolismo da sacarose e a degradação e síntese de amido sugere que açúcares solúveis são os principais solutos produzidos sob escassez hídrica (UKWATTA *et al.*, 2021). A produção de assimilados, acumulados na forma de solutos compatíveis, como açúcares solúveis e álcoois de açúcares, em cultivares altamente tolerantes à seca, como a Samsorg 17, mantém a atividade fotossintética, reduzindo o potencial da parte aérea e radicular de modo a garantir a absorção de água (OGBAGA *et al.*, 2016). O mesmo raciocínio pode ser aplicado ao estresse salino.

Apesar da prolina ser o aminoácido mais estudado em pesquisas relacionadas à salinidade e seca, nossos resultados mostraram não haver significância estatística para aminoácidos totais também, confirmando que ao fim do ciclo os níveis de salinidade e lâmina estudados não diferiram no acúmulo de aminoácidos no sorgo BRS 506. No metabolismo de plantas, aminoácidos atuam como constituintes de proteínas, um *pool* de nitrogênio em tecidos fonte e dreno, representando importante precursor de metabólitos secundários e promovendo melhoramento da cultura (DINKELOO; BOYD; PILOT, 2018). Por exemplo, Ogbaga et al. (2016), estudando duas cultivares de sorgo tolerantes à seca, encontraram maior concentração de aminoácidos totais na cultivar menos tolerante e maior acúmulo de açúcares solúveis e açúcares de álcoois na mais tolerante. É válido mencionar que a aplicação exógena de

aminoácidos mitiga danos causados pelos estresses salino e hídrico, dado que eles modulam a permeabilidade da membrana e absorção de íons (RAI, 2002).

6.4 Concentração dos íons Na^+, K^+ e Cl^- e massa seca no tecido vegetal

Aos 39 DAP, na raiz, o efeito isolado da CE e da interação foram significativos para a concentração de Na^+, sugerindo que o uso de águas salobras já promove esse acúmulo, potencializado quando há mudança na lâmina de irrigação (Tabela 8). Para Cl^- nas raízes, ocorreram os efeitos isolados de CE e LAM, bem como da interação, mas a distribuição do Cl^- foi maior nas folhas, devido à maior mobilidade deste ânion (GULL; KAUSAR, 2019). Quanto à massa seca, a influência dos efeitos isolados mostrou que a raiz foi mais sensível à lâmina do que à salinidade, tendo em vista redução progressiva na MS conforme redução da lâmina, ao passo que para Sal apenas na CE de 6,00 dS m^{-1} ocorreu redução significativa na MS (Tabela 8).

Nesse mesmo período (39 DAP), K^+ e Cl^- no colmo não foram afetados SAL ou LAM, ao passo que a CE influenciou a concentração de Na^+ e LAM a massa seca. Conforme esperado, o aumento de CE aumentou as concentrações de Na^+ no colmo, justamente porque havia mais Na^+ no solo para ser absorvido. No entanto, a alta razão K^+/Na^+ é sinal da tolerância à salinidade, visto que a absorção de K^+ não foi prejudicada e a concentração de Na^+ ocorrida não foi suficiente para impedir o desenvolvimento do colmo (GULL; KAUSAR, 2019). Já para massa seca do colmo, da mesma forma que na raiz, reduziu conforme a redução da lâmina, visto que a água é fundamental para o desenvolvimento vegetal, sendo majoritária para o acúmulo de massa seca. Na folha, não ocorreu diferença significativa nas concentrações dos íons, mas a interação SALxLAM afetou a massa seca.

Na época de floração, aos 60 DAP, a maior CE promoveu aumento da concentração de Na^+ não apenas na raiz e colmo, como também na folha (Tabela 8). Na^+ nas folhas interfere em componentes fotossintéticos, reduzindo a taxa de assimilação de CO_2 e levando à produção de EROs graças ao excesso de luz absorvida (MA; DIAS; FREITAS, 2020). Dessa forma, plantas tolerantes adotam estratégias para evitar o transporte desse íon às folhas. No entanto, em cultivares sacarinas de sorgo, a floração é um período sensível para a aplicação do estresse salino, o que explica os resultados obtidos. Quanto ao K^+, tanto o efeito de LAM quanto da interação foram significativos na raiz e colmo, mas é válido destacar que entre 69,10% e 79,48% do total de K^+ no sorgo estavam acumulados no colmo (calculado com base na Tabela 9), provavelmente por ser o órgão de maior biomassa. A combinação dos estresses hídrico e salino

também pode ter afetado os transportadores ativos de K^+ durante a absorção de nutrientes, e dado que o K^+ é fundamental no equilíbrio osmótico (GULL; KAUSAR, 2019), a menor quantidade desse íon no citoplasma também pode afetar o acúmulo de massa. A alteração de concentrações de Na^+ e K^+ pelos estresses na raiz também pode estar relacionada a uma competição destes íons nas proteínas transportadoras durante a absorção de água (GULL; KAUSAR, 2019)

Quanto ao Cl^- aos 60 DAP, a interação SALxLAM foi significativa na raiz e na folha, reforçando a ideia da sensibilidade à salinidade e estresse hídrico na floração (Tabela 8). Assim como observado aos 39 DAP, Cl^- pode estar ligado à manutenção do turgor em células de sorgo (WEIMBERG; LERNER; POLJAKOFF-MAYBER, 1984), o que explica a maior concentração deste ânion nos tratamentos de maior salinidade e menor lâmina. É válido destacar que a massa seca da folha foi afetada pela interação SALxLAM, o que levanta a possibilidade de que os processos envolvendo Cl^- na folha repercutam no acúmulo de massa seca. Tal fato pode estar atrelado ao fato de que a energia necessária para promover o acúmulo de íons nos órgãos da planta acaba por consumir aquela que seria utilizada na produção de biomassa (WEIMBERG; LERNER; POLJAKOFF-MAYBER, 1984).

Ao fim do ciclo, aos 81 DAP, tanto os efeitos isolados quanto a interação afetaram a concentração de Na^+ na raiz e colmo, mas não na folha (Tabela 8). Sob salinidade, tanto as barreiras apoplásticas nas raízes quanto transportadores HKT (alta afinidade por K^+) influenciam na concentração de Na^+ nas raízes, promovendo a homeostase Na^+/K^+ e garantindo o crescimento vegetal (YANG *et al.*, 2020). Com exceção de S1L1, Na^+ nas raízes aumentou quando comparado aos 60 DAP, o que é um pouco inesperado, dado que uma das propriedades do sorgo é a exclusão de Na^+ das raízes (WEIMBERG; LERNER; POLJAKOFF-MAYBER, 1984; YANG *et al.*, 2020).

Isso se dá porque os canais de K^+ promovem a recirculação do Na^+ via floema, diminuindo a quantidade de Na^+ nas folhas (MA; DIAS; FREITAS, 2020). A concentração de K^+ foi afetada pelo efeito interativo apenas no colmo, provavelmente porque o K^+ atua na abertura e fechamento dos estômatos, contribuindo para a fotossíntese, além de ser essencial na translocação de fotoassimilados para o crescimento das raízes (GULL; KAUSAR, 2019), garantindo, desse modo, o acúmulo de massa nas folhas e raízes. Para Cl^-, a interação SALxLAM afetou a concentração em todos os órgãos, ou seja, até o fim do ciclo provavelmente não foram adotados mecanismos de exclusão do íon Cl^-. Para MS, o fato de não ter ocorrido efeito isolado ou interativo na folha reforça que o sorgo prioriza o desenvolvimento das folhas.

7 CONCLUSÕES

O crescimento do sorgo BRS 506 foi mais sensível ao déficit hídrico do que à salinidade;

O estresse salino foi mais severo para o extravasamento de eletrólitos e conteúdo relativo de água do que o estresse hídrico;

Os níveis de salinidade e lâmina aplicados não foram suficientes para ocasionar diferença no acúmulo de substâncias osmorreguladoras como prolina, aminoácidos e açúcares;

O sorgo modificou a concentração dos íons Na^+, K^+ e Cl^- na raiz, colmo e folha do sorgo em resposta à salinidade mais do que à escassez hídrica;

O principal mecanismo de tolerância adotado pelo sorgo foi a compartimentalização de Na^+ nas raízes, limitando o transporte para os tecidos foliares.

REFERÊNCIAS

ABDEL-GHANY, S. E. *et al.* Transcriptome Analysis of Drought-Resistant and Drought-Sensitive Sorghum (Sorghum bicolor) Genotypes in Response to PEG-Induced Drought Stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 3, p. 772, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/1422-0067/21/3/772/htm. Acesso em: 20 fev. 2023.

ABREHA, K. B. *et al.* Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress. **Planta**, Lomma, v. 255, n. 20, p. 1–23, 2021. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00425-021-03799-7. Acesso em: 4 jan. 2023.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. **Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)**, Rome, n. 56, 2004. Disponível em: https://academic.uprm.edu/abe/backup2/tomas/fao%2056.pdf. Acesso em: 27 fev. 2022.

ALMODARES A.; HOTJATABADY R. H.; MIRNIAM E. Effects of drought stress on biomass and carbohydrate contents of two sweet sorghum cultivars. **Journal of Environmental Biology**. [*s. l.*], v. 34, n. 3, p. 585–589, 2013. Disponível em: http://jeb.co.in/index.php?page=issue_toc&issue=201305_may13. Acesso em: 14 jan. 2023.

AMOAH, J. N.; ANTWI-BERKO, D. Comparative Physiological, Biochemical and Transcript Response to Drought in Sorghum Genotypes. **Biotechnology Journal International**, Sunyani, v. 24, n. 3, p. 1–14, 2020. Disponível em: https://journalbji.com/index.php/BJI/article/view/62. Acesso em: 8 jan. 2023.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Salinity Problems. In*:* AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water Quality For Agriculture**. 1. ed. Rome: FAO, 1985. p. 13–58. Disponível em: https://www.waterboardSca.gov/water_issues/programs/tmdl/records/state_board/1985/ref2648.pdf. Acesso em: 16 mar. 2022.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, Manhattan, v. 39, n. 1, p. 205–207, 1973. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/BF00018060. Acesso em: 28 dez. 2021.

BLUMWALD, E. Sodium transport and salt tolerance in plants. **Current Opinion in Cell Biology**, Toronto, v. 12, n. 4, p. 431–434, 2000. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0955067400001125?via%3Dihub. Acesso em: 3 jan. 2023.

BUNPHAN, D. *et al.* Potential of sweet sorghum (Sorghum bicolor L.) cultivars under different water regimes for some agronomic performances, juice yield and related traits. **Australian Journal of Crop Science**, Kantar Wichai, v. 16, n. 10, p. 1159–1169, 2022. Disponível em: http://www.cropj.com/search.html?q=Potential%20of%20sweet%20sorghum. Acesso em: 6 jan. 2023.

BYRT, C. S. *et al.* The Na^+ transporter, TaHKT1;5-D, limits shoot Na^+ accumulation in bread wheat. **The Plant Journal**, Canberra, v. 80, n. 3, p. 516–526, 2014. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/tpj.12651. Acesso em: 3 jan. 2023.

CECCON, G.; TEODORO, P. E.; DOS SANTOS, A. Contribution of agronomic traits for sugar yield in sweet sorghum genotypes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [*s. l.*], v. 16, n. 2, p. 232–239, 2017. Disponível em: http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/741/1280#. Acesso em: 17 jun. 2022.

COSTA, J. P. N. *et al.* Desempenho De Variedades De Sorgo Dupla Aptidão Submetidas A Diferentes Lâminas De Irrigação Com Água Salina. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 417–428, 2019. Disponível em: http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/1051. Acesso em: 6 jan. 2023.

DA SILVA, T. M. *et al.* Potential of Sweet Sorghum Juice as a Source of Ethanol for Semi-arid Regions: Cultivars and Spacing Arrangement Effects. **Sugar Tech**, Fortaleza, v. 21, n. 1, p. 145–152, 2019. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-018-0637-8. Acesso em: 1 nov. 2022.

DAR, R. A. *et al.* Sweet sorghum-a promising alternative feedstock for biofuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 82, p. 4070–4090, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117314430. Acesso em: 30 nov. 2021.

DINKELOO, K.; BOYD, S.; PILOT, G. Update on amino acid transporter functions and on possible amino acid sensing mechanisms in plants. **Seminars in Cell & Developmental Biology**, [s. l.], v. 74, p. 105–113, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1084952116303925?via%3Dihub. Acesso em: 10 jun. 2022.

DUBREUIL, V. *et al.* Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins**, [s. l.], n. 37, 2018. Disponível em: http://journals.openedition.org/confins/15738. Acesso em: 30 nov. 2021.

DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agronômica e industrial para alimentos e energia. **Editorial**, Brasília, p. 1–52, 2011. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/903302. Acesso em: 19 jun. 2022.

E SOUZA, R. S. *et al.* Maturation curves of sweet sorghum genotypes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 1, p. 46–56, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/j/cagro/a/s4HgkvqYYynnzPJykZnm7Mt/?lang=en. Acesso em: 18 jun. 2022.

ECKERT, C. T. *et al.* Maize ethanol production in Brazil: Characteristics and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 82, p. 3907–3912, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211731465X. Acesso em: 1º nov. 2022.

EMENDACK, Y. *et al.* Abiotic Stress Effects on Sorghum Leaf Dhurrin and Soluble Sugar Contents throughout Plant Development. **Crop Science**, Madison, v. 58, n. 4, p. 1706–1716, 2018. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2135/cropsci2018.01.0059. Acesso em: 15 jun. 2022.

EMPARN. **Relatório pluviométrico**. Parnamirim, 2022. Base de dados da EMPARN. Disponível em: http://meteorologia.emparn.rn.gov.br/relatorios/relatorios-pluviometricos. Acesso em: 20 ago. 2022.

EMYGIDIO, B. M. *et al.* Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para a produção de etanol sob diferentes densidades de plantas. In*:* Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/952657. Acesso em: 14 nov. 2022.

FAHAD, S. *et al.* Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 8, p. 1147, 2017. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01147/full. Acesso em: 16 dez. 2021.

FERNANDES, G. *et al.* Evaluation of potential ethanol production and nutrients for four varieties of sweet sorghum during maturation. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 71, p. 518–524, 2014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148114002845. Acesso em: 3 dez. 2021.

FIOREZE, S. L. *et al.* Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob deficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 48, n. 11, p. 1432–1439, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/j/pab/a/WW4yPxVwDTZRBgStNPQGS5P/?lang=pt. Acesso em: 28 dez. 2021.

FRACASSO, A.; TRINDADE, L.; AMADUCCI, S. Drought tolerance strategies highlighted by two Sorghum bicolor races in a dry-down experiment. **Journal of Plant Physiology**, [s. l.], v. 190, p. 1–14, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S017616171500245X. Acesso em: 7 jan. 2023.

GULL, M.; KAUSAR, A. Screening The Variability in Salt Tolerance of Sorghum Bicolor L. By Nutrients Uptake and Growth Analysis of Four Genotypes - Pharmacophore. **Pharmacophore**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 43–50, 2019. Disponível em: https://pharmacophorejournal.com/article/screening-the-variability-in-salt-tolerance-of-sorghum-bicolor-l-by-nutrients-uptake-and-growth-analysis-of-four-genotypes. Acesso em: 10 jan. 2023.

GUPTA, A. *et al.* Mechanistic insights of plant-microbe interaction towards drought and salinity stress in plants for enhancing the agriculture productivity. **Plant Stress**, [*s. l.*], v. 4, p. 100073, 2022. Disponível em: Acesso em: 21 fev. 2023.

JUNGKLANG, J.; SAENGNIL, K.; UTHAIBUTRA, J. Effects of water-deficit stress and paclobutrazol on growth, relative water content, electrolyte leakage, proline content and some antioxidant changes in Curcuma alismatifolia Gagnep. cv. Chiang Mai Pink. **Saudi Journal of Biological Sciences**, [s. l.], v. 24, n. 7, p. 1505–1512, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X15002120. Acesso em: 8 jan. 2023.

KAUSAR, A.; GULL, M. Influence of salinity stress on the uptake of magnesium, phosphorus, and yield of salt susceptible and tolerant sorghum cultivars (Sorghum bicolor L.). **Journal of Applied Biology & Biotechnology**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 53–58, 2019. Disponível em: https://jabonline.in/abstract.php?id=373&sts=2. Acesso em: 15 dez. 2021.

KONG, X. Q. *et al.* Cloning and functional characterization of a cation-chloride cotransporter gene OsCCC1. **Plant Molecular Biology**, [s. l.], v. 75, n. 6, p. 567–578, 2011. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11103-011-9744-6. Acesso em: 3 jan. 2023.

KRISHNAMURTHY, P. *et al.* Root apoplastic barriers block Na+ transport to shoots in rice (Oryza sativa L.). **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 62, n. 12, p. 4215, 2011. Disponível em: https://academic.oup.com/jxb/article/62/12/4215/485570. Acesso em: 3 jan. 2023.

KUHNERT, F. *et al.* Transport Proteins Enabling Plant Photorespiratory Metabolism. **Plants**, *[s. l.]*, v. 10, n. 5, p. 880, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2223-7747/10/5/880/htm. Acesso em: 1º jan. 2022.

LIPIEC, J. *et al.* Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. **International Agrophysics**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 463–477, 2013. Disponível em: http://www.international-agrophysics.org/Effect-of-drought-and-heat-stresses-on-plant-growth-and-yield-a-review,104040,0,2.html. Acesso em: 15 dez. 2021.

MA, Y.; DIAS, M. C.; FREITAS, H. Drought and Salinity Stress Responses and Microbe-Induced Tolerance in Plants. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 11, p. 1750, 2020. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.591911/full. Acesso em: 8 jan. 2023.

MARTINEZ URIBE, R. A. *et al.* Chloride levels in biomass sorghum due to fertilization sources. **Biomass and Bioenergy**, [*s. l.*], v. 143, p. 105845, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953420303792. Acesso em: 17 jan. 2023.

MARTINS, A. C. *et al.* Tolerância ao déficit hídrico: adaptação diferencial entre espécies forrageiras. **Iheringia, Série Botânica.**, [s. l.], v. 73, n. 3, p. 228–239, 2018. Disponível em: https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/768. Acesso em: 28 dez. 2021.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos estados do RN, PB e CE**. 1992. 196 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992. Disponível em: http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2896. Acesso em: 27 fev. 2022.

MILNE, R. J. *et al.* Are sucrose transporter expression profiles linked with patterns of biomass partitioning in Sorghum phenotypes? **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 4, p. 223, 2013. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2013.00223/full. Acesso em: 16 dez. 2021.

NAOURA, G. *et al.* Characterization of semi-arid Chadian sweet sorghum accessions as potential sources for sugar and ethanol production. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 1–

11, 2020. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41598-020-71506-9. Acesso em: 3 dez. 2021.

NAZARI, L. *et al.* Introduction of the best criterion for evaluation of tolerance to drought stress in sorghum's genotypes. **Acta agriculturae Slovenica**, [s. l.], v. 117, n. 4, p. 1–13, 2021. Disponível em: http://ojs.aas.bf.uni-lj.si/index.php/AAS/article/view/2176. Acesso em: 7 jan. 2023.

NXELE, X.; KLEIN, A.; NDIMBA, B. K. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. **South African Journal of Botany**, [s. l.], v. 108, p. 261–266, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S025462991630477X#:~:text=Drought%20and%20salinity%20stress%20reduced,screen%20plants%20for%20drought%20tolerance. Acesso em: 3 dez. 2021.

OGBAGA, C. C. *et al.* Biochemical Analyses of Sorghum Varieties Reveal Differential Responses to Drought. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. e0154423, 2016. Disponível em: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0154423. Acesso em: 9 jun. 2022.

OLIVEIRA, T. C. de. The culture of sweet sorghum: review. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. e28610212755–e28610212755, 2021. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12755. Acesso em: 12 fev. 2022.

PELOSO, A. F. *et al.* Teor relativo de água e danos celulares em folhas de Coffea arabica L. submetidas ao déficit hídrico. *In:* **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**. [S. l.]: Embrapa Café, 2017. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/9299. Acesso em: 27 dez. 2021.

PERRIER, L. *et al.* Plasticity of sorghum stem biomass accumulation in response to water deficit: A multiscale analysis from internode tissue to plant level. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 8, p. 1516, 2017. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01516/full. Acesso em: 7 jan. 2023.

PINNAMANENI, S. R. *et al.* Assessment of Phenotypic and Genotypic Diversity in Elite Temperate and Tropical Sweet Sorghum Cultivars. **Sugar Tech**, [s. l.], v. 24, n. 6, p. 1670–1679, 2022. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-022-01117-3. Acesso em: 22 out. 2022.

PUNIA, H. *et al.* Deciphering reserve mobilization, antioxidant potential, and expression analysis of starch synthesis in sorghum seedlings under salt stress. **Plants**, [s. l.], v. 10, n. 11, p. 2463, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2223-7747/10/11/2463/htm. Acesso em: 30 nov. 2022.

QUEIRÓZ, M. V. B. M. **Balanço energético da produção de sorgo sacarino em cultivo irrigado e sequeiro**. 2014. 50f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2014. Disponível em: http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/771. Acesso em: 12 jan. 2023.

QUINTERO, J. A. *et al.* Fuel ethanol production from sugarcane and corn: Comparative analysis for a Colombian case. **Energy**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 385–399, 2008. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544207001818. Acesso em: 1º nov. 2022.

RAI, V. K. Role of Amino Acids in Plant Responses to Stresses. **Biologia Plantarum**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 481–487, 2002. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1023/A:1022308229759. Acesso em: 10 jun. 2022.

RICHETTI, A.; MOTTA, I. de S.; GARCIA, R. A. **Estimativa de custo de produção do milho-verde irrigado, consorciado com plantas de cobertura, em Mato Grosso do Sul, 2021.** Portal Embrapa. Dourados: [*s. n.*], 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1137129/estimativa-de-custo-de-producao-do-milho-verde-irrigado-consorciado-com-plantas-de-cobertura-em-mato-grosso-do-sul-2021. Acesso em: 12 jan. 2023.

RITTER, K. B. *et al.* An assessment of the genetic relationship between sweet and grain sorghums, within Sorghum bicolor ssp. bicolor (L.) Moench, using AFLP markers. **Euphytica**, [*s. l.*], v. 157, n. 1, p. 161–176, 2007. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-007-9408-4. Acesso em: 22 jun. 2022.

ROSALES, M. A. *et al.* Chloride Improves Nitrate Utilization and NUE in Plants. **Frontiers in Plant Science**, [*s. l.*], v. 11, p. 442, 2020. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.00442/full#:~:text=Chloride%20(Cl%E2%80%93)%20has%20traditionally,which%20impairs%20NO3%E2%80%93%20nutrition. Acesso em: 17 jan. 2023.

SALLA, D. A.; CABELLO, C. Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho. **Energia na agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 32–53, 2010. Disponível em: https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/54. Acesso em: 1 nov. 2022.

SILVA, M. L. dos S. *et al.* Growth and photosynthetic parameters of saccharine sorghum plants subjected to salinity. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 41, n. 1, 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/j/asagr/a/98BqWmzKzhHzKCFWdP895Gv/?lang=en. Acesso em: 16 dez. 2021.

SILVA, A. A. R. *et al.* Hydrogen peroxide in attenuation of salt stress effects on physiological indicators and growth of soursop. **Brazilian Journal of Biology**, [*s. l.*], v. 84, 2022. Disponível em: http://www.scielo.br/j/bjb/a/YLdP46tmDpvVhFTsmbqWnDz/?lang=en. Acesso em: 30 jan. 2023.

SILVA, F. C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embraa Informação Tecnológica, 2009. *E-book*. Disponível em: https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=pc&id=256766&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22SILVA,%20F.%20C.%22&qFacets=autoria:%22SILVA,%20F.%20C.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1. Acesso em: 19 ago. 2022.

SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. **BT 31 - Análise de cloreto em tecido vegetal**. Lavras: Editora UFLA, 2021. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/48608. Acesso em: 19 ago. 2022.

SOUZA, W. C. L. *et al.* Aspectos comparativos entre milho (Zea mays L.) e sorgo (Sorghum bicolor L. Moench): diferenças e semelhanças. **Diversitas Journal**, [*s. l.*], v. 5, n. 4, p. 2337–2357, 2020. Disponível em: https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/891. Acesso em: 14 nov. 2022.

SOUZA, R. *et al.* Épocas de Plantio e Demanda de Irrigação da Cana-de-Açúcar na Região dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, Aracaju, v. 24, [s.i.], 2016. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1064904/epocas-de-plantio-e-demanda-de-irrigacao-da-cana-de-acucar-na-regiao-dos-tabuleiros-costeiros-do-nordeste. Acesso em: 12 jan. 2023.

STICKLER, F. C.; WEARDEN, S.; PAULI, A. W. Leaf Area Determination in Grain Sorghum. **Agronomy Journal**, Manhattan, v. 53, n. 3, p. 187–188, 1961. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj1961.00021962005300030018x. Acesso em: 30 nov. 2021.

SUI, N. *et al.* Identification and transcriptomic profiling of genes involved in increasing sugar content during salt stress in sweet sorghum leaves. **BMC Genomics**, [*s. l.*], v. 16, n. 1, p. 1–18, 2015. Disponível em: https://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-015-1760-5. Acesso em: 16 jun. 2022.

TABOSA, J. N. Cadernos do semiárido. **UFRPE**, Recife, v. 15, n. 2, 2020. Disponível em: http://www.ipa.br/novo/cadernos-do-semiarido. Acesso em: 12 jan. 2023.

TABOSA, J. N. *et al*. Cultivo de milho irrigado no semi-árido de Pernambuco. Instituto Agronômico de Pernambuco, 2008. Disponível em: http://www.ipa.br/resp59.php. Acesso em 19 jan. 2023.

TINÔCO, I. C. M. *et al.* Characterization of Rainfall Patterns in the Semiarid Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências**, [*s. l.*], v. 41, n. 2, p. 397–409, 2018. Disponível em: https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/28495. Acesso em: 19 fev. 2023.

UKWATTA, J. *et al.* Comparative physiological and transcriptomic analysis reveals salinity tolerance mechanisms in Sorghum bicolor (L.) Moench. **Planta**, [*s. l.*], v. 254, n. 5, p. 1–20, 2021. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00425-021-03750-w. Acesso em: 26 mar. 2022.

UMAKANTH, A. v. *et al.* Sweet Sorghum for Biofuel Industry. *Em*: Breeding sorghum for diverse end uses. [*S. l.*]: Woodhead Publishing, 2019. p. 255–270. *E-book*. Disponível em: Acesso em: 18 jun. 2022.

USDA. **Sorghum Explorer**. 2022. Disponível em: https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0459200. Acesso em: 15 nov. 2022.

WALKER, B. J. *et al.* The Costs of Photorespiration to Food Production Now and in the Future. **Annual Review of Plant Biology**, [*s. l.*], v. 67, p. 107–129, 2016. Disponível em: https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-arplant-043015-111709. Acesso em: 1º jan. 2022.

WANG, M. L. *et al.* Genetic diversity and population structure analysis of accessions in the US historic sweet sorghum collection. **Theoretical and Applied Genetics**, [*s. l.*], v. 120, n. 1, p. 13–23, 2009. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00122-009-1155-6. Acesso em: 22 jun. 2022.

WANG, Z. *et al.* Physiological and transcriptional evaluation of sweet sorghum seedlings in response to single and combined drought and salinity stress. **South African Journal of Botany**, [*s. l.*], v. 146, p. 459–471, 2022. Disponível em: Acesso em: 15 dez. 2021.

WANG, M. *et al.* The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response Agricultural Ministry Key Lab of Plant Nutrition and Fertilization in Low-Middle Reaches of the. **Int. J. Mol. Sci**, [*s. l.*], v. 14, p. 7370–7390, 2013. Disponível em: www.mdpi.com/journal/ijms. Acesso em: 11 dez. 2021.

WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant. **New Phytologist**, [*s. l.*], v. 49, n. 1, p. 81–97, 1950. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x. Acesso em: 30 nov. 2021.

WEIMBERG, R.; LERNER, H. R.; POLJAKOFF-MAYBER, A. Changes in growth and water-soluble solute concentrations in Sorghum bicolor stressed with sodium and potassium salts. **Physiologia Plantarum**, [*s. l.*], v. 62, n. 3, p. 472–480, 1984. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1399-3054.1984.tb04605.x. Acesso em: 3 dez. 2021.

WESCHENFELDER, S. C. **Aplicação do custeio baseado em atividades na determinação do custo de produção de etanol a partir do sorgo sacarino em pequena unidade de produção**. 2011. - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011. Disponível em: http://repositorio.ufsm.br/handle/1/8229. Acesso em: 12 jan. 2023.

WORTMANN, C. S. *et al.* Dryland Performance of Sweet Sorghum and Grain Crops for Biofuel in Nebraska. **Agronomy Journal**, [*s. l.*], v. 102, n. 1, p. 319–326, 2010. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2009.0271. Acesso em: 1 nov. 2022.

YANG, Z. *et al.* Photosynthetic Regulation Under Salt Stress and Salt-Tolerance Mechanism of Sweet Sorghum. **Frontiers in Plant Science**, [*s. l.*], v. 10, p. 1722, 2020. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.01722/full. Acesso em: 3 dez. 2021.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C.; RICKETTS, R. E. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, [*s. l.*], v. 80, n. 948, p. 209–214, 1955. Disponível em: https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/1955/an/an9558000209. Acesso em: 28 dez. 2021.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, [*s. l.*], v. 57, n. 3, p. 508, 1954. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1269789/. Acesso em: 28 dez. 2021.

ZHANG, X. *et al.* C4 photosynthetic enzymes play a key role in wheat spike bracts primary carbon metabolism response under water deficit. **Plant Physiology and Biochemistry**, [*s. l.*], v. 142, p. 163–172, 2019. Disponível em: Acesso em: 1º jan. 2022.

ZHANG, L. M. *et al.* Sweet Sorghum Originated through Selection of Dry, a Plant-Specific NAC Transcription Factor Gene. **The Plant Cell**, [*s. l.*], v. 30, n. 10, p. 2286–2307, 2018. Disponível em: https://academic.oup.com/plcell/article/30/10/2286/6099342. Acesso em: 22 jun. 2022.