



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

LEONARDO VIEIRA DE SOUSA

**RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS EM SORGO SUBMETIDO AOS ESTRESSES  
SALINO E HÍDRICO**

MOSSORÓ

2023

LEONARDO VIEIRA DE SOUSA

**RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS EM SORGO SUBMETIDO AOS ESTRESSES  
SALINO E HÍDRICO**

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

Linha de Pesquisa: Nutrição e Irrigação

Orientador: José Francismar de Medeiros, Prof. Dr.

Coorientador: Glauber Henrique de Sousa Nunes, Prof. Dr.

Coorientador: Francisco Vanies da Silva Sá, Prof. Dr.

MOSSORÓ

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 nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 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.

SV658 SOUSA, LEONARDO VIEIRA DE.  
r RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS EM SORGO SUBMETIDO  
AOS ESTRESSES SALINO E HÍDRICO / LEONARDO VIEIRA  
DE SOUSA. - 2023.  
90 f. : il.

Orientador: José Francismar de Medeiros.  
Coorientador: Glauber Henrique de Sousa Nunes.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural  
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em  
Fitotecnia, 2023.

1. Sorghum bicolor L.. 2. Bioenergia. 3.  
Irrigação. 4. Trocas gasosas. 5. Salinidade.. I.  
Medeiros, José Francismar de, orient. II. Nunes,  
Glauber Henrique de Sousa , co-orient. III.  
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático 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.

LEONARDO VIEIRA DE SOUSA

**RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS EM SORGO SUBMETIDO AOS ESTRESSES  
SALINO E HÍDRICO**

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

Linha de Pesquisa: Nutrição e Irrigação

Defendida em: 27/07/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

José Francismar de Medeiros, Dr. (UFERSA)  
Orientador e Presidente

---

João Everthon da Silva Ribeiro, Dr. (UFERSA)  
Membro Examinador

---

Toshik Iarley da Silva, Dr. (UFCG)  
Membro Examinador

---

Dario Fernando Luna, Dr. (INTA)  
Membro Examinador

---

Dolores Angela Bustos, Dra. (INTA)  
Membro Examinador

*Aos meus pais, por sempre me incentivarem a buscar novos horizontes e terem ajudado na realização dos meus sonhos.*

*DEDICO*

*Ofereço à minha esposa e meus irmãos. Muito obrigado pelo apoio e incentivo.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, por ter me dado o dom da existência.

À UFERSA, pela oportunidade de participar do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro à Pesquisa.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) e Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), pela concessão das sementes de sorgo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, por todos os ensinamentos.

Ao meu orientador, Doutor José Francismar de Medeiros, pelos ensinamentos, paciência e pelas responsabilidades impostas a mim, as quais me ajudaram no desenvolvimento profissional.

Aos amigos que ajudaram na realização do trabalho Rodrigo, Vanessa, Gabi, Lucas, Darcio, Isabela, Jéssica e Elidayane.

A todos os funcionários do sítio Cumarú, pelo apoio na realização dos experimentos.

Agradeço também ao técnico do laboratório de Pós-colheita Gustavo pela grande ajuda na execução das análises pós-colheita.

À banca examinadora, composta pelos professores Dr. João Everthon da Silva Ribeiro e Dr. Toshik Iarley da Silva e os investigadores Dr. Dario Fernando Luna e Dra. Dolores Angela Bustos, pelas contribuições no trabalho.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. A todos, muito obrigado!

*“O sucesso e o amor preferem o corajoso”*

Ovídio (43 a.C. – 18 d.C.)

## RESUMO

Informações sobre os efeitos combinados dos estresses salino e hídrico ajudam a entender como o sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] se comporta sob condições de estresses abióticos em regiões semiáridas. Essas informações são importantes para o desenvolvimento de estratégias que reduzam os efeitos deletérios desses estresses abióticos nesta planta. Dessa forma, informações sobre a interação entre a salinidade da água de irrigação e déficit hídrico em plantas de sorgo são de grande importância. Entretanto, existem poucos trabalhos que relatam sobre os estresses salino e hídrico combinados nesta cultura. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a fisiologia e crescimento de três cultivares de sorgo cultivadas sob estresses hídrico e salino combinados em condições semiáridas. Quatro ensaios experimentais foram realizados entre os meses de setembro e dezembro de 2019 e 2020. Quatro condutividades elétricas da água de irrigação (1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e quatro lâminas de irrigação (51, 71, 90 e 118%; e 52, 66, 84 e 93% da evapotranspiração da cultura, para a primeira e segunda safra agrícola, respectivamente, para a cultivar ‘BRS Ponta Negra’), (53, 67, 85 e 94% da evapotranspiração da cultura, para a cultivar ‘BRS 509’) e (53, 67, 85 e 95% da evapotranspiração da cultura, para a cultivar ‘BRS 506’) foram estudadas. A tensão da água no solo, condutividade elétrica do extrato de saturação, açúcares, status hídrico foliar, trocas gasosas, crescimento e produção foram avaliados. A irrigação com águas salinas e déficit hídrico causaram aumentos na condutividade elétrica do extrato de saturação do solo. Além disso, causaram distúrbios nas trocas gasosas das cultivares de sorgo estudadas, principalmente a ‘BRS 509’. Entretanto, as três cultivares de sorgo (*S. bicolor*) estudadas apresentaram tolerância aos estresses salino e hídrico combinados, visto que o crescimento e produção não foram restringidos pelos estresses abióticos.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor* L. Bioenergia. Estresse hídrico. Estresse salino. Trocas gasosas.



## ABSTRACT

Information on the combined effects of salt and water stress helps to understand how sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) behaves under conditions of abiotic stress in semiarid regions. This information is important for the development of strategies that reduce the deleterious effects of these abiotic stresses on this plant. Thus, information on the interaction between irrigation water salinity and water deficit in sorghum plants is of great importance. However, there are few studies that report on the combined salt and water stress in this crop. Thus, the objective of this work was to evaluate the physiology and growth of three sorghum cultivars grown under combined water and salt stress in semiarid conditions. Four experimental trials were carried out between September and December 2019 and 2020. Four electrical conductivities of the irrigation water (1.5; 3.0; 4.5 and 6.0 dS m<sup>-1</sup>) and four irrigation depths (51, 71, 90 and 118%; and 52, 66, 84 and 93% of crop evapotranspiration, for the first and second crop seasons, respectively, for 'BRS Ponta Negra' cultivar), (53, 67, 85 and 94% of crop evapotranspiration, for 'BRS 509' cultivar) and (53, 67, 85 and 95% of crop evapotranspiration, for 'BRS 506' cultivar) were studied. Soil water tension, electrical conductivity of the saturation extract, sugars, leaf water status, gas exchange, growth and production were evaluated. Irrigation with saline water and water deficit caused increases in the electrical conductivity of the soil saturation extract. In addition, they caused disturbances in the gas exchange of the studied sorghum cultivars, mainly 'BRS 509'. However, the three sorghum cultivars (*S. bicolor*) studied showed tolerance to combined salt and water stress, since growth and yield were not restricted by abiotic stresses.

**Keywords:** *Sorghum bicolor* L. Bioenergy. Hydrical stress. Salt stress. Gas exchange.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1 – Localização geográfica do sítio Cumaru, Upanema, Rio Grande do Norte, Brasil.....23
- Figura 2 – Condições climáticas de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) durante o período de condução dos experimentos.....24
- Figura 3 – Evapotranspiração de referência –  $E_{To}$ , evapotranspiração da cultura –  $E_{Tc}$  e coeficiente da cultura –  $K_c$  durante a primeira (A) e segunda safra agrícola (B).....27
- Figura 4 – Tensões da água no solo (médias de 15 a 30 cm) para a combinações: CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup> com 51; 71; 90 e 118% da  $E_{Tc}$  (A), CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup> com 52; 66; 84 e 93% da  $E_{Tc}$  (B), CEas de 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup> com 90% da  $E_{Tc}$  (C), CEas de 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup> com 84% da  $E_{Tc}$  (D), CEa de 6,0 dS m<sup>-1</sup> com 51; 71; 90 e 118% da  $E_{Tc}$  (E) e CEa de 6,0 dS m<sup>-1</sup> com 52; 66; 84 e 93% da  $E_{Tc}$  (F) em duas safras agrícolas (2019 e 2020) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’ .....30
- Figura 5 – Condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) em função de condutividades elétricas da água de irrigação – CEa para duas safras agrícolas (2019 e 2020) (A) e em função de lâminas de irrigação –  $E_{Tc}$  para a primeira safra agrícola (B) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’ .....32
- Figura 6 – Temperatura da folha – TF (A, B) e déficit de pressão de vapor – DPV (C, D) para duas safras agrícolas (2019 e 2020) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação ( $E_{Tc}$ ) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’ .....34
- Figura 7 – Condutância estomática –  $g_s$  (A, B), taxa de transpiração –  $E$  (C, D) e taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> –  $A$  (E, F) para as duas safras agrícolas (2019 e 2020) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação ( $E_{Tc}$ ) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’ .....36
- Figura 8 – Eficiência do uso da água – EUA (A, B) e eficiência intrínseca do uso da água –  $E_{iUA}$  (C, D) para as duas safras agrícolas (2019 e 2020) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação ( $E_{Tc}$ ) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’ .....37

Figura 9	–	Altura de plantas na primeira safra agrícola (A), altura de plantas e altura do colmo na segunda safra agrícola (B, C) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS Ponta Negra’.....	40
Figura 10	–	Altura do colmo e teor de massa seca da folha na primeira safra agrícola (A e B) e teor de massa seca do colmo na segunda safra agrícola (C) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS Ponta Negra’.....	41
Figura 11	–	Altura do colmo (A), massa seca total (B) e rendimento de massa fresca (C) na primeira safra agrícola em função de lâminas de irrigação (ETc) em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS Ponta Negra’.....	42

## CAPÍTULO II

Figura 1	–	Localização geográfica do sítio Cumaru e características climáticas de temperatura e umidade relativa do ar durante os meses de condução do experimento.....	55
Figura 2	–	Evapotranspiração de referência medida (EToMed), evapotranspiração média regional (EToReg), evapotranspiração da cultura estimada (ETc) e lâminas de irrigação (53, 67, 85 e 94% da ETc) aplicadas no ciclo do sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS 509’.....	57
Figura 3	–	Dano de membrana (A) e conteúdo relativo de água (B) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS 509’.....	60
Figura 4	–	Condutância estomática ( $g_s$ - A), taxa de transpiração ( $E$ - B), taxa de assimilação de $CO_2$ (A - C), eficiência do uso da água (EUA - D) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA - E) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo sacarino ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS 509’.....	62
Figura 5	–	Massa seca da raiz (A) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa), altura de plantas (B) e altura de colmo (C) em função de lâminas de irrigação (ETc) em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS 509’.....	64

## CAPÍTULO III

Figura 1	–	Localização da área experimental do sítio Cumaru, Upanema, Rio Grande do Norte, Brasil.....	75
----------	---	---	----

Figura 2	–	Condições climáticas de temperatura e umidade relativa do ar durante o período de realização do ensaio experimental.....	76
Figura 3	–	Temperatura da folha (A), eficiência do uso da água (B) e eficiência intrínseca do uso da água (C) em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS 506’.....	82
Figura 4	–	Açúcares totais em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS 506’.....	83
Figura 5	–	Altura de plantas (A) e altura do colmo (B) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS 506’.....	84

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

Tabela 1	–	Características físicas e químicas do solo da área experimental na profundidade de 0–20 cm dos ensaios experimentais.....	25
Tabela 2	–	Composição das águas utilizadas para a irrigação dos ensaios experimentais.....	26
Tabela 3	–	Resumo da análise de variância (ANOVA) para temperatura da folha (TF), déficit de pressão de vapor (DPV), condutância estomática ( <i>g<sub>s</sub></i> ), taxa de transpiração ( <i>E</i> ), taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> ( <i>A</i> ), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) em função das lâminas de irrigação (ETc) e condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) para duas safras agrícolas em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS Ponta Negra’.....	33
Tabela 4	–	Resumo da análise de variância (ANOVA) para altura de plantas (AP), altura do colmo (AC), teor de massa seca da folha (TMSF), teor de massa seca do colmo (TMSC), massa seca total (MST) e rendimento de massa fresca (RMF) em função das lâminas de irrigação (ETc) e condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) para duas safras agrícolas em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS Ponta Negra’.....	39

### CAPÍTULO II

Tabela 1	–	Características químicas e físicas do solo da área experimental.....	56
Tabela 2	–	Características químicas das águas utilizadas na irrigação do experimento.....	58
Tabela 3	–	Resumo da análise de variância (ANOVA) para dano de membrana (DM), conteúdo relativo de água (CRA), condutância estomática ( <i>g<sub>s</sub></i> ), taxa de transpiração ( <i>E</i> ), taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> ( <i>A</i> ), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS 509’.....	60
Tabela 4	–	Resumo da análise de variância (ANOVA) para altura de plantas (AP), altura do colmo (AC), área foliar (AF), massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa seca da inflorescência (MSI), massa seca da	

raiz (MSR) e massa seca total (MST) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS 509’ .....63

### CAPÍTULO III

Tabela 1	– Características químicas das águas utilizadas na irrigação do experimento.....	77
Tabela 2	– Resumo da análise de variância (ANOVA) para temperatura da folha (TF), déficit de pressão de vapor (DPV), condutância estomática ( <i>gs</i> ), taxa de transpiração ( <i>E</i> ), taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> ( <i>A</i> ), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS 506’.....	81
Tabela 3	– Resumo da análise de variância (ANOVA) para dano de membrana (DM), conteúdo relativo de água (CRA), açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR), açúcares não redutores (ANR) e amido (AMI) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS 506’.....	82
Tabela 4	– Resumo da análise de variância (ANOVA) para altura de plantas (AP), altura do colmo (AC), massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) ‘BRS 506’.....	83

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	16
REFERÊNCIAS .....	17
CAPÍTULO I: ASPECTOS MORFOFISIOLÓGICOS EM SORGO [ <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench] ‘BRS PONTA NEGRA’ CULTIVADO SOB ESTRESSE SALINO E HÍDRICO...	21
1. INTRODUÇÃO.....	22
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3. RESULTADOS .....	29
4. DISCUSSÃO .....	42
5. CONCLUSÕES .....	45
REFERÊNCIAS .....	46
CAPÍTULO II: ESTRESSES SALINO E HÍDRICO IMPACTAM AS TROCAS GASOSAS E CRESCIMENTO DE SORGO SACARINO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO .....	52
1. INTRODUÇÃO.....	53
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	54
3. RESULTADOS .....	59
4. DISCUSSÃO.....	64
5. CONCLUSÕES .....	67
REFERÊNCIAS .....	67
CAPÍTULO III: EFEITOS DOS ESTRESSES SALINO E HÍDRICO EM SORGO SACARINO.....	73
1. INTRODUÇÃO.....	74
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	75
3. RESULTADOS .....	80
4. DISCUSSÃO .....	84
5. CONCLUSÕES .....	85
REFERÊNCIAS .....	86

## INTRODUÇÃO GERAL

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma planta C4, pertencente à família Poaceae que é cultivada principalmente em regiões áridas e semiáridas do planeta (DESHPANDE et al., 2016; KAZUNGU et al., 2023). Cerca de 500 milhões de pessoas em todo o mundo se alimentam de sorgo como parte de sua dieta (MCGINNIS; PAINTER, 2020). O sorgo tem se caracterizado como uma planta de fácil adaptação a diversos ambientes, apresentando alta produtividade de biomassa e cultivo em climas tropicais e subtropicais (MCCORMICK et al., 2018).

A principal utilização do sorgo é para a alimentação humana, principalmente em regiões semiáridas da África e Ásia (SRIHARI et al., 2023), sendo também de grande importância para a alimentação animal (LIU et al., 2023). Os grãos de sorgo são ricos em minerais e vitaminas do complexo B, magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K), fósforo (P), ferro (Fe), zinco (Zn) e sódio (Na), apresentando-se como uma excelente fonte de proteínas, fibras e antioxidantes (XIONG et al., 2019; ABAH et al., 2020). Além disso, nos últimos anos, vem sendo utilizado como fonte para a produção de biocombustível em países desenvolvidos como Austrália, Estados Unidos e México (MUNDIA et al., 2019).

Na região Nordeste do Brasil o sorgo vem ganhando cada vez mais destaque pela sua capacidade de ser utilizado de diferentes formas, sendo as principais: utilização para alimentação animal, através de silagem ou pastejo, e como matéria prima para a produção de biocombustível (COSTA; MEDEIROS, 2017; BATISTA et al., 2018).

A maior parte da região do Nordeste brasileiro, apresenta condições semiáridas, sendo caracterizada pela distribuição irregular de precipitações pluviométricas, acarretando escassez hídrica (ANDRADE et al., 2016). Associado a isso, à alta evapotranspiração contribui para diminuição da disponibilidade hídrica, reduzindo a qualidade da água para a produção agrícola, pelas altas concentrações de sais em sua composição (TIBÚRCIO et al., 2023).

O cultivo de sorgo está em expansão no Brasil e no mundo, devido sua alta produtividade e capacidade de utilizar a água de forma eficiente, mesmo sob condições adversas (HUANG et al., 2018; JARDIM et al., 2020). Essa cultura possui a capacidade de se aclimatar ou adaptar às condições de estresses abióticos existentes em regiões áridas e semiáridas, que muitas vezes possuem condições limitantes para a agricultura como salinidade e déficit hídrico (MURUNGWENI et al., 2016; MOTSI et al., 2022).

Os estresses salino e hídrico, na maioria das vezes, ocasionam desequilíbrios, principalmente nas funções fisiológicas e bioquímicas das plantas, provocando o fechamento



dos estômatos e limitações na concentração interna de CO<sub>2</sub>, afetando diretamente os processos de fotossíntese (QAYYUM et al., 2021; RAJARAJAN et al., 2021; DOURADO et al., 2022). Assim, estes estresses tem efeitos diretos na redução do potencial produtivo das plantas de sorgo.

Os principais fatores responsáveis pela inibição do crescimento das plantas sob condições de estresses salino e hídrico são os efeitos osmóticos, que reduzem a absorção de água pelas plantas, além do excesso de íons tóxicos causados pela salinidade, que entram no fluxo de transpiração e, causam injúrias, reduzindo a absorção de elementos essenciais e ocasionando a diminuição do crescimento vegetal (MUNNS; TESTER, 2008).

Entretanto, a cultura do sorgo tem a capacidade de se desenvolver sob os estresses salino e hídrico. Geralmente, as plantas de sorgo apresentam mecanismos de ajustes que possibilitam a produção, mesmo sob condições estressantes. Podendo ser através da tolerância, que está relacionada aos fatores genéticos e bioquímicos das plantas, além do escape, caracterizado pela capacidade que a planta tem de alongar seu sistema radicular, para tornar mais eficiente a absorção de água e nutrientes (HARRIS-SHULTZ et al., 2019; WAGAW et al., 2019; MANSOUR et al., 2021; STEFANOV et al., 2023). Os efeitos na fisiologia e crescimento causados pelos estresses abióticos (salino e hídrico), em geral variam de acordo com condições específicas, como intensidade e duração, além de fatores genéticos das plantas (CHALLABATHULA et al., 2022).

Dessa forma, é de grande importância informações sobre a interação entre a salinidade da água de irrigação e déficit hídrico em plantas de sorgo. Entretanto, existem poucos trabalhos na literatura que relatam os estresses salino e hídrico combinados nesta cultura. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a fisiologia e crescimento de três cultivares de sorgo (*S. bicolor*) submetidas aos estresses hídrico e salino combinados em condições semiáridas.

## REFERÊNCIAS

- ABAH, C. R.; ISHIWU, C. N.; OBIGBUNA, J. E.; OLADEJO, A. A. Sorghum grains: nutritional composition, functional properties and its food applications. **European Journal of Nutrition & Food Safety**, v. 12, n. 5, p. 101-111, 2020.
- ANDRADE, E. M.; SENA, M. G. T.; SILVA, A. G. R.; PEREIRA, F. J. S.; LOPES, F. B. Incertezas do regime de chuvas em uma região tropical semiárida: o caso do estado do Ceará. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 2, p. 88-95, 2016.

BATISTA, V. A. P.; BATISTA, V. Z. P.; PIMENTEL, L. D.; BARROS, A. F.; MOREIRA, T. D. S.; DIAS, L. A. D. S. Produção de açúcares no caldo de sorgo sacarino avaliado em duas épocas de corte. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 263-273, 2018.

CHALLABATHULA, D.; ANALIN, B.; MOHANAN, A.; BAKKA, K. Differential modulation of photosynthesis, ROS and antioxidant enzyme activities in stress-sensitive and-tolerant rice cultivars during salinity and drought upon restriction of COX and AOX pathways of mitochondrial oxidative electron transport. **Journal of Plant Physiology**, v. 268, p. 153583, 2022.

COSTA, A. R. F. C.; MEDEIROS, J. F. Água salina como alternativa para irrigação de sorgo para geração de energia no Nordeste brasileiro. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 6, n. 3, p. 169-177, 2017.

DESHPANDE, S.; RAKSHIT, S.; MANASA, K. G.; PANDEY, S.; GUPTA, R. Genomic approaches for abiotic stress tolerance in Sorghum. **The Sorghum Genome**, p. 169-187, 2016.

DOURADO, P. R. M.; SOUZA, E. R.; SANTOS, M. A. D.; LINS, C. M. T.; MONTEIRO, D. R.; PAULINO, M. K. S. S.; SCHAFFER, B. Stomatal regulation and osmotic adjustment in sorghum in response to salinity. **Agriculture**, v. 12, n. 5, p. 658, 2022.

HARRIS-SHULTZ, K. R.; HAYES, C. M.; KNOLL, J. E. Mapping QTLs and identification of genes associated with drought resistance in sorghum. **Sorghum: Methods and Protocols**, v. 1931, p. 11-40, 2019.

HUANG, R. Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 4, p. 739-746, 2018.

JARDIM, A. M. D. R. F.; SILVA, G. Í. N.; BIESDORF, E. M.; PINHEIRO, A. G.; SILVA, M. V.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; SANTOS, A.; ALVES, H. K. M. N.; SOUZA, M. S.; MORAIS, J. E. F.; ALVES, C. P.; SILVA, T. G. F. Potencial produtivo da cultura do *Sorghum bicolor* (L.) Moench no Semiárido brasileiro. **Pubvet**, v. 14, n. 4, p. 1-13, 2020.

KAZUNGU, F. K.; MUINDI, E. M.; MULINGE, J. M. Overview of Sorghum (*Sorghum bicolor* L), its Economic Importance, Ecological Requirements and Production Constraints in Kenya. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 35, n. 1, p. 62-71, 2023.

LIU, J.; WU, Y.; DONG, G.; ZHU, G.; ZHOU, G. Progress of research on the physiology and molecular regulation of sorghum growth under salt stress by gibberellin. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 7, p. 6777, 2023.

MANSOUR, M. M. F.; EMAM, M. M.; SALAMA, K. H. A.; MORSY, A. A. Sorghum under saline conditions: Responses, tolerance mechanisms, and management strategies. **Planta**, v. 254, p. 1-38, 2021.

MCCORMICK, R. F.; TRUONG, S. K.; SREEDASYAM, A.; JENKINS, J.; SHU, S.; SIMS, D.; KENNEDY, M.; AMIREBRAHIMI, M.; WEERS, B. D.; MCKINLEY, B.; MATTISON, A.; MORISHIGE, D. T.; GRIMWOOD, J.; SCHMUTZ, J. MULLET, J. E. The Sorghum bicolor reference genome: improved assembly, gene annotations, a transcriptome atlas, and signatures of genome organization. **The Plant Journal**, v. 93, n. 2, p. 338-354, 2018.

MCGINNIS, M. J.; PAINTER, J. E. Sorghum: History, use, and health benefits. **Nutrition Today**, v. 55, n. 1, p. 38-44, 2020.

MOTSI, H.; MOLAPO, M.; PHIRI, E. E. A review on sweet sorghum adaptive capacity on improving food security and poverty alleviation in sub-Saharan Africa. **South African Journal of Botany**, v. 150, p. 323-329, 2022.

MUNDIA, C. W.; SECCHI, S.; AKAMANI, K.; WANG, G. A regional comparison of factors affecting global sorghum production: The case of North America, Asia and Africa's Sahel. **Sustainability**, v. 11, n. 7, p. 2135, 2019.

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

MURUNGWENI, C.; VAN WIJK, M. T.; SMALING, E. M. A.; GILLER, K. E. Climate-smart crop production in semi-arid areas through increased knowledge of varieties, environment and management factors. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 105, p. 183-197, 2016.

QAYYUM, A.; AL AYOUBI, S.; SHER, A.; BIBI, Y.; AHMAD, S.; SHEN, Z.; JENKS, M. A. Improvement in drought tolerance in bread wheat is related to an improvement in osmolyte production, antioxidant enzyme activities, and gaseous exchange. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 9, p. 5238-5249, 2021.

RAJARAJAN, K.; GANESAMURTHY, K.; RAVEENDRAN, M.; JEYAKUMAR, P.; YUVARAJA, A.; SAMPATH, P.; PRATHIMA, P. T.; SENTHILRAJA, C. Differential responses of sorghum genotypes to drought stress revealed by physio-chemical and transcriptional analysis. **Molecular Biology Reports**, v. 48, p. 2453-2462, 2021.

SRIHARI, P.; MEHERA, B.; SWAROOP, B. T.; KUMAR, P. Effect of Iron and Silicon on Growth and Yield of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 13, n. 7, p. 630-636, 2023.

STEFANOV, M. A.; RASHKOV, G. D.; YOTSOVA, E. K.; BORISOVA, P. B.; DOBRIKOVA, A. G.; APOSTOLOVA, E. L. Protective Effects of Sodium Nitroprusside on Photosynthetic Performance of *Sorghum bicolor* L. under Salt Stress. **Plants**, v. 12, n. 4, p. 832, 2023.

TIBÚRCIO, I. M.; SILVEIRA, N. T.; SANTOS, T. O.; MIRANDA, R. Q.; GALVÍNIO, J. D. Balanço Hídrico e Mudanças Climáticas no Semiárido Pernambucano: aplicabilidade do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 03, p. 1657-1670, 2023.

WAGAW, K. Review on mechanisms of drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) basis and breeding methods. **Academic Research Journal of Agricultural Science and Research**, v. 7, n. 2, p. 87-99, 2019.

XIONG, Y.; ZHANG, P.; WARNER, R. D.; FANG, Z. Sorghum grain: From genotype, nutrition, and phenolic profile to its health benefits and food applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 6, p. 2025-2046, 2019.

## CAPÍTULO I

### ASPECTOS MORFOFISIOLÓGICOS EM SORGO [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] 'BRS PONTA NEGRA' CULTIVADO SOB ESTRESSE SALINO E HÍDRICO

#### RESUMO

Informações sobre os efeitos combinados dos estresses salino e hídrico ajudam a entender como o sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] se comporta sob condições de estresses abióticos. Essas informações são de grande importância para o desenvolvimento de estratégias para mitigação dos efeitos adversos desses estresses abióticos nesta cultura. O objetivo deste estudo foi avaliar as trocas gasosas, crescimento e produção em sorgo (*S. bicolor*) 'BRS Ponta Negra' submetido aos estresses salino e hídrico em condições semiáridas. Dois ensaios experimentais foram realizados entre os meses de setembro e dezembro de 2019 e 2020. Quatro condutividades elétricas da água de irrigação (1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e quatro lâminas de irrigação (51, 71, 90 e 118%; e 52, 66, 84 e 93% para a primeira e segunda safra agrícola, respectivamente) foram estudadas. A tensão da água no solo, condutividade elétrica do extrato de saturação, trocas gasosas, crescimento e produção foram avaliados. Os estresses salino e hídrico causaram limitações nas trocas gasosas, crescimento e produção do sorgo. Entretanto, os resultados sugerem que a cultivar de sorgo estudado 'BRS Ponta Negra' expressa tolerância aos estresses abióticos, com baixas reduções principalmente no crescimento e produção. A disponibilidade hídrica para as plantas foi reduzida sob o estresse hídrico combinado com a irrigação com águas salinas. Além disso, a irrigação com águas salinas, assim como a irrigação com déficit hídrico causaram aumentos na condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

**Palavras-chave:** Estresses abióticos. Salinidade. Trocas gasosas. Crescimento vegetal.

### MORPHOPHYSIOLOGICAL ASPECTS IN SORGHUM (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) 'BRS PONTA NEGRA' GROWN UNDER SALT AND WATER STRESS

#### ABSTRACT

Information on the combined effects of salt and water stress helps to understand how sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) behaves under conditions of abiotic stress. This information is of great importance for the development of strategies to mitigate the adverse effects of these abiotic stresses on this crop. The aim of this study was to evaluate gas exchange, growth and production in sorghum (*S. bicolor*) 'BRS Ponta Negra' subjected to salt and water stress in semiarid conditions. Two experimental trials were carried out between September and December 2019 and 2020. Four electrical conductivities of the irrigation water (1.5; 3.0; 4.5 and 6.0 dS m<sup>-1</sup>) and four irrigation depths (51, 71, 90 and 118%; and 52, 66, 84 and 93% for the first and second agricultural seasons, respectively) were studied. Soil water tension, electrical conductivity of the saturation extract, gas exchange, growth and production were evaluated. Salt and water stress caused limitations in gas exchange, growth and production of sorghum. However, the results suggest that the studied sorghum cultivar 'BRS Ponta Negra' expresses tolerance to abiotic stresses, with low reductions mainly in growth and production. Plant water availability was reduced under water stress combined with saline water irrigation. Furthermore, irrigation with saline water, as well as irrigation with water deficit, caused increases in the electrical conductivity of the soil saturation extract.

**Keywords:** Abiotic stresses. Salinity. Gas exchange. Plant growth.

## 1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo, sendo amplamente cultivada na África, Ásia, Oceania e Américas (PROIETTI et al., 2015; SRIHARI et al., 2023). Ela é uma planta C4 da família Poaceae, servindo como um importante alimento para o consumo humano, forragem para animais e produção de bioenergia (LIU et al., 2023; KAZUNGU et al., 2023).

Existem diferentes cultivares de sorgo para diferentes aptidões, como sorgo granífero, forrageiro, sacarino e vassoura (ANANDA et al., 2020). Para a região Nordeste do Brasil, a cultivar ‘BRS Ponta Negra’ tem sido recomendada para produção de forragem, apresentando também alto rendimento de grãos (LIRA et al., 2022). Essa cultura agrícola possui excelentes características de tolerância a diferentes estresses abióticos, como estresses salino e hídrico, além de adaptabilidade a diferentes tipos de solos (LIU et al., 2023).

Diversos obstáculos para a produção agrícola são observados em regiões semiáridas. Dentre os principais desafios, se destacam a seca, causada pela irregularidade das precipitações pluviométricas, o que acarreta em algumas regiões a utilização de águas para irrigação com altos teores de sais em suas composições (ASHRAF et al., 2017; COELHO et al., 2018; QUEIROZ et al., 2023). Os estresses salino e hídrico se comportam de maneira similar, afetando negativamente as funções fisiológicas das plantas, resultando na redução do potencial osmótico da solução do solo, que diminui a disponibilidade de água para as plantas (AL-SHOAIBI, 2020; JANGRA et al., 2022; ORTIZ; SALAS-FERNANDEZ, 2022).

Além disso, esses estresses impedem que as raízes das plantas absorvam água e nutrientes com eficácia, prejudicando as células, tecidos e órgãos, retardando o metabolismo e inibindo o crescimento, o que resulta na diminuição dos rendimentos das plantas cultivadas. Ademais, sob condições de estresses abióticos extremos, as plantas podem não sobreviver (SHABALA et al., 2014; ALI et al., 2021; DOURADO et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2022).

Pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de avaliar os efeitos dos estresses salino e hídrico no cultivo do sorgo. Alguns autores relataram que as trocas gasosas, crescimento e rendimento são afetados pelo estresse salino (SILVA et al., 2019; DOURADO et al., 2022; JANGRA et al., 2022) e hídrico (AVILA et al., 2020; MARTÍNEZ-GOÑI et al., 2022; SILVA et al., 2023) em plantas de sorgo, podendo haver diferentes respostas para diferentes cultivares (GUIMARÃES et al., 2020).

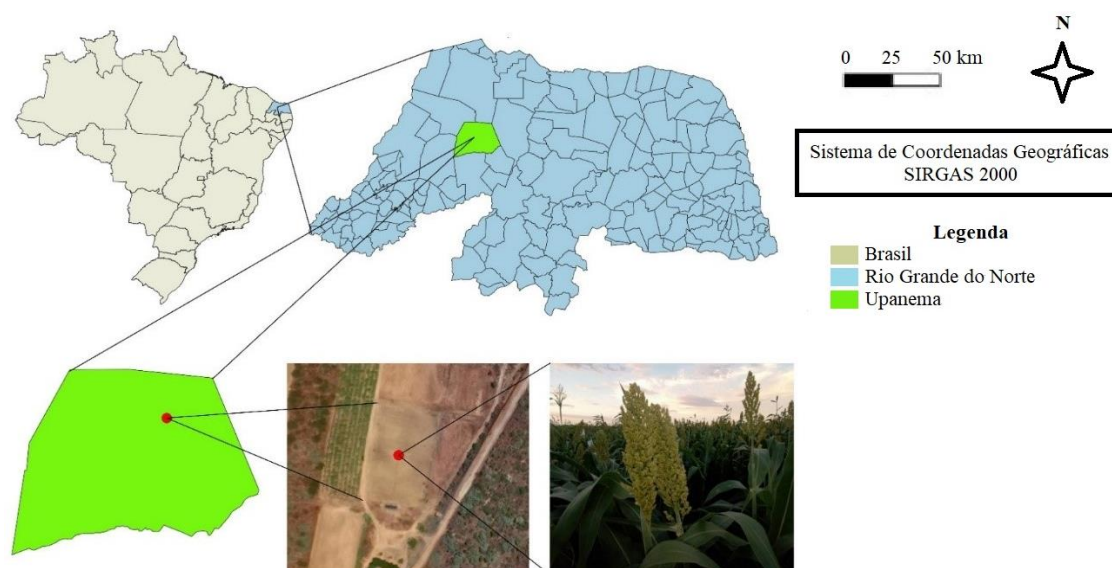
De modo geral, os resultados têm mostrado efeitos deletérios dos estresses salino e hídrico sobre a fisiologia e o crescimento em sorgo. Entretanto, não existem muitos trabalhos na literatura avaliando esses dois estresses abióticos combinado nesta cultura (QUEIROZ et al., 2023; SILVA et al., 2023). Informações sobre os efeitos combinados dos estresses salino e hídrico ajudam a entender como o sorgo se comporta sob diferentes condições, sendo de fundamental importância para o desenvolvimento de estratégias que mitiguem os efeitos adversos dos estresses abióticos nas plantas em regiões semiáridas.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar as trocas gasosas, crescimento e rendimento em sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) ‘BRS Ponta Negra’ submetido aos estresses salino e hídrico, em duas safras agrícolas, em condições semiáridas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### Localização da área experimental

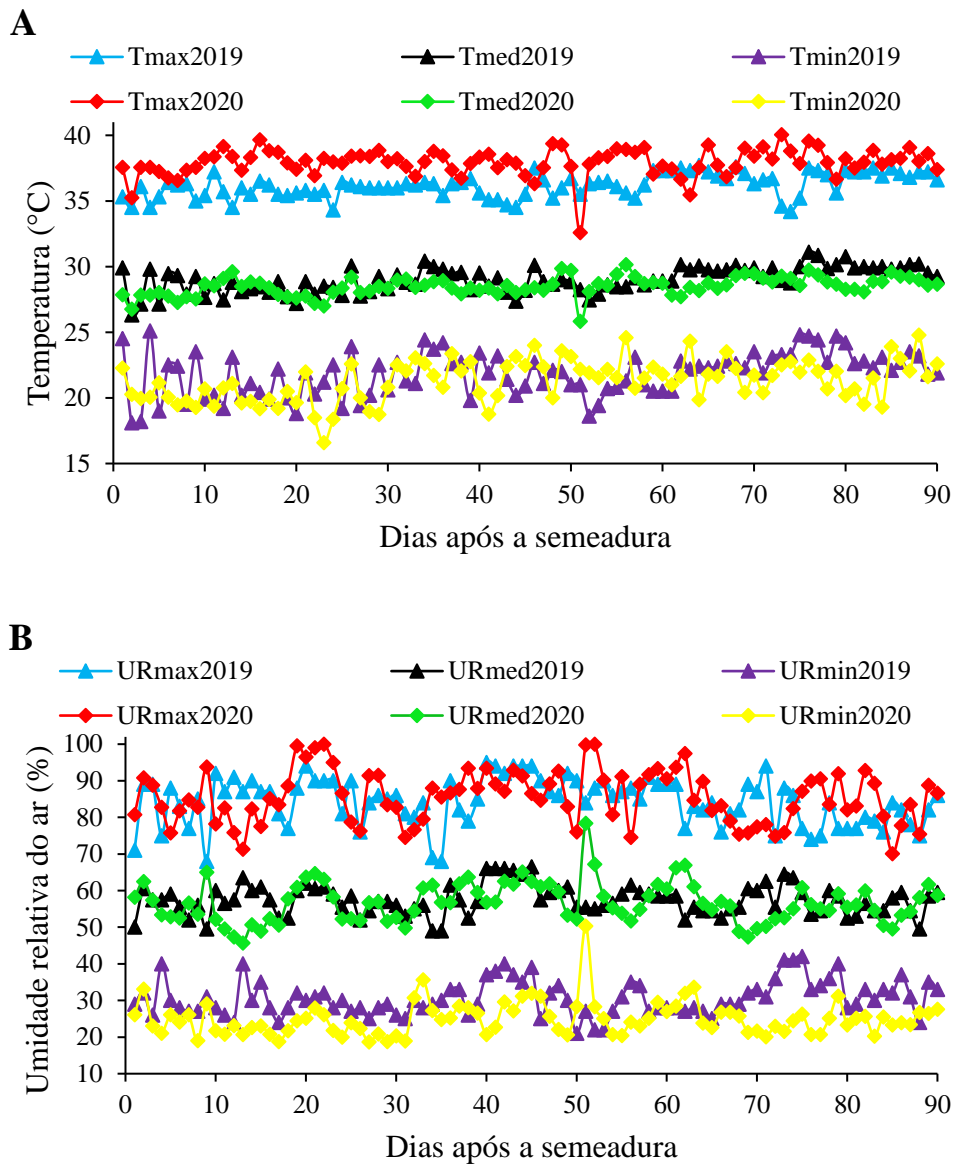
Dois ensaios experimentais foram realizados entre setembro e dezembro de 2019 (primeira safra) e 2020 (segunda safra). Os experimentos foram conduzidos em campo na mesma área experimental (05° 33' 30" S e 37° 11' 56" O, altitude de 110 m), localizada no sítio Cumarú, zona rural do Município de Upanema, Rio Grande do Norte, Brasil (Figura 1).



**Figura 1.** Localização geográfica do sítio Cumarú, Upanema, Rio Grande do Norte, Brasil.

O clima segundo a classificação de Köppen é BSw<sup>h</sup>, ou seja, quente e seco caracterizando como clima tropical semiárido muito quente (ALVARES et al., 2013). Durante os meses de realização dos experimentos os dados climáticos foram coletados através de uma estação meteorológica instalada ao lado dos experimentos. As condições climáticas

apresentaram temperatura média de 29 °C (Figura 2A) e umidade relativa média do ar de 60% (Figura 2B).



**Figura 2.** Condições climáticas de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) durante o período de condução dos experimentos.

### Caracterização do solo, preparo da área e fertilização

O solo da área de estudo é classificado como Cambissolo (SANTOS et al., 2018). Amostras compostas de solo foram coletadas antes da instalação dos ensaios experimentais para análises físicas e químicas (Tabela 1).



**Tabela 1.** Características físicas e químicas do solo da área experimental na profundidade de 0–20 cm dos ensaios experimentais.

Características físicas		2019 e 2020	
Areia	%	78	
Silte	%	6	
Argila	%	16	
Características químicas		2019	2020
P	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,02	0,05
K <sup>+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,51	0,20
Na <sup>+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,10	1,11
Ca <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7,70	7,00
Mg <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,60	1,91
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	8,91	10,22
pH	H <sub>2</sub> O (1:2,5)	8,10	7,56
CEes	dS m <sup>-1</sup>	0,07	0,57
Matéria orgânica	g kg <sup>-1</sup>	6,90	6,00

P: fósforo; K<sup>+</sup>: potássio; Na<sup>+</sup>: sódio; Ca<sup>2+</sup>: cálcio; Mg<sup>2+</sup>: magnésio SB: soma de bases; pH: potencial hidrogeniônico; e CEes: condutividade elétrica do extrato de saturação.

Para as duas safras agrícolas o preparo do solo foi realizado antes da instalação dos experimentos consistindo de aração seguida de gradagem com adubações sendo feitas de acordo com as recomendações de adubação do Estado de Pernambuco (CAVALCANTI et al., 2008), baseada na análise de fertilidade do solo e das exigências nutricionais para a cultura do sorgo.

Para a primeira safra agrícola (2019), realizou-se uma adubação de fundação com 180 kg ha<sup>-1</sup> de MAP (10-50-00). Além disso, aplicou-se na fertirrigação 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando-se como fonte a ureia, e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, usando como fertilizante o KCl. Os fertilizantes foram aplicados em três doses iguais aos 21, 28 e 35 dias após o plantio.

Já para a segunda safra (2020), para a adubação de fundação foram usados 104 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 22 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando-se MAP como fonte. Enquanto que, para a adubação de cobertura, via fertirrigação, foram aplicados 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, utilizando-se como fonte cloreto de potássio e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, tendo como fonte ureia.

### Material vegetal e delineamentos experimentais

A cultivar de sorgo utilizado em ambos os ensaios experimentais foi a ‘BRS Ponta Negra’. Essa cultivar é amplamente cultivada no Nordeste brasileiro, para forragem, possuindo ciclo médio de 85 a 95 dias para atingir ponto de ensilagem. Entre as principais características

agronômicas dessa cultivar, destaca-se, tolerância à seca, porte alto, resistência ao acamamento, panícula semiaberta e presença de tanino (SANTOS et al., 2021).

Para a primeira safra (ano de 2019), foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 4 x 4, com 4 condutividades elétricas da água de irrigação (CEa – 1,5; 3,0; 4,5; e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e 4 lâminas de irrigação (–% da ETc estimada segundo Allen et al. (2006), sendo 51; 71; 90 e 118%), com 3 repetições, formando 16 tratamentos, totalizando 48 parcelas experimentais.

Para a segunda safra (ano de 2020) o delineamento também foi em DBC, em esquema fatorial (4 x 4), sendo o primeiro fator referente as condutividades elétricas da água de irrigação – CEa (1,5; 3,0; 4,5; e 6,0 dS m<sup>-1</sup>), e o segundo referente às lâminas de irrigação – % da ETc (52, 66, 84 e 93). Utilizou-se dois blocos com duas repetições dentro dos blocos, constituindo-se em 16 tratamentos e 64 parcelas experimentais.

### Aplicação dos estresses salino e hídrico

Para os dois ensaios experimentais a aplicação do estresse salino foi composta por quatro condutividades elétricas da água de irrigação (CEa – 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>). A CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup> foi proveniente de poço tubular, e a água com maior salinidade (6,0 dS m<sup>-1</sup>) foi definida com base na tolerância à salinidade da cultura do sorgo para produtividade próxima a 50% de seu potencial produtivo (AYERS; WESTCOT, 1999). Os outros dois níveis foram 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>, correspondendo aos pontos intermediários e equidistantes dos dois extremos.

Para a obtenção dos três maiores níveis de salinidade, foram preparadas soluções-estoque na concentração de 200 g L<sup>-1</sup> de NaCl (3,42 mM), CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O (1,36 mM) e MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (0,81 mM) e quantidades adicionadas da solução estoque, de modo que a proporção final foi de 6,3:2,7:1 de Na, Ca e Mg, o que representa a composição média das águas mais salinas da região de exploração do Aquífero Calcário Jandaíra (SILVA JÚNIOR et al., 1999) (Tabela 2).

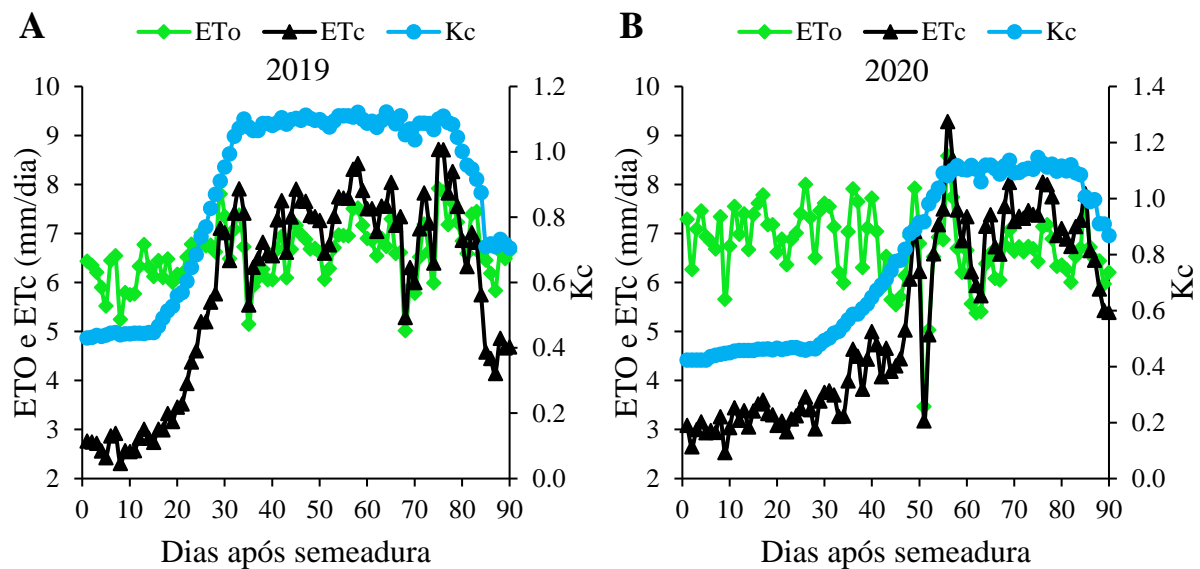
**Tabela 2.** Composição das águas utilizadas para a irrigação dos ensaios experimentais.

CE	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
dS m <sup>-1</sup>	-----			cmol <sub>c</sub>	-----		
1,5	0,12	5,0	4,0	1,0	0,2	7,0	8,1
3,0	0,12	19,0	4,0	1,5	0,8	6,9	22,1
4,5	0,12	28,5	6,0	2,3	1,4	6,9	35,6
6,0	0,12	38,0	8,0	3,0	2,2	6,8	49,1

CE: condutividade elétrica da água de irrigação; K<sup>+</sup>: potássio; Na<sup>+</sup>: sódio; Ca<sup>2+</sup>: cálcio; Mg<sup>2+</sup>: magnésio; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: sulfatos; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: bicarbonatos; Cl<sup>-</sup>: cloro.

As lâminas de irrigação foram calculadas através da evapotranspiração da cultura (ETc) para o sorgo, sendo utilizadas quatro lâminas de irrigação. Para a primeira safra (2019) foram utilizadas as lâminas de irrigação de 51; 71; 90 e 118% da ETc, enquanto para a segunda safra (2020) foram utilizadas as lâminas correspondentes a 52, 66, 84 e 93% da ETc. A ETc foi estimada diariamente a partir da estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006), e o coeficiente da cultura diário (Kc), determinado pelo método do Kc dual (Figura 3). A explicação para a maior lâmina de irrigação em 2020 ter ficado inferior a ETc foi devido neste ano os valores de ETo medidos ter superado os valores climatológicos, mas se constatou pelas medidas da tensão da água no solo, a maior lâmina de irrigação proporcionou umidade do solo sempre próximo a capacidade de campo, demonstrando ausência de estresse hídrico para este nível de irrigação.

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento e adotou-se uma eficiência de 95% para o cálculo da lâmina total padrão. Para a obtenção das diferentes lâminas, foram utilizadas fitas de gotejamento espaçadas entre linhas de 1,65 m, com diferentes espaçamentos entre emissores (20, 30, 40 cm) e vazões (1,69; 1,65; 3,46 e 3,90 L h<sup>-1</sup>), para fornecer vazões por metro linear proporcionais às lâminas requeridas. Nos dois experimentos as aplicações dos estresses hídricos foram iniciadas no sétimo dia após a semeadura (DAS), enquanto que os estresses salinos foram iniciados aos 11 e 21 DAS, em 2019 e 2020, respectivamente. O maior comprimento da fase fenológica inicial e o atraso da aplicação das diferentes salinidades em 2020, deu-se pela dificuldade de se estabelecer a cultura, realizando-se dois replantios.



**Figura 3.** Evapotranspiração de referência – ET<sub>0</sub>, evapotranspiração da cultura – ET<sub>c</sub> e coeficiente da cultura – K<sub>c</sub> durante a primeira (A) e segunda safra agrícola (B).

## Variáveis analisadas

### *Tensão da água no solo*

Nas duas safras agrícolas (2019 e 2020) foram instalados tensiômetros de punção na camada de 0-40 cm. A partir da obtenção desses dados foi possível gerar curvas de tensão da água no solo, sendo os valores expressos em kPa (MORAIS et al., 2004). Os dados foram obtidos entre a 3<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> semana após a semeadura, ou seja, entre 21 e 84 DAS, respectivamente.

### *Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo*

Ao final dos dois ensaios experimentais foram feitas coletas de amostras de solo em todas as parcelas experimentais na camada 0-20 cm. Após o destorroamento e secagem das amostras de solo, realizou-se a adição de água destilada na proporção 1:2,5 base volume obtidos em uma mistura de uma parte de solo para duas e meia de água destilada. Para converter em medidas no extrato de saturação, em 20% das amostras foi feita a pasta saturada, deixando-as em repouso por 24 horas. Logo após, a pasta foi colocada em funil de Büchner contendo papel de filtro, onde aplicou-se vácuo para obtenção do extrato de saturação do solo. A condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) foi medida com auxílio de um condutivímetro de bancada a 25 °C e o resultado expresso em dS m<sup>-1</sup> (WARNCKE, 1986). A partir dessas medidas fez uma relação matemática entre os valores medidos no extrato da pasta e na suspensão.

### *Trocas gasosas foliares*

As análises de trocas gasosas foliares foram realizadas aos 67 e 69 dias após a semeadura (DAS) para a primeira safra (2019) e segunda safra (2020), respectivamente. As análises foram feitas entre 8:00 e 10:00 da manhã, com as leituras sendo obtidas em duas plantas por parcela, medindo-se sempre a folha bandeira de cada planta. Os valores foram mensurados com um analisador portátil de gases no infravermelho (IRGA, GFS-3000, Walz, Effeltrich, Germany), com as seguintes configurações: velocidade do impulsor de 7; área de leitura de 8 cm<sup>2</sup>; temperatura da cubeta com 25 °C; concentração de CO<sub>2</sub> de 400 ppm; taxa de fluxo com 750 μmol min<sup>-1</sup>; e densidade de fluxo de fótons de 1.200 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

As variáveis analisadas foram: temperatura da folha (TF – °C), déficit de pressão de vapor (DPV – kPa), condutância estomática ( $g_s$  – mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), taxa de transpiração ( $E$  – mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A$  – μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), eficiência do uso da

água ( $EUA - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e eficiência intrínseca do uso da água ( $EiUA - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

### *Crescimento e produção*

As variáveis fenotípicas analisadas foram: altura de plantas (cm): medida a partir do solo até o ápice da panícula; e altura de colmo (cm): dimensionada a partir do solo até a inserção da folha bandeira. As variáveis foram mensuradas aos 68 e 76 DAS para a primeira (2019) e segunda safra (2020), respectivamente.

Foram avaliadas as variáveis de produção: teor de massa seca da folha (%), teor de massa seca do colmo (%), massa seca total ( $\text{t ha}^{-1}$ ) e rendimento de massa fresca ( $\text{t ha}^{-1}$ ). As variáveis foram mensuradas aos 90 DAS para a primeira safra (2019) e aos 83 DAS para a segunda safra (2020).

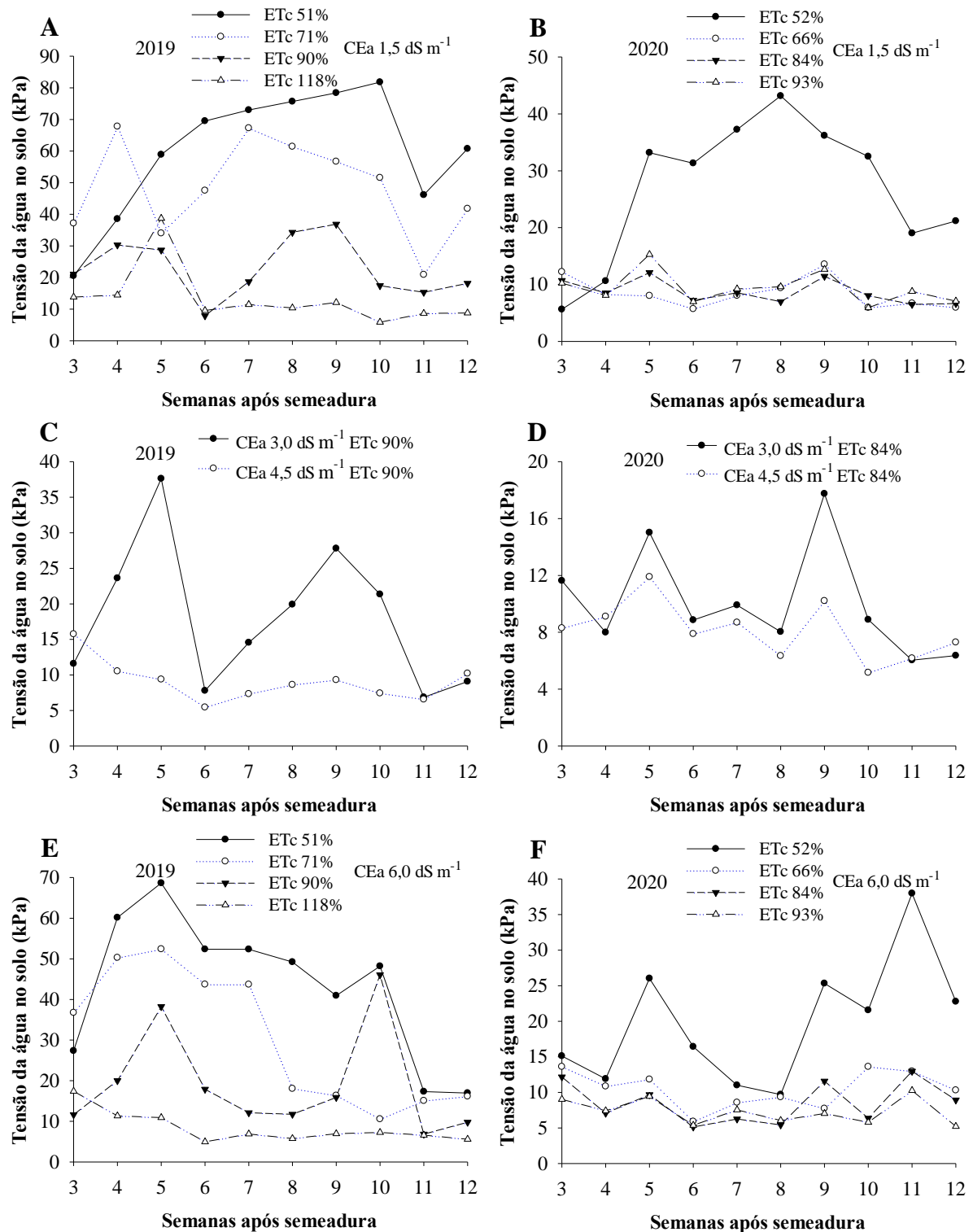
### **Análises estatísticas**

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância através do teste F ( $p \leq 0,05$ ), e quando ocorreram efeitos significativos foi feita análise de regressão, utilizando-se o software R<sup>®</sup> versão 4.1.3 (R CORE TEAM, 2022), e os gráficos produzidos com o software SigmaPlot<sup>®</sup> versão 12.3 (SYSTAT SOFTWARE INC., 2013).

Para as variáveis de trocas gasosas foliares realizou-se avaliações em 10 tratamentos dos 16 estudados (S1L1, S1L2, S1L3, S1L4, S4L1, S4L2, S4L3, S4L4, S2L3 e S3L3). Foram realizadas análise de regressão para os contrastes lâminas dentro de S1 ( $CEa=1,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) e dentro de S4 ( $CEa=6,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) e de salinidade dentro da lâmina L3 (90% da  $ETc$ , na primeira safra, e 84% da  $ETc$ , para a segunda safra). Esta lâmina L3 foi uma lâmina que evitou déficit hídrico (umidade do solo se mantinha sempre acima da umidade crítica para cultura), mas a fração de lixiviação tendia a ser zero.

## **3 RESULTADOS**

As Figuras 4A e 4B representam a tensão da água no solo para as duas safras agrícolas (2019 e 2020) sob a  $CEa$  de  $1,5 \text{ dS m}^{-1}$  e diferentes lâminas de irrigação, sendo 51, 71, 90 e 118% da  $ETc$  para a primeira safra e 52, 66, 84 e 93% da  $ETc$  para a segunda safra.



**Figura 4.** Tensões da água no solo (médias de 15 a 30 cm) para as combinações: CEA de 1,5 dS m<sup>-1</sup> com 51; 71; 90 e 118% da ETc (A), CEA de 1,5 dS m<sup>-1</sup> com 52; 66; 84 e 93% da ETc (B), CEAs de 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup> com 90% da ETc (C), CEAs de 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup> com 84% da ETc (D), CEA de 6,0 dS m<sup>-1</sup> com 51; 71; 90 e 118% da ETc (E) e CEA de 6,0 dS m<sup>-1</sup> com 52; 66; 84 e 93% da ETc (F) em duas safras agrícolas (2019 e 2020) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’.

Para a primeira safra (Figura 4A), as maiores tensões de água no solo durante o ciclo do sorgo, ocorreram nos maiores estresses hídricos, com os valores máximos de tensão sendo encontrados na ETc com 51% (81,81 kPa na décima semana de cultivo), seguido por 71% (67,81 kPa na segunda semana), 90% (36,84 kPa na nona semana) e 118% (38,70 kPa na quinta semana).

Já para a segunda safra (Figura 4B), a curva de tensão com 52% da ETc apresentou distinção das demais curvas, com maiores tensões de água no solo, obtendo valor mínimo de 5,64 kPa na primeira semana de cultivo e alcançando tensão máxima de 36,19 kPa na nona semana de cultivo. Enquanto que, para os demais tratamentos (66, 84 e 93% da ETc) ocorreram diferenças mínimas entre si quanto à tensão da água no solo. As tensões variaram de 5,72 kPa obtida na sexta semana à 13,55 kPa obtida na nona semana de cultivo para a 66% da ETc. Já para a ETc com 84%, foram observados que o maior valor foi apresentado na quinta semana (12,09 kPa), ao passo que o menor valor foi encontrado na 11ª semana (6,50 kPa). Já para a maior ETc = 93% as tensões variaram de 5,90 kPa (décima semana) à 15,27 kPa (quinta semana).

Na Figura 4C é apresentada as tensões da água no solo sob as combinações das CEas 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup> com 90% da ETc para a primeira safra agrícola. Observa-se que a combinação (CEa = 3,0 dS m<sup>-1</sup> e ETc = 90%) apresentaram tensões mais elevadas durante a maior parte do ciclo do sorgo (com exceção da primeira e última semana), alcançando valor máximo de 37,63 kPa na quinta semana de ensaio experimental.

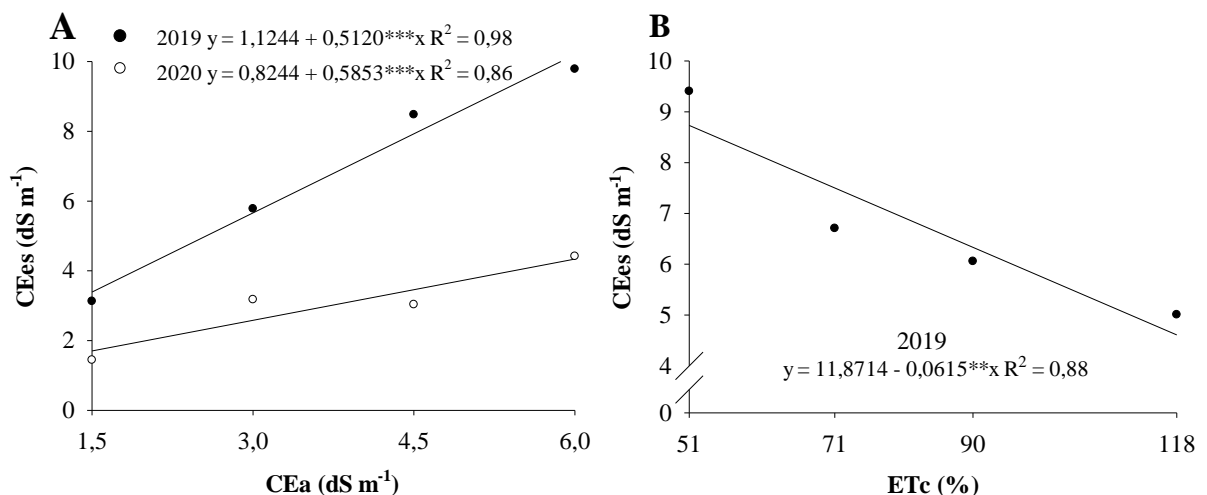
Já para a segunda safra (Figura 4D), com exceção da segunda e da última semana as maiores tensões da água no solo foram obtidas na combinação da CEa de 3,0 dS m<sup>-1</sup> com ETc contendo 84%, com as maiores tensões (17,75 kPa), sendo observadas na nona semana de cultivo. Comparando-se as duas combinações estudadas, observa-se que as curvas apresentaram valores com diferenças mínimas.

Para as tensões da água no solo sob a CEa contendo 6,0 dS m<sup>-1</sup>, ocorreram efeitos similares aos observados nos tratamentos submetidos a CEa com 1,5 dS m<sup>-1</sup> nas duas safras agrícolas. Na primeira safra houve aumento das tensões da água no solo conforme se elevou o estresse hídrico (Figura 4E), com as tensões máximas de 68,65, 52,41, 46,06 e 17,39 kPa sendo observadas para 51, 71, 90 e 118% da ETc, respectivamente. Enquanto que na segunda safra ocorreu discrepância do tratamento contendo 52% da ETc, apresentando valor máximo de 38,98 kPa, distinto aos demais tratamentos. Ademais, as outras lâminas estudadas (66, 84 e 93% da ETc), obtiveram curvas de tensão da água no solo com repostas semelhantes. As tensões

máximas obtidas foram de 13,61; 12,97 e 10,28 kPa para as ETcs com 66, 84 e 93%, respectivamente (Figura 4F).

A condutividade elétrica de extrato de saturação do solo (CEes) teve efeito isolado nas duas safras agrícolas para as CEa, enquanto que para ETc houve efeito isolado somente na primeira safra. A irrigação do sorgo com águas salinas afetou a CEes, havendo efeito linear crescente nas duas safras agrícolas (Figura 5A). Observou-se que os maiores valores do CEes foram obtidos na primeira safra. Em ambas as safras as maiores CEes (9,79 e 4,42 dS m<sup>-1</sup>) foram observadas na CEa com 6,0 dS m<sup>-1</sup>, enquanto que os menores valores de CEes (3,13 e 1,45 dS m<sup>-1</sup>), foram apresentados na menor CEa (1,5 dS m<sup>-1</sup>), com aumentos das CEes do solo de 68,03 e 67,19% na primeira e segunda safra, respectivamente.

Na primeira safra houve efeito linear para a CEes sob as diferentes ETcs, com a maior média = 9,40 dS m<sup>-1</sup>, sendo observada na menor ETc = 51%, por outro lado, a menor média = 5,01 dS m<sup>-1</sup>, foi obtida no tratamento com maior ETc = 118% (Figura 5B).



**Figura 5.** Condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) em função de condutividades elétricas da água de irrigação – CEa para duas safras agrícolas (2019 e 2020) (A) e em função de lâminas de irrigação – ETc para a primeira safra agrícola (B) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’.

De acordo com a análise de variância (Tabela 3), ocorreram efeitos significativos para todos os contrastes, com exceção dos contrastes de ETcs dentro da CEa 6,0 dS m<sup>-1</sup> para taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A) e do contraste de ETcs dentro da CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup> para eficiência do uso da água (EUA) na primeira safra agrícola (2019). Enquanto que, para a segunda safra (2020), não ocorreram efeitos significativos para as variáveis E, EUA e EiUA para o contraste



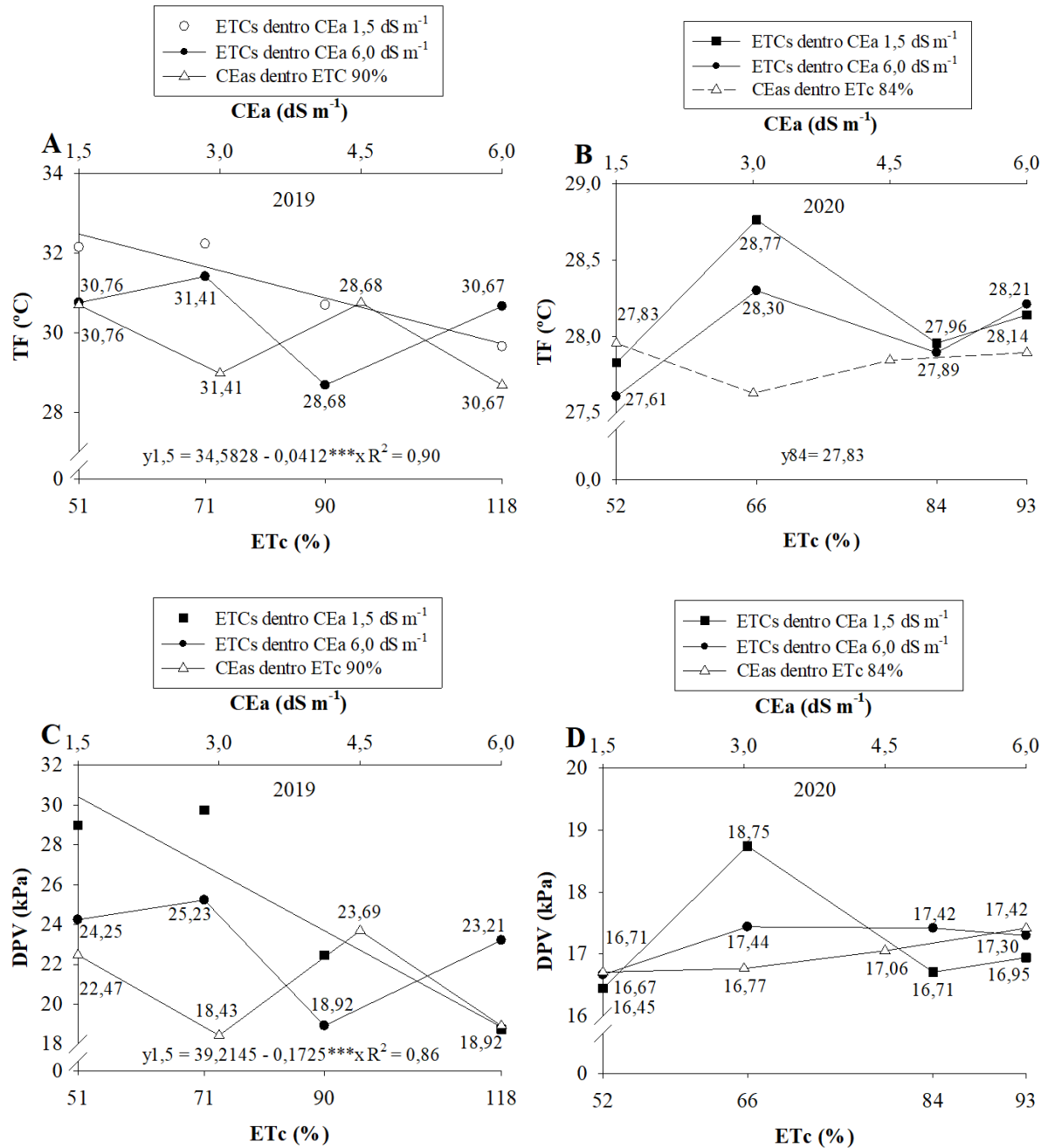
de ETCs dentro da CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup> e para temperatura da folha (TF) e A para o contraste de CEAs dentro da ETc de 84%.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância (ANOVA) para temperatura da folha (TF), déficit de pressão de vapor (DPV), condutância estomática (*gs*), taxa de transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) em função das lâminas de irrigação (ETc) e condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) para duas safras agrícolas em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’.

Variáveis								
FV	GL	TF	DPV	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	EUA	EiUA
Estatística F								
Safra 2019								
ETcs D 1,5	3	4,62 <sup>***</sup>	83,92 <sup>***</sup>	26043 <sup>***</sup>	7,61 <sup>***</sup>	542,7 <sup>***</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>***</sup>
ETcs D 6,0	3	4,17 <sup>***</sup>	23,17 <sup>***</sup>	3014,32 <sup>*</sup>	2,33 <sup>***</sup>	36,14 <sup>ns</sup>	25,79 <sup>***</sup>	0,01 <sup>**</sup>
CEas D 90	3	3,64 <sup>***</sup>	20,26 <sup>***</sup>	5255,57 <sup>***</sup>	2,25 <sup>***</sup>	111,7 <sup>***</sup>	19,58 <sup>***</sup>	0,00 <sup>*</sup>
CV%	-	1,22	4,83	20,96	17,29	16,05	9,47	11,14
Safra 2020								
FV	GL	TF	DPV	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	EUA	EiUA
ETcs D 1,5	3	0,52 <sup>***</sup>	3,26 <sup>***</sup>	501,08 <sup>*</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	11,68 <sup>**</sup>	10,61 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
ETcs D 6,0	3	0,27 <sup>***</sup>	0,39 <sup>***</sup>	1559,9 <sup>***</sup>	0,54 <sup>***</sup>	22,23 <sup>***</sup>	43,17 <sup>***</sup>	0,01 <sup>**</sup>
CEas D 84	3	0,06 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>*</sup>	778,10 <sup>**</sup>	0,28 <sup>**</sup>	3,35 <sup>ns</sup>	16,60 <sup>*</sup>	0,01 <sup>*</sup>
CV%	-	1,29	3,55	20,21	19,39	7,20	18,92	20,44

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; CEa: condutividade elétrica da água de irrigação; ETc: lâmina de irrigação; (ns) não significativo; (\*) significativo ao nível de 5%; (\*\*) significativo ao nível de 1%; (\*\*\*) significativo ao nível de 0,1%.

Para a temperatura da folha na primeira safra agrícola (Figura 6A), houve significância para todos os contrastes estudados, ocorrendo efeito decrescente para o contraste das ETcs dentro da CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup>. A maior temperatura da folha (32,23 °C) foi encontrada na ETc de 71%. Para os contrastes das ETcs dentro da CEa de 6 dS m<sup>-1</sup> e CEas dentro da ETc de 90% não se enquadraram no modelo linear ou quadrático.



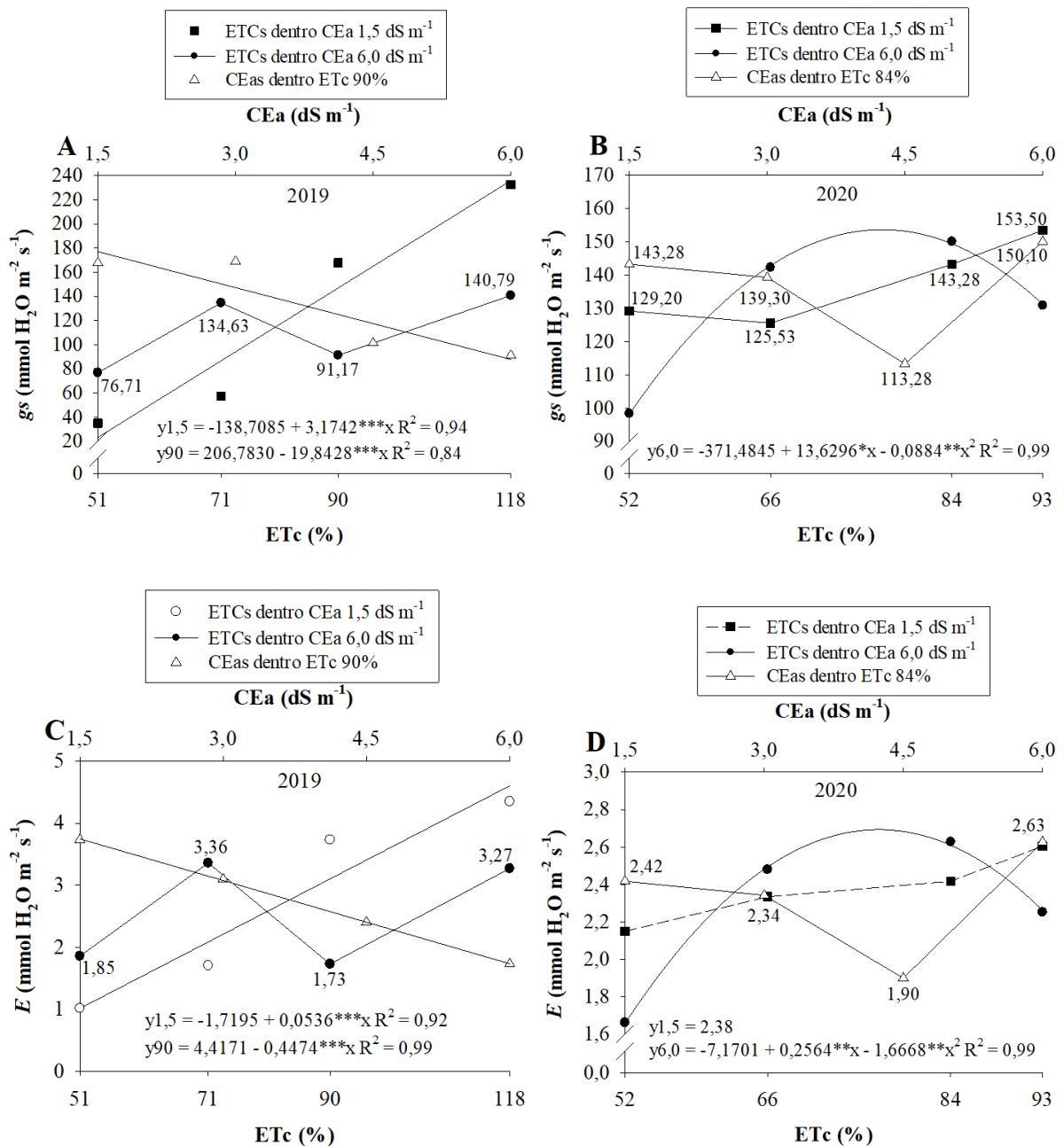
**Figura 6.** Temperatura da folha – TF (A, B) e déficit de pressão de vapor – DPV (C, D) para duas safras agrícolas (2019 e 2020) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’.

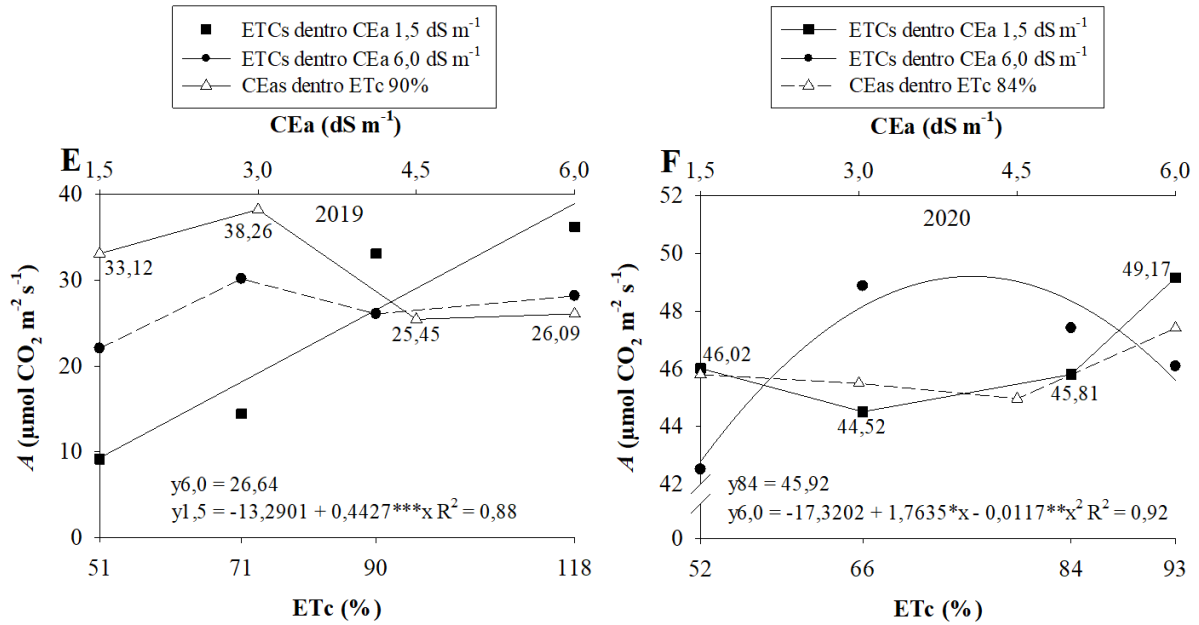
Para TF na segunda safra agrícola (Figura 6B), houve efeitos para os dois contrastes das ETcs dentro das CEAs (1,5 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>), com valores máximos de 28,77 °C (1,5 dS m<sup>-1</sup>) e 28,30 °C (6,0 dS m<sup>-1</sup>), sendo encontrados na ETc contendo 66%. Ao mesmo tempo que não houve efeito significativo para o contraste das CEAs dentro da ETc de 84%.

Para DPV na primeira safra (Figura 6C), ocorreu efeito decrescente para o contraste de ETcs dentro da CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup>, com maior média (29,74 kPa) sendo obtida na ETc = 71%.

Enquanto que para os demais contrastes (ETcs dentro da CEa = 6,0 dS m<sup>-1</sup> e CEas dentro da ETc de 90%), também ocorreram efeitos significativos, assim como para todos os contrastes (ETcs dentro das CEas = 1,5 dS m<sup>-1</sup> e ETcs dentro da CEa de 6,0 dS m<sup>-1</sup>, além de CEas dentro da ETc de 90%) estudados para DPV na segunda safra agrícola (Figura 6D).

Para as variáveis *gs* (Figuras 7A e 7B) e *E* (Figuras 7C e 7D), ocorreram resultados semelhantes, houve efeitos significativos nas duas safras agrícolas para todos os contrastes estudados, com exceção do contraste com ETcs dentro da CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup> para *A* na segunda safra agrícola.





**Figura 7.** Condutância estomática –  $g_s$  (A, B), taxa de transpiração –  $E$  (C, D) e taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  –  $A$  (E, F) para as duas safras agrícolas (2019 e 2020) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’.

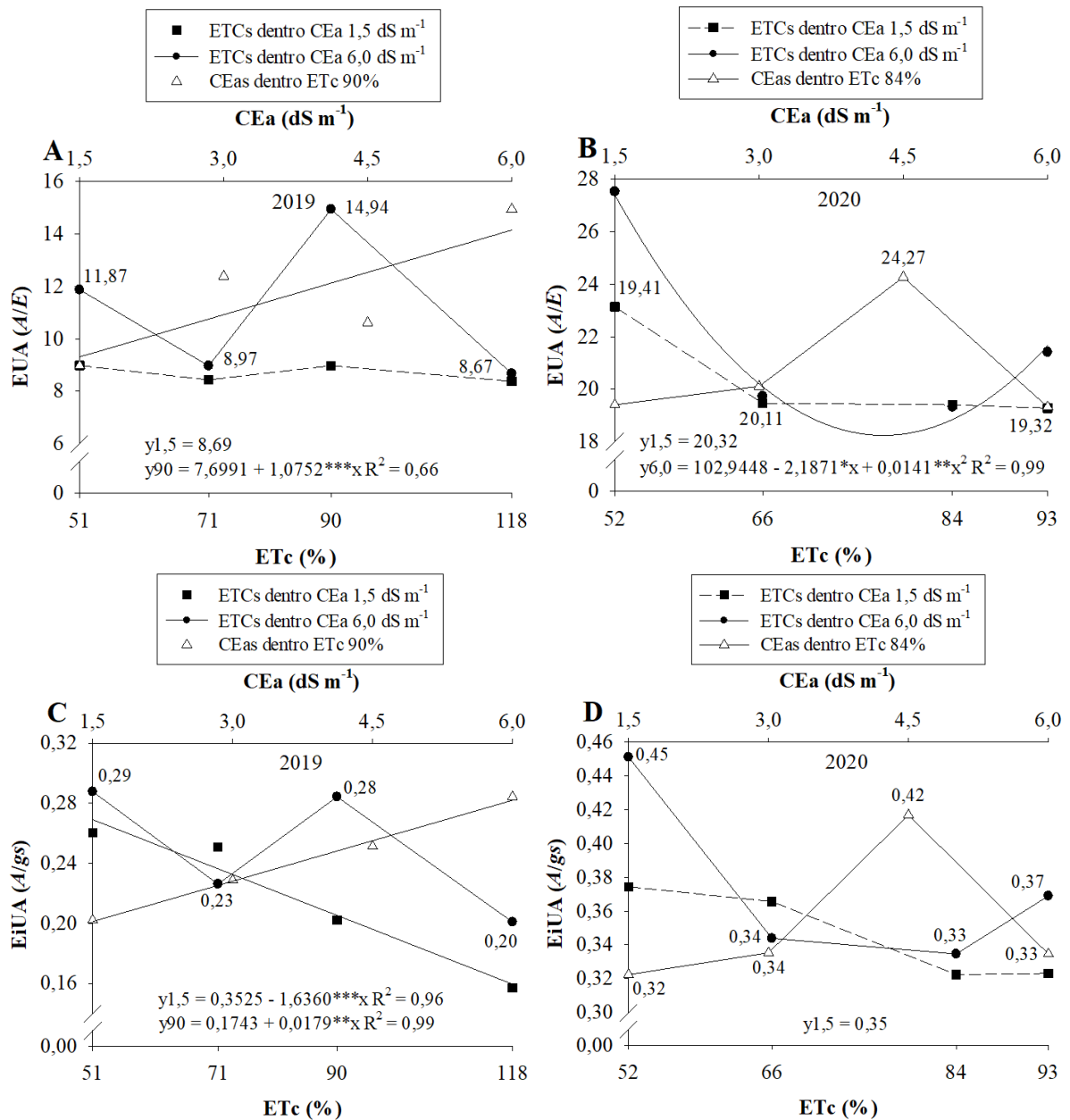
Na primeira safra, ocorreu comportamento crescente para o contraste com ETcs dentro da CEa = 1,5 dS m<sup>-1</sup> para  $g_s$  e  $E$ , enquanto que para o contraste com a CEas dentro da ETc de 90% houve efeito decrescente em resposta ao aumento das CEas, com menores médias de 91,17 e 1,73 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, sendo observadas na maior salinidade (CEa = 6,0 dS m<sup>-1</sup>), enquanto que as maiores médias (169,01 e 3,73 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) foram obtidas nas CEas de 3,0 e 1,5 dS m<sup>-1</sup>, para  $g_s$  e  $E$ , respectivamente.

Para a segunda safra  $g_s$  e  $E$ , se comportaram de forma semelhante no contraste com ETcs dentro da CEa 6,0 dS m<sup>-1</sup>, com valores máximos (150,10 e 2,63 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), sendo apresentados em 84% da ETc, para  $g_s$  e  $E$ , respectivamente. Houve efeito para os demais contrastes (ETcs dentro da CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup> e CEas dentro da ETc = 84%) para  $g_s$ , ao passo que, para  $E$  ocorreu efeito significativo para o contraste CEas dentro da ETc = 84%.

Para  $A$  na primeira safra agrícola (Figura 7E), houve efeito crescente para o contraste com ETcs dentro da CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup>, com o menor (9,16 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e maior valor (36,24 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), obtidos nas ETcs de 51 e 118%, respectivamente. Para o contraste com CEas dentro de 90% da ETc, houve efeito significativo, entretanto, não se enquadrou no modelo linear nem quadrático.

Para A na segunda safra (Figura 7F), o contraste de ETcs dentro da CEa de 6,0 dS m<sup>-1</sup> se comportou de maneira quadrática, com valor mínimo (42,52 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) sendo observado na ETc 52% e o máximo (48,88 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) na ETc 66%, enquanto que para o contraste com ETcs dentro da CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup> não obteve tendência definida.

Para EUA, ocorreram efeitos para os contrastes de ETcs dentro da CEa de 6,0 dS m<sup>-1</sup> nas duas safras agrícolas e para os contrastes com CEas dentro das ETcs de 90 e 84% para a primeira e segunda safra agrícola, respectivamente (Figuras 8A e 8B).



**Figura 8.** Eficiência do uso da água – EUA (A, B) e eficiência intrínseca do uso da água – EiUA (C, D) para as duas safras agrícolas (2019 e 2020) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’.

Para EUA não houve modelo definido para o contraste de ETcs dentro da CEa = 6,0 dS m<sup>-1</sup> na primeira safra agrícola, embora tenha ocorrido diferenças estatísticas entre as médias. Ao passo que, para a segunda safra o mesmo contraste se comportou de maneira quadrática, com o valor máximo (27,53 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>/mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) sendo obtido na menor ETc = 52%. Para o contraste com CEas dentro da ETc de 90% (primeira safra) ocorreu efeito crescente, ao passo que para o contraste com CEas dentro da ETc de 84% (segunda safra) não apresentou efeito linear nem quadrático, apesar de ter apresentado diferença estatística.

Na Figura 8C é possível observar que na primeira safra agrícola ocorreu efeito significativo para os três contrastes estudados em EiUA. O contraste contendo as ETcs dentro da CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup> se comportou de forma decrescente, Enquanto que, de forma contrária o contraste com CEas dentro da ETc de 90% se comportou de maneira crescente. Ao passo que, para o contraste com ETcs dentro da CEa de 6,0 dS m<sup>-1</sup> apresentou diferença, entretanto não se enquadrou em um modelo definido.

Para EiUA na segunda safra (Figura 8D), houve efeito para os contrastes: ETcs dentro da CEa de 6,0 dS m<sup>-1</sup> e para CEas dentro da ETc de 84%. Entretanto não se enquadraram nos modelos linear ou quadrático. Para o contraste de ETcs dentro da CEa de 6,0 dS m<sup>-1</sup> o maior valor (0,45 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>/mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) foi observado na menor ETc = 52%, sem embargo para o contraste CEas dentro da ETc de 84% o valor máximo (0,42 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>/mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) foi encontrado na ETc intermediária de 84%.

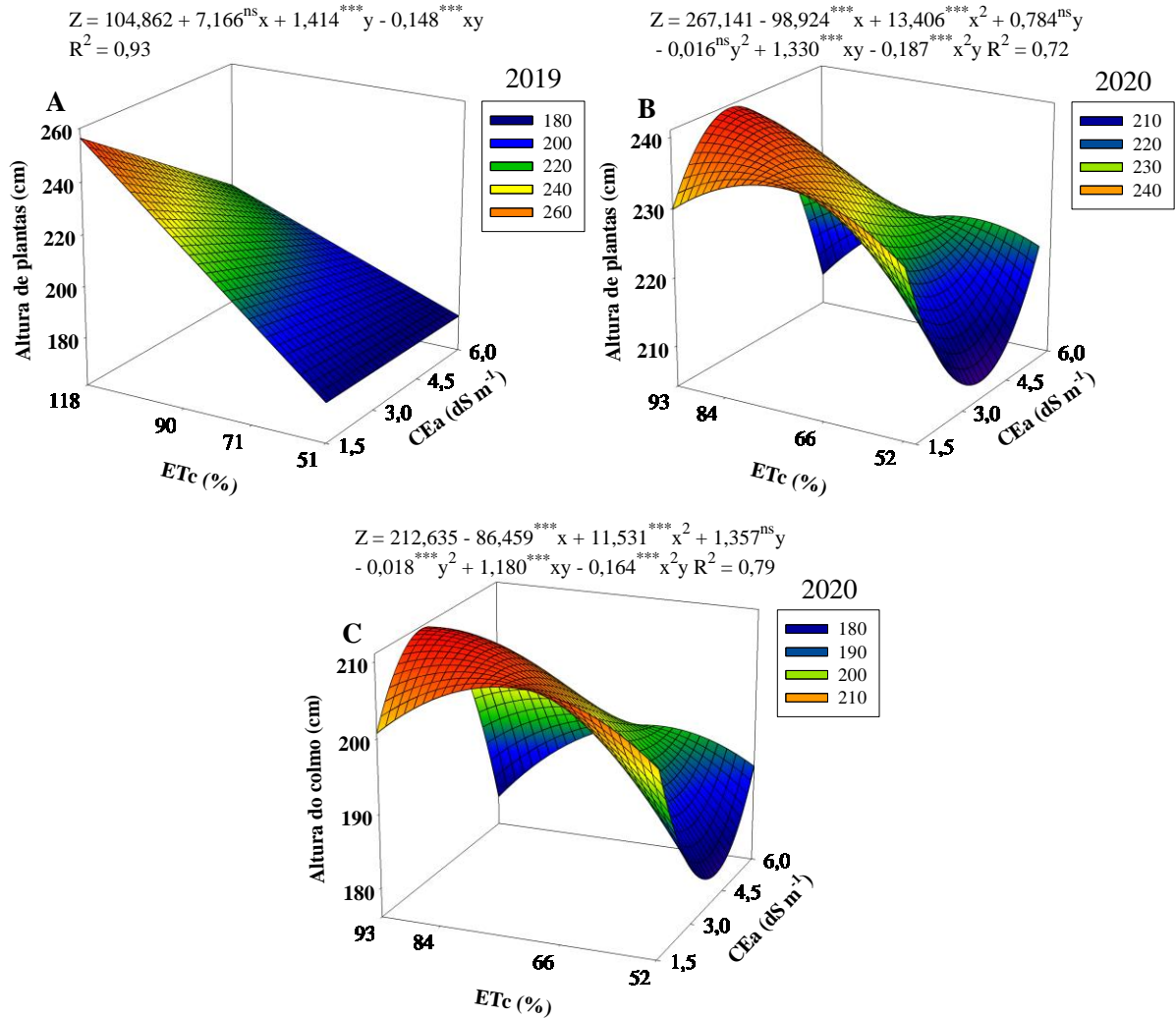
As análises estatísticas dos dados mostraram que para as variáveis de crescimento e produção tiveram interação entre os fatores CEa e ETc apenas para altura de plantas na primeira safra agrícola (2019), enquanto que, na segunda safra (2020), ocorreu interação para altura de plantas e altura do colmo. Para altura do colmo e teor de massa seca da folha houve efeito isolado para as CEas na primeira safra e para teor de massa seca do colmo na segunda safra. Enquanto que altura do colmo, teor de massa seca total e rendimento de massa fresca foram influenciadas isoladamente pelas ETcs na primeira safra agrícola (Tabela 4).

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância (ANOVA) para altura de plantas (AP), altura do colmo (AC), teor de massa seca da folha (TMSF), teor de massa seca do colmo (TMSC), massa seca total (MST) e rendimento de massa fresca (RMF) em função das lâminas de irrigação (ETc) e condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) para duas safras agrícolas em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’.

Variáveis							
FV	GL	AP	AC	TMSF	TMSC	MST	RMF
Estatística F							
Safrá 2019							
CEa	3	8,39***	3,83*	3,27*	0,93 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
ETc	3	51,63***	38,99***	1,28 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>	4,86**	9,01***
CEa x ETc	9	2,25*	1,22 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>
CV%	-	5,91	11,97	18,92	18,17	23,00	15,30
Safrá 2020							
FV	GL	AP	AC	TMSF	TMSC	MST	RMF
CEa	3	1,63 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	6,78***	1,51 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>
ETc	3	1,98 <sup>ns</sup>	2,28 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	2,07 <sup>ns</sup>	2,45 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>
CEa x ETc	9	2,69*	2,12*	1,59 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>
CV%	-	5,08	7,87	9,89	16,72	16,21	14,78

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; CEa: condutividade elétrica da água de irrigação; ETc: lâmina de irrigação; (ns) não significativo; (\*) significativo ao nível de 5%; (\*\*) significativo ao nível de 1%; (\*\*\*) significativo ao nível de 0,1%.

Durante a primeira safra, observa-se redução na altura das plantas sob os estresses abióticos, com a maior altura de plantas de 253,82 cm (Figura 9A), sendo encontrado na combinação do menor estresse salino e menor estresse hídrico, ou seja, CEa = 1,5 dS m<sup>-1</sup> e ETc = 118%, enquanto a menor altura de 173,62 cm, foi obtida nos maiores estresses, ou seja, CEa = 6,0 dS m<sup>-1</sup> e ETc = 51%, representando um decréscimo de 31,59% em relação as plantas submetidas aos menores estresses salino e hídrico.

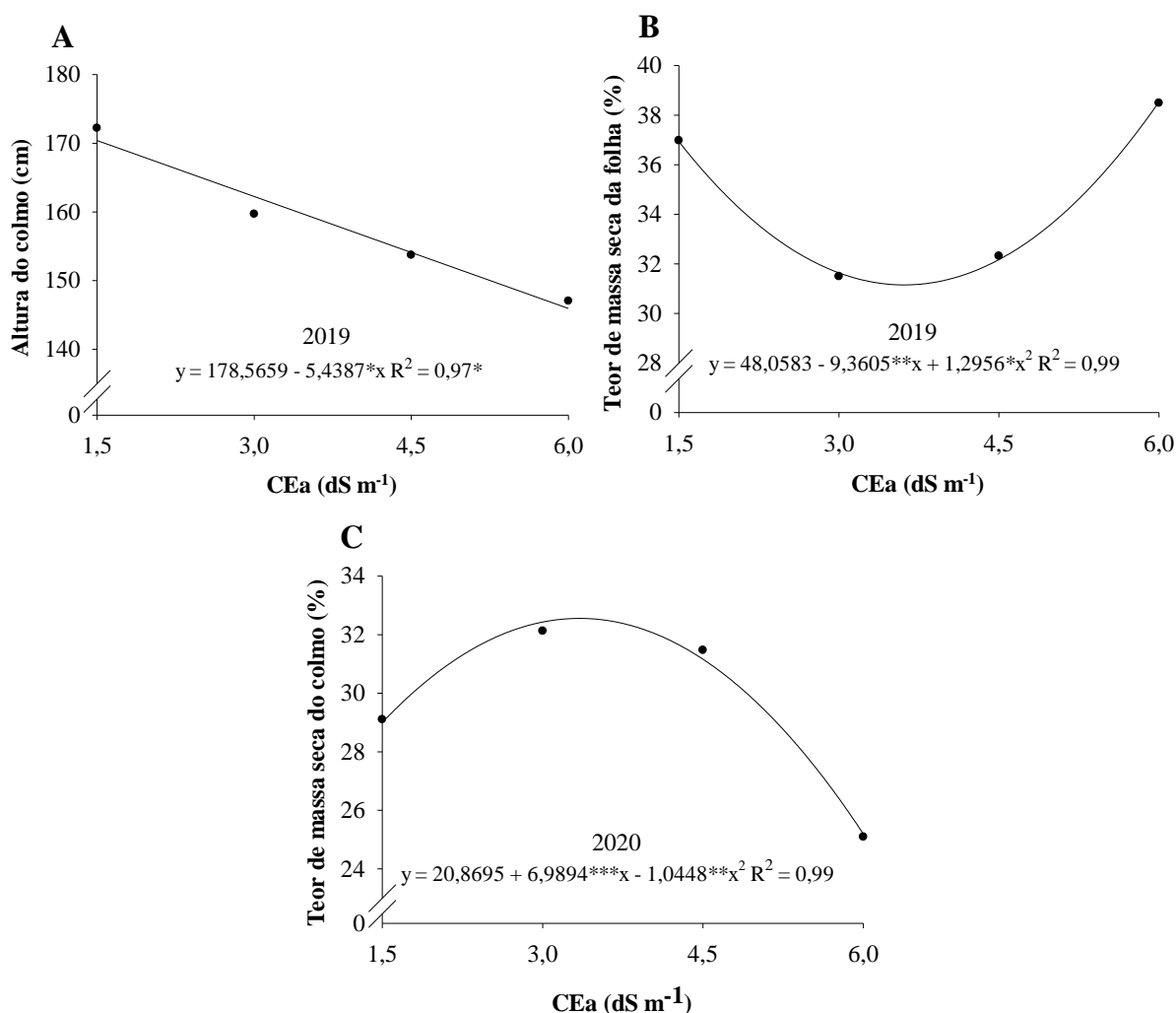


**Figura 9.** Altura de plantas na primeira safra agrícola (A), altura de plantas e altura do colmo na segunda safra agrícola (B, C) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’.

Na segunda safra, a altura de plantas (Figura 9B) também foi afetada significativamente pelos estresses abióticos, a combinação da CEa de 3,21 dS m<sup>-1</sup> e ETc de 93% apresentou os maiores valores (240,55 cm), enquanto os valores mínimos (204,94 cm) foram obtidos na combinação de 3,98 dS m<sup>-1</sup> e 52% da CEa e ETc, respectivamente.

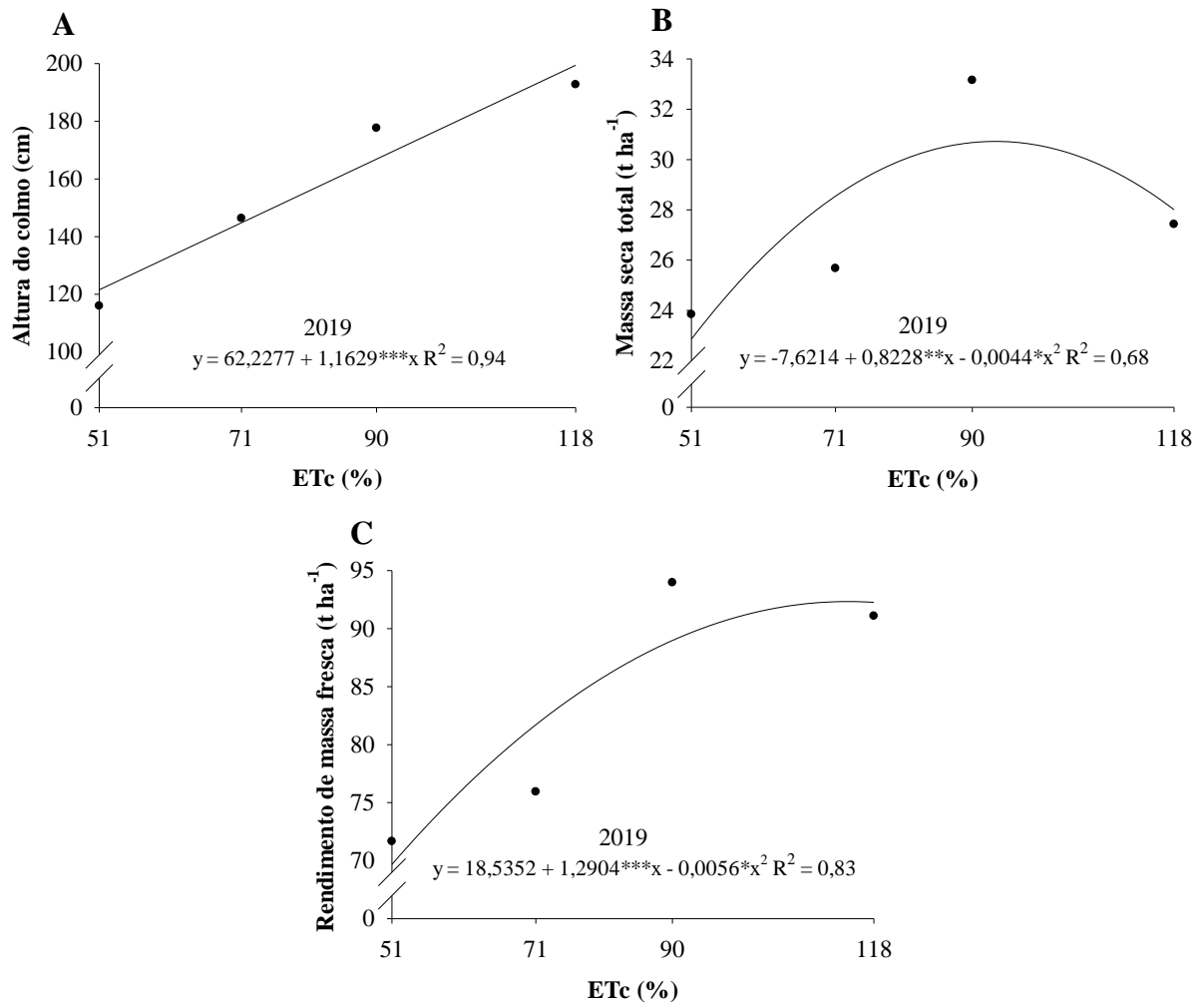
Semelhante à altura de plantas, para altura do colmo na segunda safra (Figura 9C), a menor altura (179,32 cm) foi observada na CEa 4,14 dS m<sup>-1</sup> e ETc 52%, enquanto que a maior altura do colmo (210,76 cm) foi obtida na CEa de 3,05 dS m<sup>-1</sup> e 90,17% da ETc. A altura do colmo para a primeira safra agrícola (Figura 10A), se comportou de maneira decrescente à medida que a CEa foi aumentada. O maior valor (172,22 cm) foi encontrado na menor CEa (1,5 dS m<sup>-1</sup>), enquanto a menor altura (147,03 cm) foi observada na maior CEa (6,0 dS m<sup>-1</sup>), representando um declínio de 14,63% na altura de colmo das plantas de sorgo.





**Figura 10.** Altura do colmo e teor de massa seca da folha na primeira safra agrícola (A e B) e teor de massa seca do colmo na segunda safra agrícola (C) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’.

O teor de massa seca da folha na primeira safra (Figura 10B), foi maior (38,54%) na CEa = 6,0 dS m<sup>-1</sup>, por outro lado a menor valor (31,15%) foi observado na CEa intermediária de 3,57 dS m<sup>-1</sup>. Para a segunda safra, o teor de massa seca do colmo (Figura 10C), foi afetada sob as diferentes CEas. Foram observados os maiores e menores valores de 32,56 e 25,19% nas CEas de 3,39 e 6 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. Para altura do colmo na primeira safra agrícola (Figura 11A), houve efeito crescente à medida que foi aumentado as lâminas de irrigação, ou seja, com a menor altura de colmo (115,95 cm) sendo apresentada na menor ETc (51%) e a maior altura (192,73 cm), sendo obtida na maior ETc (118%).



**Figura 11.** Altura do colmo (A), massa seca total (B) e rendimento de massa fresca (C) na primeira safra agrícola em função de lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS Ponta Negra’.

Para as variáveis massa seca total (Figura 11B) e rendimento de massa fresca (Figura 11C) na primeira safra se comportaram de forma semelhante. Em ambas as variáveis os menores valores (23,84 e 71,65 t ha<sup>-1</sup>) foram obtidos na menor lâmina de irrigação (ETc = 51%), por outro lado, os maiores valores (30,32 e 93,97 t ha<sup>-1</sup>), foram apresentados nas lâminas de irrigação intermediárias de 89,6 e 99,2% da ETc, para massa seca total e rendimento de massa fresca, respectivamente.

#### 4 DISCUSSÃO

Quanto maiores os valores de tensão da água no solo, menor é a quantidade de água disponível para as plantas (RAMOS et al., 2021). De maneira geral, os achados do estudo demonstram que sob os estresses abióticos (salino e hídrico) é perceptível a elevação da tensão da água no solo à medida que se incrementa o estresse hídrico.

Dentre os principais efeitos dos estresses salino e hídrico nas plantas estão a limitação dos processos fisiológicos e consequente redução do crescimento, provocado pelo decréscimo no potencial hídrico da solução do solo em baixos níveis de absorção de água pelas células das raízes, impedindo, a expansão celular, em virtude do potencial de pressão da célula que tende a se igualar com o do solo (TAIZ et al., 2017).

Nossos resultados estão de acordo com os relatos de outros autores, que observaram ocorrência da diminuição da tensão da água no solo, à medida em que há aumento da salinidade do solo cultivado com sorgo (LESSA et al., 2019; NUNES et al., 2020), enquanto que Zavala-Borrego et al. (2021) revelaram que sob restrição hídrica ocorre uma redução nas variáveis de crescimento do sorgo forrageiro.

O incremento da condutividade elétrica (CEes) nas duas safras refletem na presença de íons na solução do solo, oriundos da água de irrigação. O excesso de íons tóxicos no solo principalmente NaCl, pode resultar em distúrbios nutricionais, devido a competição química, absorção competitiva, toxicidade, transporte ou distribuição de elementos essenciais nas plantas (MUNNS; TESTER, 2008). Nossos achados são semelhantes aos encontrados por Lessa et al. (2019), que observaram elevação da CEes sob irrigação com água salina no cultivo do sorgo.

A ocorrência da diminuição da CEes em decorrência aos aumentos das lâminas de irrigação ocorre devido a lixiviação dos sais do solo, acarretando menor efeito dos íons tóxicos nas plantas. Resultados semelhantes foram apresentados por Pereira Filho et al. (2017), ao constatarem redução da CEes em resposta a redução do estresse hídrico.

Em nosso estudo tanto a temperatura da folha como a déficit de pressão de vapor foram afetadas negativamente pelos estresses abióticos (salino e hídrico). De maneira geral ocorreu aumento nos valores de temperatura da folha sob estresse salino, enquanto que efeito contrário foi observado para DPV. Resultados semelhantes foram encontrados por outros autores que relataram aumento gradual na temperatura das folhas de diferentes genótipos de sorgo sob estresse salino (COELHO et al., 2018; GUIMARÃES et al., 2020).

Valores elevados de DPV estão diretamente relacionados a altas temperaturas (VADEZ et al., 2020). De acordo com Choudhary et al. (2020) a DPV está diretamente relacionada as respostas aos estresses abióticos (salino e hídrico), ou seja, quanto maior o déficit de pressão de vapor maior o efeito dos estresses salino e hídrico nas plantas. Possivelmente em nosso estudo o aumento nos valores de DPV ocorreu devido a diminuição do potencial hídrico do solo e consequentemente ter ocorrido a diminuição da transpiração das plantas de sorgo.

No entanto, a DPV determina a taxa de perda de água através dos estômatos para a atmosfera. Sob condições de estresses abióticos as plantas podem reduzir a abertura estomática,

reduzindo a perda de água das plantas para a atmosfera, o que resulta em um equilíbrio fotossintético dentro das plantas, podendo acarretar processos adaptativos no sorgo em resposta aos estresses abióticos (GEETIKA et al., 2019).

No presente estudo, ocorreu redução da *gs*, *E* e *A* em resposta aos estresses salino e hídrico, com menores perdas na segunda safra para os dois estresses abióticos. Esse efeito negativo sobre as trocas gasosas está relacionado a diminuição do potencial da solução do solo em decorrência dos estresses abióticos (salino e hídrico), limitando a absorção de água pelas raízes, afetando diretamente os processos fisiológicos das plantas (QAYYUM et al., 2021).

De maneira similar, em trabalhos desenvolvidos por outros autores (COELHO et al., 2018; SILVA et al., 2019; GUIMARÃES et al., 2020; DOURADO et al., 2022; JANGRA et al., 2022), com diferentes genótipos de sorgo, foram relatadas reduções para estas três variáveis sob estresse salino, sugerindo a ocorrência de limitações estomáticas nos processos de fotossíntese. Enquanto que em trabalhos desenvolvidos por demais autores com sorgo sob estresse hídrico, estas três variáveis foram reduzidas sob a aplicação de estresse hídrico (AVILA et al., 2020; RAJARAJAN et al., 2021; ORTIZ; SALAS-FERNANDEZ, 2022).

Em geral, em nosso trabalho ocorreram aumentos nos valores de EUA e EiUA nas plantas sob os estresses abióticos (salino e hídrico). Comumente, os valores das variáveis EUA e EiUA aumentam em plantas submetidas aos estresses salino (GUIMARÃES et al., 2020) e hídrico (AVILA et al., 2020; ENDRIS et al., 2021), sugerindo que plantas com alta eficiência do uso da água podem apresentar a capacidade de tolerar estresses abióticos por causa da sua alta capacidade de controlar perdas e redução do fluxo de íons tóxicos para a parte aérea da planta devido à redução da transpiração (COELHO et al., 2018). Esta resposta ocorre devido ao metabolismo das plantas de sorgo, que em condições de altas taxas fotossintéticas aliada à redução da disponibilidade de CO<sub>2</sub> fecham seus estômatos (TAIZ et al., 2017).

As respostas das plantas ao estresse salino são identificadas por duas fases. A primeira fase é determinada pelo estresse osmótico e a segunda fase é o estresse iônico (MUNNS; TESTER, 2008). As plantas são eficientes em adaptar seu balanço hídrico em resposta ao estresse salino, se adaptando ao estresse osmótico geralmente reduzindo a transpiração e acumulando substâncias de ajuste osmótico (CHEN et al., 2018). Enquanto que, os efeitos do estresse hídrico na fotossíntese acontecem à medida que as limitações hídricas ocorrem no solo, as plantas tendem a fechar os estômatos e, assim, os processos de trocas gasosas ficam reduzidos (ORTIZ; SALAS-FERNANDEZ, 2022).

Os estresses salino e hídrico afetam o desenvolvimento das plantas de sorgo, alterando as variáveis fisiológicas e de crescimento. Em nosso trabalho, a altura de plantas e altura do

colmo diminuíram nos dois estresses. A redução do crescimento de plantas pode ter ocorrido devido ao baixo potencial hídrico causado pela baixa disponibilidade hídrica associada aos efeitos da salinidade da água de irrigação no solo e na planta, causando distúrbios fisiológicos seja pelo estresse hídrico ou presença de íons tóxicos na solução do solo, comprometendo a absorção de nutrientes pelas plantas (ALI et al., 2021)

Resultados semelhantes para altura de plantas foram observados em outros trabalhos desenvolvidos em plantas de sorgo submetidas ao estresse salino (AL-SHOAIBI, 2020; JANGRA et al., 2022; DOURADO et al., 2022) e hídrico (AVILA et al., 2020). Enquanto que Queiroz et al. (2023), relataram diminuição na altura do colmo sob os dois estresses combinados (salino e hídrico). Os achados do presente trabalho estão de acordo com Silva et al. (2019), que demonstraram redução no tamanho de plantas de sorgo sob estresse salino.

Os resultados do nosso estudo mostram que o estresse salino reduziu a altura do colmo. No entanto, de maneira geral as variáveis de massa seca (massas secas da folha e do colmo), se comportaram de maneira quadrática, indicando certa resistência aos efeitos negativos da salinidade até determinado nível salino.

Alguns autores relataram tolerância do sorgo ao estresse salino (SILVA et al., 2019; FREITAS et al., 2019; AL-SHOAIBI, 2020). Entretanto os efeitos da salinidade no sorgo dependem de vários fatores como espécie e cultivar, além de ocorrer em diferentes estágios de desenvolvimento da planta (YANG et al., 2020).

A diminuição do crescimento e rendimento em sorgo induzido pelo estresse hídrico foi relatada em alguns estudos (AVILA et al., 2020; MARKOVICH et al., 2022; QUEIROZ et al., 2023; SILVA et al., 2023). Reduções nas trocas gasosas sob estresses abióticos como salino e hídrico, estão diretamente relacionadas a diminuição no crescimento das plantas (MARTINEZ-GOÑI et al., 2022).

Em relação a redução da altura do colmo sob estresse hídrico, nossos achados estão de acordo com os encontrados por outros autores, que revelaram redução no tamanho de plantas sob seca em sorgo sacarino (QUEIROZ et al., 2023). Ademais, Avila et al. (2020), relataram redução nas variáveis de produção em sorgo granífero sob estresse hídrico.

## 5 CONCLUSÕES

A irrigação com águas salinas e déficit hídrico causam aumentos na condutividade elétrica do extrato de saturação do solo. Isso proporcionou menor disponibilidade de água no solo que levou à diminuição das trocas gasosas, crescimento e produção do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] ‘BRS Ponta Negra’. Entretanto, os resultados sugerem que a

cultivar de sorgo estudada possui tolerância a esses estresses, visto que teve baixas reduções nas variáveis de crescimento e produção.

### **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) pelo apoio financeiro concedido.

### **REFERÊNCIAS**

ALI, A. Y. A.; IBRAHIM, M. E. H.; ZHOU, G.; NIMIR, N. E. A.; ELSIDDIG, A. M. I.; JIAO, X.; ZHU, G.; SALIH, E. G. I.; SULIMAN, M. S. E. S.; ELRADI, S. B. M. Gibberellic acid and nitrogen efficiently protect early seedlings growth stage from salt stress damage in Sorghum. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 6672, 2021.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; WRIGHT, J. L.; HOWELL, T. A.; VENTURA, F.; SNYDER, R.; ISA, D. I.; STEDUTO, P.; BERENGENA, J.; YRISARRY, J. B.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; PERRIER, A.; ALVES, I.; TER, I. W.; ELLIOTT, R. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. **Agricultural Water Management**, v. 81, n. 1-2, p. 1-22, 2006.

AL-SHOAIBI, A. A. Combined effects of salinity and temperature on germination, growth and gas exchange in two cultivars of *Sorghum bicolor*. **Journal of Taibah University for Science**, v. 14, n. 1, p. 812-822, 2020.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANANDA, G. K.; MYRANS, H.; NORTON, S. L.; GLEADOW, R.; FURTADO, A.; HENRY, R. J. Wild sorghum as a promising resource for crop improvement. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1108, 2020.

ASHRAF, M.; SHAHZAD, S. M.; AKHTAR, N.; IMTIAZ, M.; ALI, A. Salinization/sodification of soil and physiological dynamics of sunflower irrigated with saline–

sodic water amending by potassium and farm yard manure. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 7, n. 4, p. 476-487, 2017.

AVILA, R. G.; MAGALHÃES, P. C.; SILVA, E. M.; GOMES JÚNIOR, C. C.; LANA, U. G. P.; ALVARENGA, A. A.; SOUZA, T. C. Silicon supplementation improves tolerance to water deficiency in sorghum plants by increasing root system growth and improving photosynthesis. **Silicon**, v. 12, p. 2545-2554, 2020.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (FAO Irrigação e Drenagem, 29).

CAVALCANTI, F. J. A.; LIMA JÚNIOR, M. A.; LIMA, J. F. W. F. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3 ed. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco- IPA, 212p. 2008.

CHEN, M.; YANG, Z.; LIU, J.; ZHU, T.; WEI, X.; FAN, H.; WANG, B. Adaptation mechanism of salt excluders under saline conditions and its applications. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 11, p. 3668, 2018.

CHOUDHARY, S.; GUHA, A.; KHOLOVA, J.; PANDRAVADA, A.; MESSINA, C. D.; COOPER, M.; VADEZ, V. Maize, sorghum, and pearl millet have highly contrasting species strategies to adapt to water stress and climate change-like conditions. **Plant Science**, v. 295, p. 110297, 2020.

COELHO, D. S.; SIMÕES, W. L.; SALVIANO, A. M.; MESQUITA, A. C.; ALBERTO, K. D. C. Gas exchange and organic solutes in forage sorghum genotypes grown under different salinity levels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 231-236, 2018.

DOURADO, P. R. M.; SOUZA, E. R.; SANTOS, M. A. D.; LINS, C. M. T.; MONTEIRO, D. R.; PAULINO, M. K. S. S.; SCHAFFER, B. Stomatal regulation and osmotic adjustment in sorghum in response to salinity. **Agriculture**, v. 12, n. 5, p. 658, 2022.

ENDRIS, S.; FETENE, M.; AMEDE, T. CO<sub>2</sub> exchange, dry matter accumulation and growth response of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to terminal drought as affected by potassium and blended-NPSBZn fertilization. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 207, n. 3, p. 450-464, 2021.

FREITAS, P. A. F.; CARVALHO, H. H.; COSTA, J. H.; MIRANDA, R. S.; SARAIVA, K. D. C.; OLIVEIRA, F. D. B.; COELHO, D. G.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Salt acclimation in sorghum plants by exogenous proline: physiological and biochemical changes and regulation of proline metabolism. **Plant Cell Reports**, v. 38, p. 403-416, 2019.

GEETIKA, G.; VAN OOSTEROM, E. J.; GEORGE-JAEGGLI, B.; MORTLOCK, M. Y.; DEIFEL, K. S.; MCLEAN, G.; HAMMER, G. L. Genotypic variation in whole-plant transpiration efficiency in sorghum only partly aligns with variation in stomatal conductance. **Functional Plant Biology**, v. 46, n. 12, p. 1072-1089, 2019.

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; TABOSA, J. N.; CAMARA, T. R.; WILLADINO, L. G. Gas exchange and enzymatic metabolism in grain sorghum varieties irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 19, p. 14, 2020.

JANGRA, M.; DEVI, S.; SATPAL; KUMAR, N.; GOYAL, V.; MEHROTRA, S. Amelioration Effect of Salicylic Acid Under Salt Stress in *Sorghum bicolor* L. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 194, n. 10, p. 4400-4423, 2022.

KAZUNGU, F. K.; MUINDI, E. M.; MULINGE, J. M. Overview of Sorghum (*Sorghum bicolor*. L), its Economic Importance, Ecological Requirements and Production Constraints in Kenya. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 35, n. 1, p. 62-71, 2023.

LESSA, C. I. N.; OLIVEIRA, A. D.; MAGALHÃES, C. L.; SOUSA, J. D.; SOUSA, G. D. Estresse salino, cobertura morta e turno de rega na cultura do sorgo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 5, p. 3637-3645, 2019.

LIU, J.; WU, Y.; DONG, G.; ZHU, G.; ZHOU, G. Progress of Research on the Physiology and Molecular Regulation of Sorghum Growth under Salt Stress by Gibberellin. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 7, p. 6777, 2023.

LIRA, J. B.; ANDRADE, A. P.; MAGALHÃES, A. L. R.; CAMPOS, F. S.; ARAÚJO, G. G. L.; GOIS, G. C.; REGITANO NETO, A.; CUNHA, D. S.; TABOSA, J. N.; SILVA, T. G. F. Production of BRS Ponta Negra Sorghum Irrigated with Different Depths of Brackish Water Combined with Organic Fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 53, n. 3, p. 396-407, 2022.



MARKOVICH, O.; ZEXER, N.; NEGIN, B.; ZAIT, Y.; BLUM, S.; BEN-GAL, A.; RIVKAELBAUM, R. Low Si combined with drought causes reduced transpiration in sorghum Lsi1 mutant. **Plant and Soil**, v. 477, n. 1-2, p. 57-67, 2022.

MARTÍNEZ-GOÑI, X. S.; ROBREDO, A.; PÉREZ-LÓPEZ, U.; MUÑOZ-RUEDA, A.; MENA-PETITE, A. *Sorghum bicolor* prioritizes the recovery of its photosynthetic activity when re-watered after severe drought stress, while manages to preserve it under elevated CO<sub>2</sub> and drought. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 209, n. 2, p. 217-227, 2022.

MORAIS, N. B.; MEDEIROS, J. F.; LEVIEN, S. L. A. avaliação de tensiômetro com câmara de ar usando leitura direta e tensímetro. **Revista Caatinga**, v. 17, n. 2, p. 64-69, 2004.

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

NUNES, L. R. L.; CRUZ, M. C.; PINHEIRO, C. L.; SOUSA, G. G.; DUTRA, A. S. Germination and vigour in genotypes of forage sorghum at different levels of water and salt stress. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 5, p. 1975-1986, 2020.

OLIVEIRA, J. P. V.; DUARTE, V. P.; CASTRO, E. M.; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA, F. J. Stomatal cavity modulates the gas exchange of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. grown under different water levels. **Protoplasma**, v. 259, p. 1081-1097, 2022.

ORTIZ, D.; SALAS-FERNANDEZ, M. G. Dissecting the genetic control of natural variation in sorghum photosynthetic response to drought stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 73, n. 10, p. 3251-3267, 2022.

PEREIRA FILHO, J. V.; BEZERRA, F. M. L.; SILVA, T. C.; PEREIRA, C. C. M. S.; CHAGAS, K. L. Alteração química do solo cultivado com feijão-caupi sob salinidade e déficit hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 8, p. 2206, 2017.

PROIETTI, I.; FRAZZOLI, C.; MANTOVANI, A. Exploiting nutritional value of staple foods in the world's semi-arid areas: risks, benefits, challenges and opportunities of sorghum. **Healthcare**, v. 3, n. 2, p. 172-193, 2015.

QAYYUM, A.; AL AYOUBI, S.; SHER, A.; BIBI, Y.; AHMAD, S.; SHEN, Z.; JENKS, M. A. Improvement in drought tolerance in bread wheat is related to an improvement in osmolyte

production, antioxidant enzyme activities, and gaseous exchange. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 9, p. 5238-5249, 2021.

QUEIROZ, G. C. M.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, R. R.; MORAIS, F. M. S.; SOUSA, L. V.; SOUZA, M. V. P.; SANTOS, E. N.; FERREIRA, F. N.; SILVA, J. M. C.; CLEMENTE M. I. B.; GRANJEIRO, J. C. C.; SALES, M. N. A.; CONSTANTE, D. C.; NOBRE, R. G.; SÁ, F. V. S. Growth, Solute Accumulation, and Ion Distribution in Sweet Sorghum under Salt and Drought Stresses in a Brazilian Potiguar Semiarid Area. **Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 803, 2023.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022.

RAJARAJAN, K.; GANESAMURTHY, K.; RAVEENDRAN, M.; JEYAKUMAR, P.; YUVARAJA, A.; SAMPATH, P.; PRATHIMA, P. T.; SENTHILRAJA, C. Differential responses of sorghum genotypes to drought stress revealed by physio-chemical and transcriptional analysis. **Molecular Biology Reports**, v. 48, p. 2453-2462, 2021.

RAMOS, A.; COSTA, R. R. B.; SANTOS, M. S.; PEREIRA, N. E.; SANTOS, F. O.; PÓVOAS, C. E. Trocas gasosas foliares e componentes de produção de pimentas malagueta (*Capsicum frutescens*) submetidas a diferentes tensões de água no solo, na região sul da Bahia. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 4, p. 5477-5489, 2021.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. (5a ed.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2018.

SANTOS, V. O. D. S.; BOMFIM, M. A.; SANTOS, S.; TONUCCI, R.; CAVALCANTE, A. C.; CHAVES, A. K.; PEREIRA, P. L. Efeito do cultivar e do grau de maturidade dos grãos sobre os espectros NIR de silagens de sorgo. **Pubvet**, v. 15, n. 12, 2021.

SHABALA, S.; BOSE, J.; HEDRICH, R. Salt bladders: do they matter?. **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 11, p. 687-691, 2014.

SILVA JÚNIOR, L. G. D. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. D. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, p. 11-17, 1999.

SILVA, M. L. D. S.; SOUSA, H. G. D.; SILVA, M. L. D. S.; LACERDA, C. F. D.; GOMES-FILHO, E. Growth and photosynthetic parameters of saccharine sorghum plants subjected to salinity. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 41, 2019.

SILVA, R. R.; MEDEIROS, J. F.; QUEIROZ, G. C. M.; SOUSA, L. V.; SOUZA, M. V. P.; NASCIMENTO, M. A. B.; MORAIS, F. M. S.; NÓBREGA, R. F.; SILVA, L. M.; FERREIRA, F. N.; CLEMENTE, M. I. B.; CORDEIRO, C. J. X.; GRANJEIRO, J. C. C.; CONSTANTE, D. C.; SÁ, F. V. S. Ionic Response and Sorghum Production under Water and Saline Stress in a Semi-Arid Environment. **Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 1127, 2023.

SRIHARI, P.; MEHERA, B.; SWAROOP, B. T.; KUMAR, P. Effect of Iron and Silicon on Growth and Yield of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 13, n. 7, p. 630-636, 2023.

SYSTAT SOFTWARE. INC. SigmaPlot for Windows, version 12.3. San Jose: Cranes, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

VADEZ, V.; VAN OOSTEROM, E.; SINGH, V.; BLÜMMEL, M.; ARE, A. K. High-throughput phenotyping methods for economic traits and designer plant types as tools to support modern breeding efforts. **Sorghum in the 21st Century: Food Fodder Feed Fuel for a Rapidly Changing World**, p. 231-249, 2020.

WARNCKE, D. D. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. **HortScience**, v. 21, n. 2, p. 223-225, 1986.

YANG, Z.; LI, J. L.; LIU, L. N.; XIE, Q.; SUI, N. Photosynthetic regulation under salt stress and salt-tolerance mechanism of sweet sorghum. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1722, 2020.

ZAVALA-BORREGO, F.; REYES-GONZÁLEZ, A.; ÁLVAREZ-REYNA, V. D. P.; GARCÍA-CARRILLO, M.; RODRÍGUEZ-MORENO, V. M.; PRECIADO-RANGEL, P. Effect of different levels of evapotranspiration on leaf area, temperature, water potential and yield of forage sorghum. **Terra Latinoamericana**, v. 39, 2021.

## CAPÍTULO II

### ESTRESSES SALINO E HÍDRICO IMPACTAM AS TROCAS GASOSAS E CRESCIMENTO DE SORGO SACARINO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

#### RESUMO

Estresses salino e hídrico são fatores limitantes na produção agrícola. O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] possui grande adaptação às condições ambientais adversas. Entretanto, existem poucos relatos na literatura de estudos com sorgo sob os estresses salino e hídrico combinados. Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar as relações hídricas, trocas gasosas e crescimento de sorgo 'BRS 509' cultivado sob estresse salino e hídrico combinados. Quatro condutividades elétricas da água de irrigação (1,50; 3,00; 4,50 e 6,00 dS m<sup>-1</sup>) e quatro lâminas de irrigação (53, 67, 85 e 94% da ETc) foram utilizadas. O dano de membrana, conteúdo relativo de água, trocas gasosas foliares, e crescimento de plantas foram avaliados. Os resultados do presente estudo demonstram que tanto o estresse hídrico como o estresse salino causam efeitos negativos na fisiologia das plantas de sorgo, ocorrendo mudanças nas trocas gasosas foliares e no status hídrico foliar. Entretanto, as mudanças na fisiologia das plantas não refletiram nas variáveis de crescimento, visto que, o estresse hídrico interferiu apenas na altura das plantas e na altura do colmo. Enquanto o estresse salino afetou apenas a variável de massa seca de raízes. Desta forma, os resultados sugerem que a cultivar de sorgo 'BRS 509' se comporta de forma tolerante sob condições de estresses hídrico e salino.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor* L. Fotossíntese. Irrigação. Salinidade.

### SALINE AND WATER STRESS IMPACT ON GAS EXCHANGE AND GROWTH OF SUGAR SORGHUM IN THE BRAZILIAN SEMIARID

#### ABSTRACT

Salt and water stress are limiting factors in agricultural production. Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) is highly adaptable to adverse environmental conditions. However, there are few reports in the literature of studies with sorghum under combined salt and water stress. Therefore, the aim of this study was to evaluate the water relations, gas exchange and growth of 'BRS 509' sorghum cultivated under combined salt and water stress. Four electrical conductivities of irrigation water (1.50; 3.00; 4.50 and 6.00 dS m<sup>-1</sup>) and four irrigation depths (53, 67, 85 and 94% of ETc) were used. Membrane damage, relative water content, foliar gas exchange, and plant growth were evaluated. The results of the present study demonstrate that both water stress and salt stress cause negative effects on the physiology of sorghum plants, with changes in leaf gas exchange and leaf water status. However, changes in plant physiology did not reflect on growth variables, since water stress only interfered with plant height and stem height. While saline stress affected only the root dry mass variable. Thus, the results suggest that the sorghum cultivar 'BRS 509' behaves tolerantly under conditions of water and saline stress.

**Keywords:** *Sorghum bicolor* L. Photosynthesis. Irrigation. Salinity.

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais têm aumentado o estresse hídrico na agricultura, e alterado o padrão e a quantidade das precipitações pluviométricas em várias regiões do mundo, sendo um fator determinante para o desenvolvimento de cultivos agrícolas (PIAO et al., 2019). O déficit hídrico causa distúrbios nos vegetais, diminuindo a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, o crescimento e a produtividade das culturas agrícolas (SANTANA et al., 2020; QUEIROZ et al., 2023). A redução da umidade do solo desencadeia várias respostas bioquímicas e fisiológicas nas plantas, resultando no fechamento dos estômatos e assim reduzindo a perda de água e, ao mesmo tempo, a absorção de CO<sub>2</sub>, diminuindo a taxa fotossintética e conseqüentemente o crescimento e desenvolvimento vegetal (MARTINEZ-GOÑI et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2022).

Além da quantidade de água, a qualidade da água também é um fator primordial para o desenvolvimento da agricultura. Em muitas regiões há disponibilidade de recursos hídricos, no entanto, a água possui qualidade afetada pela presença de sais em sua composição (MACHADO; SERRALHEIRO, 2017).

Estimativas indicam que 45 milhões de hectares irrigados, são afetadas por sais no planeta (SHRIVASTAVA; KUMAR, 2015). Além disso, estima-se que, até o ano de 2050, 50% das terras cultivadas do planeta serão comprometidas pela salinidade, por causa da intensificação das atividades agrícolas ou pelas mudanças climáticas (MACHADO; SERRALHEIRO, 2017).

Assim como o estresse hídrico, o estresse salino afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas, limitando a produção agrícola em diversas áreas semiáridas e áridas do planeta (IBRAHIM et al., 2019; SILVA et al., 2019; ALI et al., 2022).

A salinidade prejudica o desenvolvimento e crescimento vegetal, estabelecendo várias restrições. Podendo-se destacar o estresse osmótico e o estresse iônico, enquanto o primeiro compromete a capacidade da planta de absorver água, interrompendo a expansão das células das plantas como resultado da diminuição da pressão de turgescência, no segundo ocorre o acúmulo excessivo dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nos compartimentos intracelulares metabolicamente ativos (ZHAO et al., 2020).

O estresse salino afeta todos os estágios de crescimento das plantas, inibindo o crescimento e diminuindo a produtividade das culturas, através de distúrbios fisiológicos e bioquímicos como pressão osmótica, toxicidade de íons, além de redução na absorção de

nutrientes essenciais, como  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{K}^{+}$  (FARHANGI-ABRIZ; GHASSEMI-GOLEZANI, 2018; GUIMARÃES et al., 2020; DEHNAVI et al., 2022; SILVA et al., 2023).

O sorgo é uma importante cultura agrícola cultivada em várias regiões do planeta, com grande adaptação a regiões tropicais. A capacidade do sorgo ser produzido em condições ambientais adversas o torna uma cultura agrícola importante nos sistemas de cultivo das regiões áridas e semiáridas do mundo (MURUNGWENI et al., 2016).

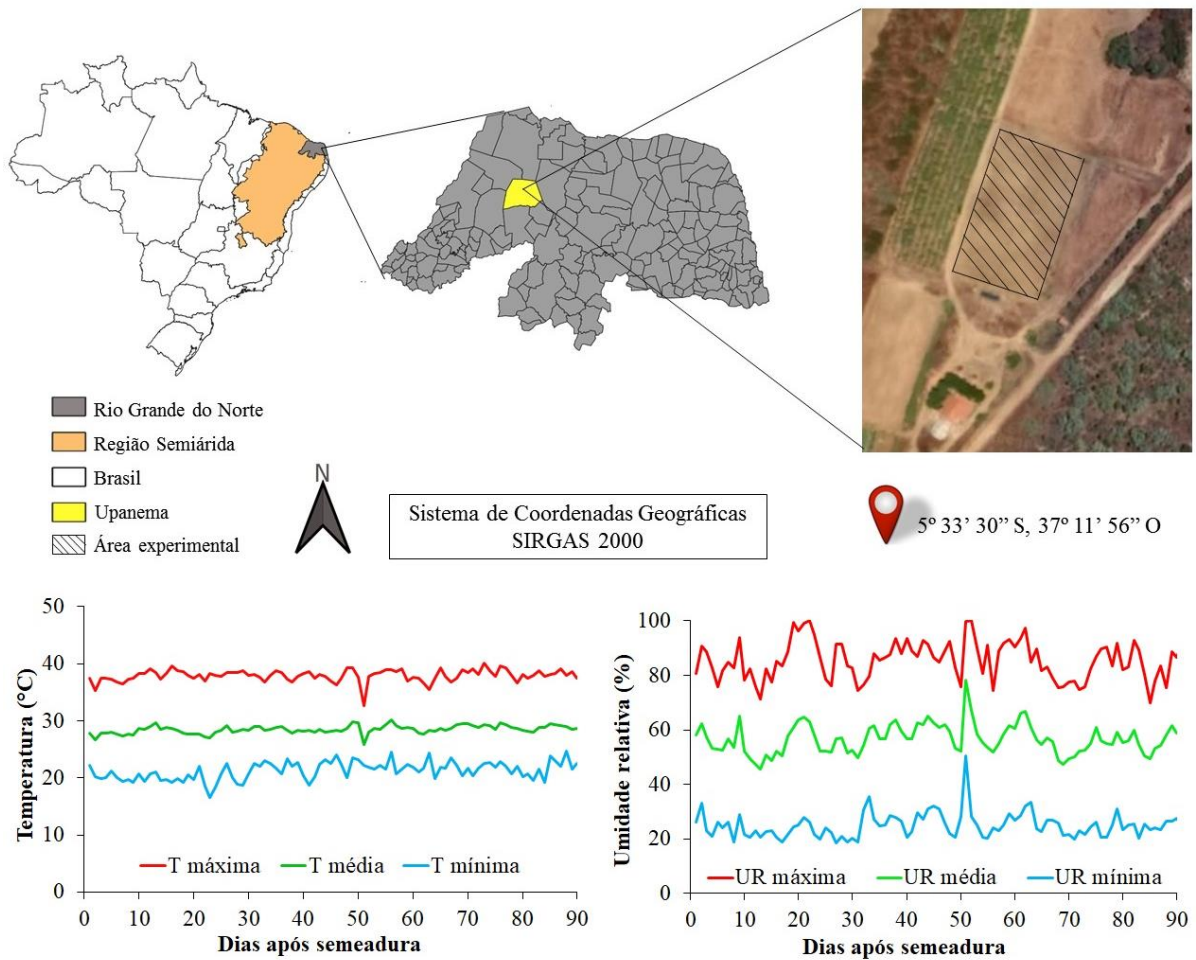
Nessas regiões, o sorgo sacarino apresenta-se como uma alternativa para a produção de biomassa, açúcar, sacarose e etanol (APPIAH-NKANSAH et al., 2019; NAOURA et al., 2020; YANG et al., 2020). Devido as suas características de alta eficiência fotossintética (GUO et al., 2018), alta eficiência do uso do nitrogênio, alto conteúdo de açúcares no colmo (APPIAH-NKANSAH et al., 2019), além da capacidade de se desenvolver em condições de estresses salino e hídrico (QUEIROZ et al., 2023; SILVA et al., 2023).

Os estresses salino e hídrico são fatores importantes que limitam severamente a produção agrícola em todo o mundo (FAN et al., 2015). Assim, é essencial entender como os efeitos dos estresses salino e hídrico ocorrem no desenvolvimento de plantas de sorgo. Porém, ainda não existem muitos trabalhos na literatura abordando a influência de ambos os estresses em sorgo sacarino (QUEIROZ et al., 2023). Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar as relações hídricas, trocas gasosas e crescimento de sorgo 'BRS 509' cultivado sob estresse salino e hídrico combinados.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **Localização da área experimental**

O ensaio foi conduzido entre os meses de setembro e dezembro de 2020, em uma área experimental ( $05^{\circ} 33' 30''$  S e  $37^{\circ} 11' 56''$  O, altitude de 110 m), localizada no Sítio Cumaru, zona rural do município de Upanema, Rio Grande do Norte, Brasil. Durante a condução do experimento foram coletados dados atmosféricos, através de uma estação meteorológica montada próxima a área experimental (Figura 1).



**Figura 1.** Localização geográfica do sítio Cumaru e características climáticas de temperatura e umidade relativa do ar durante os meses de condução do experimento.

### Delineamento experimental

Os tratamentos para os estresses salino e hídrico foram quatro condutividades elétricas da água de irrigação (1,50; 3,00; 4,50 e 6,00  $\text{dS m}^{-1}$ ) e quatro lâminas de irrigação (53, 67, 85 e 94% da ETc). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4x4, com repetição dentro do bloco, contendo 16 tratamentos e 64 parcelas experimentais.

### Características do solo

O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo (SANTOS et al., 2018). Antes da semeadura do sorgo realizou-se a coleta do solo da área experimental para determinação dos atributos químicos e físicos.

**Tabela 1.** Características químicas e físicas do solo da área experimental.

<b>Características químicas</b>			
		0-20 cm	20-40 cm
pH	H <sub>2</sub> O (1:2,5)	7,56	7,28
CEes	dS m <sup>-1</sup>	0,57	0,36
P	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,05	0,03
K <sup>+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,20	0,18
Na <sup>+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,11	0,95
Ca <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7,00	5,96
Mg <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,91	1,77
Soma de bases	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	10,22	8,86
Matéria orgânica	%	1,87	1,40
<b>Características físicas</b>			
Areia	%	71,77	61,67
Silte	%	6,54	4,95
Argila	%	21,69	33,38

pH: potencial hidrogeniônico; CEes: condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; P: fósforo; K<sup>+</sup>: potássio; Na<sup>+</sup>: sódio; Ca<sup>2+</sup>: cálcio; e Mg<sup>2+</sup>: magnésio.

### Material vegetal

Utilizou-se a cultivar de sorgo sacarino ‘BRS 509’, cuja semeadura foi feita em espaçamento com fileiras duplas 1,35 x 0,25 x 0,15 m, semeando-se 5 sementes por cova, após 18 dias realizou-se desbaste deixando-se duas plantas por cova. As parcelas úteis foram constituídas de fileira dupla de 5 metros, de onde 14 plantas foram selecionadas e marcadas aos 25 dias após semeadura (DAS) e nelas foram realizadas as diferentes medições das variáveis estudadas.

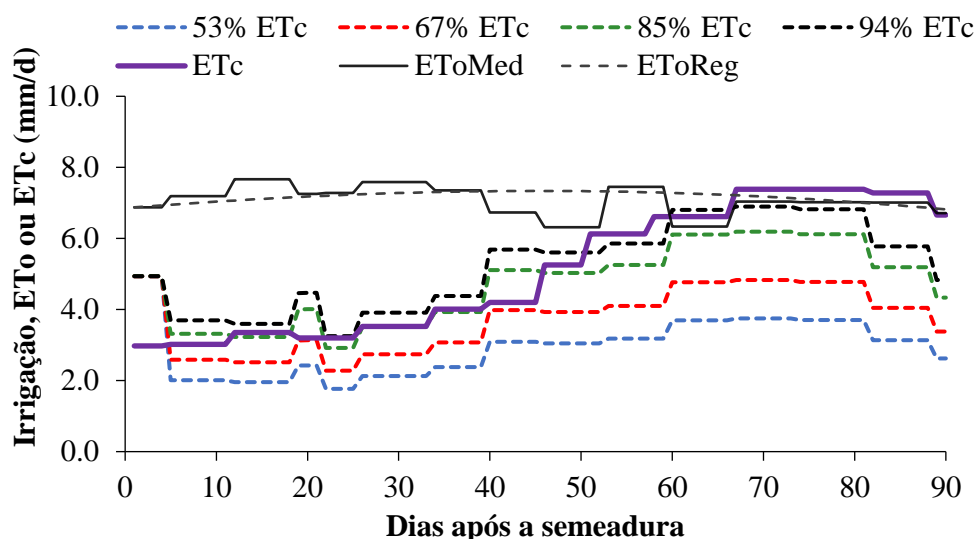
### Fertilização do solo

A adubação foi realizada de acordo com os resultados obtidos na análise química do solo, seguindo as recomendações de adubação para a cultura (CAVALCANTI et al., 2008). Para a adubação de fundação, foram usados 104 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando como fonte MAP, que adicionou 22 kg ha<sup>-1</sup> de N. A adubação de cobertura foi realizada através de fertirrigação, aplicando-se 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando-se como fonte ureia e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, usando cloreto de potássio.



## Manejos dos estresses hídrico e salino

Aos 7 dias após semeadura (DAS), foram iniciados o manejo com as diferentes lâminas de irrigação, utilizando-se o sistema de irrigação por gotejamento, com emissores de diferentes vazões e espaçamentos, proporcionado as vazões de 5,21; 6,70; 8,57 e 9,55 L h<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>, com irrigação diária, de acordo com a evapotranspiração máxima da cultura (ETc), estimada pela evapotranspiração de referência (ETo) e pelo coeficiente de cultura (Kc), conforme método proposto pela FAO 56, aplicando-se a metodologia do Kc dual (ALLEN et al., 2006). Para todo o ciclo da cultura, foram aplicados 255,3; 323,6; 409,0 e 453,4 mm, para os tratamentos com 53, 67, 85 e 94% da ETc, respectivamente (Figura 2).



**Figura 2.** Evapotranspiração de referência medida (EToMed), evapotranspiração média regional (EToReg), evapotranspiração da cultura estimada (ETc) e lâminas de irrigação (53, 67, 85 e 94% da ETc) aplicadas no ciclo do sorgo ‘BRS 509’.

Aos 21 dias após a semeadura foram iniciados os tratamentos referentes ao manejo com águas salinas. A água com menor condutividade elétrica (1,50 dS m<sup>-1</sup>) foi proveniente do sistema de abastecimento da fazenda. As demais condutividades (3,00; 4,50 e 6,00 dS m<sup>-1</sup>), foram preparadas soluções-estoque na concentração de 200 g L<sup>-1</sup> de NaCl (3,42 mM), CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O (1,36 mM) e MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (0,81 mM) e quantidades adicionadas da solução estoque, de modo que a proporção final foi de 6,3:2,7:1 de Na, Ca e Mg, o que representa a composição média das águas mais salinas da região de exploração do Aquífero Calcário Jandaíra (SILVA JÚNIOR et al., 1999), sendo monitoradas diariamente através condutivímetro digital portátil, modelo CD-860, Instrutherm® (Tabela 2).

**Tabela 2.** Características químicas das águas utilizadas na irrigação do experimento.

CE	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
dS m <sup>-1</sup>	-----			mmol <sub>c</sub>	-----		
1,50	5,0	4,0	1,0	0,12	8,1	0,2	7,0
3,00	19,0	4,0	1,5	0,12	22,1	0,8	6,9
4,50	28,5	6,0	2,3	0,12	35,6	1,4	6,9
6,00	38,0	8,0	3,0	0,12	49,1	2,2	6,8

CE: condutividade elétrica da água de irrigação; Na<sup>+</sup>: sódio; Ca<sup>2+</sup>: cálcio; Mg<sup>2+</sup>: magnésio; K<sup>+</sup>: potássio; Cl<sup>-</sup>: cloro; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: sulfatos; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: bicarbonatos.

### Variáveis analisadas

#### *Dano de membrana e conteúdo relativo de água*

O dano de membrana (DM) e conteúdo relativo de água (CRA) foram determinados aos 76 DAS. Para DM, a determinação foi feita pelo método de extravasamento de eletrólitos, através da equação proposta por Lutts et al. (1996).

$$DM = \frac{C1}{C2} \times 100$$

Onde:

DM: dano de membrana, %;

C1: condutividade elétrica inicial, dS m<sup>-1</sup>;

C2: condutividade elétrica final, dS m<sup>-1</sup>.

CRA foi determinado através de discos foliares, conforme metodologia proposta por Čatský et al. (1960) e pelas seguintes equações:

$$CRA = \frac{MF - MS}{MT - MS} \times 100$$

Onde:

CRA: conteúdo relativo de água, %;

MF: massa fresca, g;

MS: massa seca, g;

MT: massa túrgida, g.

### *Trocas gasosas*

A condutância estomática ( $g_s - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), taxa de transpiração ( $E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), eficiência do uso da água (EUA –  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA –  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foram analisadas aos 83 dias após a semeadura (DAS) utilizando-se o analisador de gases infravermelho (IRGA, GFS-3000, Walz, Alemanha). As medições foram feitas das 08:00 as 10:00h na folha bandeira. O IRGA foi configurado com área de 8  $\text{cm}^2$ , velocidade do impulsor de 7, controle de luz com 1.200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , controle de temperatura de 25 °C, fluxo de 750  $\mu\text{mol}/\text{min}$  e concentração de  $\text{CO}_2$  de 400 ppm.

### *Crescimento de plantas*

Aos 87 DAS foram avaliadas as variáveis de crescimento: altura de plantas (cm): medindo-se a partir do colo da planta até o ápice do meristema foliar; altura do colmo (cm): medindo-se toda extensão do colmo até a última inserção foliar; área foliar ( $\text{cm}^2$ ): mensurada por meio de medidor de área foliar (modelo LI-3100C, LI-COR<sup>®</sup>), aplicando-se o fator de correção 0,747; e massas secas da folha, colmo, inflorescência, raiz e total (g): obtidos após a separação das partes da planta e acondicionados em sacos de papel e, em seguida, colocados para secar em estufa com circulação de ar forçado com temperatura de 65 °C por 72 horas e depois pesados em balança de precisão.

### **Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de significância, em caso de efeitos significativos, realizou-se análise de regressão, utilizando-se o software R<sup>®</sup> versão 4.1.3 (R CORE TEAM, 2022) e os gráficos produzidos com o software SigmaPlot<sup>®</sup> versão 12.3 (SYSTAT SOFTWARE INC., 2013).

## **3 RESULTADOS**

As variáveis de dano de membrana, conteúdo relativo de água e trocas gasosas ( $g_s$ ,  $E$ ,  $A$ , EUA e EiUA) tiveram interação entre os fatores estudados, ou seja, condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância (ANOVA) para dano de membrana (DM), conteúdo relativo de água (CRA), condutância estomática (*gs*), taxa de transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS 509’.

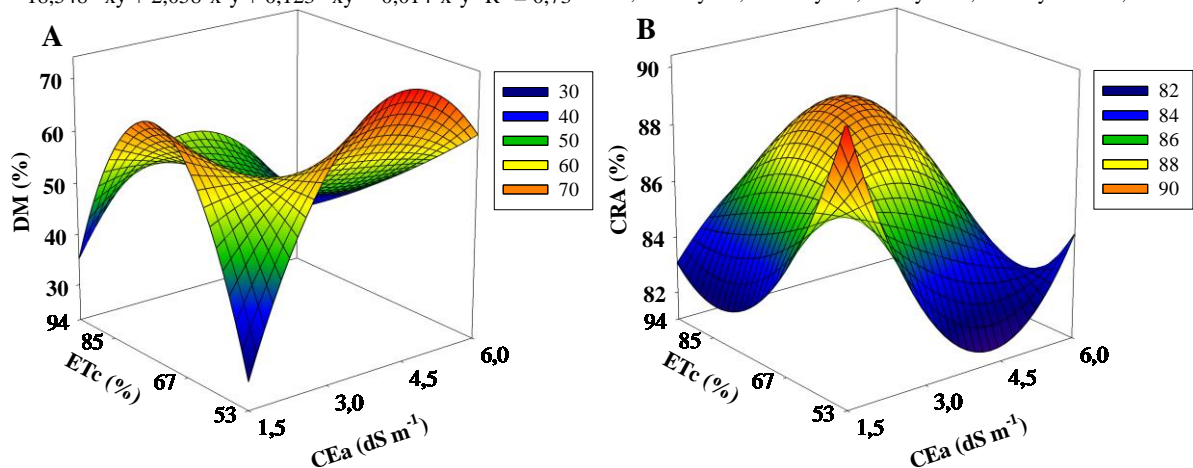
Variáveis								
FV	GL	DM	CRA	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	EUA	EiUA
Estatística F								
CEa	3	1,53 <sup>ns</sup>	1,94 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	3,47 <sup>*</sup>	2,76 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	1,61 <sup>ns</sup>
ETc	3	1,90 <sup>ns</sup>	1,07 <sup>ns</sup>	7,42 <sup>***</sup>	10,77 <sup>***</sup>	2,36 <sup>ns</sup>	11,10 <sup>***</sup>	10,59 <sup>***</sup>
CEa x ETc	9	2,90 <sup>**</sup>	2,12 <sup>*</sup>	3,79 <sup>**</sup>	8,17 <sup>***</sup>	2,39 <sup>*</sup>	5,85 <sup>***</sup>	4,77 <sup>***</sup>
CV%	-	36,06	5,74	20,91	1,43	9,35	14,58	13,66

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; CEa: condutividade elétrica da água de irrigação; ETc: lâmina de irrigação; (ns) não significativo; (\*) significativo ao nível de 5%; (\*\*) significativo ao nível de 1%; (\*\*\*) significativo ao nível de 0,1%.

Ocorreu aumento no DM (Figura 3A) em resposta aos estresses abióticos hídrico e salino. Pode-se observar que a maior porcentagem de dano de membrana celular (73,79%) foi causada quando as plantas foram submetidas a CEa intermediária de 4,45 dS m<sup>-1</sup> combinado com o estresse hídrico mais elevado (ETc = 53%).

$$Z = -1260,709 + 681,694^{**}x - 75,321^{*}x^2 + 35,966^{**}y - 0,239^{**}y^2 - 18,548^{**}xy + 2,058^{*}x^2y + 0,123^{**}xy^2 - 0,014^{*}x^2y^2 \quad R^2 = 0,73$$

$$Z = 351,157 - 171,810^{**}x + 22,323^{**}x^2 - 6,992^{*}y + 0,043^{*}y^2 + 4,589^{**}xy - 0,602^{**}x^2y - 0,029^{*}xy^2 + 0,004^{*}x^2y^2 \quad R^2 = 0,61$$



**Figura 3.** Dano de membrana (A) e conteúdo relativo de água (B) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS 509’.

O maior CRA (90,54%) foi obtido nas plantas que foram submetidas ao menor estresse salino ( $CEa = 1,50 \text{ dS m}^{-1}$ ) combinado com o estresse hídrico mais elevado ( $ETc = 53\%$ ), enquanto que quando submetidas a  $CEa$  máxima de  $6,00 \text{ dS m}^{-1}$  e a  $ETc$  de 74,21% foram observados os menores conteúdos relativos de água (81,28%), representando um decréscimo de 11,39% (Figura 3B).

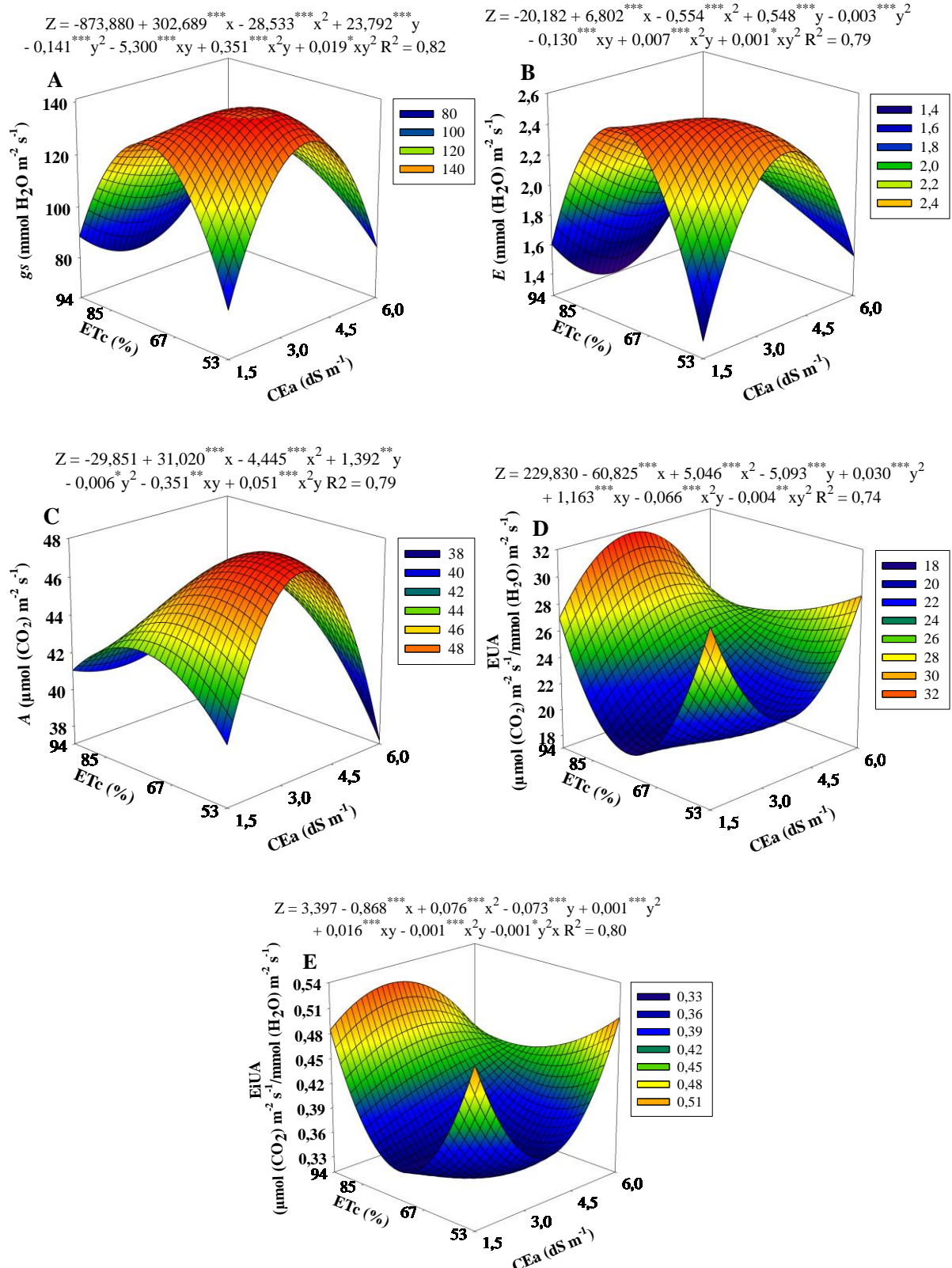
A maior  $g_s$  ( $142,34 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) foi observada na  $CEa$   $3,36 \text{ dS m}^{-1}$  combinado com o estresse hídrico de 64,31%. Por outro lado, a menor  $g_s$  ( $75,83 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) foi obtida na  $CEa$  de  $3,21 \text{ dS m}^{-1}$  combinado com a  $ETc$  de 94% (Figura 4A).

Os estresses abióticos também interferiram na  $E$  das plantas de sorgo, atingindo valor máximo de  $2,53 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-1} \text{ s}^{-1}$  na  $CEa$  de  $2,89 \text{ dS m}^{-1}$  e  $ETc$  de 67,14%, enquanto que o menor  $E$   $1,26 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-1} \text{ s}^{-1}$  foi obtido em  $3,36 \text{ dS m}^{-1}$  de  $CEa$  e 94% de  $ETc$  (Figura 4B).

A maior  $A$  ( $47,97 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foi alcançada nos estresses intermediários com  $CEa$  de  $3,52 \text{ dS m}^{-1}$  e 60,1% de  $ETc$  (Figura 4C). Enquanto que a menor  $A$  ( $37,19 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foi obtida nos estresses mais severos, ou seja,  $CEa$  de  $6,00 \text{ dS m}^{-1}$  e  $ETc$  de 53%.

A  $EUA$  e  $EiUA$  foram afetadas pelos estresses salino e hídrico, com comportamentos semelhantes para as duas variáveis. Os maiores valores  $31,77$  e  $0,52 \text{ } \mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-1} \text{ s}^{-1}$  foram obtidos nas  $CEa$  de  $3,52$  e  $3,21 \text{ dS m}^{-1}$ , ambos combinados com a  $ETc$  de 94%, para  $EUA$  e  $EiUA$ , respectivamente.

Por outro lado, para  $EUA$  o valor mínimo de  $18,64 \text{ } \mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-1} \text{ s}^{-1}$  foi observado na  $CEa$  mínima de  $1,50 \text{ dS m}^{-1}$  combinado com a  $ETc$  de 75,6%, enquanto que para  $EiUA$  observou-se o menor valor ( $0,33 \text{ } \mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) na  $CEa$  contendo  $3,05 \text{ dS m}^{-1}$  e  $ETc$  com 67,14%, sendo possível observar que os valores tenderam a ser mais elevados nas salinidades extremas da água de irrigação (Figuras 4D e 4E).



**Figura 4.** Condutância estomática ( $g_s$  - A), taxa de transpiração ( $E$  - B), taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  (A - C), eficiência do uso da água (EUA - D) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA - E) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS 509’.

Houve efeito significativo para as variáveis altura de plantas e altura de colmo em função das diferentes lâminas de irrigação (ETc), enquanto que para a variável massa seca da raiz houve significância quando submetidas as diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) (Tabela 4).

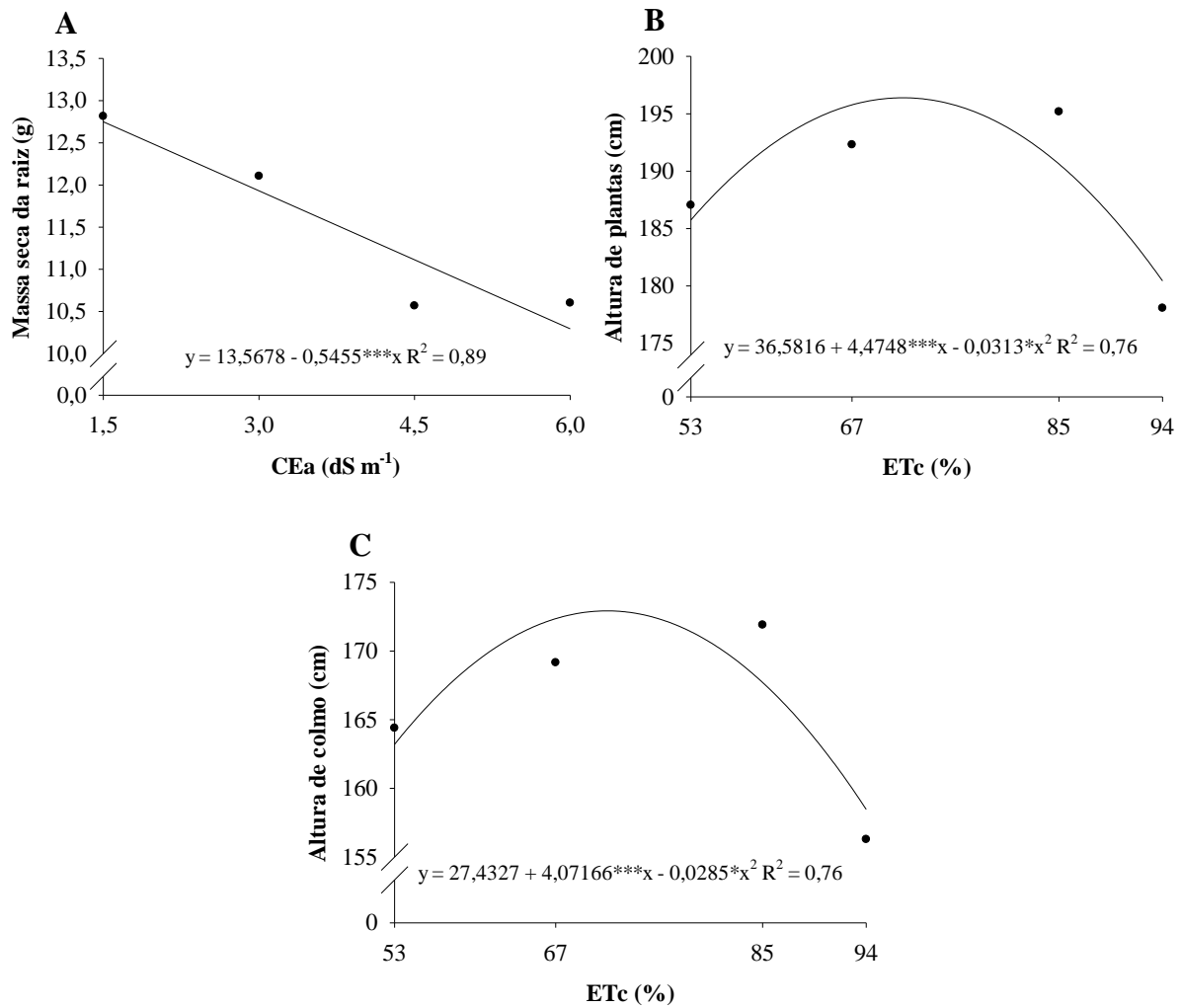
**Tabela 4.** Resumo da análise de variância (ANOVA) para altura de plantas (AP), altura do colmo (AC), área foliar (AF), massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa seca da inflorescência (MSI), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS 509’.

Variáveis									
FV	GL	AP	AC	AF	MSF	MSC	MSI	MSR	MST
Estatística F									
CEa	3	1,02 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	2,10 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	6,61 <sup>***</sup>	0,81 <sup>ns</sup>
ETc	3	8,45 <sup>***</sup>	7,76 <sup>***</sup>	1,19 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	1,69 <sup>ns</sup>	2,67 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
CEa x ETc	9	1,33 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	1,56 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	1,53 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>
CV%	-	5,50	5,94	12,11	20,55	24,48	38,93	37,15	19,77

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; CEa: condutividade elétrica da água de irrigação; ETc: lâmina de irrigação; (ns) não significativo; (\*) significativo ao nível de 5%; (\*\*) significativo ao nível de 1%; (\*\*\*) significativo ao nível de 0,1%.

Para massa seca da raiz (Figura 5A), ocorreu efeito linear negativo em resposta as diferentes CEa, com o valor máximo de massa seca sendo obtido na menor CEa ( $1,50 \text{ dS m}^{-1} = 12,75 \text{ g}$ ). Em contrapartida, a maior CEa apresentou o menor valor ( $6,00 \text{ dS m}^{-1} = 10,29 \text{ g}$ ), representando um decréscimo de 23,91% na produção de massa seca de raiz.

É possível observar que as alturas das plantas de sorgo foram influenciadas pela disponibilidade hídrica (Figuras 5B e 5C), ocorrendo efeito estatístico significativo quadrático para as variáveis altura de plantas e altura de colmo quando submetidos as diferentes lâminas de irrigação (ETc). As maiores alturas 196,39 e 172,92 cm foram obtidos na ETc intermediária de 71,86%, para as duas variáveis. Entretanto, para ambas variáveis as menores alturas (AP = 180,44 e AC = 158,46 cm), foram observadas na ETc máxima estudada (94%).



**Figura 5.** Massa seca da raiz (A) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa), altura de plantas (B) e altura de colmo (C) em função de lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS 509’.

#### 4 DISCUSSÃO

Nossos achados para dano de membrana (DM) estão de acordo com os encontrados em outras pesquisas. Outros autores observaram danos à membrana celular relacionados ao estresse hídrico em diferentes genótipos de sorgo (AMOA; ANTWI-BERKO, 2020). Enquanto que, outros autores relataram que o sorgo sob estresse salino, apresenta aumento no dano à membrana celular (FREITAS et al., 2019).

O estresse hídrico pode impedir vários processos metabólicos nas plantas, causando danos à membrana celular (KUMAR et al., 2015). Além disso, sob estresse salino, elementos minerais como o Na<sup>+</sup> se acumulam nas células e causam estresse osmótico e iônico nas plantas



de sorgo, causando severos danos as membranas e afetando a absorção de elementos essenciais como o  $K^+$  nas células vegetais (RAKGOTHO et al., 2022).

Resultados semelhantes para conteúdo relativo de água (CRA) foram encontrados por Freitas et al. (2019), onde esses autores mencionam que o CRA foi reduzido em plantas de sorgo na presença de estresse salino. Corroborando com outros autores que relataram diminuição do CRA para seis genótipos de sorgo quando submetidos ao estresse hídrico (AMOAHA; ANTWI-BERKO, 2020).

No presente estudo foram observados danos negativos para  $g_s$  sob os estresses abióticos estudados (salino e hídrico). Outros autores também relataram redução de  $g_s$  em plantas de sorgo forrageiro em condições de estresse salino (ALI et al., 2022) e sob estresse hídrico (ZHU et al., 2020).

O baixo potencial hídrico imposto pelas condições de estresse salino ou de seca podem ocasionar uma redução na  $g_s$ . A diminuição dos processos fisiológicos é uma tentativa da planta de minimizar as perdas de água em razão da disponibilidade hídrica determinada pelas condições de estresse (DOURADO et al., 2022). A redução em  $g_s$  normalmente ocasiona uma redução na assimilação líquida de  $CO_2$  afetando todos os processos fisiológicos e consequente redução no crescimento e desenvolvimento das plantas (ZHAO et al., 2020; ALI et al., 2022).

Alguns autores relatam comportamento de redução de  $E$  em plantas de sorgo submetidas a estresse hídrico (ENDRIS et al., 2021; MARTÍNEZ-GOÑI et al., 2022), enquanto que outros estudos observaram diminuição nos valores de  $E$  sob estresse salino (COELHO et al., 2018; SILVA et al., 2019).

O comportamento de  $A$  sob estresses está associado a reduções proporcionais em  $g_s$  e  $E$ , o que implica em reduções no desempenho fotossintético, estando associados principalmente ao fechamento estomático (ORTIZ; SALAZ-FERNANDEZ, 2022). Demais autores também relataram que estresses abióticos como hídrico e salino provocam reduções da  $A$  em sorgo (GUIMARÃES et al., 2020; COELHO et al., 2018; SANTANA et al., 2020; ZHU et al., 2020). A redução das variáveis de fotossíntese em plantas de sorgo é um efeito comum quando estas são submetidas a estresse abióticos, como seca e salinidade (OLIVEIRA et al., 2022; DOURADO et al., 2022).

Os achados concordam com os resultados encontrados por Guimarães et al. (2020), que relataram que o estresse por salinidade afeta a EUA e EiUA em diferentes variedades de sorgo granífero. Enquanto que Martínez-Goñi et al. (2022), observaram alterações na EUA em decorrência do estresse hídrico.

A redução nas taxas fotossintéticas sob estresse salino pode ser devida à diminuição do potencial hídrico, do metabolismo do carbono e do  $\text{Na}^+$  ou  $\text{Cl}^-$  presentes nas plantas (ALI et al., 2022). Além disso, as alterações nas atividades enzimáticas ativam o acúmulo excessivo de  $\text{Na}^+$  nas folhas, levando a uma diminuição nos processos fotossintéticos (SUDHIR; MURTHY, 2004). Desta forma todos os processos de trocas gasosas das plantas, incluindo EUA e EiUA estão diretamente relacionadas as condições ambientais em que as plantas são submetidas.

Entretanto, de maneira geral os maiores valores para as variáveis de trocas gasosas foram observados sob condições de estresses intermediários, sugerindo que sob condições de estresse salino e/ou hídrico o sorgo 'BRS 509' não sofre grandes perdas na sua capacidade de eficiência fotossintética, fato que pode indicar tolerância aos estresses salino e hídrico, refletindo diretamente nas variáveis de crescimento que de modo generalizado, com exceção das variáveis altura de plantas, altura do colmo e massa seca da raiz não apresentam diferenças estatísticas significativas, demonstrando a capacidade do sorgo de se adaptar às condições que limitam a absorção de água (COELHO et al., 2018). Na literatura existem alguns trabalhos que sugerem tolerância do sorgo através de variações reduzidas nas trocas gasosas sob condições de estresse salino (DOURADO et al., 2022) e estresse hídrico (RAJARAJAN et al., 2020).

Os resultados encontrados em nosso trabalho para altura de plantas e altura de colmo corroboram com os encontrados por outros pesquisadores que observaram redução no crescimento de plantas de sorgo em decorrência do efeito do estresse hídrico (SILVA et al., 2018; DENG et al., 2019; AMOAH; ANTWI-BERKO, 2020; AVILA et al., 2020). Os achados a massa seca da raiz foi reduzida com o aumento da salinidade. Resultados semelhantes foram observados em outros estudos (SILVA et al., 2019; DEHNAVI et al., 2022).

Sob estresse hídrico ocorreram poucas variações no crescimento das plantas. O sorgo é uma espécie tolerante à seca hídrica (SILVA et al., 2018; IMPA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2022). Apresentando diversos mecanismos de tolerância ao estresse hídrico, como ajuste osmótico elevado, capacidade de manter a abertura dos estômatos sob baixos níveis de potencial hídrico ou ainda ajuste nos ângulos das folhas e enrolamento das folhas em condições de estresse hídrico (VERMA et al., 2018). Conforme relatado por Queiroz et al. (2023), o sorgo apresenta perdas mínimas no crescimento sob estresse hídrico.

De maneira semelhante, o crescimento das plantas de sorgo não foi influenciado pela salinidade da água de irrigação. O estresse salino pode afetar o crescimento e desenvolvimento vegetal de algumas formas como por exemplo através do estresse osmótico, que é responsável pela absorção e o transporte de nutrientes e água, resultando em diminuição da turgidez e expansão celular (ATKIN; MACHEREL, 2009) ou ainda pela ocorrência do desvio metabólico

destinado ao crescimento das plantas (PACHECO-SILVA; DONATO, 2016). No entanto, o crescimento do genótipo de sorgo utilizado nas condições do presente estudo parece não ser comprometido em decorrência da exposição ao estresse salino. Alguns autores relatam que cultivares de sorgo sacarino são tolerantes ao estresse salino, com a performance de crescimento e desenvolvimento não sendo afetados significativamente pela irrigação com águas salinas (SILVA et al., 2019; QUEIROZ et al., 2023; SILVA et al., 2023). Fato que pode explicar os resultados obtidos nas condições do nosso trabalho.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo demonstram que tanto o estresse hídrico e estresse salino causam efeitos negativos na fisiologia das plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*), ocorrendo mudanças nas trocas gasosas foliares e no status hídrico foliar. Entretanto, as mudanças na fisiologia das plantas não refletiram nas variáveis de crescimento, visto que, o estresse hídrico interferiu apenas na altura das plantas e na altura do colmo. Enquanto que, o estresse salino afetou apenas a variável de massa seca de raízes. Desta forma, os resultados sugerem que a cultivar de sorgo ‘BRS 509’ se comporta de forma tolerante aos estresses hídrico e salino.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) pelo apoio financeiro concedido.

## REFERÊNCIAS

ALI, A. Y. A.; IBRAHIM, M. E. H.; ZHOU, G.; ZHU, G.; ELSIDDIG, A. M. I.; SULIMAN, M. S. E.; ELRADI, S. B. M.; SALAH, E. G. I. Interactive impacts of soil salinity and jasmonic acid and humic acid on growth parameters, forage yield and photosynthesis parameters of sorghum plants. **South African Journal of Botany**, v. 146, p. 293-303, 2022.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES D.; SMITH, M. **Evapotranspiration del cultivo: Guías para a la determinacion de los requeriments de água de los cultivos**. Roma: FAO, 298. 2006.

AMOAH, J. N.; ANTWI-BERKO, D. Comparative physiological, biochemical and transcript response to drought in sorghum genotypes. **Biotechnology Journal International**, v. 24, p. 1-14, 2020.

APPIAH-NKANSAH, N. B.; LI, J.; ROONEY, W.; WANG, D. A review of sweet sorghum as a viable renewable bioenergy crop and its techno-economic analysis. **Renewable Energy**, v. 143, p. 1121-1132, 2019.

ATKIN, O. K.; MACHEREL, D. The crucial role of plant mitochondria in orchestrating drought tolerance. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 581-597, 2009.

AVILA, R. G.; MAGALHÃES, P. C.; SILVA, E. M.; GOMES JÚNIOR, C. C.; LANA, U. G. P.; ALVARENGA, A. A.; SOUZA, T. C. Silicon supplementation improves tolerance to water deficiency in sorghum plants by increasing root system growth and improving photosynthesis. **Silicon**, v. 12, p. 2545-2554, 2020.

ČATSKÝ, J. Determination of water deficit in disks cut out from leaf blades. **Biologia Plantarum**, v. 2, n. 1, p. 76-78, 1960.

CAVALCANTI, F. J. A.; LIMA JÚNIOR, M. A.; LIMA, J. F. W. F. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3 ed. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco- IPA, 212p. 2008.

COELHO, D. S.; SIMÕES, W. L.; SALVIANO, A. M.; MESQUITA, A. C.; ALBERTO, K. D. C. Gas exchange and organic solutes in forage sorghum genotypes grown under different salinity levels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 231-236, 2018.

DEHNAVI, A. R.; ZAHEDI, M.; LUDWICZAK, A.; PIERNIK, A. Foliar application of salicylic acid improves salt tolerance of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Plants**, v. 11, n. 3, p. 368, 2022.

DENG, B.; BADA, B.; TAMMEORG, P.; HELENIUS, J.; LUUKKANEN, O.; STARR, M. Drought stress and Acacia seyal biochar effects on sorghum gas exchange and yield: A greenhouse experiment. **Agriculture and Natural Resources**, v. 53, n. 6, p. 573-580, 2019.

DOURADO, P. R. M.; SOUZA, E. R.; SANTOS, M. A. D.; LINS, C. M. T.; MONTEIRO, D. R.; PAULINO, M. K. S. S.; SCHAFFER, B. Stomatal regulation and osmotic adjustment in sorghum in response to salinity. **Agriculture**, v. 12, n. 5, p. 658, 2022.

ENDRIS, S.; FETENE, M.; AMEDE, T. CO<sub>2</sub> exchange, dry matter accumulation and growth response of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to terminal drought as affected by potassium and blended-NPSBZn fertilization. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 207, n. 3, p. 450-464, 2021.

FAN, Y.; SHABALA, S.; MA, Y.; XU, R.; ZHOU, M. Using QTL mapping to investigate the relationships between abiotic stress tolerance (drought and salinity) and agronomic and physiological traits. **BMC Genomics**, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2015.

FARHANGI-ABRIZ, S.; GHASSEMI-GOLEZANI, K. How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants?. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 147, p. 1010-1016, 2018.

FREITAS, P. A. F.; CARVALHO, H. H.; COSTA, J. H.; MIRANDA, R. D. S.; SARAIVA, K. D. D. C.; OLIVEIRA, F. D. B.; COELHO, D. G.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Salt acclimation in sorghum plants by exogenous proline: physiological and biochemical changes and regulation of proline metabolism. **Plant Cell Reports**, v. 38, p. 403-416, 2019.

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; TABOSA, J. N.; CAMARA, T. R.; WILLADINO, L. G. Gas exchange and enzymatic metabolism in grain sorghum varieties irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 19, p. 14, 2020.

GUO, Y. Y.; TIAN, S. S.; LIU, S. S.; WANG, W. Q.; SUI, N. Energy dissipation and antioxidant enzyme system protect photosystem II of sweet sorghum under drought stress. **Photosynthetica**, v. 56, n. 3, p. 861-872, 2018.

IBRAHIM, M. E. H.; ZHU, X.; ZHOU, G.; ALI, A. Y. A.; AHMAD, I.; AHMAD, I.; ELSIDDIG, A. M. I.; ZHU, G.; NIMIR, N. E. A. Promoting salt tolerance in wheat seedlings by application of nitrogen fertilizer. **Pakistan Journal of Botany**, v. 51, n. 6, p. 1995-2002, 2019.

IMPA, S. M.; PERUMAL, R.; BEAN, S. R.; SUNOJ, V. J.; JAGADISH, S. K. Water deficit and heat stress induced alterations in grain physico-chemical characteristics and micronutrient composition in field grown grain sorghum. **Journal of Cereal Science**, v. 86, p. 124-131, 2019.

KUMAR, M.; HASAN, M.; ARORA, A.; GAIKWAD, K.; KUMAR, S.; RAI, R. D.; SINGH, A. Sodium chloride-induced spatial and temporal manifestation in membrane stability index and protein profiles of contrasting wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under salt stress. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 20, p. 271-275, 2015.

LUTTS, S.; KINET, J. M.; BOUHARMONT, J. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. **Annals of Botany**, v. 78, n. 3, p. 389-398, 1996.

MACHADO, R. M. A.; SERRALHEIRO, R. P. Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. **Horticulturae**, v. 3, n. 2, p. 30, 2017.

MARTÍNEZ-GOÑI, X. S.; ROBREDO, A.; PÉREZ-LÓPEZ, U.; MUÑOZ-RUEDA, A.; MENA-PETITE, A. *Sorghum bicolor* prioritizes the recovery of its photosynthetic activity when re-watered after severe drought stress, while manages to preserve it under elevated CO<sub>2</sub> and drought. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 209, n. 2, p. 217-227, 2022.

MURUNGWENI, C.; VAN WIJK, M. T.; SMALING, E. M. A.; GILLER, K. E. Climate-smart crop production in semi-arid areas through increased knowledge of varieties, environment and management factors. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 105, p. 183-197, 2016.

NAOURA, G.; EMENDACK, Y.; BALOUA, N.; VOM BROCKE, K.; HASSAN, M.; SAWADOGO, N.; NODJASSE, A. D.; DJINODJI, R.; TROUCHE, G.; LAZA, H. E. Characterization of semi-arid Chadian sweet sorghum accessions as potential sources for sugar and ethanol production. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020.

OLIVEIRA, J. P. V.; DUARTE, V. P.; CASTRO, E. M.; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA, F. J. Stomatal cavity modulates the gas exchange of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. grown under different water levels. **Protoplasma**, p. 1-17, 2022.

ORTIZ, D.; SALAS-FERNANDEZ, M. G. Dissecting the genetic control of natural variation in sorghum photosynthetic response to drought stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 73, n. 10, p. 3251-3267, 2022.

PACHECO-SILVA, N. V.; DONATO, A. M. Morpho-anatomy of the leaf of *Myrciaria glomerata*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 26, p. 275-280, 2016.

PIAO, S.; LIU, Q.; CHEN, A.; JANSSENS, I. A.; FU, Y.; DAI, J.; LIU, L.; LIAN, X.; SHEN, M.; ZHU, X. Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. **Global Change Biology**, v. 25, n. 6, p. 1922-1940, 2019.

QUEIROZ, G. C. M.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, R. R.; MORAIS, F. M. S.; SOUSA, L. V.; SOUZA, M. V. P.; SANTOS, E. N.; FERREIRA, F. N.; SILVA, J. M. C.; CLEMENTE M. I. B.; GRANJEIRO, J. C. C.; SALES, M. N. A.; CONSTANTE, D. C.; NOBRE, R. G.; SÁ, F. V. S. Growth, Solute Accumulation, and Ion Distribution in Sweet Sorghum under Salt and Drought Stresses in a Brazilian Potiguar Semiarid Area. **Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 803, 2023.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022.

RAJARAJAN, K.; GANESAMURTHY, K.; RAVEENDRAN, M.; JEYAKUMAR, P.; YUVARAJA, A.; SAMPATH, P.; PRATHIMA, P. T.; SENTHILRAJA, C. Differential responses of sorghum genotypes to drought stress revealed by physio-chemical and transcriptional analysis. **Molecular Biology Reports**, v. 48, p. 2453-2462, 2021.

RAKGOTHO, T.; NDOU, N.; MULAUDZI, T.; IWUOHA, E.; MAYEDWA, N.; AJAYI, R. F. Green-synthesized zinc oxide nanoparticles mitigate salt stress in *Sorghum bicolor*. **Agriculture**, v. 12, n. 5, p. 597, 2022.

SANTANA, S. R. A.; VOLTOLINI, T. V.; ANTUNES, G. D. R.; SILVA, V. M.; SIMÕES, W. L.; MORGANTE, C. V.; FREITAS, A. D. S.; CHAVES, A. R. M.; AIDAR, S. T.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Inoculation of plant growth-promoting bacteria attenuates the negative effects of drought on sorghum. **Archives of Microbiology**, v. 202, p. 1015-1024, 2020.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. (5a ed.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2018.

SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 22, n. 2, p. 123-131, 2015.

SILVA JÚNIOR, L. G. D. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. D. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, p. 11-17, 1999.

SILVA, E. M.; MAGALHÃES, P. C.; CASTRO, E. M.; ÁVILA, R. G.; ALMEIDA, L. G. Modifications in the root system, gas exchanges and productivity of sorghum hybrids cultivated under water déficit. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 3, p. 380-389, 2018.

SILVA, M. L. D. S.; SOUSA, H. G. D.; SILVA, M. L. D. S.; LACERDA, C. F. D.; GOMES-FILHO, E. Growth and photosynthetic parameters of saccharine sorghum plants subjected to salinity. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 41, 2019.

SILVA, R. R.; MEDEIROS, J. F.; QUEIROZ, G. C. M.; SOUSA, L. V.; SOUZA, M. V. P.; NASCIMENTO, M. A. B.; MORAIS, F. M. S.; NÓBREGA, R. F.; SILVA, L. M.; FERREIRA, F. N.; CLEMENTE, M. I. B.; CORDEIRO, C. J. X.; GRANJEIRO, J. C. C.; CONSTANTE, D. C.; SÁ, F. V. S. Ionic Response and Sorghum Production under Water and Saline Stress in a Semi-Arid Environment. **Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 1127, 2023.

SUDHIR, P.; MURTHY, S. D. S. Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. **Photosynthetica**, v. 42, p. 481-486, 2004.

SYSTAT SOFTWARE. INC. SigmaPlot for Windows, version 12.3. San Jose: Cranes, 2013.

VERMA, R.; KUMAR, R.; NATH, A. Drought resistance mechanism and adaptation to water stress in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **International Journal of Bio-resource and Stress Management**, v. 9, n. 1, p. 167-172, 2018.

YANG, Z.; LI, J. L.; LIU, L. N.; XIE, Q.; SUI, N. Photosynthetic regulation under salt stress and salt-tolerance mechanism of sweet sorghum. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1722, 2020.

ZHAO, C.; ZHANG, H.; SONG, C.; ZHU, J. K.; SHABALA, S. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. **The Innovation**, v. 1, n. 1, p. 100017, 2020.

ZHU, L.; CERNUSAK, L. A.; SONG, X. Dynamic responses of gas exchange and photochemistry to heat interference during drought in wheat and sorghum. **Functional Plant Biology**, v. 47, n. 7, p. 611-627, 2020.



## CAPÍTULO III

### EFEITOS DOS ESTRESSES SALINO E HÍDRICO EM SORGO SACARINO

#### RESUMO

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma planta que consegue ser explorada em condições de estresses salino e hídrico, assim pode ser uma alternativa para a produção de bioetanol em regiões áridas e semiáridas. O objetivo deste trabalho foi avaliar as variáveis de status hídrico foliar, açúcares, trocas gasosas e crescimento em sorgo sacarino 'BRS 506' sob os estresses salino e hídrico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial (4x4), sendo o primeiro fator referente a condutividades elétricas da água de irrigação (CEa - 1,5; 3,0; 4,5; e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e o segundo fator referente às lâminas de irrigação (% da ETc - 53, 67, 85 e 95%). Utilizando-se dois blocos com duas repetições dentro dos blocos, totalizando 16 tratamentos e 64 parcelas experimentais. As trocas gasosas (temperatura da folha, déficit de pressão de vapor, condutância estomática, taxa de transpiração, taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, eficiência do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água), status hídrico foliar (dano de membrana e conteúdo relativo de água), açúcares nas folhas (açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não redutores e amido) e crescimento de plantas (altura de plantas, altura do colmo, e massas secas da folha, colmo, raiz e total) foram avaliados. Os resultados mostraram que os estresses salino e hídrico combinados causam efeitos negativos no crescimento das plantas de sorgo sacarino 'BRS 506'. O estresse salino acarreta distúrbios nas trocas gasosas e teores de açúcares nas folhas das plantas. As plantas de sorgo submetidas aos estresses salino e hídrico nas condições não sofreram grandes alterações nas variáveis, podendo evidenciar que a cultivar de sorgo 'BRS 506' é tolerante aos estresses abióticos estudados.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*. Déficit hídrico. Salinidade. Trocas gasosas.

### EFFECTS OF SALINE AND WATER STRESS ON SUGAR SORGHUM

#### ABSTRACT

Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) is a plant that can be exploited in conditions of salt and water stress, thus it can be an alternative for the production of bioethanol in arid and semiarid regions. The objective of this work was to evaluate the variables of leaf water status, sugars, gas exchange and growth in sweet sorghum 'BRS 506' subjected to salt and water stress. The experimental design was in randomized blocks, in a factorial scheme (4x4), with the first factor referring to the electrical conductivities of the irrigation water (CEa - 1.5; 3.0; 4.5; and 6.0 dS m<sup>-1</sup>) and the second factor referring to irrigation depths (% of ETc - 53, 67, 85 and 95%). Using two blocks with two replications within the blocks, totaling 16 treatments and 64 experimental plots. Gas exchange (leaf temperature, vapor pressure deficit, stomatal conductance, transpiration rate, CO<sub>2</sub> assimilation rate, water use efficiency, and intrinsic water use efficiency), leaf water status (membrane damage and relative water content), leaf sugars (total sugars, reducing sugars, non-reducing sugars and starch) and plant growth (plant height, stem height, and leaf, stem, root, and total dry mass) were evaluated. The results showed that combined salt and water stress cause negative effects on the growth of 'BRS 506' sweet sorghum plants. Salt stress causes disturbances in gas exchange and sugar levels in plant leaves. The sorghum plants subjected to saline and water stress under the conditions did not suffer major

changes in the variables, which may show that the sorghum cultivar 'BRS 506' is tolerant to the abiotic stresses studied.

**Keywords:** *Sorghum bicolor*. Water deficit. Salinity, Gas exchange.

## 1 INTRODUÇÃO

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) é uma planta C4 amplamente cultivada no mundo, possuindo altas concentrações de açúcares solúveis (sacarose, glicose e frutose) contido em seus colmos (NAOURA et al., 2020). A maior parte da produção mundial de etanol é extraída de milho e cana-de-açúcar (SILVA et al., 2020). Contudo, o sorgo sacarino apresenta-se como uma alternativa para a produção de bioetanol de origem vegetal a partir do seu colmo açucarado (BATISTA et al., 2018; DISASA et al., 2018). Uma vez que possui maior tolerância à seca e requer menor quantidade de água em comparação as outras duas culturas (BRIAND et al., 2018).

O sorgo é geralmente cultivado em regiões áridas e semiáridas, onde frequentemente existem fatores limitantes para o desenvolvimento da agricultura, como precipitações pluviométricas irregulares e águas com qualidades inferiores (LI et al., 2020; ABREHA et al., 2022). Entretanto, é uma planta adaptada a essas regiões e produz mesmo sob condições adversas de baixa disponibilidade hídrica e com águas salobras (MOTSI et al., 2022).

Os estresses salino e hídrico causam uma diversidade de problemas nas plantas de sorgo, podendo desequilibrar a homeostase celular, acarretando alterações morfológicas, fisiológicas e moleculares (BIAN et al., 2017; HARRIS-SHULTZ et al., 2019). Essas mudanças têm um impacto negativo no crescimento e desenvolvimento vegetal, ocorrendo decréscimo na sua produção (COELHO et al., 2018; AMOAH; ANTWI-BERKO, 2020).

Alguns estudos foram realizados para avaliar a fisiologia e crescimento do sorgo sob condições de estresses salino. Os autores relataram que as variáveis de: dano de membrana (STEFANOV et al., 2023), conteúdo relativo de água (MBINDA; KIMTAI, 2019; CALONE et al., 2020; DHAKAR et al., 2023), trocas gasosas (COELHO et al., 2018; HUANG, 2018; DHAKAR et al., 2023) e crescimento (CALONE et al., 2020) são afetadas negativamente.

Por outro lado, outras pesquisas abordaram sobre os efeitos do estresse hídrico em sorgo, onde os resultados mostraram que dano de membrana, conteúdo relativo de água, açúcares (AMOAH; ANTWI-BERKO, 2020), trocas gasosas e crescimento (SILVA et al., 2018) sofreram reduções à medida que o estresse hídrico foi elevado. Contudo, as plantas desenvolvem alguns mecanismos de proteção para reduzir os efeitos nocivos dos estresses (HARRIS-SHULTZ et al., 2019; STEFANOV et al., 2023), como por exemplo o acúmulo de

açúcares em resposta aos estresses salino e hídrico (COELHO et al., 2018; MANSOUR et al., 2021).

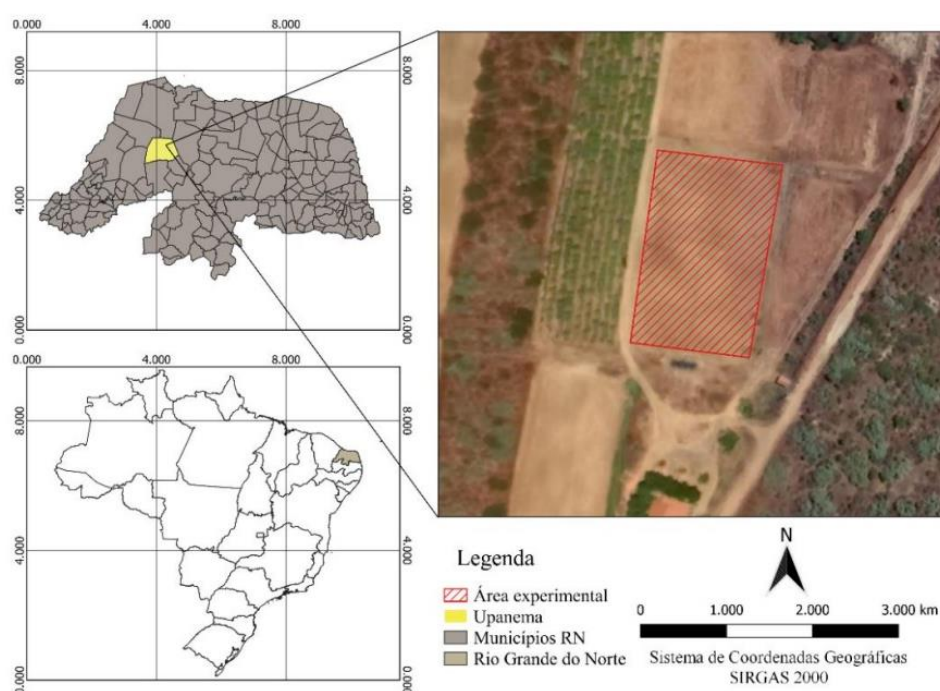
Cada vez mais os recursos hídricos, seja por qualidade ou quantidade, estão se tornando limitados para a agricultura, sendo fundamental entender as respostas das plantas aos estresses salino e hídrico, com o intuito de desenvolver alternativas para a produção de cultivos agrícolas em condições adversas (O'CONNELL et al., 2017; LU et al., 2019). Aumentar a tolerância aos estresses abióticos (salino e hídrico) em sorgo é de grande importância, sendo essencial obter informações sobre como os estresses influenciam os processos fisiológicos e de crescimento nas plantas de sorgo (HARRIS-SHULTZ et al., 2019; MANSOUR et al., 2021).

De forma geral, os estudos tem focado no desenvolvimento de pesquisas sobre os estresses salino e hídrico de forma isolada e não de forma conjunta. Assim o objetivo do trabalho foi avaliar as variáveis de status hídrico foliar, açúcares, trocas gasosas e crescimento em sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) sacarino 'BRS 506' sob aos estresses salino e hídrico.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

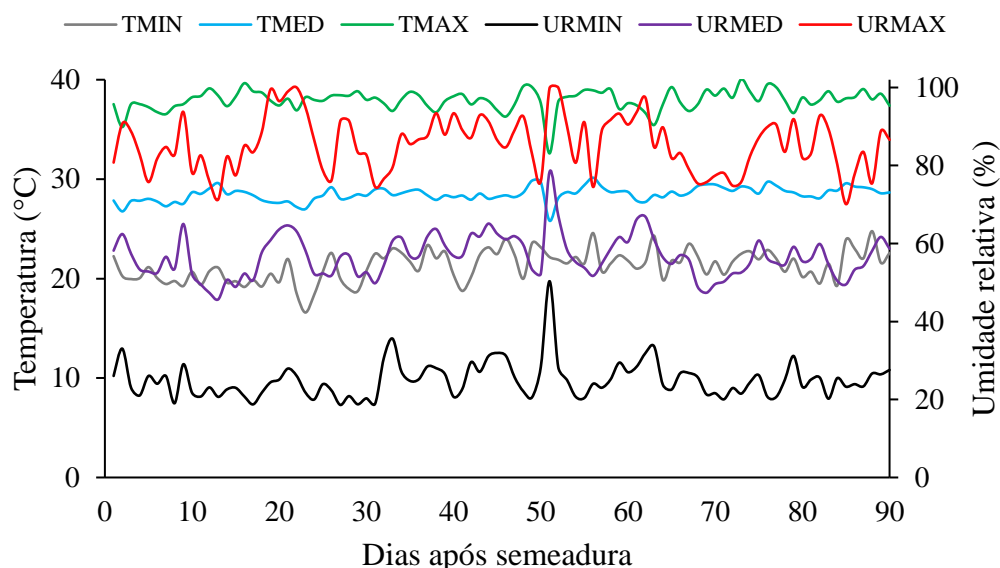
### Área experimental

O experimento foi realizado entre os meses de setembro e dezembro de 2020, na área experimental do sítio Cumaru (5°33'30" S, 37°11'56" W, altitude de 110 m), localizado na zona rural do município de Upanema, Rio Grande do Norte, Brasil (Figura 1).



**Figura 1.** Localização da área experimental do sítio Cumaru, Upanema, Rio Grande do Norte, Brasil.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é BSh – semiárido quente com chuvas de outono e temperatura média mensal do ar consistentemente acima de 18 °C (ALVARES et al., 2013). Durante o ensaio experimental a temperatura e umidade relativa do ar apresentaram médias em torno de 28 °C e 60%, respectivamente (Figura 2).



**Figura 2.** Condições climáticas de temperatura e umidade relativa do ar durante o período de realização do ensaio experimental.

O solo da área experimental é classificado como Cambissolo (SANTOS et al., 2018), antes da instalação do experimento foram feitas coletas compostas de solo, onde foram realizadas análises físicas e químicas do solo. Para a camada de 0 – 20 cm foram apresentadas as seguintes características físicas: areia = 71,77%; silte = 6,54%; argila = 21,69%. Enquanto que para a camada de 20 – 40 cm, os resultados foram: areia = 61,67%; silte = 4,95%; argila = 33,38%. Para a camada de 0 – 20 cm foram obtidos os seguintes resultados para as características químicas: pH = 7,56; CEes = 0,57 dS m<sup>-1</sup>; matéria orgânica = 1,87%; P = 0,05 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 0,20 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Na<sup>+</sup> = 1,11 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 7,00 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 1,91 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e SB = 10,22 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Para a camada 20 – 40 cm as características químicas obtidas foram: pH = 7,28; CEes = 0,36 dS m<sup>-1</sup>; matéria orgânica = 1,40%; P = 0,03 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 0,18 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Na<sup>+</sup> = 0,95 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 5,96 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 1,77 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e SB = 8,86 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

## Material vegetal e preparo do solo

A cultivar de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] utilizada no experimento foi a cultivar sacarina ‘BRS 506’. Essa cultivar pode ser utilizada para complementação na produção de etanol, possuindo como características colmos suculentos e com alta concentração de açúcares, com destaque para o seu ciclo curto (90 a 130 dias), com ampla adaptação edafoclimática e alta eficiência no uso da água (COSTA; MEDEIROS, 2017; BATISTA et al., 2018).

Antes da instalação do experimento foi feito o preparo do solo consistindo de aração e gradagem e uma adubação de fundação com 104 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 22 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando-se MAP como fonte. Além disso, foi feita adubação de cobertura, via fertirrigação, aplicando-se 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, utilizando-se como fonte cloreto de potássio e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, tendo como fonte ureia.

## Manejo do estresse salino

A aplicação dos estresses salinos foi iniciada aos 21 dias após a semeadura (DAS). As águas utilizadas no manejo da irrigação foram preparadas da seguinte forma: a de menor concentração (1,5 dS m<sup>-1</sup>), foi proveniente de um poço tubular que abastece o sitio Cumaru, oriunda do aquífero arenítico calcífero. As águas com as demais condutividades elétricas (3,0; 4,5 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>), foram preparadas a partir da adição dos sais NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (SILVA JÚNIOR et al., 1999). A água de maior concentração foi baseada na tolerância à salinidade da cultura do sorgo para um rendimento potencial de 50% (AYERS; WESTCOT, 1999), enquanto que, as demais águas foram de condutividades elétricas intermediárias (Tabela 2).

**Tabela 1.** Características químicas das águas utilizadas na irrigação do experimento.

CE	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
dS m <sup>-1</sup>	----- mmol <sub>c</sub> -----						
1,5	5,0	8,0	2,0	0,12	8,1	0,3	7,0
3,0	19,0	8,0	3,0	0,12	22,1	1,3	6,9
4,5	28,5	12,0	4,5	0,12	35,6	2,8	6,9
6,0	38,0	16,0	6,0	0,12	49,1	4,3	6,8

CE: condutividade elétrica da água de irrigação; Na<sup>+</sup>: sódio; Ca<sup>2+</sup>: cálcio; Mg<sup>2+</sup>: magnésio; K<sup>+</sup>: potássio; Cl<sup>-</sup>: cloro; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: sulfatos; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: bicarbonatos.

## Manejo do estresse hídrico

A aplicação das diferentes lâminas de irrigação foi iniciada aos 7 dias após a semeadura (DAS). As lâminas de irrigação foram aplicadas baseada na evapotranspiração máxima da cultura do sorgo ( $ET_c$ ), ajustando-se às condições do experimento e ao sistema de irrigação (53, 67, 85 e 95% da  $ET_c$  total estimada para o ciclo da cultura). A  $ET_c$  foi estimada diariamente a partir da estimativa da evapotranspiração de referência diária ( $ET_o$ ), pelo método de Penman-Monteith de acordo com Allen et al. (2006). A  $ET_o$  foi estimada diariamente a partir de dados coletados em uma estação meteorológica instalada na área do experimento. Enquanto que, o coeficiente da cultura diário ( $K_c$ ) foi determinado pelo método do  $K_c$  dual, assumindo o comprimento das fases fenológicas I, II, III e IV como sendo 28, 32, 20 e 10 dias, respectivamente, e os coeficientes de cultura basais para fase III e final do ciclo, 1,00 e 0,70.

## Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial (4x4), sendo o primeiro fator referente as condutividades elétricas da água de irrigação ( $CE_a$  - 1,5; 3,0; 4,5; e 6,0  $dS\ m^{-1}$ ), e o segundo fator referente às lâminas de irrigação (- % da  $ET_c$  53, 67, 85 e 95%). Utilizando-se dois blocos com duas repetições dentro dos blocos, totalizando 16 tratamentos e 64 parcelas experimentais.

## Variáveis analisadas

### *Trocas gasosas foliares*

As trocas gasosas foliares foram mensuradas por um analisador portátil de gases no infravermelho (IRGA, GFS-300, WALZ, Alemanha). As medições foram feitas entre 08:00 e 10:00 horas, em duas plantas por parcela na folha bandeira.

As configurações do IRGA foram definidas da seguinte forma: temperatura de 25 °C; umidade relativa de 60%; taxa de fluxo de 750  $\mu\text{mol}/\text{min}$ ; intensidade de luz de 1200  $\mu\text{mol}\ m^{-2}\ s^{-1}$ ; velocidade do impulsor de 7; concentração de  $CO_2$  de 400 ppm e área de leitura de 8  $\text{cm}^2$ .

As variáveis de trocas gasosas foram avaliadas aos 62 DAS. A temperatura da folha ( $TF$  - °C), déficit de pressão de vapor (DPV - kPa), condutância estomática ( $g_s$  -  $\text{mmol}\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ ), taxa de transpiração ( $E$  -  $\text{mmol}\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ ), taxa de assimilação de  $CO_2$  ( $A$  -  $\mu\text{mol}\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ), eficiência do uso da água (EUA -  $A/E$ ) e eficiência intrínseca do uso da água ( $EiUA$  -  $A/g_s$ ) foram medidas.

### *Status hídrico foliar*

Aos 59 dias após a semeadura (DAS), final da fase fenológica II, início do florescimento, foram avaliadas as variáveis de status hídrico foliar: dano de membrana (DM) e conteúdo relativo de água (CRA). DM foi determinada pelo método de extravasamento de eletrólitos, conforme metodologia proposta por Lutts et al. (1996).

Onde:

$$DM = \frac{C1}{C2} \times 100$$

DM: dano de membrana, %;

C1: condutividade elétrica inicial, dS m<sup>-1</sup>;

C2: condutividade elétrica final, dS m<sup>-1</sup>.

Enquanto que, CRA foi avaliada através de discos foliares, pela equação proposta por Čatský et al. (1960).

Onde:

$$CRA = \frac{MF - MS}{MT - MS} \times 100$$

CRA: conteúdo relativo de água, %;

MF: massa fresca, g;

MS: massa seca, g;

MT: massa túrgida, g.

### *Açúcares*

A partir de amostras de folhas coletadas aos 69 DAS, foram feitas medições de açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não redutores e amido. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e colocados para secar em estufa com circulação de ar forçado à 65 °C por 72 horas, e posteriormente trituradas em moinho tipo Willye.

Açúcares totais (AT): foram determinados pelo método da Antrona, conforme metodologia proposta por Yemn e Willis (1954).

Açúcares redutores (AR): determinados pelo método de Somogyi-Nelson (SOMOGYI; NELSON, 1944).

Açúcares não redutores (ANR): obtida através da equação proposta por Tavares et al. (2010). Em que:

$$ANR = (AT - AR) \times 0,95$$

Onde:

ANR: açúcares não redutores, %;

AT: açúcares totais, %;

AR: açúcares redutores, %.

Amido (AM): determinado pelo método de Somogy-Nelson (SOMOGYI; NELSON, 1944), com os valores expressos em mg/g.

### *Crescimento de plantas*

Aos 73 DAS foram avaliadas as variáveis: altura de plantas (cm): medindo-se a partir do colo da planta até o ápice do meristema foliar; e altura do colmo (cm): medindo-se toda extensão do colmo até a última inserção foliar.

As variáveis de massa seca da folha, colmo, raiz e total (g), foram avaliadas aos 69 DAS, onde foi feita a separação das partes das plantas e, em seguida acondicionadas em sacos de papel e colocados para secar em estufa com circulação de ar forçado com temperatura de por 72 horas à 65 °C.

### **Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de significância, em caso de efeitos significativos, realizou-se análise de regressão, utilizando-se o software R<sup>®</sup> versão 4.1.3 (R CORE TEAM, 2022) e os gráficos produzidos com o software SigmaPlot<sup>®</sup> versão 12.3 (SYSTAT SOFTWARE INC., 2013).

## **3 RESULTADOS**

De acordo com a análise variância (Tabela 2), para as variáveis de trocas gasosas foliares ocorreu efeitos isolados dos dados para as diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) nas variáveis temperatura da folha, eficiência do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água.



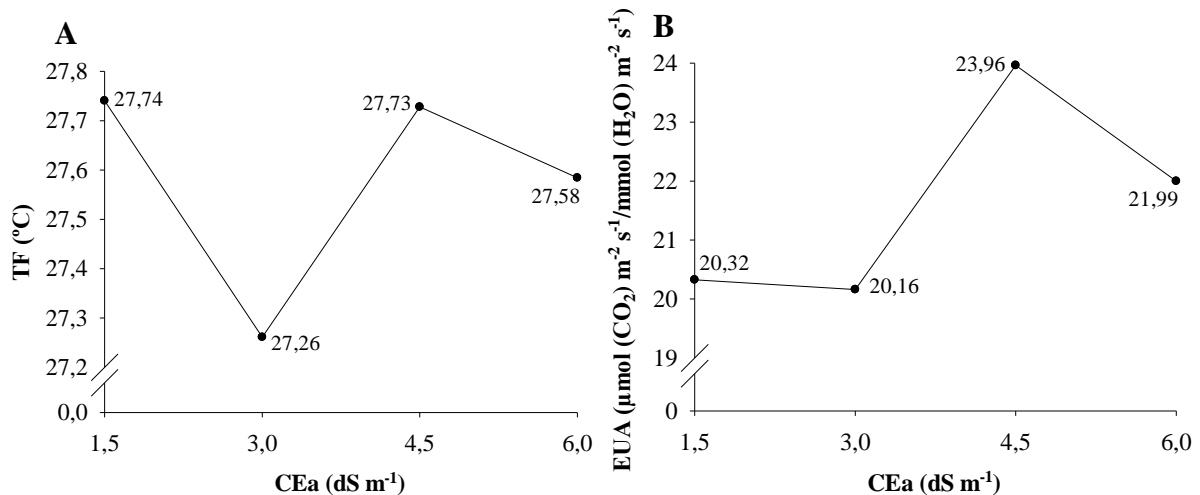
**Tabela 2.** Resumo da análise de variância (ANOVA) para temperatura da folha (TF), déficit de pressão de vapor (DPV), condutância estomática (*gs*), taxa de transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS 506’.

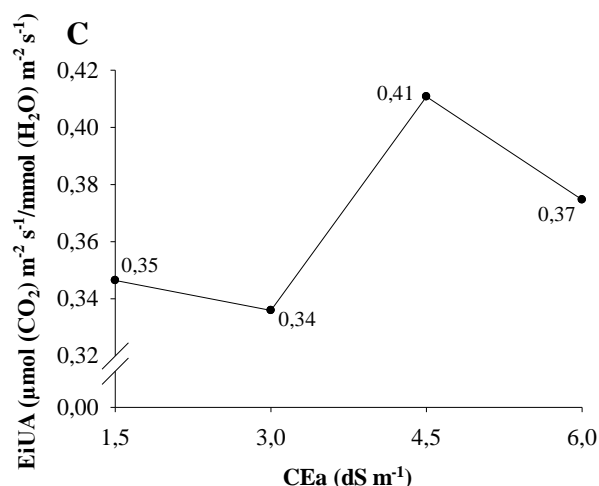
Variáveis								
FV	GL	TF	DPV	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	EUA	EiUA
Estatística F								
CEa	3	3,91*	2,10 <sup>ns</sup>	1,90 <sup>ns</sup>	2,60 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>	3,82*	2,92*
ETc	3	1,42 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>
CEa x ETc	9	1,95 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	1,95 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>
CV%	-	1,64	18,19	19,45	4,14	14,08	25,86	21,53

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; CEa: condutividade elétrica da água de irrigação; ETc: lâmina de irrigação; (ns) não significativo; (\*) significativo ao nível de 5%; (\*\*) significativo ao nível de 1%; (\*\*\*) significativo ao nível de 0,1%.

Para temperatura da folha (Figura 3A), os maiores valores foram observados na menor CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup>, enquanto que o maior valor foi obtido no tratamento contendo CEa de 3,0 dS m<sup>-1</sup>, entretanto não houve tendência definida, apesar de ter ocorrido diferença estatística entre as médias.

Ocorreram efeitos semelhantes para variáveis de trocas gasosas EUA e EiUA, submetidas as diferentes CEAs, com os maiores valores (23,96 e 0,41 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>/mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) sendo obtidos na CEa de 4,5 dS m<sup>-1</sup>, enquanto que os menores valores (20,16 e 0,34 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>/mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) foram observados na CEa intermediária de 3,0 dS m<sup>-1</sup>, para EUA e EiUA, respectivamente. Todavia, os valores obtidos não se enquadraram no modelo linear ou quadrático, apesar dos efeitos significativos obtidos (Figuras 3B e 3C).





**Figura 3.** Temperatura da folha (A), eficiência do uso da água (B) e eficiência intrínseca do uso da água (C) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS 506’.

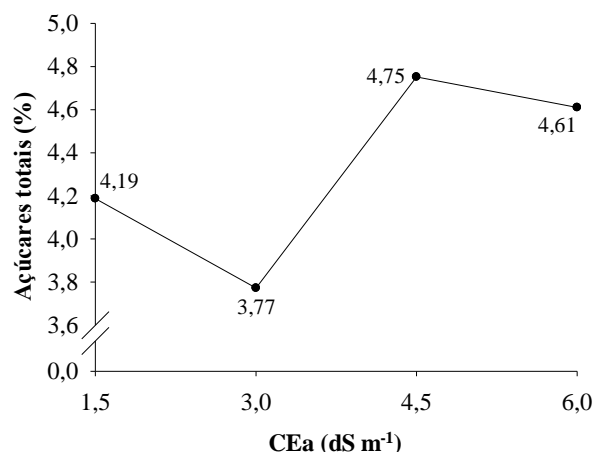
De acordo com a análise de variância (Tabela 3), houve efeito significativo isolado somente para a variável de açúcares totais quando submetidos as diferentes condutividades elétricas da água de irrigação.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância (ANOVA) para dano de membrana (DM), conteúdo relativo de água (CRA), açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR), açúcares não redutores (ANR) e amido (AMI) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS 506’.

Variáveis							
FV	GL	DM	CRA	AT	AR	ANR	AMI
Estatística F							
CEa	3	1,43 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>	2,96 <sup>*</sup>	2,60 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	1,20 <sup>ns</sup>
ETc	3	1,24 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	2,76 <sup>ns</sup>
CEa x ETc	9	1,38 <sup>ns</sup>	1,81 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>
CV%	-	39,35	7,55	23,79	25,49	41,13	13,32

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; CEa: condutividade elétrica da água de irrigação; ETc: lâmina de irrigação; (ns) não significativo; (\*) significativo ao nível de 5%; (\*\*) significativo ao nível de 1%; (\*\*\*) significativo ao nível de 0,1%.

Na Figura 4, é possível observar que para açúcares totais ocorreu efeito significativo, com o maior valor (4,75%) sendo obtido na CEa de 4,5 dS m<sup>-1</sup>, por outro lado o menor valor (3,77%) foi observado na CEa de 3,0 dS m<sup>-1</sup>. Apesar disso, os valores não se enquadraram em modelo definido, mesmo havendo diferenças estatísticas entre as médias.



**Figura 4.** Açúcares totais em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS 506’.

Para as variáveis de crescimento houve efeito significativo para a interação condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) x lâminas de irrigação (ETc) para altura de plantas e altura do colmo (Tabela 4).

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância (ANOVA) para altura de plantas (AP), altura do colmo (AC), massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS 506’.

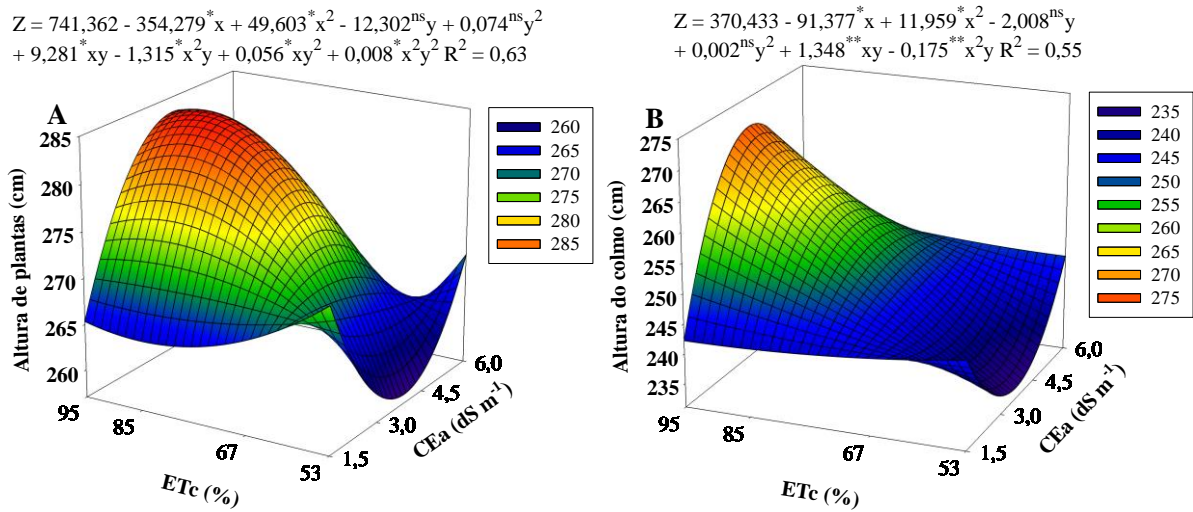
Variáveis							
FV	GL	AP	AC	MSF	MSC	MSR	MST
Estatística F							
CEa	3	1,63 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	1,07 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>	2,74 <sup>ns</sup>
ETc	3	1,98 <sup>ns</sup>	2,28 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>
CEa x ETc	9	2,69*	2,12*	0,55 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>
CV%	-	5,08	7,87	20,56	20,71	38,96	21,11

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; CEa: condutividade elétrica da água de irrigação; ETc: lâmina de irrigação; (ns) não significativo; (\*) significativo ao nível de 5%; (\*\*) significativo ao nível de 1%; (\*\*\*) significativo ao nível de 0,1%.

A altura de plantas (Figura 5A) foi afetada pelos estresses abióticos combinados (salino e hídrico), com os maiores valores sendo obtidos na combinação CEa 3,83 dS m<sup>-1</sup> e ETc 87,76% (284,51 cm), por outro lado, os menores valores (257,97 cm) foram encontrados na combinação CEa 3,98 dS m<sup>-1</sup> e ETc 53%.

Semelhantemente a altura de plantas, para altura do colmo o maior valor (270,18 cm) foi observado na combinação com CEa de 3,98 dS m<sup>-1</sup> e 95% da ETc, ao mesmo tempo que, a

maior altura (232,81 cm) foi encontrado na combinação da CEa de 3,67 dS m<sup>-1</sup> e 53% da ETc (Figura 5B).



**Figura 5.** Altura de plantas (A) e altura do colmo (B) em função de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e lâminas de irrigação (ETc) em sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ‘BRS 506’.

#### 4 DISCUSSÃO

Plantas submetidas a altos níveis de estresses abióticos como salino e hídrico, geralmente apresentam danos nas condições hídricas das folhas. Em alguns estudos anteriores em sorgo, foram relatados aumentos no dano da membrana sob condições de estresses salino (STEFANOV et al., 2023) e hídrico (AMOA; ANTWI-BERKO, 2020). Por outro lado, o conteúdo relativo de água é reduzido em folhas de sorgo sob os estresses salino (MBINDA; KIMTAI, 2019; DHAKAR et al., 2023) e hídrico (AMOA; ANTWI-BERKO, 2020). Entretanto, no presente estudo as variáveis de status hídrico foliar (dano de membrana e conteúdo relativo de água) não foram afetadas pelos estresses salino e hídrico.

Os estresses salino e hídrico causam reduções no potencial hídrico do solo e no potencial hídrico foliar, alterando as relações hídricas e reduzindo o turgor das plantas, levando ao estresse osmótico, e consequentemente reduções na transpiração e trocas gasosas foliares (NAVADA et al., 2020; PAN et al., 2020).

Geralmente, as estratégias para o mecanismo de tolerância aos estresses abióticos envolvem ações em nível celular, como manutenção do equilíbrio osmótico por meio da absorção de íons, preservação de enzimas hidrolase, acúmulo de íons compatíveis, de forma a manter a fotossíntese ativa (ISAYENKOV; MAATHUIS, 2019; ARIF et al., 2020; QUEIROZ

et al., 2023). Além disso, essas plantas podem apresentar maior homeostase osmótica em comparação com plantas sensíveis, através do acúmulo de açúcares solúveis, em resposta aos estresses salino e hídrico (HARRIS-SHULTZ et al., 2019; CALONE et al., 2020; MANSOUR et al., 2021).

Em nosso trabalho os açúcares totais apresentaram aumento nas plantas de sorgo submetidas as maiores condutividades elétricas da água de irrigação. Corroborando com os resultados encontrados por Coelho et al. (2018), que relataram maior acúmulo de açúcares solúveis totais em plantas de sorgo em resposta ao estresse salino. Os açúcares solúveis totais, especialmente os não redutores, são os principais agentes que contribuem para o ajuste osmótico nas folhas de sorgo, sendo indispensáveis para a aclimatação do sorgo sob condições de estresses abióticos (MANSOUR et al., 2021).

O ajuste osmótico é fundamental para a aclimatação do sorgo aos estresses salino e hídrico através da manutenção da pressão de turgor e do teor relativo de água, bem como da regulação dos processos fisiológicos (HUANG, 2018; CALONE et al., 2020). As alterações na fisiologia e crescimento causados pelos estresses salino e hídrico, geralmente dependem de condições específicas, como duração e intensidade dos estresses, além de fatores como idade da planta e genótipo (CHALLABATHULA et al., 2022).

No presente trabalho, as variáveis de trocas gasosas TF, EUA e EiUA foram alteradas sob o estresse salino, enquanto as variáveis altura de plantas e altura de colmo foram influenciadas negativamente pelos estresses salino e hídrico em conjunto. Contudo, ocorreram reduções acentuadas tanto nas variáveis de trocas gasosas como nas variáveis de crescimento.

Esse comportamento pode ser explicado devido ao potencial de água nas folhas ter se mantido estável, não sendo afetado pelos estresses salino e hídrico, resultando na manutenção dos processos de trocas gasosas e no crescimento das plantas de sorgo. Evidenciando que a cultivar de sorgo 'BRS 506' pode ser cultivada sob condições de estresses salino e hídrico em regiões semiáridas, sem grandes perdas na produção (QUEIROZ et al., 2023).

## **5 CONCLUSÕES**

Os resultados apontam que os estresses salino e hídrico combinados causam efeitos negativos no crescimento das plantas de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. O estresse salino gera distúrbios nas trocas gasosas e conteúdo de açúcares nas folhas das plantas. As plantas de sorgo submetidas aos estresses salino e hídrico nas condições do nosso trabalho não sofreram grandes alterações nas variáveis estudadas (trocas gasosas, status hídrico foliar,

açúcares na folha e crescimento). Podendo evidenciar que a cultivar de sorgo ‘BRS 506’ é tolerante aos estresses abióticos estudados.

### **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) pelo apoio financeiro concedido.

### **REFERÊNCIAS**

ABREHA, K. B.; ENYEW, M.; CARLSSON, A. S.; VETUKURI, R. R.; FEYISSA, T.; MOTLHAODI, T.; NG’UNI, D. GELETA, M. Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress. **Planta**, v. 255, p. 1-23, 2022.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; WRIGHT, J. L.; HOWELL, T. A.; VENTURA, F.; SNYDER, R.; ISA, D. I.; STEDUTO, P.; BERENGENA, J.; YRISARRY, J. B.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; PERRIER, A.; ALVES, I.; TER, I. W.; ELLIOTT, R. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. **Agricultural Water Management**, v. 81, n. 1-2, p. 1-22, 2006.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMOAHA, J. N.; ANTWI-BERKO, D. Comparative physiological, biochemical and transcript response to drought in sorghum genotypes. **Biotechnology Journal International**, v. 24, n. 3, p. 1-14, 2020.

ARIF, Y.; SINGH, P.; SIDDIQUI, H.; BAJGUZ, A. HAYAT, S. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 156, p. 64-77, 2020.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (FAO Irrigação e Drenagem, 29).

BATISTA, V. A. P.; BATISTA, V. Z. P.; PIMENTEL, L. D.; BARROS, A. F.; MOREIRA, T. D. S.; DIAS, L. A. D. S. Produção de açúcares no caldo de sorgo sacarino avaliado em duas épocas de corte. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 263-273, 2018.

BIAN, Y.; DENG, X.; YAN, X.; ZHOU, J.; YUAN, L.; YAN, Y. Integrated proteomic analysis of *Brachypodium distachyon* roots and leaves reveals a synergistic network in the response to drought stress and recovery. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 46183, 2017.

BRIAND, C. H.; GELETA, S. B.; KRATOCHVIL, R. J. Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) a potential biofuel feedstock: Analysis of cultivar performance in the Mid-Atlantic. **Renewable Energy**, v. 129, p. 328-333, 2018.

CALONE, R.; SANOUBAR, R.; LAMBERTINI, C.; SPERANZA, M.; ANTISARI, L. V.; VIANELLO, G.; BARBANTI, L. Salt tolerance and Na allocation in *Sorghum bicolor* under variable soil and water salinity. **Plants**, v. 9, n. 5, p. 561, 2020.

ČATSKÝ, J. Determination of water deficit in disks cut out from leaf blades. **Biologia Plantarum**, v. 2, n. 1, p. 76-78, 1960.

CHALLABATHULA, D.; ANALIN, B.; MOHANAN, A.; BAKKA, K. Differential modulation of photosynthesis, ROS and antioxidant enzyme activities in stress-sensitive and-tolerant rice cultivars during salinity and drought upon restriction of COX and AOX pathways of mitochondrial oxidative electron transport. **Journal of Plant Physiology**, v. 268, p. 153583, 2022.

COELHO, D. S.; SIMÕES, W. L.; SALVIANO, A. M.; MESQUITA, A. C.; ALBERTO, K. D. C. Gas exchange and organic solutes in forage sorghum genotypes grown under different salinity levels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 231-236, 2018.

COSTA, A. R. F. C.; MEDEIROS, J. F. Água salina como alternativa para irrigação de sorgo para geração de energia no Nordeste brasileiro. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 6, n. 3, p. 169-177, 2017.

DHAKA, P.; TALLAPRAGADA, S.; DEVI, S.; DHAKA, B. K. Implication of Jasmonic Acid on Physiological Alterations on Salt Stressed Fodder Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 13, n. 8, p. 649-660, 2023.

DISASA, T.; FEYISSA, T.; ADMASSU, B.; FETENE, M.; MENDU, V. Mapping of QTLs associated with brix and biomass-related traits in sorghum using SSR markers. **Sugar Tech**, v. 20, p. 275-285, 2018.

HARRIS-SHULTZ, K. R.; HAYES, C. M.; KNOLL, J. E. Mapping QTLs and identification of genes associated with drought resistance in sorghum. **Sorghum: Methods and Protocols**, p. 11-40, 2019.

HUANG, R. Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 4, p. 739-746, 2018.

ISAYENKOV, S. V.; MAATHUIS, F. J. M. Plant salinity stress: many unanswered questions remain. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 80, 2019.

LI, H.; LI, Y.; KE, Q.; KWAK, S. S.; ZHANG, S.; DENG, X. Physiological and differential proteomic analyses of imitation drought stress response in *Sorghum bicolor* root at the seedling stage. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 23, p. 9174, 2020.

LU, S.; BAI, X.; LI, W.; WANG, N. Impacts of climate change on water resources and grain production. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 143, p. 76-84, 2019.

LUTTS, S.; KINET, J. M.; BOUHARMONT, J. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. **Annals of Botany**, v. 78, n. 3, p. 389-398, 1996.

MANSOUR, M. M. F.; EMAM, M. M.; SALAMA, K. H. A.; MORSY, A. A. Sorghum under saline conditions: Responses, tolerance mechanisms, and management strategies. **Planta**, v. 254, p. 1-38, 2021.

MBINDA, W.; KIMTAI, M. Evaluation of morphological and biochemical characteristics of sorghum [*Sorghum bicolor* [L.] Moench] varieties in response salinity stress. **Annual Research & Review in Biology**, p. 1-9, 2019.

MOTSI, H.; MOLAPO, M.; PHIRI, E. E. A review on sweet sorghum adaptive capacity on improving food security and poverty alleviation in sub-Saharan Africa. **South African Journal of Botany**, v. 150, p. 323-329, 2022.

NAOURA, G.; EMENDACK, Y.; BALOUA, N.; VOM BROCKE, K.; HASSAN, M. A.; SAWADOGO, N.; NODJASSE, A. D.; DJINODJI R.; TROUCHE, G. LAZA, H. E.



Characterization of semi-arid Chadian sweet sorghum accessions as potential sources for sugar and ethanol production. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 14947, 2020.

NAVADA, S.; VADSTEIN, O.; GAUMET, F.; TVETEN, A. K.; SPANU, C.; MIKKELSEN, Ø.; KOLAREVIC, J. Biofilms remember: Osmotic stress priming as a microbial management strategy for improving salinity acclimation in nitrifying biofilms. **Water Research**, v. 176, p. 115732, 2020.

O'CONNELL, E. Towards adaptation of water resource systems to climatic and socio-economic change. **Water Resources Management**, v. 31, p. 2965-2984, 2017.

PAN, T.; LIU, M.; KRESLAVSKI, V. D.; ZHARMUKHAMEDOV, S. K.; NIE, C.; YU, M.; KUZNETSOV, V. V.; ALLAKHVERDIEV, S. I.; SHABALA, S. Non-stomatal limitation of photosynthesis by soil salinity. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 51, n. 8, p. 791-825, 2021.

QUEIROZ, G. C. M.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, R. R.; MORAIS, F. M. S.; SOUSA, L. V.; SOUZA, M. V. P.; SANTOS, E. N.; FERREIRA, F. N.; SILVA, J. M. C.; CLEMENTE M. I. B.; GRANJEIRO, J. C. C.; SALES, M. N. A.; CONSTANTE, D. C.; NOBRE, R. G.; SÁ, F. V. S. Growth, Solute Accumulation, and Ion Distribution in Sweet Sorghum under Salt and Drought Stresses in a Brazilian Potiguar Semiarid Area. **Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 803, 2023.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. (5a ed.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.

SILVA JÚNIOR, L. G. D. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. D. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, p. 11-17, 1999.

SILVA, E. M.; MAGALHÃES, P. C.; CASTRO, E. M.; ÁVILA, R. G.; ALMEIDA, L. G. Modifications in the root system, gas exchanges and productivity of sorghum hybrids cultivated under water deficit. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 3, p. 380-389, 2018.

SILVA, H. J. T.; SANTOS, P. F. A.; NOGUEIRA JUNIOR, E. C.; VIAN, C. E. D. F. Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 142, 2020.

SOMOGYI, M.; NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v. 153, p. 375-380, 1944.

STEFANOV, M. A.; RASHKOV, G. D.; YOTSOVA, E. K.; BORISOVA, P. B.; DOBRIKOVA, A. G.; APOSTOLOVA, E. L. Protective Effects of Sodium Nitroprusside on Photosynthetic Performance of *Sorghum bicolor* L. under Salt Stress. **Plants**, v. 12, n. 4, p. 832, 2023.

SYSTAT SOFTWARE. INC. SigmaPlot for Windows, version 12.3. San Jose: Cranes, 2013.

TAVARES, J. T. D. Q.; CARDOSO, R. L.; COSTA, J. A.; FADIGAS, F. D. S.; FONSECA, A. A. Interferência do ácido ascórbico na determinação de açúcares redutores pelo método de Lane e Eynon. **Química Nova**, v. 33, p. 805-809, 2010.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508, 1954.