



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

MARIA VALDIGLEZIA DE MESQUITA ARRUDA

**FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR *Gigaspora albida* (Gigasporaceae) ATENUA
O ESTRESSE SALINO EM MILHO CRIOULO (Poaceae)**

MOSSORÓ

2023

MARIA VALDIGLEZIA DE MESQUITA ARRUDA

**FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR *Gigaspora albida* (Gigasporaceae) ATENUA
O ESTRESSE SALINO EM MILHO CRIOULO (Poaceae)**

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

Linha de Pesquisa: Conservação de Solo e Água

Orientador: Nildo da Silva Dias, Prof. Dr.

Coorientadora: Cynthia Cavalcanti de Albuquerque, Profa. Dra

Coorientador: Eduardo Cezar Medeiros Saldanha, Pesquisador. 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.

AA Arruda, Maria Valdigliezia de Mesquita .
779f Fungo micorrízico arbuscular *Gigaspora albida*
(Gigasporaceae) atenua o estresse salino em milho
crioulo (Poaceae) / Maria Valdigliezia de Mesquita
Arruda. - 2023.
88 f. : il.

Orientadora: Nildo da Silva Dias.
Coorientadora: Cynthia Cavalcanti de
Albuquerque.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia, 2023.

1. Variedade Ibra. 2. Estresse abiótico. 3.
Atenuadores. 4. Glomalina. 5. Microbiologia do
solo. I. Dias, Nildo da Silva , orient. II.
Albuquerque, Cynthia Cavalcanti de , 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.

MARIA VALDIGLEZIA DE MESQUITA ARRUDA

**FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR *Gigaspora albida* (Gigasporaceae) ATENUA
O ESTRESSE SALINO EM MILHO CRIOULO (Poaceae)**

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

Linha de Pesquisa: Conservação de Solo e Água

Defendida em: 31 / 05 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Nildo da Silva Dias, Prof. Dr. (UFERSA)
Orientador e Presidente

Eduardo Cezar Medeiros Saldanha, Pesquisador. Dr. (Rio Tinto)
Coorientador

André Moreira de Oliveira, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Marciana Bizerra de Moraes Profa. Dra. (CATÓLICA do RN)
Membro Examinador

Kleane Targino Oliveira Pereira, Profa. Dra. (UERN)
Membro Examinador

Rômulo Carantino Lucena Moreira, Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

À minha mãe, Lúcia Maria de Mesquita, mulher forte, que sempre me incentivou a seguir, não importando os desafios e acreditou em mim quando nem eu mesma acreditava.

DEDICO

Ofereço às minhas filhas, Sarah e Ludmyla, e ao meu esposo, Rogerio. Obrigada por serem a força, alegria e o incentivo que preciso nessa longa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pai fiel e amoroso, que me sustentou em todos os momentos, deu-me a força necessária para superar todos os desafios e finalizar essa jornada.

A toda a minha família, em especial ao meu esposo, Rogerio, e às minhas filhas, Sarah e Ludmyla, pela paciência, compreensão e todo o amor dedicado ao longo desses anos. Amo vocês.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e a todo o seu corpo docente, por todo o ensinamento compartilhado, em especial aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia e Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água.

Ao meu orientador, professor D. Sc. Nildo da Silva Dias, por toda a confiança dada ao aceitar orientar e desenvolver essa pesquisa, assim como por toda a humanidade mostrada até aqui.

Aos meus coorientadores, Dra. Cynthia Cavalcanti de Albuquerque, pelas ricas contribuições ao longo dessa jornada, por ser uma amiga amorosa e incentivadora em todos os momentos, e ao D. Sc. Eduardo Cezar Medeiros Saldanha, por toda a disponibilidade e ensinamentos repassados.

Ao amigo Sergio, por dividir comigo todas as atividades experimentais, desde o preparo do solo às últimas análises de campo, tornando minha jornada menos árdua.

Aos meus bolsistas, Pedro, Marcondes, Marcelo, Elisa, Beatriz e Rislayne, por toda a dedicação dada às longas jornadas de análises. Sem vocês, não teria conseguido.

Ao laboratório em peso de Fisiologia e Bioquímica de Plantas da UERN, em especial aos amigos Fabio Mesquita, Natan, Matheus, Dani, Gabriel, Douglas, Emanuele, Laura, Carol, Natanael, Silvana, Kevin, Melissa, Giulia, Lina, Natanael, Diego, Walber, Gabi, Raquel, Letícia, João e Lucas. Vocês tornaram meus dias mais fáceis e produtivos.

Aos professores, os quais hoje passo a ter como amigos, Jeane Portela, José Francismar, Francisco Vanies e Daniel Valadão, obrigada pelas ricas contribuições e por tornarem minha jornada mais fácil.

Aos laboratórios LASAPSA e CPVSA, pela oportunidade de conhecer pessoas incríveis, que me ensinaram o verdadeiro sentido de irmandade e companheirismo, em especial aos amigos Joaquim, Gabriela, Rodrigo, Alcigério, Arthur, Atarissis, Fagner, Isabela, Luiria, Tayd, Helena, Lunara, Junior, Daniela, Franci, Isadora, Sávio, Carla Jamile, Isaque, Paulo, Eder, Maik, Tamires, Darcio, Eric, Giovana, Jandeilson, Isaac, Johnny, Rayana, Carla, Rose e Nickson.

Aos técnicos dos laboratórios LASAP, CPVSA, Fitopatologia e Microbiologia, por toda a ajuda dada na condução desta pesquisa.

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

Aos membros da banca examinadora, André Moreira, Marciana Morais, Kleane Pereira, Rômulo Carantino, Eduardo Saldanha e Cleyton Fernandes, pelas ricas contribuições. Vocês concluíram essa etapa com chave de ouro.

A todos os que acompanharam e contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, gratidão.

-Aqueles que semeiam com lágrimas, com cânticos de alegria colherão. Aquele que sai chorando enquanto lança a semente, voltará com cantos de alegria, trazendo seus feixes.

(Salmos 126: 5-6).

RESUMO

O uso de rejeito salino de osmose reversa para irrigação é uma realidade para muitos produtores. Porém, sem manejo adequado, pode gerar muitos impactos negativos nas culturas e no solo. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) podem atenuar o efeito do estresse salino, melhorando a disponibilidade hídrica e nutricional, bem como o estresse oxidativo. Objetivou-se no presente estudo avaliar o efeito do fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Gigaspora albida*, na fisiologia, crescimento, balanço nutricional, bioquímica e resposta antioxidante de milho crioulo (*Zea Mays*), sob diferentes níveis de condutividade elétrica do rejeito salino da osmose reversa. O estudo foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 4, com seis repetições. Os tratamentos foram três condições micorrízica: (M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida* e M3- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo), combinados com quatro níveis de condutividade elétrica do rejeito salino (CEa): (0,5, 1,8, 3,1, e 4,4 dS m⁻¹). Aos 30 dias após imposição do estresse salino, foram avaliadas: trocas gasosas, fluorescência da clorofila, acúmulo de biomassa, acúmulo de sódio, fósforo, potássio, taxa de colonização das raízes (TCR), densidade de esporos (DE), teor relativo de água (TRA), prolina livre (PL), açúcares solúveis totais (AST), proteínas solúveis (PS), pigmentos fotossintéticos, peróxido de hidrogênio (H₂O₂), peroxidação lipídica (MDA) e atividade das enzimas antioxidantes. A irrigação com água de rejeito salino da osmose reversa reduziu as trocas gasosas, a eficiência quântica do fotossistema II e o crescimento das plantas de milho. A interação dos fatores aumentou a produção de biomassa da raiz e parte aérea nas plantas M3, no nível 2,5 e 1,8 dS m⁻¹, respectivamente. Na CEa 4,4 dSm⁻¹, as plantas M1 apresentaram maior relação raiz/parte aérea e massa radicular. As plantas M2 e M3 reduziram o acúmulo de sódio na folha e elevaram o potássio no colmo. As plantas M1 e M2 acumularam mais fósforo na folha. As plantas M3, em virtude da CE, apresentaram maior TCR e DE. Nas análises bioquímicas, as plantas M1 foram mais eficientes na redução do MDA. No nível 4,4 dS m⁻¹, observou-se aumento considerável do teor de AST. Nas plantas M2, houve aumento do teor de PL e AST. Em M3, sob CEa elevada, houve manutenção do TRA, aumento da biomassa seca, PL, AST, redução do teor de H₂O₂ e aumento na atividade das enzimas antioxidantes. Os pigmentos foram semelhantes em todos os tratamentos. A irrigação com água de rejeito salino afeta a fisiologia do milho crioulo. O milho em simbiose com *G. albida* mais a microbiota do solo, entre os níveis 1,8 e 3,1 dS m⁻¹, melhorou o crescimento, balanço de Na⁺, P, K⁺ na planta e reduziu a relação Na/K. A CEa 2,9 dSm⁻¹ aumentou a DE, em níveis mais extremos 4,4 dS m⁻¹, prejudica a colonização de *G. albida* nas raízes. O aumento da CEa promoveu estresse osmótico e oxidativo nas plantas de milho. A simbiose entre as plantas de milho com *G. albida* (M2) e as plantas inoculadas com *G. albida* mais a microbiota do solo (M3) favoreceram a redução de íons de Na⁺; o ajuste osmótico, pelo aumento na concentração de PL e AST e o estresse antioxidativo, pela ação das enzimas ascorbato peroxidase nas plantas dos tratamentos M1 e M2. CEa 3,1 dSm⁻¹, as plantas de milho em simbiose com *G. albida* mais a microbiota do solo, aumentou a atividade da catalase.

Palavras-chave: Variedade Ibra. Estresse abiótico. Atenuadores. Glomalina. Solos salinos. Microbiologia do solo.

ABSTRACT

The use of reverse osmosis saline waste for irrigation is a reality for many producers. However, without proper management, it can cause many negative impacts on crops and soil. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMFs) can attenuate the effect of saline stress, improving water and nutritional availability, as well as oxidative stress. The objective of this study was to evaluate the effect of the arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Gigaspora albida*, on the physiology, growth, nutritional balance, biochemistry and antioxidant response of creole maize (*Zea Mays*), under different levels of electrical conductivity of the osmosis saline waste reverse. The study was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design, in a 3 x 4 factorial scheme, with six replications. The treatments were three mycorrhizal conditions: (M1- control plants without fungal inoculum, M2- plants with fungal inoculum of *G. albida* and M3- plants with fungal inoculum of *G. albida*, plus soil microbiota), combined with four levels of electrical conductivity of saline waste (ECw): (0.5, 1.8, 3.1, and 4.4 dS m⁻¹). At 30 days after the imposition of saline stress, the following parameters were evaluated: gas exchange, chlorophyll fluorescence, biomass accumulation, sodium, phosphorus, potassium accumulation, root colonization rate (TCR), spore density (DE), relative content of water (TRA), free proline (PL), total soluble sugars (AST), soluble proteins (PS), photosynthetic pigments, hydrogen peroxide (H₂O₂), lipid peroxidation (MDA) and activity of antioxidant enzymes. Irrigation with reverse osmosis saline waste water reduced gas exchange, photosystem II quantum efficiency and maize plant growth. The interaction of factors increased the production of root and shoot biomass in M3 plants, at 2.5 and 1.8 dS m⁻¹, respectively. At ECa 4.4 dS m⁻¹, M1 plants showed higher root/shoot ratio and root mass. Plants M2 and M3 reduced sodium accumulation in the leaf and increased potassium in the stem. Plants M1 and M2 accumulated more phosphorus in the leaf. The M3 plants, as a function of EC, presented higher TCR and DE. In the biochemical analyses, the M1 plants were more efficient in reducing MDA. At the 4.4 dS m⁻¹ level, a considerable increase amount of AST was observed. In M2 plants, there was an increase in the PL and AST content. In M3, under high ECa, there was maintenance of TRA, increased dry biomass, PL, AST, reduced H₂O₂ content and increased activity of antioxidant enzymes. Pigments were similar in all treatments. Irrigation with saline waste water affects the physiology of native maize. Corn in symbiosis with *G. albida* plus soil microbiota, between levels 1.8 and 3.1 dS m⁻¹, improved growth, Na⁺, P, K⁺ balance in the plant and reduced the Na/ K. The ECa 2.9 dS m⁻¹ increased the DE, at more extreme levels 4.4 dS m⁻¹, it impairs the colonization of *G. albida* in the roots. The increase in ECw promoted osmotic and oxidative stress in maize plants. The symbiosis between corn plants with *G. albida* (M2) and plants inoculated with *G. albida* plus soil microbiota (M3) favored the reduction of Na⁺ ions, the osmotic adjustment, by the increase in the concentration of PL and AST and the antioxidative stress, by the action of the enzyme's ascorbate peroxidase in the plants of the treatments M1 and M2. Under ECw 3.1 dS m⁻¹, maize plants in symbiosis with *G. albida* plus soil microbiota increased catalase activity.

Keywords: Variety Ibra. Abiotic stress. Attenuators. Glomalin. Saline soils. Soil microbiology.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1 – Regressão para condutância estomática g_s – (A), regressão e teste de médias para transpiração - E (BC), temperatura foliar - T_l (D), taxa de assimilação de CO_2 A_N - (E) e eficiência intrínseca do uso da água $-A/g_s$ (F) de plantas de milho crioulo em função da CEa ($dS\ m^{-1}$) e influência de FMA (● (M1) plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ (M2) plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ (M3) plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). Letras minúsculas semelhantes na linha (CEa) e maiúsculas na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0.05$).....36
- Figura 2 – Fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado - F_o' (A), eficiência quântica do PSII - Y (B) e máxima eficiência quântica do PSII - F_v/F_m (B). Regressão e teste de médias para taxa de transporte de elétrons - ETR (C) e rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada – $YNPQ$ (D) de plantas de milho crioulo em função da CEa ($dS\ m^{-1}$) e influência de FMA (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). Letras minúsculas semelhantes na linha (CEa) e maiúsculas na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0.05$).....38
- Figura 3 – Análise de regressão e teste de médias para massa seca da parte aérea - $MSPA$ (A), massa seca da raiz- $MSRA$ (B), relação raiz/parte aérea – *Relação R/PA* (C) e massa seca total – MST (D) de milho crioulo em função da CEa ($dS\ m^{-1}$) e influência de FMA (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). Letras minúsculas semelhantes na linha (CEa) e maiúsculas na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0.05$).....40
- Figura 4 – Regressão e teste de médias dos fatores isolados para altura da planta - PA (A e B), Número de folhas – NF (C e D) e diâmetro do colmo – DC (E) e Interação para área foliar - AF (D) de milho crioulo em função da CEa ($dS\ m^{-1}$) e influência de FMA (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). Letras minúsculas semelhantes na linha (CEa) e maiúsculas na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0.05$).....42
- Figura 5 – Sódio na folha- $[Na^+]_{folha}$ (A), colmo $[Na^+]_{colmo}$ (B) e raiz - $[Na^+]_{Raiz}$ (C). Potássio no colmo - $[K^+]_{Colmo}$ (D) e na Raiz - $[K^+]_{Raiz}$ (E). Fósforo no colmo- $[P]_{colmo}$ (F) de plantas de milho crioulo (*Zea mays* L.) em função da CEa ($dS\ m^{-1}$) e influência de FMA (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3 plantas com inóculo fúngico

- de *G. albida*, mais a microbiota do solo). DP, n =3. Letras minúsculas semelhantes na linha (CEa) e maiúsculas na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0.05$).....45
- Figura 6 – Acúmulo de fósforo – $[K^+]_{Folha}$, (A, B) potássio - $[P]_{Folha}$ (C, D) de plantas de milho crioulo em função da CEa (dSm^{-1}) e influência de FMA (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). Letras semelhantes na linha (CEa) e na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0.05$).....47
- Figura 7 – Relação de sódio e potássio na folha- Na/K_{folha} , (A) no colmo - Na/K_{colmo} (B) e na raiz - Na/K_{raiz} (C) de plantas de milho crioulo em função da CEa (dSm^{-1}) e influência de FMA (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). Letras semelhantes na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0.05$).....48
- Figura 8 – Taxa de colonização radicular (A), densidade de esporos no solo (B) de plantas de milho crioulo em função da CEa (dSm^{-1}) e influência de FMA (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). D, n= 3. Letras semelhantes na linha (CEa) e na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0.05$).....50

CAPÍTULO II

- Figura 1 – Teor relativo de água - *TRA* (A), massa seca total – *MST* (B) prolina livre - *PL* (C), açúcares solúveis totais - *AST* (D), proteínas solúveis totais - *PS* (E) e acúmulo de Na^+ nas folhas - $[Na^+]_{folha}$ (F), em plantas de milho crioulo em função da CEa (dSm^{-1}) e influência de FMA. (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). D, n= 3. Letras iguais não diferem estatisticamente para influência de FMA pelo teste Tukey ($p < 0.05$).....76
- Figura 2 – Acúmulo de peróxido de hidrogênio - H_2O_2 (A); peroxidação lipídica - *MDA* (B) e atividade da superóxido dismutase - *SOD* (C) de plantas de milho crioulo em função da CEa (dSm^{-1}) e influência de FMA. (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico; ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*; ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). DP, n= 3. Letras iguais não diferem estatisticamente para influência de FMA pelo teste Tukey ($p < 0.05$).....79
- Figura 3 – Atividade específica da ascorbato peroxidase - *APX* (A) e atividade catalase - *CAT* (B) de plantas de milho crioulo em função da CEa (dSm^{-1}) e influência de FMA. (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico; ■ M2- plantas com

inóculo fúngico de *G. albida*; ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). DP, n= 3. Letras iguais maiúsculas não diferem estatisticamente para influência de FMA e minúsculas entre CEa (dSm^{-1}) pelo teste Tukey ($p < 0.05$).....80

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1 – Atributos físico-químicos do solo inicial (SI) e pós-tratamentos: solo sem micorrizas autoclavado (M1), solo com micorrizas autoclavado (M2) e solo com micorrizas não autoclavado (M3) sob diferentes níveis de condutividade elétrica do rejeito salino CEa.....29
- Tabela 2 – Caracterização físico-química da água de abastecimento – (ABT) e do rejeito salino concentrado - (RSC) utilizado no experimento.....30
- Tabela 3 – Volumes do rejeito salino aplicado em plantas de milho crioulo (*Zea mays* L.) sob influência de FMA em função da CEa.....32
- Tabela 4 – Resumo da análise de variância para condutância estomática (gs), transpiração (E), temperatura foliar (TI), taxa de assimilação de CO₂ (A_N), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s), eficiência instantânea do uso da água (A/E), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo' μmol (fótons) m⁻² s⁻¹), eficiência quântica do PSII (Y), máxima eficiência quântica do PSII (Fv/Fm), taxa de transporte de elétrons (ETR), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (YNO) de plantas de milho crioulo em função da CEa e influência de FMA.....35
- Tabela 5 – Análise de variância para os parâmetros de crescimento massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSRA), razão raiz/parte aérea (R/PA), massa seca total (MST), área foliar (AF), altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC) e número de folhas (NF) de milho crioulo (v. Ibra) de plantas de milho crioulo em função da CEa e influência de FMA.....39
- Tabela 6 – Resumo da análise de variância para teor de sódio (Na⁺), fósforo (P) e potássio (K⁺) na folha, colmo e raiz. Relação de sódio e potássio (Na/K) na folha, colmo e raiz de plantas de milho crioulo em função da CEa do rejeito salino e influência de FMA.....43
- Tabela 7 – Análise de variância para taxa de colonização da raiz - TCR (A) e densidade de esporos do solo - (B) de plantas de milho crioulo cultivadas sob efeito da CEa (dsm⁻¹) e influência de FMA.....49

CAPÍTULO II

- Tabela 1 – Caracterização físico-química do Latossolo vermelho distrófico.....70
- Tabela 2 – Caracterização química da água de abastecimento (ABT) e do rejeito salino concentrado (RSC).....70
- Tabela 3 – Resumo da análise de variância para teor relativo de água (TRA), Prolina livre (PL), Açúcares solúveis totais (CST), proteínas totais (PS_{totais}), acúmulo de

sódio na folha (Na^+ folha), de clorofila a (Chl_a) clorofila b (Chl_b), clorofilas totais ($\text{Chl}_{\text{totais}}$) de plantas de milho crioulo (*Zea mays* L.) em função da CE_a e influência de FMA.....75

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), peroxidação lipídica (MDA), atividade da superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) de plantas de milho crioulo (*Zea mays* L.) em função da CE_a e influência de FMA.....78

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	16
REFERÊNCIAS.....	20
2 FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR <i>Gigaspora albida</i> (Gigasporaceae) NA FISIOLOGIA, CRESCIMENTO E BALANÇO NUTRICIONAL DE MILHO (Poaceae) CRIOULO EM FUNÇÃO DA SALINIDADE.....	25
RESUMO.....	25
ABSTRACT.....	26
2.1 INTRODUÇÃO.....	27
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.3 RESULTADOS.....	34
2.4 DISCUSSÃO.....	50
2.5 CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS	59
3 FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR <i>Gigaspora albiada</i> (Gigasporaceae) NA BIOQUÍMICA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE DE MILHO (Poaceae) CRIOULO EM FUNÇÃO DA SALINIDADE.....	66
RESUMO.....	66
ABSTRACT.....	67
3.1 INTRODUÇÃO.....	68
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	69
3.3 RESULTADOS.....	74
3.4 DISCUSSÃO.....	80
3.5 CONCLUSÕES	84
REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO GERAL

A escassez de água representa uma das maiores preocupações enfrentadas pelo mundo atualmente. A alta demanda desse recurso, para suprir as necessidades populacionais crescentes, atender à expansão de áreas irrigadas para produção de alimentos, produção de energia, desenvolvimento industriais e saneamento, somada ao mau gerenciamento, torna esse recurso cada vez mais escasso (UCKER et al., 2013; EMBRAPA, 2019).

No Brasil, as regiões que mais sofrem escassez hídrica têm a irrigação, em muitas situações, como a única maneira de garantir a produção agrícola, principalmente em regiões tropicais de clima quente e seco, como o semiárido do Nordeste brasileiro (GHEYI et al., 2012; HOLANDA et al., 2016).

Devido à baixa disponibilidade de água superficial nas áreas áridas e semiáridas, é necessário o uso de tecnologias de convivência baseadas no manejo sustentável da água, principalmente na agricultura. Dentre as tecnologias disponíveis, o reuso da água é uma prática bastante comum. O uso de água de qualidade inferior para irrigação de culturas como, por exemplo, águas salinas de poços de drenagem agrícola e rejeito salino de estações de tratamentos de águas salobras (DIAS et al., 2016), mostra-se uma boa alternativa, pois atende à necessidade hídrica das culturas, ao passo que reduz o consumo de água de boa qualidade. Vale salientar que o uso de águas salinas para a irrigação, quando não aplicadas técnicas adequadas, constitui sério problema para a agricultura, pois a alta concentração de sais nessas águas limita a produção agrícola, reduz a produtividade das culturas a níveis antieconômicos (DIAS et al., 2016; VERNANCIO et al., 2022), promove alterações nas propriedades químicas e físicas do solo, além de afetar os equipamentos de irrigação (SANTOS; BRITO, 2016).

O sucesso no uso de água salina na irrigação baseia-se em práticas de manejo adequadas, seleções de culturas tolerantes à salinidade e na adoção de estratégias que evitem o acúmulo de sais no solo e/ou mantenham a concentração de sais na zona radicular abaixo da tolerada pelas culturas (DIAS et al., 2016; DIAS et al., 2021; REKABY et al., 2021). Silva et al. (2014) sugerem que a mistura de águas salinas com água de baixa concentração de sais é uma forma de manejo estratégico para incentivar a inserção dessas águas na produção vegetal em regiões que sofrem com estiagens prolongadas.

As alterações nas propriedades químicas e físicas do solo ocorrem como resposta ao acúmulo de sais no solo, que, em longa data, vai se tornando compacto, salino e infértil, configurando-se como um dos fatores mais limitantes na produção agrícola (SILVA et al., 2018; PEREIRA et al., 2019). As limitações ao desenvolvimento vegetal se devem ao estresse

osmótico e iônico que reduzem a absorção de água, assimilação e o transporte de nutrientes (DIAS et al., 2016; WAN et al., 2017.; PEREIRA et al., 2019; WANG et al., 2021).

A presença de sais desencadeia várias alterações no metabolismo celular, dentre as quais o fechamento estomático é uma das primeiras respostas à restrição hídrica. Esse comportamento limita as trocas gasosas e reduz os processos fotossintéticos (SANTOS et al., 2020; FERNANDES et al., 2022). O acúmulo de íons de Na^+ e Cl^- , além de causar desbalanço nutricional e citotoxicidade nos tecidos (AMORIM et al., 2002; TAIZ et al., 2017; SÁ et al., 2020; SÁ et al., 2021), afeta diretamente as vias metabólicas, fisiológicas e bioquímicas (OKAN, 2019), além de desencadear o desbalanço redox. A presença de sais em excesso nas células vegetais induz a produção de espécies reativas de oxigênio que causam danos a biomoléculas importantes, alterando o funcionamento normal das células e o pleno desenvolvimento das culturas. A desnaturação proteica, a degradação das clorofilas e alterações na permeabilidade das membranas são exemplos do estresse redox, induzidos pelo estresse salino, que leva à peroxidação lipídica e, conseqüentemente, promove redução do crescimento e desenvolvimento das plantas (MITTOVAL et al., 2002; OKAN, 2019; GOHARRIZIA; AMIRMAHANIB; SALEHIC, 2020).

Os mecanismos de resposta das culturas, quanto à sensibilidade e tolerância à salinidade podem variar entre espécies, cultivares de uma mesma espécie, condições climáticas, tipo de solo, método de irrigação, estágio de desenvolvimento das plantas e tempo de exposição às condições salinas (BRITO et al., 2014; DIAS et al., 2016; SANTOS; BRITO, 2016).

Alterações nas vias fotossintéticas, a síntese de osmólitos compatíveis e ativação de sistemas antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos possibilitam maior capacidade de sobrevivência das plantas em ambientes com elevados níveis de salinidade. A ativação desses mecanismos promove a retomada da absorção e retenção de água pelas plantas, protegendo as funções dos cloroplastos e manutenção da homeostase iônica e osmótica (PARIDA; DAS, 2005; MUNNS; TESTER, 2008; ESTEVES; SUZUKI, 2008; FREITAS et al., 2014; WAN et al., 2017).

Para Fageria (1989), o mecanismo mais importante para regular o estresse osmótico pode estar relacionado à capacidade de absorção seletiva de íons, pois plantas tolerantes possuem a habilidade de retirar nutrientes essenciais da solução salina, onde a concentração de íons não essenciais é mais elevada. A razão existente entre K:Na é vital para ativar reações bioquímicas, catalisadas por enzimas no citosol e manter o contínuo crescimento das plantas (WAKEEL, 2013).

Tomando em nota estratégias que possibilitem o uso do rejeito salino como água de irrigação, o uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) é considerado uma abordagem eficiente para o alívio do estresse salino em plantas (FOLLI-PEREIRA et al., 2012; EVELLIN et al., 2019; NDIATE et al., 2022).

Os FMAs são fungos de solo, biotróficos obrigatórios e formadores da simbiose mutualista mais comum na natureza: a micorriza arbuscular (MA). Essa associação é formada principalmente por FMAs pertencentes ao filo Glomeromycota, presente nas raízes da maioria das plantas terrestres (FOLLI-PEREIRA et al., 2012). A simbiose entre plantas e FMAs é vantajosa para ambos os organismos: as plantas fornecem aos fungos assimilados resultantes da fotossíntese, permitindo o crescimento e desenvolvimento (SOUZA et al., 2020), ao passo que AMF contribui com maior disponibilidade de água e nutrientes como fósforo e nitrogênio (HODGE; STORER, 2015).

Os benefícios dos FMA para alívio do estresse salino já são bem difundidos na literatura. Estudos demonstram que FMAs têm sido uma opção para atenuar os efeitos da salinidade em muitas culturas, promovendo melhorias no crescimento e desenvolvimento (DAEI et al., 2009; KHALLOUF et al., 2017). Por induzirem maior expressão de substâncias osmorreguladoras, como prolina, glicina betaína, poliaminas etc., os osmólitos produzidos ajudam na regulação e manutenção do potencial hídrico celular, de forma que a eficiência no uso da água, manutenção do turgor celular, as trocas gasosas e, por consequência, a taxa fotossintética são melhoradas (LUCIO et al., 2013; EVELIN et al., 2019; SOUZA et al., 2020). Nutricionalmente, favorece a seletividade de nutrientes importantes, reduzindo o influxo de íons tóxicos (Na^+ e Cl^-), que causam desequilíbrio iônico nos tecidos fotossintéticos (GIRI et al., 2007; COLLA et al., 2008; EVELIN; KAPOOR; GIRI, 2009; EVELIN et al., 2019).

Bioquimicamente, os FMAs atuam em diferentes frentes para aliviar os efeitos negativos do estresse salino. Concentrações elevadas de sais induzem as plantas ao estresse oxidativo, os FMA afetam positivamente a expressão de enzimas antioxidantes como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) e ascorbato peroxidase (APX), que operam como primeira linha de defesa na limpeza de espécies reativas de Oxigênio (ROS) produzidas em condições de estresse (LATEF; CHAOXING, 2011; DAR et al., 2023). Uma maior resposta do sistema enzimático e não enzimático contribui para manutenção do equilíbrio na produção e consumo de ROS, ao mesmo tempo em que melhora a integridade das membranas e reduz peroxidação lipídica (MILHER et al., 2010; LATEF; CHAOXING, 2011).

No solo, os FMAs promovem benefícios, pois alteram as características físico-químicas do substrato e contribuem para a formação e manutenção da estrutura do solo, agregando as

partículas por meio de hifas extrarradiculares (FOLLI-PEREIRA et al., 2012) e, sobretudo, por ação da glomalina, uma glicoproteína produzida por fungos, que atua como cola, favorecendo a agregação das partículas de solo (PURIN; KRAUBERG-FILHO, 2010; FOLLI-PEREIRA et al., 2012).

O milho (*Zea mays* L.), pertencente à família Poaceae, é uma das culturas mais produzidas no mundo, graças à sua grande capacidade de adaptação às diferentes condições ambientais e ao seu alto valor nutricional (SCHEREN; RIBEIRO; NOBREGA, 2014; EMBRAPA, 2017). Apesar do grande uso na culinária, a maior demanda é pela indústria de ração animal, representado 53% da demanda total contra 2% da demanda para consumo humano, motivo pelo qual é uma cultura de grande importância econômica e social (ABIMILHO, 2020; SOUZA et al., 2020).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, superado apenas pelos Estados Unidos e China (COELHO, 2019). Para a agricultura familiar, o milho apresenta grande importância nas pequenas propriedades, pois está presente em quase todas as famílias de agricultores e possui uma infinidade de maneiras de ser utilizado, contribuindo na alimentação humana, animal, além de fornecer matéria prima para confecção de utensílios, artesanatos, produção de energia por meio da queima de subprodutos, além da utilização da palha em cama de estábulos (EMBRAPA, 2017).

Com a expansão do comércio de cultivares híbridas, várias comunidades rurais têm abandonado suas sementes tradicionais, tornando-se mais dependentes de multinacionais do setor de sementes (ARAÚJO JUNIOR, et al., 2015). No entanto, a maior parte dos agricultores familiares brasileiros localiza-se em regiões onde é empregado baixo nível tecnológico e há problemas que dificultam o adequado manejo fitotécnico das culturas trabalhadas (CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2010).

Para os pequenos produtores que nem sempre possuem recursos para investimento em sementes, insumos, condições edáficas e climáticas favoráveis, a produção de variedades de milho crioulas pode ser uma opção (CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2010; ARAÚJO-JUNIOR et al., 2015; EMBRAPA, 2017), pois apresentam inúmeras vantagens, como produção mais sustentável, maior resistência a doenças, pragas e desequilíbrios climáticos, além de poder ter as sementes armazenadas para as safras seguintes, diminuindo o custo de produção (CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2010; LONDRES, 2014; SILVEIRA et al., 2015).

Com base no exposto, avaliou-se o efeito do fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Gigaspora albida*, na fisiologia, crescimento, balanço nutricional, bioquímica e resposta

antioxidante de milho crioulo (variedade Ibra), sob diferentes níveis de condutividade elétrica do rejeito salino da osmose reversa.

REFERÊNCIAS

- ABIMILHO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MILHO. Estatísticas. Disponível em: <http://www.abimilho.com.br/estatisticas>. Acesso em: 23 mai. 2023.
- AMORIM, J. R. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N. C. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 167-176, 2002.
- ARAÚJO-JUNIOR, B. B.; MELO, A. E.; MATIAS, J. N. R.; FONTES, M. A. Avaliação de variedades crioulas de milho para produção orgânica no semiárido potiguar. **Holos**, v. 3, p. 102-108, 2015.
- ASGHARI, H.; MARSCHNER, P.; SMITH, S. & SMITH, F. Growth response of *Atriplex nummularia* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi at different salinity levels. **Plant and soil**, v. 273, p. 245-256, 2005
- BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; MELO, A. S.; FILHO, W. S. S.; SANTOS, R. T. S. Sensibilidade à salinidade de híbridos trifoliados e outros porta-enxertos de citros. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 17-27, 2014.
- CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; SOUZA A.; SILVA, D. A.; BARRETO, T. P.; GARBUGLIO, D. D.; FERREIRA, J. M. Avaliação de cultivares de milho crioulo em sistema de baixo nível tecnológico. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 229-233, 2010.
- COÊLHO, J. D. Produção de grãos – feijão, milho e soja. **Caderno Setorial ETENE**, n. 96, p. 1-12, 2019.
- COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M. T.; TULLIO, M.; RIVERA, C. M.; REA, E. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, p. 501-509, 2008.
- DAEI, G.; ARDEKANI, M. R.; REJALI, F.; TEIMURI, S.; MIRANSARI, M. Alleviation of salinity stress on wheat yield, yield components, and nutrient uptake using arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, p. 617-625. 2009.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; NETO, O. N. S.; QUEIROZ, Í. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 151-162.
- DIAS, N. S.; FERNANDES, C. S.; SOUSA-NETO, O. N.; SILVA, C. R.; FERREIRA, J. F. S.; SÁ, F. V. S.; COSME, C. R.; SOUZA, A. C. M. S.; OLIVEIRA, A. M.; BATISTA, C. N. O. Potential agricultural use of reject brine from desalination plants in family farming areas. In: TALEISNIK, E.; LAVADO, R. S. (org.). **Saline and alkaline soils in Latin America**. 1ª ed. Cham: Springer Nature; v. 1, 2021. p. 231-281.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Produção de sementes e conservação de variedades de milho de polinização aberta e crioulos** / Eberson Diedrich Eicholz... [et al.]. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE. **Agricultura bioessalina: desafios e alternativas para o uso de águas salobras e salinas no semiárido brasileiro.** / Everaldo Rocha Porto ... [et al.]. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019. 38p.

ESTEVES; SUZUKI. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 4, p. 662-679, 2008.

EVELIN, H., DEVI, T. S., GUPTA, S., KAPOOR, R. Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: Current understanding and new challenges. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 470, 2019.

EVELIN, H.; KAPOOR, R.; GIRI, B. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. **Annals of Botany**, v. 104, p. 1263–1280, 2009.

FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas.** Brasília: EMBRAPA-DPU, 1989. 425 p. (Documentos, 18).

FERNANDES, C. D. S.; FERREIRA-NETO, M.; DIAS, N. D. S.; REGES, L. B. L.; SILVA, L. D. A.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, A. A.; PAIVA, E. P.; FERNANDES, P. D.; SA, F. V. D. S. The appropriate source of nitrogen for Italian Zucchini under salt stress conditions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p. 1-11, 2022.

FOLLI-PEREIRA, M da S.; MEIRA-HADDAD, L. S.; BAZZOLLI, D. M. ARA S.; KASUYA, M. C. M. I. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1663-1679, 2012.

FREITAS, M. A. C.; AMORIM, A. V.; BEZERRA, A. M. E.; PEREIRA, M. S., BESSA, M. C.; NOGUEIRA FILHO, F. P.; LACERDA, C. F. Crescimento e tolerância à salinidade em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* expostas a diferentes níveis de radiação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 4, p. 839-849, 2014.

GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. (org.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações.** Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.

GIRI, B.; KAPOOR, R.; MUKERJI, K.G. Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. **Microbial ecology**, v. 54, p. 753-760, 2007.

GOHARRIZI, K. J.; AMIRMAHANI, F.; SALEHI, F. Assessment of changes in physiological and biochemical traits in four pistachio rootstocks under drought, salinity and drought+ salinity stresses. **Physiologia plantarum**, v. 168, n. 4, p. 973-989, 2020.

HODGE, A.; STORER, K. Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. **Plant and Soil**, v. 386, n. 1, p. 1-19, 2015.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A.; NETO, M. F.; HOLANDA, A. C.; SÁ, F. V. S. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados.** Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 35-50.

- KHALLOUFI, M.; MARTÍNEZ-ANDÚJAR, C.; LACHAÂL, M.; KARRAY-BOURAOUI, N.; PÉREZ-ALFOCEA, F.; ALBACETE, A. The interaction between foliar GA3 application and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improves growth in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants by modifying the hormonal balance. **Journal of Plant Physiology**, v. 214, p. 134-144, 2017.
- LATEF, A. A. H. A.; CHAOXING, H. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 3, p. 228-233, 2011.
- LONDRES, F. **Sementes da paixão e as políticas de distribuição de sementes na Paraíba**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2014.
- LÚCIO, W. S.; LACERDA, C. F.; FILHO, P. F. M.; HERNANDEZ, F. F. F.; NEVES, A. L. R.; GOMES-FILHO E. Growth and physiological responses of melon plants inoculated with mycorrhizal fungi under salt stress. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1587-1602, 2013.
- MILLER, G. A. D.; SUZUKI, N.; CIFTCI-YILMAZ, S. U. L. T. A. N.; MITTLER, R. O. N. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, cell & environment**, v. 33, n. 4, p. 453-467, 2010.
- MITTOVA, V.; TAL, M.; VOLOKITA, M.; GUY, M. Salt stress induces up-regulation of an efficient chloroplast antioxidant system in the salt-tolerant wild tomato species *Lycopersicon pennellii* but not in the cultivated species. **Physiologia Plantarum**, v. 115, n. 3, p. 393-400, 2002.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Reviews of Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008.
- NDIATE, N. I.; ZAMAN, Q. U.; FRANCIS, I. N.; DADA, O. A.; REHMAN, A.; ASIF, M.; GOFFNER, D.; KANE, A.; LIQUN, C.; HAIDER, F. U. Soil Amendment with Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Biochar Improves Salinity Tolerance, Growth, and Lipid Metabolism of Common Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Sustainability**, v. 14, n. 6, p. 3210, 2022.
- OKAN, OG (2019). **Effect of Salinity on Physiological Processes in Plants**. B. Giri, A. Varma (eds.), *Microorganisms in Saline Environments: Strategies and Functions*, Soil Biology, Soil Biology, Springer, v. 56, 2019, p. 237-262
- PARIDA, A.K.; DAS, A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 60, n. 3, p. 324-349, 2005.
- PEREIRA, E. G.; DIAS, A. C.; SILVA, C. S. R. A.; GOMES, L. B. E.; ALMEIDA, L. C. H.; FERREIRA, N. S.; SANTOS, O. A. Q.; MOURA, O. V. Estresse salino no crescimento inicial e metabolismo de nitrogênio em plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) In: DALAZOANA, K. (org.). **Desenvolvimento sustentável do semiárido brasileiro**. Ponta grossa, PR: Atena Editora, 2019. p. 1-9.
- PURIN, S.; KLAUBERG FILHO, O. Glomalina: nova abordagem para entendermos a biologia dos fungos micorrízicos arbusculares. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (org.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Ed: da Ufla, 2010. p. 503-524.

- REKABY, S. A.; AWAD, M.; MAJRASHI, A.; ALI, E. F.; EISSA, M. A. Corn cob-derived biochar improves the growth of saline-irrigated quinoa in different orders of Egyptian soils. **Horticulturae**, v. 7, n. 8, p. 221, 2021.
- SÁ, F. D. S.; GHEYI, H. R.; DE LIMA, G. S.; FERREIRA NETO, M.; DE PAIVA, E. P.; SILVA, L. D. A.; MOREIRA, R. C. L. Cultivation of West *Indian cherry* irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen proportions. **Semina: Ciências Agrárias**, (Londrina), v. 41, n. 2, p. 395-406, 2020.
- SÁ, F. V. D. S.; SILVA, I. E. D.; FERREIRA NETO, M.; LIMA, Y. B. D.; PAIVA, E. P. D.; GHEYI, H. R. Phosphorus doses alter the ionic homeostasis of cowpea irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 372-379, 2021.
- SANTOS, S. T.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, G. B. S.; SÁ, F. V. S.; COSTA, J. P. B. M.; FERNANDES, P. D. Photochemical efficiency of basil cultivars fertigated with salinized nutrient solutions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 5, p. 320-325, 2020.
- SANTOS, M. R.; BRITO, C. F. B. Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 7, n. 1, p. 33-41, 2016.
- SCHEREN, M. A.; RIBEIRO, V. M.; NOBREGA, L. H. P. Efeito alelopático de *Cyperus rotundus* L. No desenvolvimento de plântulas de milho (*Zea mays* L). **Revista Varia Scientia Agrária**, v. 04, n. 01, p. 105-116, 2014.
- SILVA, E. C.; VIÇOSI, K. A.; OLIVEIRA, L. A. B.; GALVÃO, C. S. Estresse salino na germinação e vigor de sementes de repolho. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, p. 374-377, 2018.
- SILVA, J. L. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, S. S. V.; OLIVEIRA, F. A.; JUNIOR, M. J. S.; NASCIMENTO, I. B. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 18, (Suplemento), p. 66-72, 2014.
- SOARES, T. M.; SILVA, I. J. O.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F. Destinação de águas residuárias provenientes de dessalinizadores por osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 730-737, 2006.
- SOUSA-NETO, O. N. S.; DIAS, N. S.; NETO, M. F.; LIRA, R. B. L.; REBOUÇAS, J. R. L. Utilização do rejeito da dessalinização da água na produção de mudas de espécies da caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 123-129, 2011.
- SOUZA, C.C. M.; SARAIVA, J. S.; SANTOS, M. A. S.; REBELLO, F. K. Concentração espacial, fontes de crescimento e instabilidade da renda da cultura do milho no Estado do Pará. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. 1-22, 2020.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- UCKER, F. E.; LIMA, P. B. S. O.; CAMARGO, M. F.; PENA, D. S.; CARDOSO, C. F.; PÊGO, A. W. E. Elementos interferentes na qualidade da água para irrigação. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 10, n. 10, p. 2102-2111, 2013.
- VENANCIO, J. B.; DA SILVA DIAS, N.; DE MEDEIROS, J. F.; DE MORAES, P. L. D.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOUSA NETO, O. N.; SILVA SÁ, F. V. Yield and

morphophysiology of onion grown under salinity and fertilization with silicon. **Scientia Horticulturae**, v. 301, p. 111095, 2022.

WAKEEL, A. Potassium-sodium interactions in soil and plant under saline-sodic conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 3, p. 344-354, 2013.

WAN, Q.; HONGBO, S.; ZHAOLONG, X.; JIA, L.; DAYONG, Z.; YIHONG, H. Salinity tolerance mechanism of osmotin and osmotin-like proteins: a promising candidate for enhancing plant salt tolerance. **Current genomics**, v. 18, n. 6, p. 553-556, 2017.

WANG, H.; AN, T.; HUANG, D.; LIU, R.; XU, B.; ZHANG, S.; DENG, X.; SIDDIQUE, K. H. M.; CHEN, Y. Arbuscular mycorrhizal symbioses alleviating salt stress in maize is associated with a decline in root-to-leaf gradient of Na^+/K^+ ratio. **BMC Plant Biology**, v. 21, n. 1, p. 1-15, 2021.

WOLKMER, M. F. S.; PIMMEL, N. F. Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental. **Revista Sequência**, n. 67, p. 165-198, 2013.

2 FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR *Gigaspora albida* (Gigasporaceae) NA FISILOGIA, CRESCIMENTO E BALANÇO NUTRICIONAL DE MILHO CRIOULO (Poaceae) SOB DISTINTOS NÍVEIS DE SALINIDADE

RESUMO

O uso de rejeito salino de osmose reversa é uma alternativa de fonte hídrica no meio rural, exigindo, porém, manejo adequado para reduzir impactos negativos para a planta e o solo. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) podem atenuar o efeito do estresse salino em plantas, promovendo melhorias no crescimento e desenvolvimento, pela redução dos efeitos dos sais. Objetivou-se no presente estudo avaliar o efeito do fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Gigaspora albida*, na fisiologia, crescimento e balanço nutricional de milho crioulo (variedade Ibra) sob diferentes diluições do rejeito salino em água não salina. O estudo foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 4, com seis repetições. Os tratamentos foram três condições micorrízica: (M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida* e M3- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo), combinados com quatro níveis de condutividade elétrica do rejeito salino de osmose reversa (CEa): 0,5, 1,8, 3,1, e 4,4 dS m⁻¹. Trinta dias após imposição do estresse salino, foram avaliadas: trocas gasosas, acúmulo de biomassa, acúmulo do sódio, fósforo, potássio, taxa de colonização das raízes (TCR) e densidade de esporos (DE). A irrigação com água de rejeito salino de osmose reversa reduz as trocas gasosas, eficiência quântica do fotossistema II e o crescimento das plantas de milho. A interação dos fatores aumentou a produção de biomassa da raiz e parte aérea nas plantas M3, nos níveis 2,5 e 1,8 dSm⁻¹, respectivamente. Em função da CEa, as plantas M1 apresentaram maior relação raiz/parte aérea e massa radicular. As plantas M2 e M3 reduziram o sódio na folha e elevaram o potássio no colmo. As plantas M1 e M2 acumularam mais fósforo na folha. As plantas M3 apresentaram maior TCR e DE. A irrigação com água de rejeito salino afeta a fisiologia do milho crioulo. Quando cultivado entre os níveis 1,8 e 3,1 dS m⁻¹, o milho em simbiose com *G. albida* mais a microbiota do solo teve melhor crescimento, balanço de Na, P, K na planta e reduziu a relação Na/K. CEa 2,9 dS m⁻¹ aumenta a DE, níveis mais extremos 4,4 dS m⁻¹ prejudicam a colonização de *G. albida* nas raízes.

Palavras-chave: Estresse abiótico. Atenuadores. Glomalina Densidade de esporos. Rejeito salino.

ARBUSCULAR MYCORRHYZIC FUNGUS *Gigaspora albida* (Gigasporaceae) ON THE PHYSIOLOGY, GROWTH AND NUTRITIONAL BALANCE OF CREOULE CORN (Poaceae) UNDER DIFFERENT SALINITY LEVELS

ABSTRACT

The use of reverse osmosis saline waste is an alternative water source in rural areas. However, it requires adequate management to reduce negative impacts on the plant and the soil.

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) can attenuate the effect of salt stress in plants, promoting improvements in growth and development by reducing the effects of salts. The objective of this study was to evaluate the effect of the arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Gigaspora albida*, on the physiology, growth and nutritional balance of creole maize (Ibra variety) under different dilutions of saline waste in non-saline water. The study was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design, in a 3 x 4 factorial scheme, with six replications. The treatments were three mycorrhizal conditions: (M1- control plants without fungal inoculum, M2- plants with fungal inoculum of *G. albida* and M3- plants with fungal inoculum of *G. albida*, plus soil microbiota), combined with four levels of electrical conductivity of reverse osmosis saline waste (EC_w): 0.5, 1.8, 3.1, and 4.4 dS m⁻¹. Thirty days after imposition of saline stress, the following parameters were evaluated: gas exchange, biomass accumulation, sodium, phosphorus, potassium accumulation, root colonization rate (TCR) and spore density (DE). Irrigation with reverse osmosis saline waste water reduces gas exchange, photosystem II quantum efficiency and maize plant growth. The interaction of factors increased the production of root and shoot biomass in M3 plants, at levels 2.5 and 1.8 dS m⁻¹, respectively. As a function of EC_w, M1 plants had a higher root/shoot ratio and root mass. Plants M2 and M3 reduced sodium in the leaf and increased potassium in the stem. Plants M1 and M2 accumulated more phosphorus in the leaf. M3 plants showed higher TCR and DE. Irrigation with saline waste water affects the physiology of native maize. Corn in symbiosis with *G. albida* plus soil microbiota, when cultivated between levels 1.8 and 3.1 dS m⁻¹, had better growth, Na, P, K balance in the plant and reduced Na/ K. The EC_w 2.9 dS m⁻¹ increases the DE, more extreme levels 4.4 dS m⁻¹, impairs the colonization of *G. albida* in the roots.

Keywords: Abiotic stress. Attenuators. Glomalin Spore density. Saline waste.

2.1 INTRODUÇÃO

A água é um bem precioso imprescindível para a manutenção e conservação da vida (WOLKMER; PIMMEL, 2013; AUGUSTO et al., 2012). Embora apresente volume praticamente constante, sua distribuição é desigual no tempo e espaço (AUGUSTO et al., 2012).

As regiões semiáridas são as que mais sofrem com a escassez hídrica severa. A elevada taxa de evapotranspiração, somada às chuvas irregulares e longos períodos de estiagem, contribui para o aumento dessa problemática (GHEYI et al., 2012). Em várias comunidades rurais há dificuldades no acesso à água doce superficial, sendo necessário recorrer a fontes alternativas para suprir demandas (OLIVEIRA et al., 2018). No Nordeste brasileiro é comum o uso de águas subterrâneas para suprir as comunidades rurais. No entanto, há limitações para o uso dessas águas, devido à elevada concentração de sais (SOARES et al., 2006).

Para minimizar o problema, o Governo Federal, por meio do “Programa Água Boa”, instalou em várias comunidades rurais do Nordeste estações de tratamentos de água por osmose reversa para fornecer água potável às famílias a partir da purificação da água salobra de poços. Porém, um dos fatores preocupantes é o descarte do rejeito salino, gerado no processo de dessalinização, que apresenta salinidade mais elevada do que a de alimentação do sistema e tem sido descartada, sem nenhum gerenciamento, diretamente no solo (OLIVEIRA et al., 2017).

Nesse cenário, muitas pesquisas têm estudado o efeito desse resíduo salino no cultivo de culturas. Gomes et al. (2011) e Moraes et al. (2014), em sistema de cultivo hidropônico, sugerem apenas o uso 25 e 23% de rejeito salino, para compor a solução nutritiva, em cultivo de tomate cereja e alface, respectivamente. Também em cultivo hidropônico, Dias et al. (2010) e Santos et al. (2011) demonstraram que a produtividade de culturas é reduzida com uso de resíduo salino na solução nutritiva. No solo, Sousa-Neto et al. (2011) verificaram que o uso do rejeito salino diluído, como água de irrigação, também reduz a fitomassa seca das culturas.

O que se pode observar é que o problema não reside na forma como o resíduo salino tem sido utilizado, mas na quantidade excessiva de sais presentes nessas águas. Altos teores de sais no solo causam alterações nas características químicas e físicas dos solos e retarda ou impede o crescimento das plantas, principalmente devido ao aumento do potencial osmótico e toxidez indireta de determinados elementos (PEDROTTIL et al., 2015.; SANTOS; BRITO, 2016).

Nessa perspectiva, estratégias que possibilitem o uso de água salina na irrigação sem comprometer a qualidade das culturas se tornam de extrema importância. Neste aspecto, já foi comprovado que associações simbióticas de plantas com fungos micorrízicos arbusculares

(FMAs) podem mitigar os efeitos da salinidade nas plantas (OLIVEIRA et al., 2017; ZHANG et al., 2018; SOUSA et al., 2020) e no solo (FOLLI-PEREIRA et al., 2012). Pesquisas mostram que o uso de FMAs tem sido uma opção para atenuar os efeitos da salinidade nas culturas, pois promove melhorias no crescimento e desenvolvimento (DAEI et al., 2009; KHALLOUF et al., 2017), estimula o acúmulo de substâncias osmorreguladoras, aumenta a taxa fotossintética, promove eficiência no uso da água (EVELIN; KAPOOR; GIRI, 2009), assim como melhora a capacidade de absorção de água e nutrientes (ASGHARI et al., 2005.; GIRI et al., 2007.; EVELIN; KAPOOR; GIRI, 2009).

O milho, umas das culturas mais produzidas no mundo, também tem o crescimento e a produtividade afetados pela salinidade. Níveis salinos superiores a 1.8 dS m^{-1} no solo estão acima da salinidade limiar suportada pela cultura (AYERS; WESTCOT, 1999). Para a agricultura familiar, o milho é uma cultura muito importante, pois está presente em quase todas as propriedades, na forma de alimento e como produto para obtenção de renda (EMBRAPA, 2017). O custo de sementes de milho (híbridos e transgênicos) é relativamente alto, principalmente para os agricultores familiares, que cultivam pequenas áreas e utilizam poucos insumos externos (EMBRAPA, 2017). Neste contexto, torna-se de extrema importância a identificação de culturas capazes de desenvolver relações simbióticas, como mecanismo de alívio dos efeitos negativos salinidade da água. As cultivares crioulas podem constituir boa alternativa, pois apresentam grande capacidade de resistência aos fatores estressantes e adaptação às condições do ambiente em que se encontram (EMBRAPA, 2017).

Em hipótese, a simbiose do fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Gigaspora albida* com o milho crioulo (v. Ibra), em interação com a microbiota do solo, pode mitigar o efeito do estresse salino nas trocas gasosas, balanço nutricional e crescimento das plantas quando irrigado com rejeito salino da osmose reversa. Sendo assim, objetivou-se avaliar o efeito do fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Gigaspora albida* N.C. Schenek & G. S.Sm na fisiologia, crescimento e balanço nutricional de milho crioulo (variedade Ibra), sob diferentes níveis de condutividade elétrica do rejeito salino.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, Rio Grande do Norte/RN ($5^{\circ} 12' 2.03''$ e $37^{\circ} 19' 36.32''$ O). O ensaio experimental foi conduzido em ambiente de casa de vegetação, entre os meses de janeiro a março de 2022. As dimensões da estufa eram de 126 m^2 , pé direito de 4,0 m de altura, estruturação metálica,

(H + Al) (cmolc/dm ³)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SB (cmolc/dm ³)	14,0	15,5	16,1	15,7	17,2	17,7	20,3	19,6	19,4	18,8	17,4	20,8	17,3
t (cmolc/dm ³)	14,56	15,5	16,1	15,7	17,2	17,7	20,3	19,6	19,4	18,8	17,4	20,8	17,3
CTC (cmolc/dm ³)	14,0	15,5	16,1	15,7	17,2	17,7	20,3	19,6	19,4	18,8	17,4	20,8	17,3
V (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
M (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PST (%)	5,5	10,9	11,2	11,2	12,3	8,5	12,8	18,4	15,0	5,9	18,0	18,5	21,8

CE = Condutividade elétrica do extrato solo, (H+Al) = acidez potencial, SB = Soma de bases. t = CTC efetiva, CTC = CTC do solo ou CTC a pH 7,0. V = Saturação por bases. m = Saturação por alumínio. PST = Percentagem de sódio trocável.

O rejeito salino foi coletado na estação de tratamento de água do Assentamento Rural Jurema, localizado às margens da rodovia RN- 012, que liga Mossoró ao município de Tibau, RN. As características físico-químicas do rejeito salino e da água de abastecimento estão detalhadas na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização físico-química da água de abastecimento – (ABT) e do rejeito salino concentrado - (RSC) utilizado no experimento.

	pH (H ₂ O)	CE _{es} (dSm ⁻¹)	K ⁺	Na ⁺	Ca ₂ ⁺	Mg ₂ ⁺	Cl	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	RAS
	-----mmol/L-----									
ABT	7,5	0,54	0,31	3,78	0,84	1,20	2,40	0,61	3,21	3,76
RSC	7,11	9,50	0,83	54,13	36,80	24,2	116	0	3,39	9,71

CEes- Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; RAS - Razão de adsorção de sódio.

As sementes de milho crioulo, da variedade Ibra, foram colhidas no município de Umarizal, safra 2021. Os inóculos do FMA de *Gigaspora albida* foram cedidos pelo Laboratório de Fisiologia e Bioquímica de Plantas - (LFBP) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - (UERN).

Para multiplicação do fungo, foi utilizado um substrato contendo solo e areia na proporção 3:1 (v/v), previamente esterilizado em autoclave a 121° C, 1 ATM por duas horas, com intervalo de 24 horas entre a primeira e a segunda autoclavagens. Em casa de vegetação, o substrato esterilizado foi transferido para vasos de polietileno com capacidade para 8 L, juntamente com 8 g de solo inóculo (contendo fragmentos de raízes colonizadas e propágulos da espécie *G. albida*) e, em seguida, procedeu-se à semeadura de sementes de *Panicum milaceum* (painço), planta armadilha para promover a multiplicação dos FMA. Após 60 dias,

porções de 1,5 kg de solo contendo o inóculo foram coletadas e armazenadas em sacos plásticos sob refrigeração a 4°C, para uso posterior.

O substrato utilizado no experimento foi resultante de uma mistura de solo e composto orgânico (N total 0,7% (p/p), P₂O₅ 0,5% (p/p), K₂O 0,5% (p/p), umidade máxima 50% (p/p), carbono orgânico total 15% (p/p), CTC 250, C/N (máxima) 18, pH 8,0) na proporção 2:1 (v/v), respectivamente. O substrato foi esterilizado, obedecendo aos critérios anteriormente citados, com exceção dos tratamentos de M3. Depois de esterilizado, o substrato foi distribuído em vasos de polietileno com capacidade para 30 L. A inoculação com 100 g de solo contendo inóculo de FMA (675 esporos/ 50 dm³ de solo) foi realizada antes da semeadura, posicionado cerca de 3 cm abaixo das sementes. Para garantir a população microbiana semelhante em todos os tratamentos, cada parcela de plantas sem micorrizas recebeu 100 ml do filtrado de solo bruto, sem esporos do FMA, obtido a partir de uma suspensão de 50 dm³ de solo, passado em peneira com poros de 0,053 mm de diâmetro, em seguida filtrado duas vezes em papel-filtro qualitativo, para a eliminação de propágulos do FMA, conforme descrito em Freitas; Martins; Vieira (2004).

Antes da semeadura, as sementes foram esterilizadas em solução de hipoclorito de sódio a 5% (v/v) por cinco minutos e lavadas em água destilada. Cada vaso constou de seis sementes de milho. O desbaste ocorreu uma semana após a emergência, permanecendo duas plantas por vaso.

As irrigações foram realizadas diariamente, de modo a deixar o solo com umidade próxima à capacidade máxima de retenção. As irrigações com água salina iniciaram 20 dias após o desbaste, obedecendo a CEa de cada tratamento. O estresse salino foi imposto com aplicação progressiva de água salina, até alcançar a concentração desejada. As CEa do rejeito salino de cada tratamento foram verificadas com um condutivímetro portátil (modelo Instrutherm CD-860) a cada dois dias. As irrigações ocorreram manualmente. A determinação das lâminas diárias (LD) foi baseada no método de lisimetria de drenagem, calculada a cada dois dias, em lisímetros correspondentes a cada nível de salinidade (média de dois vasos). O cálculo levou em consideração o volume aplicado (Va) via irrigação, por vaso, obtido pela diferença entre a lâmina anterior (La) aplicada, menos a média do volume drenado (Vd), dividido pelo número de vasos (n), conforme equação 1. A tabela 3 mostra os volumes de rejeito salino aplicados durante o cultivo.

$$Va = (La - Vd)/n \qquad \text{Eq.1}$$

Tabela 3. Volumes do rejeito salino aplicados em plantas de milho crioulo (*Zea mays* L.) sob influência de FMA em função da CE_a.

CE _a (dS m ⁻¹)	V. Irrigação (L planta ⁻¹)
	M1/M2/M3
0,5	36,350
1,8	39,520
3,1	32,700
4,4	31,500

M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida* e M3- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo.

Para manutenção das condições nutricionais, foram feitas duas aplicações de solução de Hoagland e Arnon (1950), em concentração total, com ausência de fósforo, em intervalos de 15 dias, contados após a germinação. Aos 34 dias, foi aplicada uma fertirrigação recomendada por Pinho et al. (2009), de 72,73 kg de N ha⁻¹ e 39,28 kg de KCl ha⁻¹ divididas em duas frações. As fontes dos fertilizantes utilizados foram ureia (45% de N) e cloreto de potássio (60% de K₂O).

As regas com os tratamentos salinos foram realizadas no 20º dia após o desbaste. As análises de crescimento foram conduzidas de acordo com Campos et al. (2010) após 30 dias. A altura das plantas (AP), aferidas com auxílio de uma fita métrica, medindo-se a distância entre o solo e a folha mais nova; o diâmetro do colmo (DC), tomado com auxílio de paquímetro digital (modelo Digital Caliper 150 mm), considerando como ponto de medida o primeiro internódio da planta; número de folhas (NF), obtido pela contagem de folhas contendo limbo totalmente expandido.

As análises fisiológicas foram realizadas no início da fase de pendramento, 50 dias após a semeadura. As leituras foram realizadas no período da manhã entre as 7h00 e 9h00, na terceira folha do meristema apical, totalmente expandida, utilizando um analisador de gás infravermelho portátil (IRGA), Sistema de Fotossíntese Portátil LCPro (ADC BioScientific Limited, Hertfordshire, Reino Unido) com controle de temperatura a 25 °C, irradiação de 1200 fotomônios m^{+®-2} s⁻¹, e fluxo de ar de 200 mL min⁻¹. As variáveis quantificadas foram transpiração (*E*) (mmol (H₂O) m⁻² s⁻¹), condutância estomática (*g_s*) (mol (H₂O) m⁻² s⁻¹), Taxa de assimilação líquida (*A*) e temperatura foliar (TI) (°C).

Em seguida, foram realizadas leituras da fluorescência da clorofila, estimadas com uso de fluorômetro modulado por pulso, modelo OptiScience OS5p, utilizando o protocolo Fv/Fm para avaliações em condições escuras, após adaptação escura das folhas por 30 minutos, utilizando cliques acessórios do dispositivo para garantir que todos os centros de reação estivessem abertos (SÁ et al., 2019). A partir disso, foram estimadas a fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_M), fluorescência variável (F_v = F_M – F_o), eficiência quântica

máxima do fotossistema II - PSII (F_v/F_m), o rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos em PSII (F_o/F_m) e eficiência fotoquímica em PSII (F_v/F_o).

Foram realizadas avaliações em condições de luz, por meio do protocolo de rendimento Yield. As leituras se deram aplicando uma fonte de luz actínica com um pulso saturante multi-flash, acoplado a um clipe de determinação de radiação fotossíntese ativa (PAR-Clip). A partir disso, foram estimadas: fluorescência inicial antes do pulso de saturação (F'), fluorescência máxima após adaptação à luz saturada (F_m'), taxa de transporte de elétrons (ETR) (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e eficiência quântica do fotossistema II ($Y(\text{II})$). A partir desses dados, estimou-se a fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (F_o') (OXBOROUGH, K.; BAKER, 1997), coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake (qL), rendimento de extinção fotoquímica regulada ($YNOP$) e rendimento de extinção fotoquímica não regulamentado (YNO) (KRAMER et al., 2004).

A área foliar (AF) foi estimada pela retirada de discos foliares da porção basal da folha, livrando a nervura central, com vazador de área de $1,78 \text{ cm}^2$. Posteriormente, os discos e as folhas das quais foram retirados os discos foram levados para a estufa de circulação de ar a 70°C até obtenção de peso constante. A área foliar foi determinada segundo a fórmula $AF = PF \times AD/PD$, onde: AF é a área foliar estimada pelo método; PF é a massa seca da folha; AD é a área conhecida do disco retirado da folha ($1,78 \text{ cm}^2$) e PD é a massa seca dos discos, conforme Huerta (1962) e Gomide et al. (1977).

Matéria seca da parte aérea (MSPA) e radicular (MSR) foi estimada a partir da desidratação da biomassa fresca em estufa de circulação forçada de ar a 70°C , até obtenção do peso constante. Uma amostra de 1g de raiz fresca foi colhida antecipadamente, de cada parcela, lavada e armazenada em solução de FAA (5% de Formaldeído PA, 90% de álcool etílico PA e 5% de ácido acético PA), para análise posterior. Com os dados da massa seca, obteve-se a relação raiz/parte aérea (R/PA), determinada pela divisão da massa seca da raiz pela massa da parte aérea (BENINCASA, 1988).

A determinação dos íons de Na e dos nutrientes P e K na folha, caule e raiz deu-se por meio de digestão seca de $0,5\text{g}$ de biomassa seca em solução nítrica (ácido nítrico e HCL 1 mol). Da solução ácida, foram determinados Na e K por espectrofotometria de chama. Os teores de P foram obtidos por espectrofotometria com azul-de-molibdênio, segundo Miyazawa et al. (2009).

A taxa de colonização da raiz (TC) foi determinada a partir da observação de raízes, diafanizadas em KOH 10%, acidificadas com HCl 1% e coloridas com azul de Trypan 0,05%, segundo Phillips; Hayman (1970). O percentual foi determinado pelo método de interseção em

placa quadriculada, sob lupa binocular com aumento de 40 vezes, de acordo com Giovannetti; Mosse (1980). Foram consideradas raízes colonizadas com FMA as que apresentarem ao menos uma estrutura micorrízica (vesículas, arbúsculos e hifas).

A densidade de esporos no solo foi determinada por meio da extração dos esporos do solo pelo método de peneiramento úmido, descrito por Gerdemann; Nicolson (1963). Após extração, os esporos foram centrifugados em solução de sacarose 50% a 1106 g por três minutos (JENKINS, 1964). A densidade de esporos por g de solo foi estimada a partir de uma alíquota diluída da amostra, observada em microscópio estereoscópio (40X) conforme (MALIBARI, 1988).

Os resultados foram submetidos à análise de variância por meio do teste F. Para o fator condição micorrízica, aplicou-se teste de Tukey ao nível de 5% de significância, e para o fator CEa do rejeito salino aplicou-se análise de regressão. Os dados que não apresentaram distribuição normal foram transformados em raiz quadrada – SQRT. As análises foram realizadas com auxílio do *software* estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019).

2.3 RESULTADOS

A salinidade afetou a fotossíntese e a relação simbiótica de plantas, e FMA reduziu os danos aos fotossistemas. A interação da CEa e FMA promoveu diferença significativa para taxa de assimilação de CO₂ ($p < 0,05$) e taxa de transporte de elétrons ($P < 0,05$). A CEa do rejeito salino foi significativa para condutância estomática ($p < 0,01$), transpiração (E), temperatura foliar (TI), eficiência intrínseca do uso da água ($p < 0,001$), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado ($p < 0,001$), eficiência quântica do PSII ($p < 0,001$) e máxima eficiência quântica do PSII ($p < 0,05$). A condição FMA foi significativa para transpiração ($p < 0,05$). O rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada não foi significativo para nenhum dos fatores (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para condutância estomática (gs), transpiração (E), temperatura foliar (TI), taxa de assimilação de CO₂ (A_N), eficiência intrínseca do uso da água (A/gs), eficiência instantânea do uso da água (A/E), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (F_o' , $\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência quântica do PSII (Y), máxima eficiência quântica do PSII (Fv/Fm), taxa de transporte de elétrons (ETR), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (YNO) de plantas de milho crioulo em função da CE_a e influência de FMA.

Teste F							
<i>Trocas Gasosas</i>							
FV	GL	g_s^a	E	Tl	A_N^a	A/g_s^a	A/E
FMA	2	1,709 ^{ns}	5,180*	0,626 ^{ns}	1,483 ^{ns}	0,653 ^{ns}	0,667 ^{ns}
CE _a (dSm ⁻¹)	3	8,569**	3,559*	3,141*	3,327*	8,929***	1,131 ^{ns}
FMA x EC _a	6	0,809 ^{ns}	1,372 ^{ns}	0,952 ^{ns}	2,112 ^{ns}	1,375 ^{ns}	1,929 ^{ns}
<i>Fluorescência da clorofila</i>							
		F_o^a	Y	F_v/FM	ETR^a	$Y(NPQ)$	YNO
FMA	2	0,180 ^{ns}	0,666 ^{ns}	2,657 ^{ns}	1,106 ^{ns}	0,701 ^{ns}	0,576 ^{ns}
CE _a (dSm ⁻¹)	3	22,053***	22,569***	3,339*	6,674**	23,300***	2,103 ^{ns}
FMA x EC _a	6	2,103 ^{ns}	2,643 ^{ns}	1,258 ^{ns}	2,427*	2,517*	1,503

^a Dados transformados em raiz quadrada-SQRT, FV- fonte de variação, GL- Graus de liberdade, FMA- Fungo micorrízico arbuscular, (CE_a) – Condutividade elétrica da água do rejeito salino, ***Significativo (p<0,001); **Significativo (p<0,01) *Significativo ao nível (p<0,05).

Para a condutância estomática (g_s) do milho irrigado em função dos níveis de condutividade elétrica do rejeito salino (CE_a), houve comportamento linear decrescente. A maior e a menor g_s do milho foram de 0,631 e 0,414 mol (H₂O) m⁻² s⁻¹ nos níveis de 0,5 e 4,4 dS m⁻¹, respectivamente, configurando decréscimo de 34,38% na g_s (Figura 1A). Comparando os melhores resultados de g_s do milho, as plantas irrigadas com rejeito salino diminuíram a g_s em no mínimo 24,4%, na comparação à água de abastecimento.

A taxa de transpiração (E) do milho em função da CE_a do rejeito salino foi maior no nível 1,91 dS m⁻¹, com valor de 8,52 mmol (H₂O) m⁻² s⁻¹, configurando acréscimo de 3,4 %, comparado ao nível 0,5 dS m⁻¹(Figura 1B). Comparando as plantas irrigadas com CE 0,5 dS m⁻¹ àquelas irrigadas com rejeito salino, o aumento foi de 2,75%. Estudando as médias do fator isolado FMA, observa-se nas plantas M2 a maior média entre os demais tratamentos, com valor de 8,53 mmol (H₂O) m⁻² s⁻¹, diferindo estatisticamente do tratamento M3 com valor de 7,86 mmol (H₂O) m⁻² s⁻¹, ou seja, diferença de 8,5% (Figura 1C). As plantas M1 não diferiram estatisticamente da M2 e M3, com taxa de transpiração média de 8,33 mmol (H₂O) m⁻² s⁻¹.

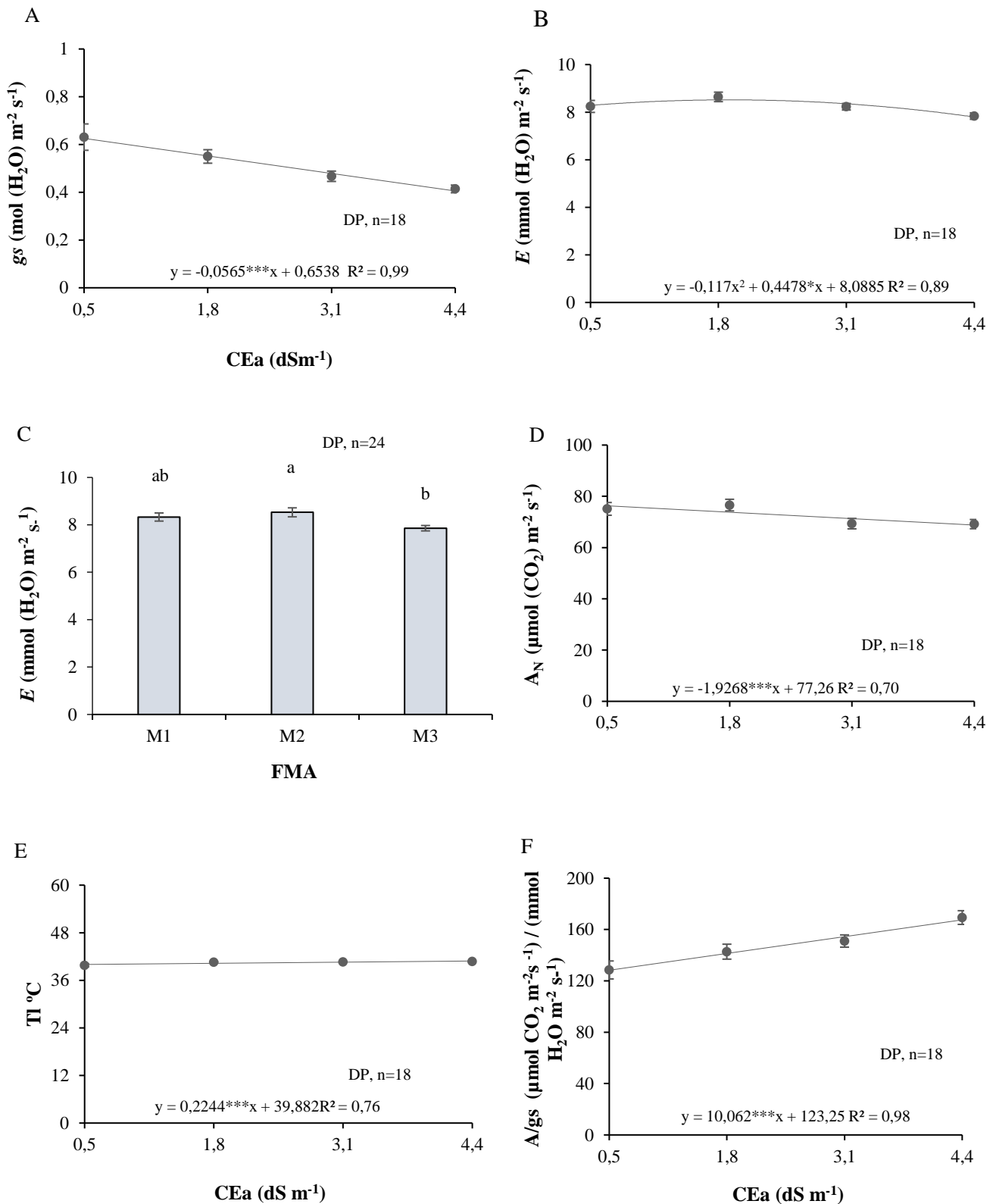


Figura 1. Regressão para condutância estomática g_s – (A), regressão e teste de médias para transpiração - E (BC), temperatura foliar - T_l (D), taxa de assimilação de CO₂ A_N - (E) e eficiência intrínseca do uso da água - A/g_s (F) de plantas de milho crioulo em função da CE_a (dSm⁻¹) e influência de FMA ● (M1) plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ (M2) plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ (M3) plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a

microbiota do solo). Letras minúsculas semelhantes na linha (CE_a) e maiúsculas na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

A taxa de assimilação de CO₂ (A_N) das plantas de milho foi reduzida em função do aumento da CE_a do rejeito salino. A taxa de assimilação de CO₂ (A_N) do milho foi maior nas plantas irrigadas com CE 0,5 dSm⁻¹, quando comparadas aos níveis crescentes do rejeito salino (Figura 1D). Tal diferença foi de 5,938 μmol (CO₂) m⁻² s⁻¹, para o nível 0,5 dS m⁻¹ comparado ao nível 4,4 dS m⁻¹.

A temperatura foliar (T_l) das plantas de milho se ajustaram de forma linear crescente em função do aumento da condutividade elétrica do rejeito salino. Comparando os valores médios T_l do milho nos níveis 0,5 e 4,4 dS m⁻¹, a diferença é de 0,94 °C (Figura 1E).

Para a eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s), verificamos incrementos lineares conforme o aumento da CE_a do rejeito salino, sendo constatados aumentos unitários de 10,062 (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) / (mmol H₂O m⁻² s⁻¹) (Figura 1F).

A fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (F_o') aumentou em função dos níveis de CE_a do rejeito salino, com acréscimo unitário de 0,6996 μmol (fótons) m⁻² s⁻¹ (Figura 3B). A F_o' obteve aumento de 63,93% no nível 4,4 dS m⁻¹, quando comparado com a CE_a do nível 0,5 dSm⁻¹ (Figura 2A).

A eficiência quântica do PSII (y) foi reduzida linearmente em função do aumento da condutividade elétrica do rejeito salino. No nível 0,5 dSm⁻¹, o valor médio foi de 0,504; quando comparada com as plantas irrigadas com CE 4,4 dSm⁻¹ do rejeito salino, a redução foi de 19,84% (Figura 2B), ao passo que a máxima eficiência do fotossistema II (F_v/F_M) se ajustou ao modelo de regressão quadrática em função do aumento da CE do rejeito salino, sendo seu ponto máximo na CE de 1,7 dS m⁻¹, a partir da qual houve redução de 3,85% até a maior CE do rejeito salino de 4,4 dS⁻¹ (Figura 2B).

A taxa de transporte de elétrons (ETR) das plantas de milho se ajustou ao modelo quadrático da regressão nos tratamentos micorrízicos M1 e M2, em função do acréscimo da CE_a (Figura 3C). Os resultados da ETR nas plantas M1 e M2 foram semelhantes, com seus pontos máximos em torno dos níveis 2,2 e 2,3 dSm⁻¹, configurando 86,03 e 94,76 μmol (fótons) m⁻² s⁻¹, respectivamente. A ETR do milho nas plantas de M3 no nível 4,4 dSm⁻¹ diminuiu 26,96% em relação à testemunha, 0,5 dSm⁻¹ (Figura 2C). Entre os tratamentos micorrizas, nos níveis 0,5 dSm⁻¹, as plantas de M3 apresentaram maior ETR, 91,683 μmol (fótons) m⁻² s⁻¹, diferindo de M2 com média de 61,1 μmol (fótons) m⁻² s⁻¹, configurando aumento de 33,35% (Figura 2C).

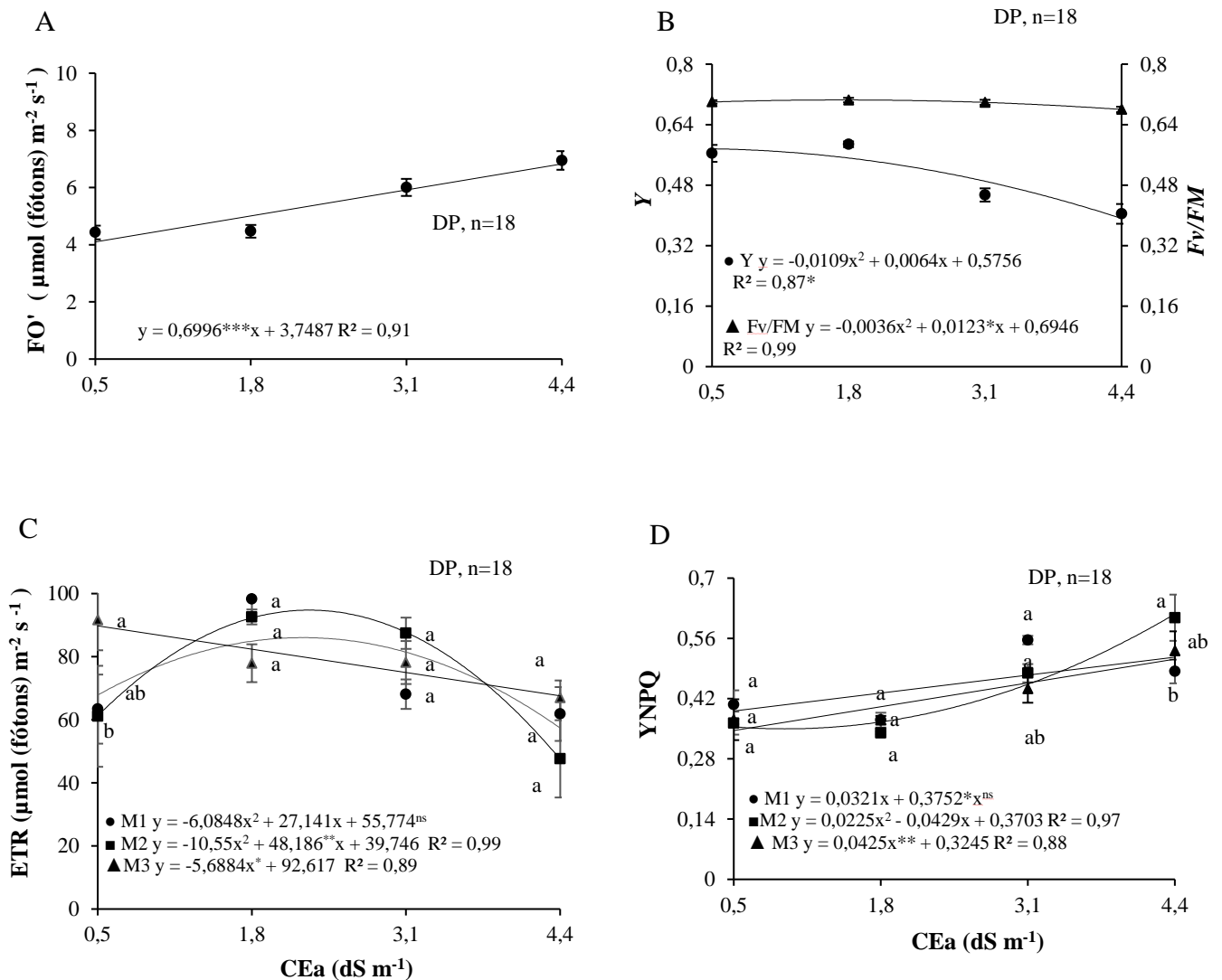


Figura 2. Fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado $-Fo'$ (A), eficiência quântica do PSII - Y (B) e máxima eficiência quântica do PSII - Fv/Fm (B). Regressão e teste de médias para taxa de transporte de elétrons - ETR (C) e rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada - $YNPQ$ (D) de plantas de milho criou em função da CEa (dS m^{-1}) e influência de FMA (\bullet M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, \blacksquare M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, \blacktriangle M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). Letras minúsculas semelhantes na linha (CEa) e maiúsculas na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

O rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada ($YNPQ$) aumentou em todos os tratamentos de micorrizas em função do acréscimo da CEa (Figura 2D). No tratamento M1, a equação de regressão linear não foi significativa, obtendo média de 0,45, considerando todos os níveis salinos. As plantas de M2 e M3 no maior nível, $4,4 \text{ dS m}^{-1}$, tiveram aumentos unitários

do YNPQ de 0,0672 e 0,0425, respectivamente. Observando as maiores médias, as plantas de M2, no nível 4,4 dS m⁻¹, registraram média 0,608, diferindo estatisticamente das plantas da micorriza M1, com média de 0,483. As plantas da micorriza M3 não diferiram das plantas cultivadas pelas micorrizas M1 e M2 com valor médio de 0,531.

O estresse salino é um dos principais fatores abióticos responsáveis pela redução do crescimento em plantas. Para o presente estudo, a interação da salinidade e presença de FMA promoveu diferenças significativas ($p < 0,001$) nos parâmetros de crescimento MSPA, MSRA e relação R/PA. Também houve o efeito isolado de ambos os fatores para AP e NF e efeito FMA para o DC ($p < 0,5$) (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de variância para os parâmetros de crescimento massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSRA), razão raiz/parte aérea (R/PA), massa seca total (MST), área foliar (AF), altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC) e número de folhas (NF) de milho crioulo (v. Ibra) de plantas de milho crioulo em função da CE_a e influência de FMA.

FV	GL	Teste F			
		MSPA	MSRA	R/PA	
FMA	2	185,42***	73,223***	32,513***	
CE _a (dSm ⁻¹)	3	38,69***	29,270***	22,963***	
FMA x EC _a	6	13,16***	47,989***	32,555***	
		AF	AP	DC	NF
FMA	2	1,385	3,414*	4,514*	4,333*
CE _a (dSm ⁻¹)	3	28,332***	5,393**	2,394	5,127*
FMA x EC _a	6	6,469**	1,371	1,427	0,841

FV- Fonte de variação, GL- Graus de liberdade, FMA- Fungo micorrízico arbuscular, (CE_a) – Condutividade elétrica da água de irrigação, ***Significativo ao nível de probabilidade de 0,001 ($p < 0,001$); **Significativo ao nível de probabilidade de 0,01 ($p < 0,01$) *Significativo ao nível de probabilidade de 0,05 ($p < 0,5$).

A massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de milho foi maior na condição M3 em função do aumento da CE_a do rejeito salino, sendo que a maior média ocorreu na CE_a de 2,5 dS m⁻¹ com médias de 120,92 g por planta (Figura 3A). Os tratamentos M1 e M2 se comportaram de forma semelhante ajustando-se ao modelo de regressão quadrática com seus pontos máximos na CE_a de 1,4 e 1,9 dS m⁻¹, correspondendo a 87,83 e 68,09 g por planta. Ao estudar o comportamento entre as micorrizas na água de abastecimento, observa-se que os tratamentos M1 e M3 diferiram significativamente do M2 (Figura 3A). Na maior CE do rejeito salino, de 4,4 dS m⁻¹, a M3 registrou maior MSPA de 88,57 g por planta, com diferenças

estatísticas na comparação com M1 e M2, com valores médios de 64,67 e 48,62 g por planta, ou seja, decréscimos na ordem de 26,98% e 45,11%, respectivamente (Figura 3A).

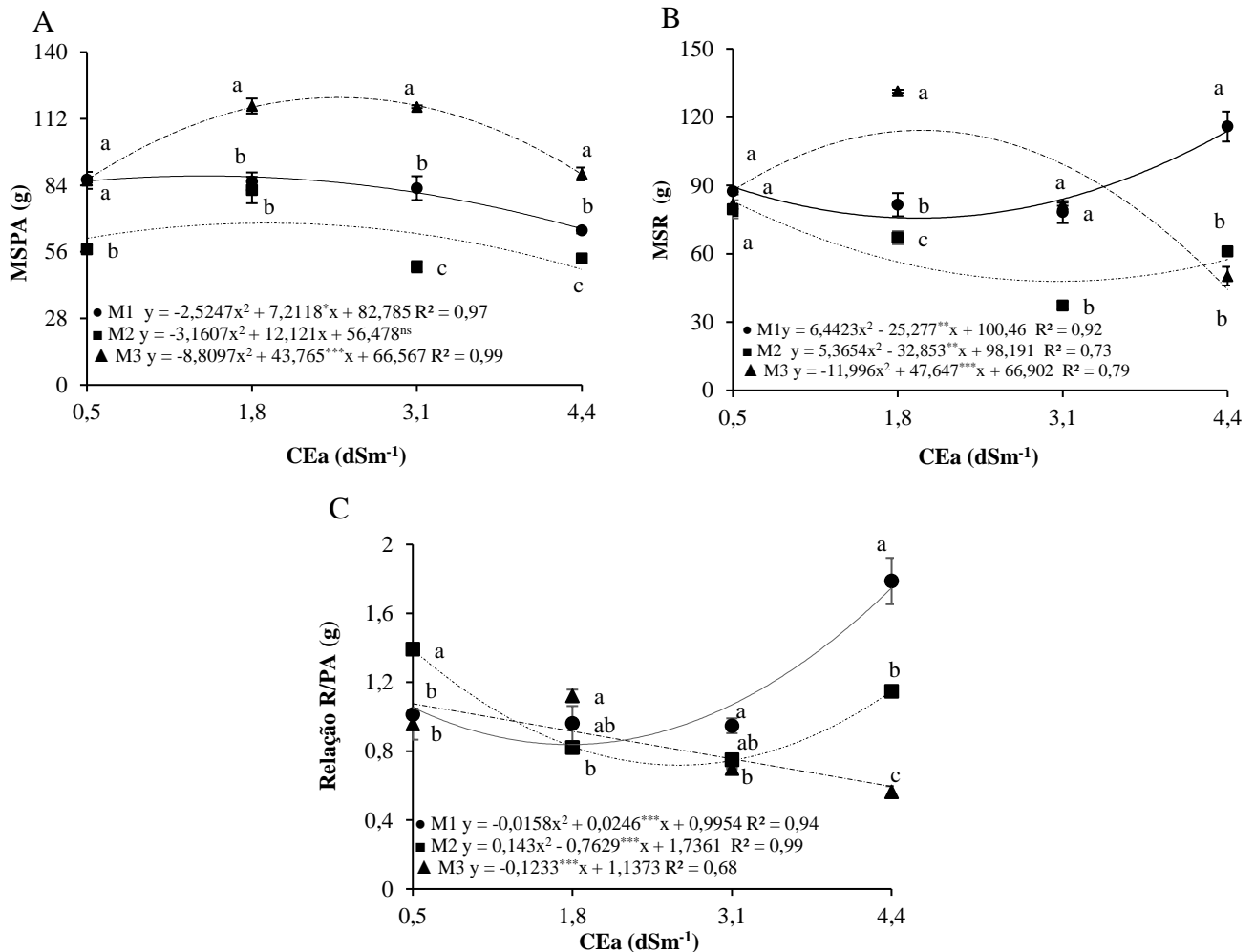


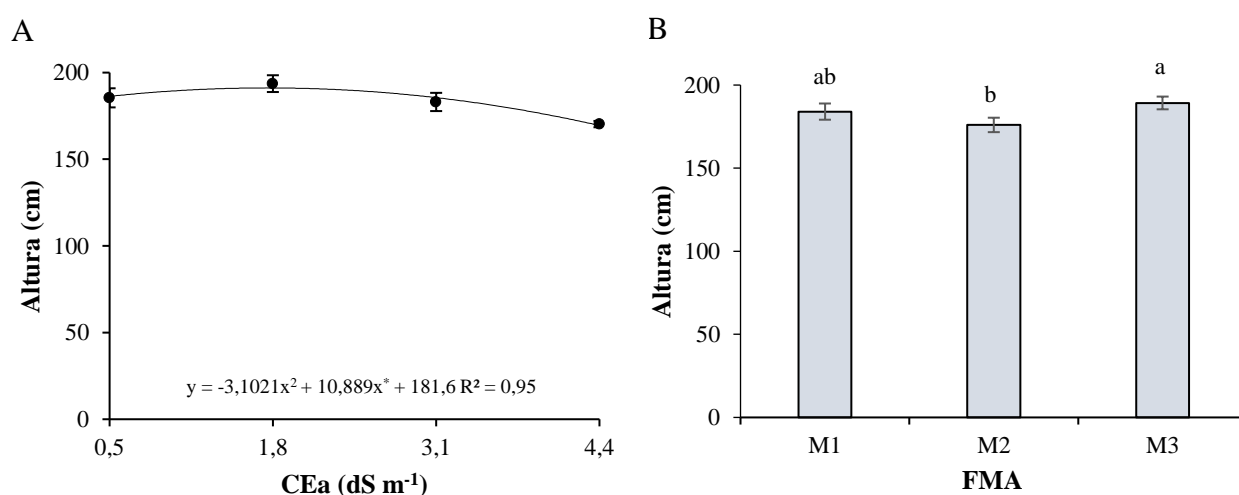
Figura 3. Análise de regressão e teste de médias para massa seca da parte aérea - *MSPA* (A), massa seca da raiz- *MSRA* (B), relação raiz/parte aérea – *Relação R/PA* (C) e massa seca total – *MST* (D) de milho crioulo em função da CE_a (dSm⁻¹) e influência de FMA (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). Letras minúsculas semelhantes na linha (CE_a) e maiúsculas na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

A massa seca das raízes (MSR) das plantas de M3 se ajustou ao modelo quadrático da equação de regressão com seu ponto máximo na CE_a de 2,0 dS m⁻¹, obtendo-se média de 114,2 g por planta (Figura 3B). As plantas de M1 e M2 tiveram seus maiores valores de MSR na ordem de 113,96 e 83,10 g por planta, nas CE_a dos níveis 4,4 e 0,5 dS m⁻¹, respectivamente

(Figura 3B). Na CEa mais elevada, $4,4 \text{ dSm}^{-1}$, as plantas de milho diferiram entre si, a M1 apresentou a maior média com $115,87 \text{ g}$ por planta, seguida da condição M2, com média de $61,05 \text{ g}$ por planta e M3 apresentou média de $50,17 \text{ g}$ por planta (Figura 3B).

A relação raiz/parte aérea (Relação R/PA) do milho foi maior nas plantas cultivadas na condição M1 no nível de $4,4 \text{ dS m}^{-1}$, obtendo-se média de $1,78$ (Figura 3C). A Relação R/PA de M3 decresceu linearmente em função do aumento da CEa do rejeito salino, com redução unitária de $3,16 \text{ g}$ por planta. Comparando o maior nível de CE ($4,4 \text{ dS m}^{-1}$) com o menor ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), obteve-se diferença de $41,09\%$ (Figura 3C). Para as plantas de milho irrigadas com água de abastecimento, as plantas M2 registraram maior relação R/PA, com média de $1,39$, diferindo estatisticamente das plantas M1 e M3. Entre os tratamentos com micorrizas no maior nível do rejeito salino de $4,4 \text{ dS m}^{-1}$, as plantas M2 e M3 diferiram estatisticamente, com redução da relação R/PA de $0,58$ em relação a M1 (Figura 3C)

A altura das plantas de milho (AP) foi reduzida em função do acréscimo nos níveis de condutividade elétrica do rejeito salino, sendo obtido seu ponto máximo na CE de $1,8 \text{ dS m}^{-1}$, com sua média de $191,14 \text{ cm}$ (Figura 4A). A partir desta CE, houve redução acentuada da AP, chegando à maior salinidade, com diferença de $10,91\%$ (Figura 4A). A altura de plantas de milho cultivadas em função dos tratamentos das micorrizas foi maior nas plantas M3, com média de $189,23 \text{ cm}$ (Figura 4B). As plantas M3 diferiram estatisticamente apenas das M2, com diferença de $13,23 \text{ cm}$. As plantas M1 apresentaram altura média de $184,03 \text{ cm}$, não conferindo diferenças estatísticas entre as plantas M1 e M2 (Figura 4B).



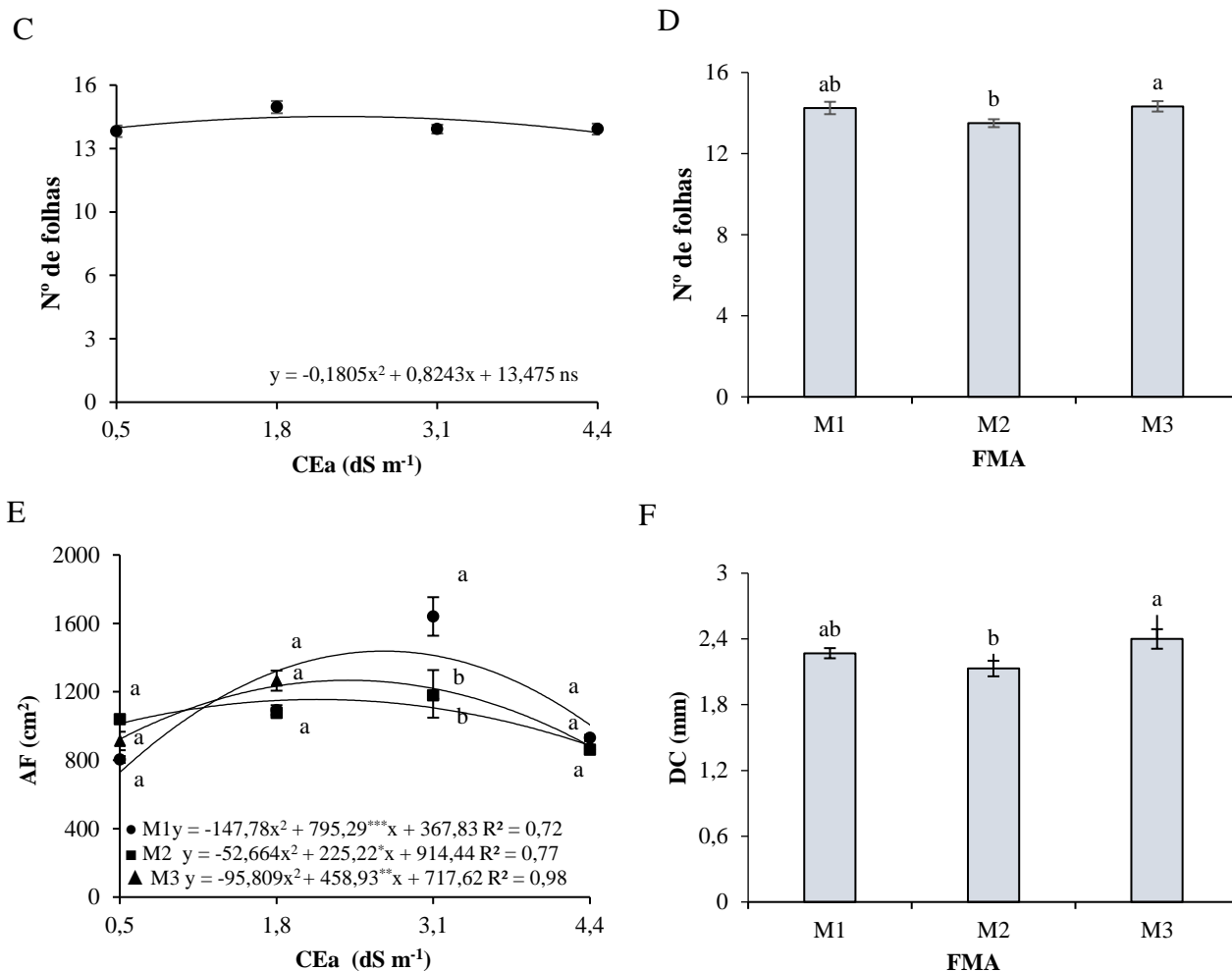


Figura 4. Regressão e teste de médias dos fatores isolados para altura da planta - PA (A e B), Número de folhas – NF (C e D) e diâmetro do colmo – DC (E) e Interação para área foliar -AF (D) de milho crioulo em função da CE_a (dS m⁻¹) e influência de FMA (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). Letras minúsculas semelhantes na linha (CE_a) e maiúsculas na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (p<0.05).

O número de folhas (NF) das plantas milho em função do aumento da condutividade elétrica do rejeito salino se ajustou ao modelo de regressão quadrática, com média de 14,41 folhas no seu ponto máximo, que foi na CE_a de 2,3 dS m⁻¹(Figura 4C). O número de folhas das plantas nas condições micorrizas seguiu desempenho semelhante ao da AP onde as plantas M3 tiveram maior NF, com média de 14,33 folhas (Figura 4D). Tal tratamento não registrou diferenças significativas da M1, com média de 14,25 folhas, diferindo apenas da condição M2, na qual houve redução de folhas na ordem de 5,79%, ou seja, 0,83 folhas (Figura 4D).

A área foliar (AF) do milho não diferiu entre os tratamentos micorrízicos em função do aumento da condutividade elétrica do rejeito salino, exceto na CE_a de 3,1 dS m⁻¹, onde M1 teve a maior média, com 1.640,46 cm²; comprando com os tratamentos M2 e M3, o acréscimo foi de 29,58% e 23,97%, respectivamente (Figura 4E). A maior área foliar das plantas de milho na

M2 em função do aumento da CE do rejeito salino foi de 1.155,15 cm² na CEa de 2,1 dS m⁻¹ (Figura 4E). A condição M3 teve o ponto máximo de acordo com a equação de regressão na CEa do rejeito salino de 2,4 dS m⁻¹, atingindo valor médio de área foliar de 1.247,19 cm².

O diâmetro do colmo do milho (DC) seguiu comportamento semelhante a AP e NF, tendo sido superiores estatisticamente nas plantas M3 às plantas M2, sem diferir, porém, das plantas M1 (Figura 4F). A M3 obteve média de 2,4 mm DC, sendo superior cerca de 0,27 mm, ou seja, em termos percentuais o acréscimo foi de 11,25% em relação a M2 (Figura 4F).

A interação da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa dSm⁻¹) com a presença de fungos micorrízicos foi significativa para o teor de sódio na folha (p<0,05), no colmo (p<0,001) e raiz (p<0,001). Houve efeito isolado dos níveis de CEa e influência dos fungos micorrízicos para teor de fósforo na folha (p<0,05), (p<0,01) e teor de potássio foliar (p<0,01), (p<0,05) (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para teor de sódio (Na⁺), fósforo (P) e potássio (K⁺) na folha, colmo e raiz. Relação de sódio e potássio (Na/K) na folha, colmo e raiz de plantas de milho crioulo em função da CEa do rejeito salino e influência de FMA.

FV	GL	Teste F			
		Na _(folha)	Na _(colmo)	Na _(raiz)	Na/K _(folha) ^a
FMA	2	29,910***	86,367***	51,937***	1,617 ^{ns}
CEa (dSm ⁻¹)	3	65,373***	274,226***	229,684***	0,345 ^{ns}
FMA x CEa	6	2,862*	25,310***	21,147***	21,485***
		K _(folha)	K _(colmo)	K _(raiz)	Na/K _(colmo)
FMA	2	7,683*	17,578***	0,438 ^{ns}	68,526***
CEa (dSm ⁻¹)	3	7,094**	23,352***	6,479**	11,455**
FMA x CEa	6	2,132 ^{ns}	40,669***	10,811***	51,162***
		P _(Folha)	P _(Colmo) ^a	P _(raiz)	Na/K _(raiz) ^a
FMA	2	9,161**	20,035***	1,460 ^{ns}	4,441*
CEa (dSm ⁻¹)	3	3,656*	2,230 ^{ns}	1,774 ^{ns}	2,773 ^{ns}
FMA x CEa	6	1,928 ^{ns}	1,369 ^{ns}	1,082 ^{ns}	8,430***

^aDados transformados em raiz quadrada-SQRT, FV- fonte de variação, GL- Graus de liberdade, FMA- Fungo micorrízico arbuscular, (CEa) – Condutividade elétrica da água de irrigação, ***Significativo ao nível de probabilidade de 1% (p<0,001); ** Significativo ao nível de probabilidade de 0,01% (p<0,01) * Significativo ao nível de probabilidade de 0,05% (p<0,5).

Os maiores teores de sódio (Na) foram acumulados nas plantas controle (M1), em todos os níveis estudados. A maior concentração obtida foi de 7,18 g kg⁻¹ no nível 4.4 dS m⁻¹. Para as plantas de M2 e M3, houve menor acúmulo de sódio em todos os níveis, quando comparadas a M1(Figura 5A). As maiores concentrações obtidas ocorreram nas plantas M3 e M2, 5,19 e 4,180

(g kg⁻¹), respectivamente, no nível 4,4 dS m⁻¹. As plantas de milho sob influência micorrízica M2 reduziram o teor de sódio foliar em 41 e 28 %, comparado a M1 no mesmo nível de condutividade elétrica (Figura 5A).

No colmo, a maior concentração de sódio foi observada nas plantas M2 e M1, com os maiores acúmulos no nível 4,4 dS m⁻¹ (Figura 5B). As plantas M2 e M1 acumularam em média 24,13 e 23,12 (g kg⁻¹) de sódio, respectivamente. As plantas M1 diferiam das M3 apenas nos níveis 3,1 e 4,4 dS m⁻¹ (Figura 5B). Observando as menores médias, as plantas M3, no nível 3,1 dS m⁻¹, reduziram em 62 e 52% o teor de sódio no colmo em relação às plantas M2 e M1, respectivamente. No nível mais alto, 4,4 dS m⁻¹, houve redução de 66 e 37% em relação a M1 e M2, respectivamente, na mesma condição de CEa (Figura 5B).

Em M1 e M3, a concentração de sódio na raiz aumentou linearmente em função dos níveis de condutividade elétrica. A maior concentração de sódio, 21,0 e 21,8 g kg⁻¹, correspondeu ao maior nível de CEa, 4,4 dS m⁻¹ (Figura 5C). Entre todos os tratamentos, as plantas de M2 acumularam menos sódio na raiz; ao compará-las a M3 e M1, no mesmo nível, CE 4,4 dS m⁻¹, verifica-se redução de 18,4 e 15,2%, respectivamente, do teor de sódio na raiz. Para as plantas M3, a menor concentração de sódio radicular, 10,56 g kg⁻¹, ocorreu no ponto mínimo da curva, 1,9 dSm⁻¹, diferindo estatisticamente apenas das plantas M1, no mesmo nível salino (Figura 5C).

A interação dos fatores promoveu maior teor de potássio (K⁺) no colmo, nas plantas controle (M1), diferindo de M2 e M3 apenas no nível 1,8 dS m⁻¹ (Figura 5D). A maior concentração em M1 foi de 44,43 g kg⁻¹, no nível 2,7 dS m⁻¹. Em M2, as plantas aumentaram o teor de potássio em função dos níveis de CEa. A maior concentração, 43,53 g kg⁻¹, foi no nível 4,4 dS m⁻¹, diferindo apenas de M1. Em M3, a maior concentração deu-se no nível mais elevado (4,4 dS m⁻¹), atingindo 40,93 g kg⁻¹ de k no colmo (Figura 5D). Na condição de maior nível, 4,4 dS m⁻¹, as plantas de M2 e M3 foram mais eficientes em concentrar potássio no colmo, um acréscimo de 60 e 50,6% em relação à testemunha.

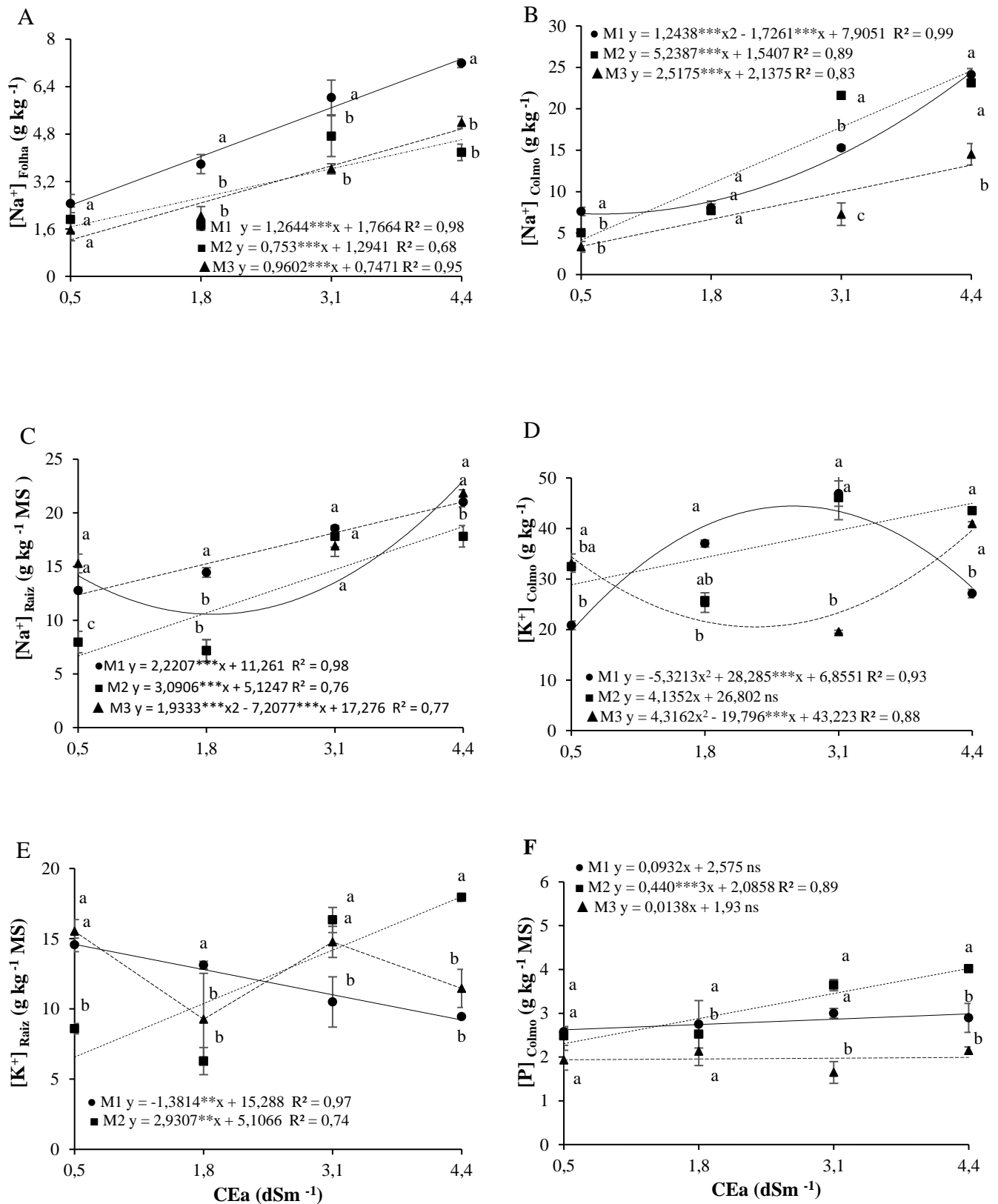


Figura 5. Sódio na folha- $[Na^+]_{folha}$ (A), colmo $[Na^+]_{colmo}$ (B) e raiz - $[Na^+]_{Raiz}$ (C). Potássio no colmo - $[K^+]_{Colmo}$ (D) e na Raiz - $[K^+]_{Raiz}$ (E). Fósforo no colmo- $[P]_{colmo}$ (F) de plantas de milho crioulo (*Zea mays* L.) em função da CEa ($dS\ m^{-1}$) e influência de FMA (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3

plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). DP, n =3. Letras minúsculas semelhantes na linha (CEa) e maiúsculas na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

O acúmulo de potássio nas raízes das plantas não inoculadas (M1) foi reduzido com aumento dos níveis da CEa. Entre os tratamentos micorrízicos, a maior concentração, $14,56 \text{ g kg}^{-1}$, deu-se no nível $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, diferindo estatisticamente de M2, na mesma condição (Figura 5E). As plantas M2 aumentaram o potássio radicular com o aumento dos níveis de CEa (Figura 5E). O maior acúmulo foi de $17,94 \text{ g kg}^{-1}$, no nível $4,4 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 5E). Para o acúmulo de potássio em M3, não houve ajuste dos modelos de regressão testados, com média de $11,90 \text{ g kg}^{-1}$, em todos os níveis de CEa. Observando os melhores resultados de acúmulo de K^+ , as plantas de M2 elevaram em 90 e 56%, respectivamente, o teor de potássio radicular, em relação a M1 e M3 (Figura 5E).

Os teores do fósforo (P) no colmo das plantas de M2 aumentaram linearmente em função da CEa (dS m^{-1}). A maior concentração corresponde ao nível mais alto de CEa, com média de $4,01 \text{ g kg}^{-1}$ de P (Figura 5F). A concentração de fósforo em M1 deferiu de M3 apenas no nível $3,1 \text{ dS m}^{-1}$, com média de $2,9 \text{ g kg}^{-1}$, um acréscimo de 82% em relação a M3 no mesmo nível de CEa. A maior concentração de P entre os tratamentos micorrízicos foi em M2, no nível $4,4 \text{ dS m}^{-1}$; as plantas concentraram 87 e 39% de fósforo no colmo em relação a M3 e M2, respectivamente (Figura 5F).

O acúmulo de fósforo foliar reduziu linearmente em função dos níveis de CEa (Figura 6A). Na CE mais elevada ($4,4 \text{ dS m}^{-1}$), houve redução de 20 % da concentração de fósforo no colmo, independentemente da condição micorrízica (Figura 6A). Para o fator influência de FMA, a maior concentração de fósforo ocorreu em M1 e M2, com média de $3,6 \text{ g kg}^{-1}$, em relação às plantas M3 (Figura 6B). Observando os melhores resultados, as plantas M1 e M2 acumularam em média 25% a mais de P do que as plantas M3 (Figura 6A).

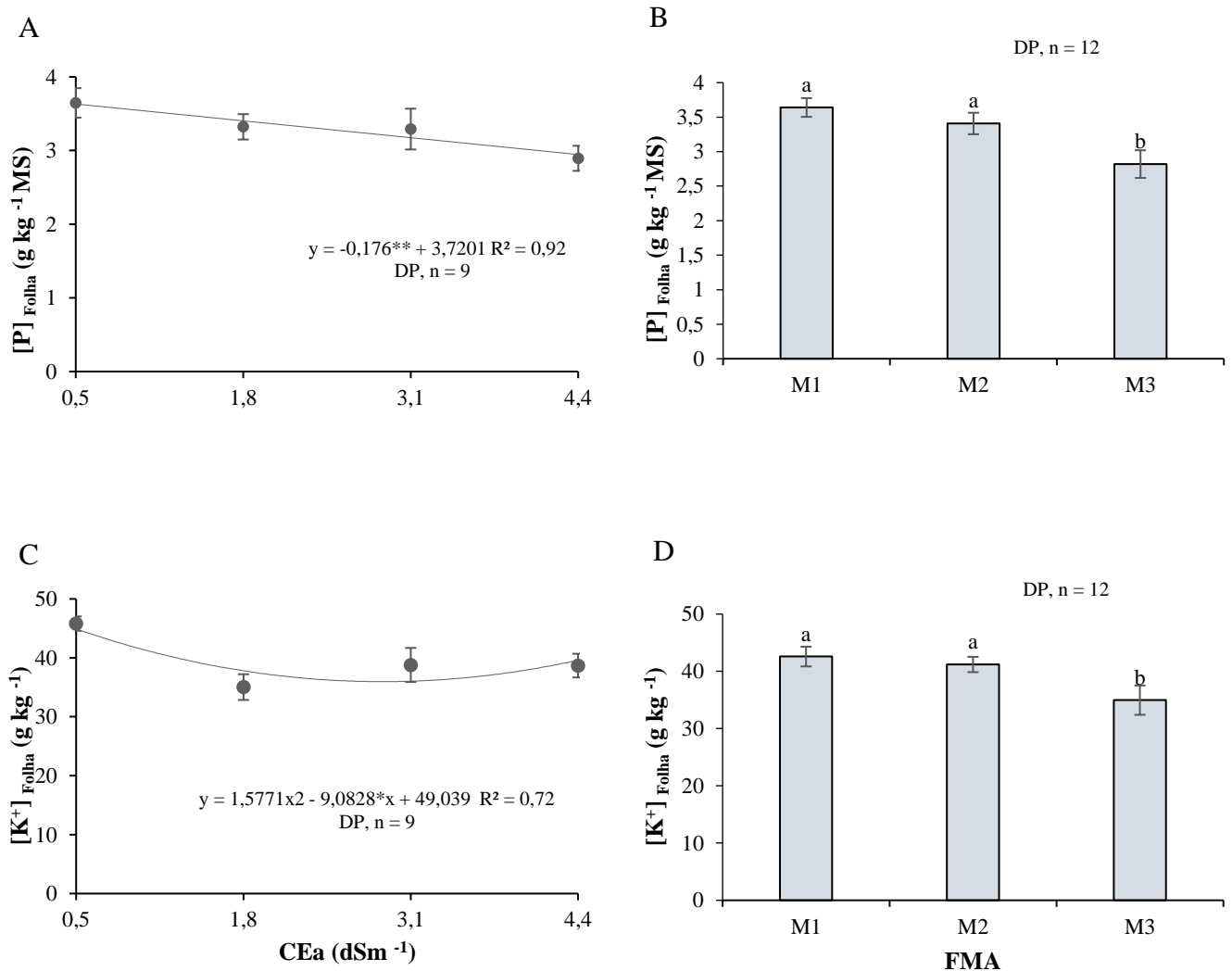


Figura 6. Acúmulo de fósforo – $[K^+]_{\text{Folha}}$, (A, B) potássio - $[P]_{\text{Folha}}$ (C, D) de plantas de milho crioulo em função da CE_a (dSm⁻¹) e influência de FMA (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). Letras semelhantes na linha (CE_a) e na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

O acúmulo de fósforo foliar reduziu linearmente em função dos níveis de CE_a (Figura 6A). Na CE mais elevada (4,4 dSm⁻¹), houve redução de 20% da concentração de fósforo no colmo, independentemente da condição micorrízica (Figura 6A). Para o fator influência de FMA, a maior concentração de fósforo ocorreu em M1 e M2, com média 3,6 g kg⁻¹, em relação às plantas de M3 (Figura 6B). Observando os melhores resultados, as plantas de M1 e M2 acumularam em média 25% a mais de P do que as plantas de M3 (Figura 6A). A concentração de potássio foliar (K^+) foi reduzida de forma quadrática em função da CE_a (Figura 6C). O menor acúmulo ocorreu no nível 2,9 dS m⁻¹, correspondente a 36 g kg⁻¹ de potássio na folha (Figura 6C). Para o fator FMA, a maior concentração de K^+ ocorreu em M1 e M2, com média

42,0 g kg⁻¹, em relação às plantas M3, com média de 35,0 g kg⁻¹ (Figura 6D). As melhores concentrações foram em M1 e M2, com acréscimo em média de 20% de K⁺, comparado a M3 (Figura 6D).

A relação sódio e potássio nas folhas de milho (Na⁺/K_{folha}⁺) em M1 aumentou de forma quadrática em função dos níveis de CEa nas plantas M1. A maior relação (0,16) e a menor (0,03) relação se deram nos níveis 2,3 e 4,4 dS m⁻¹, respectivamente, configurando um decréscimo de 76,2% na relação Na⁺/K_{folha}⁺ no nível mais elevado (Figura 7A). Para as plantas M2, a relação Na⁺/K_{folha}⁺ não diferiu entre os níveis salinos, com médias de 0,08 (Figura 7A). A relação Na⁺/K_{folha}⁺ nas plantas de M3 ajustou-se ao modelo quadrático da regressão. A maior e a menor relação, 0,16 e 0,04, se deram nos níveis 4,4 e 2,4 dS m⁻¹, respectivamente, configurando aumento de 284,6% no nível mais elevado e redução de 74% em 2,5 dS m⁻¹. Entre plantas, a maior relação Na⁺/K_{folha}⁺, deu-se no nível 4,4 dS m⁻¹ de M3, correspondendo a um aumento de 231,4 e 97% em relação às plantas M1 e M2 (Figura 7A).

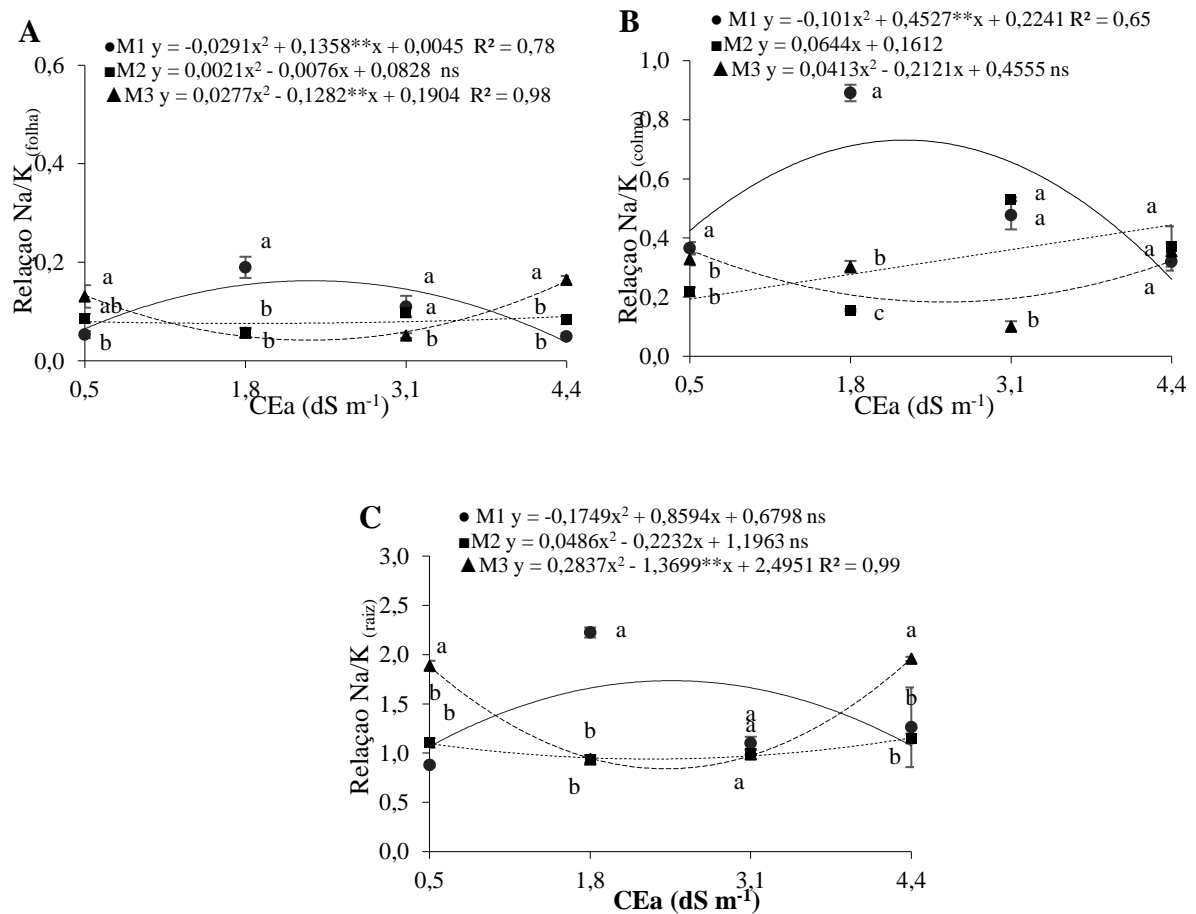


Figura 7. Relação de sódio e potássio na folha- Na/K_{folha} , (A) no colmo - Na/K_{colmo} (B) e na raiz - Na/K_{raiz} (C) de plantas de milho crioulo em função da CE_a (dSm⁻¹) e influência de FMA (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G.*

albida, ▲M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). Letras semelhantes na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0.05$)

A relação de sódio e potássio no colmo ($\text{Na}/\text{K}_{\text{colmo}}$) do milho em M1 se ajustou ao modelo quadrático da regressão, correspondendo à maior e menor relação, 0,73 e 0,26, nos níveis 2,3 e 4,4 dS m^{-1} , respectivamente, configurando redução de 64,3 % (Figura 7B). Para a relação $\text{Na}/\text{K}_{\text{colmo}}$ em M2, não houve ajuste dos modelos de regressão testados, com média de 0,31 considerando todos os níveis de CE (Figura 7B). A relação $\text{Na}/\text{K}_{\text{colmo}}$ em M3 apresentou comportamento quadrático, mas não foi significativa para regressão, com média de 0,27 considerando todos os níveis. Entre plantas, a maior relação, 0,71, foi em M1 no nível 1,8 dS m^{-1} , correspondendo a um aumento de 359 e 134% para M2 e M3, respectivamente (Figura 7B).

A relação de sódio e potássio na raiz ($\text{Na}/\text{K}_{\text{raiz}}$) em M1 não se ajustou a nenhum dos modelos de regressão testados, com média de 1,36 considerando todos os níveis de CEa. A maior e menor relação $\text{Na}/\text{K}_{\text{raiz}}$ de M1 foram 2,22 e 1,26 nos níveis 1,8 e 4,4, respectivamente (Figura 7C). A relação $\text{Na}/\text{K}_{\text{raiz}}$ em M2 se ajustou ao modelo quadrático, mas não foi significativa para regressão, com média de 1,04 considerando todos os níveis de CEa. Em M3, as maiores relações $\text{Na}/\text{K}_{\text{raiz}}$ foram observadas nos níveis 0,5 e 4,4 dSm^{-1} , correspondentes a 1,88 e 1,95, respectivamente. A maior redução foi 0,84 no nível 2,5 dSm^{-1} . Observando os melhores resultados da $\text{Na}/\text{K}_{\text{raiz}}$ em milho, as plantas de M1 elevaram em 139 e 137% a relação $\text{Na}/\text{K}_{\text{raiz}}$ em relação às plantas M2 e M3, respectivamente.

A interação dos fatores CEa e influência de FMAs foi significativa para taxa de colonização da raiz ($p < 0,001$), número de esporos no solo ($p < 0,001$) e teor de glomalina facilmente extraível ($p < 0,001$) (Tabela 7).

Tabela 7. Análise de variância para taxa de colonização da raiz - TCR (A) e densidade de esporos do solo - (B) de plantas de milho crioulo cultivadas sob efeito da CE_a (dS m^{-1}) e influência de FMA.

FV	Teste F		
	GL	% TCR	Nº de esporos
FMA	2	447,963***	298,393***
CE_a (dSm^{-1})	3	4,582*	85,332***
FMA x CE_a	6	13,412***	42,446***

FV- Fonte de variação, GL- Graus de liberdade, FMA- Fungo micorrízico arbuscular, (CE_a) – Condutividade elétrica da água de irrigação, ***Significativo ao nível de probabilidade de 0,001 ($p < 0,001$) *Significativo ao nível de probabilidade de 0,05 ($p < 0,05$).

A taxa de colonização (% TCR) nas plantas de M3 se ajustou ao modelo quadrático da regressão (Figura 8A). A colonização foi reduzida com o aumento dos níveis da CEa do rejeito. O menor percentual deu-se no nível 3.2 dSm⁻¹, correspondente a 63,5 %. Em M2, o percentual aumentou linearmente em função dos níveis de CE. O mais elevado, 46 %, deu-se no nível 4,4 dSm⁻¹ (Figura 8A). Observando os melhores resultados, as plantas de M3 aumentaram em 83 e 53% a taxa de colonização, nos níveis 1,8 e 3,1 dSm⁻¹, em relação a M2, na mesma condição de CEa (Figura 7A).

A densidade de esporos foi mais elevada nas plantas de M3, comparada às plantas M2 e M1 em todos os níveis CE (Figura 8B). A maior e menor densidade de esporos em M3 se deram no nível 2,9 dS m⁻¹, correspondente a 650 esporos por 50 dm³ de solo. No nível 4,4 dS m⁻¹, houve redução de 29 % do número de esporos, comparado ao nível 3,1 dS m⁻¹. Os tratamentos M1 e M2 não diferiram entre si (Figura 8B).

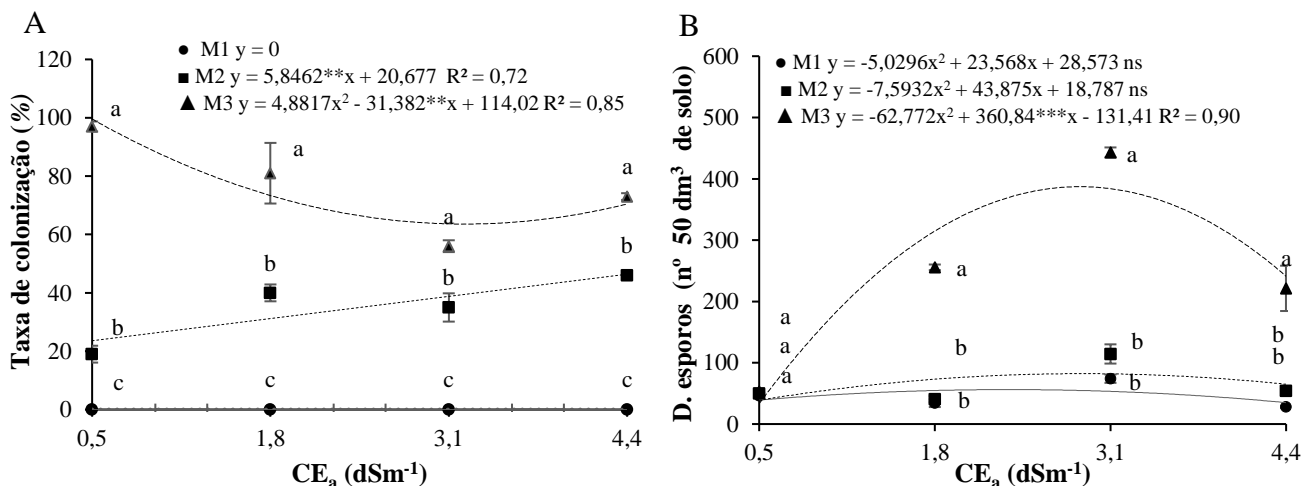


Figura 8. Taxa de colonização radicular (A), densidade de esporos no solo (B) de plantas de milho crioulo em função da CE_a (dS m⁻¹) e influência de FMA (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). D, n= 3. Letras semelhantes na linha (CEa) e na coluna (FMA) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (p<0.05).

2.4 DISCUSSÃO

Os parâmetros fisiológicos do milho foram reduzidos em função da CEa do rejeito salino. A redução da condutância estomática (*gs*) em função do aumento da CE pode estar relacionada à atividade de ajuste osmótico, uma vez que o acúmulo de sais na zona radicular dificulta a absorção de água pela planta. Esse comportamento é uma das primeiras respostas da planta ao estresse para evitar a perda excessiva de água (GOMES et al., 2011) e se deve à

diminuição do fluxo de água na planta em decorrência da alta concentração de sais na zona radicular.

A redução do potencial osmótico da solução do solo diminui a disponibilidade de água para as plantas e causa estresse hídrico, que ativa o sistema de defesa das plantas e sinaliza para que ocorra o fechamento dos estômatos (BRAZ et al., 2019). A redução da condutância estomática em milho foi observada por Sousa et al. (2021) e Rodrigues et al. (2021) quando a irrigação foi realizada com águas de diferentes CEa.

A diminuição da transpiração em plantas de milho sob estresse salino a partir da CEa 1,91 dS m⁻¹ está relacionada ao fechamento dos estômatos em resposta ao estresse osmótico causado pelo aumento da salinidade (MASTROGIANNIDOU et al., 2016). Com a redução do potencial osmótico do solo, as plantas de milho apresentam dificuldade na absorção de água e, conseqüentemente, dificuldades em manter o potencial hídrico foliar. A redução da transpiração é uma estratégia fisiológica que as plantas utilizam para a manutenção de água em quantidade nas células foliares e para manter as atividades metabólicas cuja ocorrência depende da água (TAIZ et al., 2017).

As plantas de milho submetidas ao estresse salino reduziram a taxa de transpiração e condutância estomática, em consequência, a taxa de assimilação de CO₂ com o aumento da condutividade elétrica do rejeito salino em 7,90%, quando comparada à água de abastecimento. A taxa de assimilação de CO₂ é um processo fisiológico central e sensível em condições de estresse salino. Negrão et al. (2017) atribuem esta sensibilidade à variação do potencial osmótico e do conteúdo de água nas células vegetais, que afetam os processos fisiológicos.

De acordo com Zahra et al. (2022), além dos estômatos, a via fotossintética do CO₂ também depende do transporte de CO₂ dos espaços aéreos subestomáticos (condutância do mesofilo) para os locais de carboxilação no estroma do cloroplasto, onde a enzima RuBisCo está situada para converter o CO₂ no produto da fotossíntese. Segundo Volpe et al. (2011), as limitações da condutância estomática e do mesofilo são conjuntamente responsáveis pela mudança no fluxo de CO₂ foliar e CO₂ intracelular sob estresse de salinidade. Estas limitações se devem principalmente a mudanças morfológicas induzidas pelo estresse salino

O aumento da temperatura foliar (T_f) das plantas de milho no maior nível da CE do rejeito salino está diretamente relacionado à transpiração. A transpiração foliar contribui para reduzir a temperatura da folha. Com o aumento da CEa do rejeito, a transpiração foi reduzida, como consequência a temperatura foliar foi aumentada. Nossos achados correspondem aos de Rodrigues et al. (2021), que tiveram g_s e E reduzidas, e a T_f aumentada no milho em função do aumento da CEa da água de irrigação.

A eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s), nas plantas irrigadas com a maior CE do rejeito salino, evidencia que plantas cultivadas em ambientes de estresse salino passam a ter menor disponibilidade de água para a produção de biomassa, conseqüentemente A/g_s é maior. Quando há redução da disponibilidade de água, existe tendência natural de reduzir o fluxo transpiracional e realizar mecanismos de ajustamento osmótico, de modo a garantir a absorção de água e manter as células túrgidas mesmo na presença de sais (TAIZ et al., 2017).

No presente trabalho, a fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (F_o') aumentou linearmente em função do acréscimo da condutividade elétrica do rejeito salino. Segundo Kramer et al. (2004), energia captada pelas moléculas de clorofila e outros pigmentos envolvidos na fotossíntese converge para o centro dos fotossistemas, sendo utilizada pelo processo de F_o' - remanescente da clorofila a. Resultados semelhantes foram registrados na fotossíntese e transpiração e condutância estomática, se refletindo em mudanças na sua fluorescência, levando-os a ativar de mecanismos de proteção para dissipar o excesso de energia, como a dissipação fotoquímica e não fotoquímica (DEMMIG-ADAMS et al., 2014).

A eficiência quântica do PSII (Y) e máxima eficiência quântica do PSII (F_v/F_m) das plantas de milho decresceram em função dos níveis de condutividade elétrica. De acordo com Klughamme; Schreibe (2008), a eficiência quântica do PSII representa um indicativo do desempenho fotossintético das plantas submetidas ao estresse salino. Tatagiba et al. (2014) corroboram os resultados nesta pesquisa: segundo os autores, reduções nos valores de $Y(II)$ indicam que a fotossíntese foi reduzida, o que é comprovado nas trocas gasosas foliares e se refletiu no crescimento das plantas.

Segundo Glynn et al. (2003), a relação F_v/F_m tem sido utilizada para identificar perturbações no sistema fotossintético causada pelo estresse salino, visto que sua diminuição sugere declínio da eficiência fotoquímica do PSII e um distúrbio ou danos no aparato fotossintético. Danos causados na eficiência quântica do PSII contribuem para restringir a atividade fotossintética das plantas de milho (SILVA et al., 2021). Além disso, o declínio observado na F_v/F_m é reflexo da acumulação excessiva dos sais provenientes da água de irrigação, restringindo a absorção de água, devido aos efeitos osmóticos e sua interferência nos processos fisiológicos (SILVA et al., 2021).

A taxa de transporte de elétrons (ETR) foi afetada na interação dos níveis de condutividade elétrica e condições de micorrizas no solo. As condições M1 e M2 tiveram reduções a partir do nível de $2,3 \text{ dS m}^{-1}$, ao passo que a M3 decresceu linearmente em função da CE do rejeito salino. Tatagiba et al. (2014) afirmam que os efeitos da salinidade podem reduzir a taxa de transporte de elétrons (ETR) para a fotossíntese devido à redução na

disponibilidade de água para as plantas, provocada pelo aumento do potencial osmótico em decorrência da elevada concentração de sais em sua zona radicular. Quando submetida a estresse salino acima de $2,3 \text{ dS m}^{-1}$, a ETR é reduzida, provavelmente devido a uma maior taxa de consumo de ATP e NAPH, reduzida para a assimilação de CO_2 (PENELLA et al., 2014).

O rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) apresentou incrementos na interação das micorrizas em virtude do acréscimo da condutividade elétrica do rejeito salino. Na condição M1, a equação de regressão linear não foi significativa. Entretanto, as plantas da M2 e M3 cultivadas em função da salinidade tiveram aumentos unitários de 0,0672 e 0,0425, respectivamente. A YNPQ refere-se à dissipação da energia na forma de calor por meio do mecanismo fotoprotetor regulador (ciclo de xantofila), o que evita danos provocados pelo excesso de fótons, de forma que YNPQ elevada sugere alta capacidade fotoprotetora (SACRAMENTO et al., 2018). De acordo com Santos et al. (2020), este comportamento provavelmente é um mecanismo minimizador do estresse provocado pelo aumento da concentração da NaCl, que se dá por meio da dissipação da energia em processos não fotoquímicos, na forma de calor. Li et al. (2010) acrescentam que este fato ocorre por se tratar de uma estratégia de proteção do aparato fotossintético contra o excesso de energia.

O aumento da MSPA, MSRA, AP, NF e DC obtidas nas plantas M3 é resultado da interação simbiótica das plantas de milho com a micorrízica *G. albida* e a microbiota do solo. Plantas micorrizas têm os efeitos do estresse salino atenuados pela maior capacidade de reduzir o acúmulo e a captação de íons tóxicos como Na^+ e Cl^- e favorecer a seletividade de nutrientes importantes, como K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , P e N, proporcionando melhores condições nutricionais (GIRI et al., 2007; COLLA et al., 2008; EVELIN; KAPOOR; GIRI, 2009; EVELIN et al., 2019). Esse comportamento corrobora os encontrados no presente trabalho. As plantas M3 acumularam menos Na^+ nos tecidos foliares ao passo que mantiveram os teores de K favoráveis ao bom desempenho das funções bioquímicas nos tecidos fotossintéticos. As plantas M1 e M2, por outro lado, tiveram menor crescimento devido aos efeitos deletérios do estresse salino, induzidos pelo acúmulo de Na^+ na parte aérea, que causam citotoxicidade e desbalanço nutricional na planta, com interferência imediata nos processos bioquímicos e fisiológicos e induzindo parte dos recursos energéticos para a defesa das plantas (LIMA et al., 2020).

A diferença de biomassa radicular entre as plantas M1 (controle) e M3 no nível $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ está associada aos efeitos da interação do *G. albida* mais a microbiota nativa do solo, que contribuíram aumentando as raízes, promovendo maior exploração do solo e absorção de água e nutrientes (SMITH; READ, 2010; PELLEGRINO et al., 2015), bem como produzindo substâncias que estimulam o desenvolvimento das raízes (ALLAH et al., 2015). A maior

produção de biomassa radicular em M1, na CEa mais alta, deve-se a uma estratégia comum em plantas sob estresse hídrico e salino, para explorar mais áreas no solo e aumentar a captação de água. Esse comportamento pode indicar um mecanismo de ajuste das plantas em condições de salinidade elevada, que pode ser claramente observado pelo aumento da relação raiz/parte aérea (R/PA), indicado que as plantas M1 direcionaram maiores quantidades energéticas para o desenvolvimento radicular. O menor investimento radicular em M3 pode ser reflexo do estresse osmótico e da toxicidade de íons que em condições mais severas podem induzir uma resposta de defesa nas plantas, direcionando grande parte da energia para produção de osmorreguladores e para o sistema de defesa antioxidante, impactando negativamente o crescimento da planta (EVELIN et al., 2019).

O excesso de sais no solo pode gerar graves distúrbios fisiológicos nas plantas, induzidos pela competição entre nutrientes essenciais e íons em excesso de Na^+ e Cl^- , o que afeta diretamente a homeostase iônica nos tecidos (RABIE et al., 2005). A simbiose entre plantas e FMA tem o potencial de aliviar os efeitos do estresse salino por meio da mitigação do estresse iônico (WANG et al., 2021). No presente estudo, as plantas de milho inoculadas com *G. albida* (M2) e *G. albida* mais a microbiota do solo (M3) acumularam menos Na^+ nos tecidos foliares. Esse comportamento foi ainda mais intensificado nas plantas de M3, que também acumularam menos Na^+ no colmo, direcionando a maior parte do sódio translocado para os tecidos radiculares. Por outro lado, nota-se em M1 maiores acúmulos de sódio em todas as partes da planta, indicando claramente que as plantas controle foram menos seletivas na captação de sódio e que possivelmente o menor investimento na produção de biomassa é reflexo do efeito iônico, gerado por concentrações elevadas de íons Na^+ nos tecidos foliares (WAN et al., 2017).

Segundo Dar et al. (2023), as plantas podem usar estratégias para limitar a captação e acumulação de sódio nos tecidos. A alocação em partes distintas no milho sugere uma estratégia eficiente para prevenir concentrações tóxicas de sódio nos tecidos foliares e, conseqüentemente, danos aos fotossistemas. Por outro lado, a alocação do Na^+ para a raiz pode ser uma forma de reduzir o potencial osmótico radicular e favorecer a osmorregulação (WANG et al., 2021; FAROOQ et al., 2015). Segundo Ouziad et al. (2006), em condições de estresse salino elevado os FMAs potencializam a expressão das aquaporinas, proteínas que regulam o fluxo de água nas plantas. Nas plantas de M2 e M3, a simbiose micorrízica pode ter potencializado esse efeito e condicionado às plantas melhores condições hídricas e manutenção da homeostase iônica nos tecidos fotossintéticos.

A manutenção dos níveis de K^+ foliar é importante na medida em que constitui um osmólito inorgânico envolvido em diversos mecanismos na planta. Suas atividades envolvem a neutralização da carga elétrica em biomoléculas, participação no em processo de transporte de membranas, ativação enzimática, além de contribuir para manutenção do potencial osmótico celular e regulação da pressão de turgor (GIERTH; MÄSER, 2007; WHITE, 2012; KETEHOULI, et al., 2019).

O aumento da CE do rejeito salino reduziu o influxo de K^+ nas plantas do milho e resultou no menor acúmulo de potássio na folha. Entre os tratamentos com a condição FMA, as concentrações de potássio na folha foram maiores em M1 e M2. Esse acúmulo nas plantas de milho sugere esforço para manter potencial osmótico celular e promover manutenção da pressão de turgor nas células estomáticas, o que justifica a maior taxa de transpiração em ambos os tratamentos, quando comparados a M3. Embora as plantas M3 tenham acumulado menos K^+ na folha, nota-se nesse tratamento uma relação de Na/K^+ menor, nos níveis 1,8 e 3,1 $dS\ m^{-1}$, o que indica que as plantas M3 foram mais eficientes no balanceamento de Na/K^+ na folha do que as plantas M1 e M2 no nível 3,1 $dS\ m^{-1}$, apresentando melhor homeostase iônica nos tecidos fotossintéticos e melhor desempenho na produção de biomassa.

Sob condições de salinidade elevada, a captação de potássio pode ser reduzida devido à competição com íons de Na^+ que competem pelo mesmo sítio ativo nas membranas, colapsando vários processos metabólicos (GIRI et al., 2007). Han et al. (2022) também verificaram que plantas de *Lycium barbarum* sob o efeito de *Rhizophagus irregularis* em condições de estresse salino e suplementação de K^+ também tiveram a relação Na/K^+ foliar reduzida, tendo as plantas, conseqüentemente, melhor desempenho no crescimento e tolerância à salinidade.

A concentração de K^+ no colmo entre as plantas foi variada. Em M1, a maior concentração deu-se no nível 2,7 $dS\ m^{-1}$, correspondendo a 44,43 $g\ kg^{-1}$ de K^+ acumulado. É importante destacar que mesmo sem a presença de FMA nesse tratamento as plantas M1 tiveram bom desempenho na captação de K^+ , em nível considerado elevado de salinidade para o milho, o que nos dá a entender que a planta já apresenta mecanismo de tolerância à salinidade. Por outro lado, as plantas M2 e M3 sob efeito de FMAs potencializaram a concentração de K^+ no colmo no nível mais elevado, 4,4 $dS\ m^{-1}$, nos dando a entender que a simbiose com a *G. albida* e a interação com a microbiota do solo em condições de salinidade elevada favoreceram o influxo de K e, por consequência, maior acúmulo em comparação a M1, numa tentativa de manter o balanceamento de Na/K^+ no colmo e minimizar os efeitos prejudiciais da salinidade (DAR et al., 2022; EVELIN et al., 2019; CHEN et al., 2017).

Plantas em simbiose com FMA, em sua maioria, têm os efeitos da salinidade aliviados pela expressão de genes que codificam proteínas envolvidas na extrusão de Na^+ para a solução do solo, logo a captação de K^+ , via carregamento e descarregamento do floema e liberação no xilema, é favorecida e contribui para uma relação favorável Na/K (EVELIN et al., 2019). Estudo de Chen et al. (2017) mostrou que o balanceamento de Na/K em plantas *Robinia pseudoacacia* L. se deve à expressão de genes que codificam proteínas transportadoras de membrana envolvidas na homeostase de Na/K, sendo a expressão intensificada sob influência micorrízica. Em plantas de milho, a expressão dos genes *ZmAKT2*, *ZmSOS1* e *ZmSKOR* nas raízes contribuiu para a homeostase de K^+ e Na^+ em plantas colonizadas por FMAs nativos (ESTRADA et al., 2013).

Nesse estudo, a maior concentração de potássio radicular deu-se nas plantas de milho inoculadas com *G. albida* (M2) no maior nível salino. Para essas plantas, a relação Na/K^+ radicular também foi reduzida, o que nos leva a entender que as plantas de milho quando inoculadas com *G. albida* são mais seletivas na captação de potássio, fato comprovado pelos maiores teores de potássio em todas as partes da planta. Por outro lado, plantas inoculadas com *G. albida* mais a ação da microbiota do solo apresentaram maior desempenho na redução dos teores de Na^+ na parte aérea planta. Levando em consideração dos males o menor, a redução do Na^+ na parte aérea e concentração na raiz em M3 foi mais eficiente do que manter os maiores níveis de potássio em todas as plantas e acumular maior teor de sódio, como ocorrido em M2. Ficou claro que a interação entre planta, fungo e a microbiota do solo foi o ponto chave para promover as plantas de milho, melhor desempenho no balanço Na^+/K^+ , refletido na maior produção de MSPA.

A salinidade no solo afeta severamente o desenvolvimento das plantas, devido ao desbalanço na captação de nutrientes minerais. O fósforo (P), por exemplo, torna-se ainda mais restrito, influenciado pelo pH; em solos salinos, P se precipita com outros cátions, tornando-se indisponível para as plantas (EVLIN et al., 2019). A associação micorrízica pode melhorar a captação do P por meio da potencialização da atividade de enzimas fosfatase ácidas, que atuam na mineralização do fosfato orgânico em fosfato inorgânico (Pi), tornando-se acessível às plantas (FENG et al., 2007). Outra contribuição importante em plantas micorrizas é a obtenção de Pi por meio de transportadores específicos induzidos por FMA. No milho, o transportador de Pi *Pht1;6* é um dos principais responsáveis pela absorção de P total em condições de baixo teor de P no solo, estando diretamente envolvido no acúmulo de biomassa (WILLMANN et al., 2013).

Nesse estudo, as concentrações de P nas plantas de milho foram reduzidas pelo aumento da CEa do rejeito salino. Entre plantas, a maior concentração foi dada em M1 e M2. Em

salinidade elevada, a captação de fósforo em plantas em simbiose com FMA é bem difundida na literatura. Hajiboland et al. (2010), em plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L) colonizadas com FMA, tiveram a concentração de P aumentada em condições de salinidade. Em estudo mais recente, Zai et al. (2021) mostram que a coinoculação com fungos micorrízicos arbusculares e fungos solubilizadores de fosfato promoveu melhor captação de P em palmeiras de praia sob estresse salino. Curiosamente, no presente estudo os teores de fósforos foram menores nas plantas de M3. É possível que a interação com outros microrganismos do solo tenha influenciado a captação de P em M3, uma vez que plantas de M2 mostraram maior desempenho. É possível que tenha havido competição por fósforo entre os microrganismos do solo, o que justificaria a menor captação pelas plantas do milho em M3 comparado a M2. No entanto, não há relatos na literatura que possam esclarecer os resultados que encontramos, cabendo, portanto, a realização de novos estudos para melhores esclarecimentos.

A salinidade do solo afeta não somente as plantas, como também pode interferir no crescimento e desenvolvimento de hifas, na capacidade de colonização, assim como prejudicar a germinação de esporos de FMA (PORCEL; AROCA; RUIZ-LOZANO, 2012). Nesse estudo, o percentual de colonização de *G. albida* nas plantas de milho M2 aumentou em função do CEa do rejeito salino. Por outro lado, o nível mais alto de CEa reduziu a colonização das plantas M3. Em ambientes salinos, vários fatores podem influenciar a colonização, tais como a redução da germinação de esporos, seguida da redução do crescimento dos fungos e da propagação de hifas e arbúsculos (JUNIPER; ABBOTT, 2006; HIRREL, 1981; MCMILLEN et al., 1998).

Estudo recente de Chen et al. (2022) mostra que a interação de FMA e bactérias do solo modulou o crescimento do milho e aumentou a colonização FMA em 80% em condições de salinidade. Santander et al. (2019), utilizando cepas de FMA *Claroideoglossum claroideum* (Cc), tiveram o percentual de colonização elevado em plantas de alface (*Lactuca sativa*), resultando no aumento da produção e melhor balanço nutricional. A colonização em M2 foi menor do que em M3 porque nesse tratamento havia somente o *G. albida*. Em M3, o aumento deve-se à interação do *G. albida* com espécies nativas de FMA do próprio solo e outros organismos. Essa interação pode ter potencializado o efeito micorrizo nas plantas de milho e contribuído para alívio do estresse.

A densidade de esporos também foi influenciada pelo aumento da CEa do rejeito salino, com maior expressão dada no ponto máximo da curva, no nível 2,9 dS m⁻¹. Esse comportamento foi semelhante nas três condições micorrízicas, indicando que esse nível salino estimulou o melhor potencial de esporulação dos FMAs desse estudo. Comparando os tratamentos

micorrízicos, o aumento expressivo nas plantas M3, comparado às plantas M2, deve-se à somatória de esporos do *G. albida* e de esporos dos FMA nativos dos solos. Embora não tenha havido diferença estatística entre M1 e M2, o número de esporos em M2 aumentou em 53% comparado à quantidade encontrada em M1, no nível 2,9 dS m⁻¹, indicando que *G. albida* também estava esporulando. Esses resultados dão a entender que salinidade em níveis intermediários pode induzir melhor produção de esporos em *G. albida* e possivelmente também influenciou os FMA nativos do solo. Bezerra et al. (2010) também observaram aumento do número de esporos de FMA, em cultivo rotacional de milho e feijão, irrigados com água salina. Bencherif et al. (2015) destacam que o aumento do número de esporos sob condições de salinidade deve-se à capacidade adaptativa das comunidades de FMA. Na literatura há poucos relatos sobre a influência da salinidade na indução de esporos de FMA arbusculares. Para o presente estudo, o período avaliado foi curto (50 dias), e os resultados ainda são preliminares, havendo, portanto, a necessidade de estudos mais prolongados para compreender quais efeitos a salinidade pode exercer sobre a produção de esporos e até que ponto pode não ser prejudicial à germinação.

2.5 CONCLUSÕES

A irrigação com água de rejeito salino da osmose reversa afeta a fisiologia do milho crioulo. A simbiose com *G. albida* mais a microbiota do solo, entre os níveis 1,8 e 3,1 dS m⁻¹, melhorou o crescimento do milho e favoreceu menor relação Na/ K na parte aérea. O milho inoculado somente com *G. albida* foi mais eficiente na captação de K e Fósforo foliar. A irrigação com água de rejeito reduziu o percentual de colonização de *G. albida* nas raízes. A CE 2,9 dSm⁻¹ aumentou a densidade de esporos no solo.

REFERÊNCIAS

- ALLAH, M. A.; EL-BASSIOUNY, H. M. S.; BAKRY, B. A.; SADAK, M. S. Effect of arbuscular mycorrhiza and glutamic acid on growth, yield, some chemical composition, and nutritional quality of wheat plant grown in newly reclaimed sandy soil. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical**, v. 6, n. 3, p. 1038–1054, 2015.
- ASGHARI, H. R.; MARSCHNER, P.; SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Growth response of *Atriplex nummularia* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi at different salinity levels. **Plant and soil**, v. 273, p. 245-256, 2005.

AUGUSTO, L. G. D. S.; GURGEL, I. G. D.; CÂMARA NETO, H. F.; MELO, C. H. D.; COSTA, A. M. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1511-1522, 2012.

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

BENCHERIF, K.; BOUTEKRABT, A.; FONTAINE, J.; LARUELLE, F.; DALPE, Y.; SAHRAOUI, A. L. H. Impact of soil salinity on arbuscular mycorrhizal fungi biodiversity and microflora biomass associated with *Tamarix articulata* Vahl rhizosphere in arid and semi-arid Algerian areas, **Science of The Total Environment**, v. 533, p. 488-494, 2015.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988.

BEZERRA, M. E. J.; LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; GOMES, V. F. F. MENDES FILHO, P. F. Biomass, microbial activity and AMF in crop rotation system of maize/cowpea using saline water. **Engenharia Agrícola Revista Ciência Agrônômica** v. 41, n. 4, p. 562-570, 2010.

BRAZ, R. D. O. S. S.; LACERDA, C. F.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; FERREIRA, J. F. S.; OLIVEIRA, A. C.; RIBEIRO, A. A. Crescimento e fisiologia do milho sob salinidade da água e adubação nitrogenada em dois solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 907-913, 2019.

CAMPOS, D. T. S.; ANDRADE, J. A. C.; CASSIOLATO, A. M. R. Crescimento e micorrização de genótipos de milho em casa de vegetação. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 555-562, 2010.

CHEN, J.; ZHANG, H.; ZHANG, X.; TANG, M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alleviates salt stress in black locust through improved photosynthesis, water status, and K⁺/Na⁺ homeostasis. **Frontiers in plant science**, p. 1739, 2017.

DAEI, G.; ARDEKANI, M.R.; REJALI, F.; TEIMURI, S.; MIRANSARI, M. Alleviation of salinity stress on wheat yield, yield components, and nutrient uptake using arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, p. 617-625, 2009.

DEMMIG-ADAMS, B.; GARAB, G.; ADAMS III, W. W. Govindgee. Nonphotochemical quenching and energy dissipation in plants, algae and cyanobacteria, *Advances in Photosynthesis and Respiration*. **Dordrecht: Springer Science+Business Media**, v. 40, p. 649, 2014.

DIAS, N. D. S.; LIRA, R. B. D.; BRITO, R. F. D.; SOUSA NETO, O. N. D.; FERREIRA NETO, M.; OLIVEIRA, A. M. D. Melon yield in a hydroponic system with wastewater from desalination plant added in the nutrient solution. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 755-761, 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Produção de sementes e conservação de variedades de milho de polinização aberta e crioulos**. Eberson Diedrich Eicholz... [et al.]. – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017.

ESTRADA, B.; AROCA, R.; BAREA, J. M.; RUIZ-LOZANO, J. M. Native arbuscular mycorrhizal fungi isolated from a saline habitat improved maize antioxidant systems and plant tolerance to salinity. **Plant science**, v. 201, p. 42-51, 2013.

EVELIN, H.; DEVI, T.S.; GUPTA, S.; KAPOOR, R. Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: Current understanding and new challenges. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 470, 2019.

EVELIN, H.; KAPOOR, R.; GIRI, B. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. **Annals of Botany**, v. 104, p. 1263–1280, 2009

FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; WAKEEL, A.; SIDDIQUE, K. H. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 461-481, 2015.

FENG, G.; SU, Y., LI, X.; WANG, H.; ZHANG, F.; TANG, C.; RENGEL, Z. Histochemical Visualization of Phosphatase Released By Arbuscular Mycorrhizal Fungi In Soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 5, p. 1-1, 2002.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FOLLI-PEREIRA, M. D. S.; MEIRA-HADDAD, L. S. A.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Arbuscular mycorrhiza and plant tolerance to stress. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.1663-1679, 2012.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of British Mycological Society**. n. 46, v. 2, p. 235-244, 1963.

GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. (org.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.

GIERTH, M.; MÄSER, P. Potassium transporters in plants--involvement in K⁺ acquisition, redistribution and homeostasis. **FEBS Carta**, v. 581, p. 2348-2356, 2007.

GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, n. 84, p. 489-500, 1980.

GIRI, B.; KAPOOR, R.; MUKERJI, K.G. Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. **Microbial ecology**, v. 54, p. 753-760, 2007.

GLYNN, P.; FRASER, C.; GILLIAN, A. Foliar salt tolerance of *Acer* genotypes using chlorophyll fluorescence. **Journal of Arboriculture**, v. 29, p. 61-65, 2003.

GOMES, J. W. D. S.; DIAS, N. D. S.; OLIVEIRA, A. M. D.; BLANCO, F. F.; SOUSA NETO, O. N. D. Cherry tomato growth and yield in soilless system using wastewater from desalination process. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 850-856, 2011.

GOMES, K. R.; AMORIM, A. V.; FERREIRA, F. J.; A FILHO, F. L.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. Physiology and growth responses of maize subjected to salt stress in different cultivating spacings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 365-370, 2011.

GOMIDE, M. B.; LEMOS, O. V.; TOURINO, D.; CARVALHO, M. M.; CARVALHO, J. G.; DUARTE, C. S. Comparação entre métodos de determinação de área foliar em cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. **Ciência Prática**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 118-123, 1977.

HAJIBOLAND, R.; ALIASGHARZADEH, N.; LAIEGH, S. F.; POSCHENRIEDER, C. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. **Plant and Soil**, n. 331, p. 313-327, 2010.

HAN, X.; WANG, Y.; CHENG, K.; ZHANG, H.; TANG, M. Arbuscular mycorrhizal fungus and exogenous potassium application improved *Lycium barbarum* salt tolerance. **Journal of Plant Growth Regulation**, p. 1-12, 2022.

HIRREL, M. C. The effect of sodium and chloride salts on the germination of *Gigaspora margarita*. **Mycologia**, v. 73, n. 4, p. 610-617, 1981.

HUERTA, A. S. Comparación de métodos de laboratorio y de campo para el área del café. Cenicafé. **Chinchiná**, v. 13, n. 1, p. 33-42, 1962.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, n. 48, v. 692, p. 338, 1964.

JUNIPER, S.; ABBOTT, L. K. Soil salinity delays germination and limits growth of hyphae from propagules of arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycorrhiza**, v. 16, p. 371-379, 2006.

KETEHOU, T.; IDRICE CARTHER, K.F.; NOMAN, M.; WANG, F.-W.; LI, X.-W.; LI, H.-Y. Adaptation of Plants to Salt Stress: Characterization of Na⁺ and K⁺ Transporters and Role of CBL Gene Family in Regulating Salt Stress Response. **Agronomy**, v. 9, p. 687, 2019.

KHALLOUFI, M.; MARTÍNEZ-ANDÚJAR, C.; LACHAËL, M.; KARRAY-BOURAOUI, N.; PÉREZ-ALFOCEA, F.; ALBACETE, A. The interaction between foliar GA3 application and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improves growth in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants by modifying the hormonal balance. **Journal of Plant Physiology**, v. 214, p. 134-144, 2017.

KLUGHAMMER, C.; SCHREIBER, U. Complementary PSII quantum yield calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and saturation pulse method. **PAM Application Notes**, v. 1, p. 27-35, 2008.

KRAMER, D. M.; JOHNSON, G.; KIIRATS, O.; EDWARDS, G. E. New fluorescence parameters for the determination of QA redox state and excitation energy fluxes. **Photosynthesis Research**, v. 79, n. 2, p. 209-218, 2004.

LI, G.; WAN, S.; ZHOU, J.; YANG, Z.; QIN, P. Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress level. **Industrial Crops and Products**, v. 31, p. 13-19, 2010.

LIMA, G. S.; SOUZA, C. M. A.; GOMES, R. Gas exchanges, growth and production of okra cultivated with saline water and silicon fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 41, n. 5, suplemento 1, p. 1937-1950, 2020

MALIBARI, A. A.; FASSI, F. A.; RAMADAN, E. M. Incidence and infectivity of vesicular-arbuscular mycorrhizas in some saudi soils. **Plant and Soil**, n. 122, p. 105-111, 1988.

MASTROGIANNIDOU, E.; CHATZISSAVVIDIS, C.; ANTONOPOULOU, C.; TSABARDOUKAS, V.; GIANNAKOULA, A.; THERIOS, I. Response of pomegranate cv. wonderful plants to salinity. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 16, p. 621-636, 2016.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELO, W. J. **Análise química de tecido vegetal**: manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

MCMILLEN B. G.; JUNIPER, S.; ABBOTT. L. K. Inhibition of Hyphal Growth of A Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungus In Soil Containing Sodium Chloride Limits The Spread of Infection From Spores. **Soil Biology and Biochemistry**, n. 30, p. 1639-1646, 1998.

MORAES, D. P.; FERNANDES, A. L. M.; DA SILVA DIAS, N.; COSME, C. R.; DE SOUZA NETO, O. N. Reject brine desalination and nutrient solution to lettuce growth in hydroponic system. **Magistra**, v. 26, n. 3, p. 353-360, 2014.

NEGRÃO, S.; SCHMÖCKEL, S. M.; TESTER, M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. **Annals of botany**, v. 119, n. 1, p. 1-11, 2017.

OLIVEIRA, A. M.; DIAS, N. S.; FREITAS, J. J. R.; MARTINS, D. F. F.; RABELO, L. N. Physical-chemical assessment of the waters from dessalinization process of salobros and salinos wells in rural communities of the west potiguar. **Águas Subterrâneas**, n. 31, v. 2, p. 58-73, 2017.

OLIVEIRA, A. M.; DIAS, N. S.; SOUSA, G. G. C.; RABELO, L. N.; SOUZA M. M. R.; SANTOS, M. V. Physicochemical impacts of brine waste disposal in neosol and chernozem in the west of Rio grande do Norte, Brazil. **Irriga, Botucatu**, v. 23, n. 3, p. 413-425, 2018.

OUZIAD, F.; WILDE, P.; SCHMELZER, E.; HILDEBRANDT, U.; BOTHE, H. Analysis of expression of aquaporins and Na⁺/H⁺ transporters in tomato colonized by arbuscular mycorrhizal fungi and affected by salt stress, **Environmental and Experimental Botany**, v. 57, 1-2, 2006.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; DO NASCIMENTO PRATA, A. P.; LUCAS, A. A. T.; DOS SANTOS, P. B. Causes and consequences of the process of soil salinization. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PELLEGRINO, E.; ÖPIK, M.; BONARI, E.; ERCOLI, L. Responses of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi: a meta-analysis of field studies from 1975 to 2013. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 84, p. 210-217, 2015.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of British Mycological Society**, n. 55, v. 1, p. 158-161, 1970.

PIOTROWSKI, J. S.; DENICH, T.; KLIRONOMOS, J. N.; GRAHAM, J. M.; RILLIG, M. C. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. **New Phytol.**, n. 164, p. 365-373, 2004.

PORCEL, R.; AROCA, R.; RUIZ-LOZANO, J.M. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. **Agron. Sustain. Dev.**, n. 32, p. 181-200, 2012.

RABIE, G. H.; ALMADINI, A. M. Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of *Vicia faba* plants under salinity stress. **African Journal of biotechnology**, v. 4, n. 3, p. 210-222, 2005.

RODRIGUES, V. D. S.; SOUSA, G. G. D.; SOARES, S. D. C.; LEITE, K. N.; CEITA, E. D.; SOUSA, J. T. M. D. Gas exchanges and mineral content of corn crops irrigated with saline water. **Revista Ceres**, v. 68, p. 453-459, 2021.

SÁ, F. D. S.; GHEYI, H. R.; DE LIMA, G. S.; DE PAIVA, E. P.; SILVA, L. D. A.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; DIAS, A. S. Ecophysiology of West Indian cherry irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen doses. **Bioscience Journal, Uberlândia**, v. 35, n. 1, p. 211-221, 2019.

SACRAMENTO, B. L. D.; AZEVEDO NETO, A. D. D.; ALVES, A. T.; MOURA, S. C.; RIBAS, R. F. Photosynthetic parameters as physiological indicators of tolerance to cadmium stress in sunflower genotypes. **Revista Caatinga**, v. 31, p. 907-916, 2018.

SANTANDER, C.; SANHUEZA, M.; OLAVE, J.; BORIE, F.; VALENTINE, A.; CORNEJO, P. Arbuscular mycorrhizal colonization promotes the tolerance to salt stress in lettuce plants through an efficient modification of ionic balance. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, p. 321-331, 2019.

SANTOS, A. N. D.; SILVA, Ê. F. D. F.; SOARES, T. M.; DANTAS, R. M. L.; SILVA, M. M. D. Lettuce production under NFT and Floating using brackish groundwater and the reject from its desalination. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 319-326, 2011.

SANTOS, M. R.; BRITO, C. F. B. Irrigation with saline water, conscious agricultural option **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 7, n. 1, p. 33-41, 2016.

SANTOS, S. T. D.; OLIVEIRA, F. D. A. D.; OLIVEIRA, G.; SÁ, F. V. D. S.; COSTA, J. P. D. M.; FERNANDES, P. D. Photochemical efficiency of basil cultivars fertigated with salinized nutrient solutions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 5, p. 319-324, 2020.

SILVA, S. S. D.; LIMA, G. S. D.; LIMA, V. L. A. D.; SOARES, L. A. D. A.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. Quantum yield, photosynthetic pigments and biomass of mini watermelon under irrigation strategies and potassium. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3, p. 659–669, 2021.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. New York: Academic Press, 2010.

SOARES, T. M.; DA SILVA, I. J.; DUARTE, S. N.; SILVA, Ê. F. D. F. Disposal of wastewater from desalination process by reverse osmosis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 730-737, 2006.

SOUSA, H. C.; SOUSA, G. G. D.; LESSA, C. I.; LIMA, A. F. D. S.; RIBEIRO, R. M.; RODRIGUES, F. H. D. C. Growth and gas exchange of corn under salt stress and nitrogen doses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 174-181, 2021.

SOUZA, M. C. G. D.; MORAIS, M. B. D.; ANDRADE, M. D. S.; VASCONCELOS, M. A. D.; SAMPAIO, S. S.; ALBUQUERQUE, C. C. D. Mycorrhization and saline stress response in *Hyptis suaveolens*. **Ciência Rural**, v. 50, n. 6, p. 1-10, 2020.

SOUSA-NETO, O. N. S.; DIAS, N. S.; NETO, M. F.; LIRA, R. B. L.; REBOUÇAS, J. R. L. Utilização do rejeito da dessalinização da água na produção de mudas de espécies da caatinga. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 4, p. 123-129, 2011.

SOUZA, C.C. M.; SARAIVA, J. S.; SANTOS, M. A. S.; REBELLO, F. K. Concentração espacial, fontes de crescimento e instabilidade da renda da cultura do milho no Estado do Pará. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. 1-22, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TATAGIBA, S. D.; MORAES, G. A. B. K.; NASCIMENTO, K. J. T.; PELOSO, A. F. Limitações fotossintéticas em folhas de plantas de tomateiro submetidas a crescentes concentrações salinas. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 2, p. 138-149, 2014.

VOLPE, V.; MANZONI, S.; MARANI, M.; KATUL, G. Leaf conductance and carbon gain under salt-stressed conditions, **Journal of Geophysical Research**, v. 116, n. 4, p. 1-12, 2011.

WAN, Q.; HONGBO, S.; ZHAOLONG, X.; JIA, L.; DAYONG, Z.; YIHONG, H. Salinity tolerance mechanism of osmotin and osmotin-like proteins: a promising candidate for enhancing plant salt tolerance. **Current Genomics**, Sharjah, v. 18, n. 6, p. 553-556, 2017.

WANG, H.; AN, T.; HUANG, D.; LIU, R., XU, B.; ZHANG, S.; DENG, X.; SIDDIQUE, K. H. M.; CHEN, Y. Arbuscular mycorrhizal symbioses alleviating salt stress in maize is associated with a decline in root-to-leaf gradient of Na⁺/K⁺ ratio. **BMC Plant Biology**, v. 21, n. 1, p. 1-15, 2021.

WILLMANN, M.; GERLACH, N.; BUER, B.; POLATAJKO, A.; NAGY, R.; KOEBKE, E.; JANSA, J.; FLISCH, R.; BUCHER, M. Mycorrhizal phosphate uptake pathway in maize: vital for growth and cob development on nutrient poor agricultural and greenhouse soils. **Frontiers in plant science**, v. 4, p. 533, 2013.

WHITE, P. J. Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: short-distance transport. In: MARSCHNER, P. (org.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Elsevier: Amsterdã, Holanda, 2012. p. 7–47.

WOLKMER, M. F. S.; PIMMEL, N. F. Política nacional de recursos hídricos: governança da água e cidadania ambiental. **Revista Sequência**, n. 67, p. 165-198, 2013.

ZAHRA, N.; HINAI, M. S. A.; HAFEEZ, M. B.; REHMAN, A.; WAHID, A.; SIDDIQUE, K. H. M.; FAROOQ, M. Regulation of photosynthesis under salt stress and associated tolerance mechanisms. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 178, n. 1, p. 55-69, 2022.

ZAI, X. M.; FAN, J. J.; HAO, Z. P.; LIU, X. M.; ZHANG, W. X. Effect of co-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing fungi on nutrient uptake and photosynthesis of beach palm under salt stress environment. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2021.

ZHANG, T.; HU, Y.; ZHANG, K.; TIAN, C.; GUO, J. Arbuscular mycorrhizal fungi improve plant growth of *Ricinus communis* by altering photosynthetic properties and increasing pigments under drought and salt stress. **Industrial Crops & Products**, v. 117, p. 13–19, 2018.

3. FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR *Gigaspora albida* (Gigasporaceae) NA BIOQUÍMICA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE MILHO CRIOULO (Poaceae) SOB ESTRESSE SALINO

RESUMO

O uso de rejeito salino da osmose reversa na irrigação tem sido uma realidade no semiárido. Porém, a alta salinidade desse rejeito altera a homeostase iônica e induz a desidratação celular, prejudicando vários processos bioquímicos. Fungos micorrízicos arbusculares podem atenuar os efeitos da salinidade, potencializando a síntese de osmólitos e o sistema antioxidante da planta. Nesta perspectiva, objetivou-se no presente estudo avaliar o efeito do fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Gigaspora albida* na bioquímica e no sistema antioxidante de milho crioulo (variedade Ibra) sob diferentes níveis de condutividade elétrica do rejeito salino. A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 4, com seis repetições. Os tratamentos foram três condições micorrízicas: (M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida* e M3- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo), combinados com quatro níveis de condutividade elétrica do rejeito salino (CEa): 0,5, 1,8, 3,1, e 4,4 dS m⁻¹ (0,5 dS m⁻¹, água de abastecimento). Trinta dias após imposição do estresse salino, foram avaliados: o teor relativo de água (TRA), massa seca total (MST), prolina livre (PL), açúcares redutores totais (AST), proteínas solúveis (PS), pigmentos fotossintéticos, peróxido de hidrogênio (H₂O₂), peroxidação lipídica (MDA) e atividade das enzimas antioxidantes. As plantas de M1 foram mais eficientes na redução do MDA. Nos níveis 4,4 dS m⁻¹, observou-se aumento considerável do teor de AST. Nas plantas de M2, houve aumento do teor de PL e AST. Em M3, em condições de CEa elevada, houve manutenção do TRA, aumento da biomassa seca, intensificação da síntese PL e AST. No tocante ao sistema antioxidante, verificou-se redução do teor de H₂O₂ e aumento da atividade das enzimas antioxidantes. Os pigmentos foram semelhantes em todos os tratamentos. O aumento da CEa promoveu estresse osmótico e oxidativo nas plantas de milho pelo aumento da concentração de íons Na⁺. A simbiose entre as plantas de milho com *G. albida* (M2) e as plantas inoculadas com *G. albida* mais a microbiota do solo (M3) favoreceram a redução de íons Na⁺, o ajuste osmótico, pelo aumento da concentração de osmoprotetores e pelo estresse antioxidativo, mediante ação das enzimas ascorbato peroxidase nas plantas dos tratamentos M1 e M2 e catalase nas plantas inoculadas com *G. albida* mais a microbiota do solo (M3).

Palavras-chave: Peroxidação lipídica. Variedade Ibra. Atenuadores. Reuso da água. Osmose reversa.

ARBUSCULAR MYCORRHYZAL FUNGUS *Gigaspora albida* (Gigasporaceae) ON THE BIOCHEMISTRY AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF CREOLE CORN (*Poaceae*) UNDER SALINE STRESS

ABSTRACT

The use of saline waste from reverse osmosis in irrigation has been a reality in the semi-arid region. However, the high salinity of this waste alters ionic homeostasis and induces cellular dehydration, impairing several biochemical processes. Arbuscular mycorrhizal fungi can attenuate the effects of salinity, enhancing the synthesis of osmolytes and the antioxidant system of the plant. In this perspective, the objective of the present study was to evaluate the effect of the arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Gigaspora albida* on the biochemistry and antioxidant system of Creole maize (Ibra variety) under different levels of electrical conductivity of saline waste. The research was conducted in a greenhouse, in a completely randomized design, in a 3 x 4 factorial scheme, with six replications. The treatments were three mycorrhizal conditions: (M1- control plants without fungal inoculum, M2- plants with fungal inoculum of *G. albida* and M3- plants with fungal inoculum of *G. albida* plus soil microbiota), combined with four levels of electrical conductivity of saline waste (ECw): 0.5, 1.8, 3.1 and 4.4 dS m⁻¹ (0.5 dS m⁻¹, supply water). Thirty days after imposition of saline stress, the following were evaluated: relative water content (TRA), total dry mass (MST), free proline (PL), total reducing sugars (AST), soluble proteins (PS), photosynthetic pigments, peroxide of hydrogen (H₂O₂), lipid peroxidation (MDA) and activity of antioxidant enzymes. The M1 plants were more efficient in reducing MDA. At levels 4.4 dS m⁻¹, there was a considerable increase in the amount of AST. In the M2 plants, there was an increase in the PL and AST content. In M3, under conditions of high ECw, there was maintenance of TRA, increase in dry biomass, intensification of PL and AST synthesis. With regard to the antioxidant system, there was a reduction in the H₂O₂ content and an increase in the activity of antioxidant enzymes. Pigments were similar in all treatments. The increase in ECw promoted osmotic and oxidative stress in corn plants by increasing the concentration of Na⁺ ions. The symbiosis between the corn plants with *G. albida* (M2) and the plants inoculated with *G. albida* plus the soil microbiota (M3) favored the reduction of Na⁺ ions, the osmotic adjustment, by increasing the concentration of osmoprotectors and the antioxidative stress, by the action of the enzymes ascorbate peroxidase in the plants of the M1 and M2 treatments and catalase in the plants inoculated with *G. albida* plus the soil microbiota (M3).

Keywords: Lipid peroxidation. Ibra variety. Attenuators. Water reuse. Reverse osmosis.

3.1 INTRODUÇÃO

As elevadas taxas de evaporação na região semiárida do Nordeste brasileiro, seguidas da precipitação de íons (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- e SO_4^{2-}), aumentam o acúmulo de sais presentes nas águas dos aquíferos e em áreas de formação de rochas cristalinas há uma intensificação deste fenômeno (ALMEIDA; FRISCHKORN, 2015). Nessas regiões, é frequente a presença de poços com algum grau de salinização, comumente utilizados para irrigação de culturas agrícolas, para consumo animal e humano. Para consumo humano, em algumas comunidades a água é tratada por osmose reversa, a fim de remover os sais (OLIVEIRA et al., 2018; DIAS et al., 2016). No entanto, para irrigação esse processo não é economicamente viável.

O rejeito salino obtido no tratamento das águas muitas vezes é descartado de forma inadequada e favorece o processo de salinização e sodificação dos solos onde são depositados, trazendo problemas ambientais irreversíveis (OLIVEIRA et al., 2018). Outra problemática é a falta de água em quantidade e qualidade disponível para irrigação, o que força a busca por alternativas que permitam o consumo eficiente da água salina sem redução da produtividade das culturas.

Na cultura do milho (*Zea mays* L.), os efeitos deletérios da salinidade já são consolidados na literatura para as diferentes fases de desenvolvimento. Na fase germinativa, o excesso de sais reduz a absorção de água e todo o processo germinativo e osmótico é afetado negativamente (PEREIRA et al., 2023). A qualidade das plântulas é afetada pela redução do crescimento da parte aérea e raiz, bem como da atividade fotossintética (PEREIRA et al., 2024; ZAHRA; RAZA; MAHMOOD, 2020). Nas fases posteriores de desenvolvimento da cultura, o aumento da concentração de sais na água de irrigação reduz a produção da biomassa, de espigas e a produtividade de grãos (RODRIGUES et al., 2020; SHAHZAD et al., 2019).

As variedades crioulas, por terem maior rusticidade e adaptabilidade às condições áridas e semiáridas, podem apresentar maior tolerância quando irrigadas com água salina. No entanto, também podem ocorrer diferenças em função dos genótipos de milho, da origem do rejeito salino e da concentração dos diferentes sais (MELO et al., 2020).

A colonização por FMA pode melhorar a tolerância das plantas aos estresses abióticos, por intermédio da ciclagem de nutrientes e da melhoria da qualidade do solo. A associação de FMA protege as plantas de milho sob altas temperaturas, a partir da regulação da heterogeneidade do fotossistema II (MATHUR; JAJOO, 2020). Em solo deficiente em zinco, a inoculação de com FMA é benéfica e promove maior crescimento e acúmulo de nutrientes no

milho (SABOOR et al., 2021). A interação de FMA atua com agentes atenuadores do estresse salino em milho, ajudando a melhorar a produtividade da cultura em solos afetados por sais (YANG et al., 2022; MOREIRA et al., 2019).

A relação mutualística FMA e as raízes das plantas regulam o crescimento e desenvolvimento de espécies de interesse agrônomo em virtude da associação simbiótica por meio de uma rede micelial de diferentes fungos nas raízes, o que promove maior absorção de nutrientes antes não disponíveis às plantas (BEGUM et al., 2019). Em contrapartida, a planta hospedeira fornece açúcares para os FMA (MATHUR; JAJOO, 2020). A associação do fungo micorrízico *Gigaspora albida* (NC Schenck & GS Sm.) em milho é relatada na literatura, mas os trabalhos são escassos para a cultura sob condições estresse salino (SILVA; MAIA; SILVA, 2019). A ação de atenuador do estresse salino em plantas é relatada por Souza et al. (2020) em *Hyptis suaveolens* L., favorecidas morfofisiologicamente e osmoticamente quando associadas a *G. albida*.

Entender a atuação de FMA no metabolismo das plantas sob estresse salino pode modificar práticas agrícolas visando ao melhor desempenho agrônomo das culturas. Porém, a salinidade também pode prejudicar o estabelecimento da simbiose entre os FMA e plantas (YANG et al., 2020). O entendimento deste processo pode regular práticas de manejo da água com níveis salinos, reduzir os custos para obtenção de água de qualidade como as obtidas em poços profundos, contribuir para uma melhor gestão das águas residuárias da osmose reversa e reduzir os impactos físico-químicos pelo descarte inadequado na superfície do solo (OLIVEIRA et al., 2018).

A hipótese da pesquisa é de que fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Gigaspora albida* e/ou *Gigaspora albida* mais a microbiota presente no solo podem mitigar o estresse salino em milho quando irrigado com rejeito salino da osmose reversa. Portanto, objetivou-se avaliar o efeito do fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Gigaspora albida*, na bioquímica e no sistema antioxidante de milho crioulo (variedade Ibra) sob diferentes níveis de condutividade elétrica do rejeito salino.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, Rio Grande do Norte/RN (5° 12' 2.03" S e 37° 19' 36.32" O). O ensaio foi conduzido em ambiente de casa de vegetação, no período de janeiro a março de 2022. A área de estudo apresenta dimensões de 126 m², pé direito de 4,0 m de altura, estruturação metálica, cobertura

de material plástico transparente e paredes de sombrite 50%. A temperatura média variou 37,4 a 31°C durante o dia, com umidade relativa de 98,3%.

A pesquisa foi desenvolvida em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 4, com seis repetições, contabilizando 72 parcelas experimentais. Os tratamentos foram constituídos de três condições micorrízicas: (M1- plantas controle, sem inóculo fúngico, M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida* e M3- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, em solo não esterilizado e, portanto, com microbiota natural do solo), combinados com quatro níveis de condutividade elétrica da irrigação (CEa): 0,5, 1,8, 3,1, e 4,4 dS m⁻¹ (condutividade 0,5 dS m⁻¹ é da água de abastecimento, utilizada como controle). As concentrações salinas da água de irrigação foram obtidas a partir da diluição de rejeito salino obtido por osmose reversa, com água de abastecimento, proveniente da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

Tabela 1. Caracterização físico-química do Latossolo vermelho distrófico.

pH (água)	CEes dSm ⁻¹	MO g/kg	P mg/dm ³	K ⁺ mg/dm ³	Na ⁺ mg/dm ³	Ca ²⁺ mg/dm ³	Mg ²⁺ mg/dm ³	Al ³⁺ mg/dm ³	H+Al cmolc/dm ³	SB cmolc/dm ³	t %	CTC %	V %	m %	PST %
7,4	0,80	31,9	112,2	791,7	160,1	6,5	4,8	0,0	0,0	14,0	14,56	14,0	100	0,0	5,5
			Areia			Silte			Argila						
						(g kg ⁻¹)									
			89,25			2,79			7,79						

MO - Matéria orgânica; CEes - condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

O material utilizado como substrato foi proveniente de solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura arenosa, coletado na camada superior de 0-30 cm de profundidade, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes da UFRSA, localizada na zona rural do município de Mossoró/RN. Amostras deformadas foram caracterizadas quanto aos atributos físicos e químicos seguindo metodologia da EMBRAPA (2009) (Tabela 1).

Tabela 2. Caracterização físico-química da água de abastecimento (ABT) e do rejeito salino concentrado (RSC).

	pH (H ₂ O)	CE _{es} (dSm ⁻¹)	K ⁺	Na ⁺	Ca ₂ ⁺	Mg ₂ ⁺	Cl	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	RAS
	-----mmol/L-----									
ABT	7,5	0,54	0,31	3,78	0,84	1,20	2,40	0,61	3,21	3,76
RSC	7,11	9,50	0,83	54,13	36,80	24,2	116	0	3,39	9,71

CE - Condutividade elétrica; RAS - Razão de adsorção de sódio.

O rejeito salino foi coletado na estação de tratamento de água do Assentamento Rural Jurema, localizado às margens da rodovia RN- 012, que liga Mossoró ao município de Tibau, RN. A Tabela 2 detalha as características do rejeito salino e da água de abastecimento.

As sementes crioulas (variedade Ibra) foram colhidas na cidade de Umarizal da safra de 2022, e os inóculos do FMA de *Gigaspora albida* foram cedidos pelo Laboratório de Fisiologia e Bioquímica de Plantas (LFBP) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN).

Para multiplicação do fungo, foi utilizado um substrato contendo solo e areia lavada na proporção 3:1 (v/v), previamente esterilizado em autoclave a 121 °C, 1 ATM por duas horas. Em casa de vegetação, o substrato esterilizado foi transferido para vasos de polietileno com capacidade para 8L, juntamente com 8 g de solo, contendo fragmentos de raízes colonizadas e propágulos da espécie *G. albida*, em seguida procedeu-se à semeadura de sementes de *Panicum milaceum* (painço), planta utilizada como hospedeira para promover a multiplicação dos FMA. As plantas foram irrigadas diariamente durante 60 dias; ao fim desse período, porções de 1,5 kg de solo contendo o inóculo foram coletadas e armazenadas em sacos plásticos sob refrigeração a 4°C, para uso posterior.

O substrato utilizado no experimento foi resultante de uma mistura de solo e composto orgânico N total 0,7% (p/p), P₂O₅ 0,5% (p/p), K₂O 0,5% (p/p), umidade máxima 50% (p/p), carbono orgânico total 15% (p/p), CTC 250, C/N máxima 18, pH 8,0 na proporção 2:1 (v/v), respectivamente. O mesmo substrato foi esterilizado, obedecendo ao mesmo critério citado anteriormente, com exceção de M3. Depois de esterilizado e seco, o substrato foi distribuído em vasos de polietileno com capacidade para 30 L. A inoculação com 100 g de solo contendo inóculo de FMA foi realizada antes da semeadura, posicionando-se cerca de 3 cm abaixo das sementes.

De modo a assegurar a população microbiana semelhante nos tratamentos M2 e M3, cada parcela de plantas sem micorrizas recebeu 100 ml do filtrado de solo bruto, sem esporos do FMA obtido a partir de uma suspensão de solo de 50 mL, passado em peneira com poros de 0,053 mm de diâmetro, em seguida filtrado duas vezes em papel-filtro qualitativo, para a eliminação de propágulos do FMA, conforme descrito em Freitas; Martins; Vieira (2004).

Antes da semeadura, as sementes foram previamente esterilizadas em solução de hipoclorito de sódio a 5% (v/v) durante cinco minutos, seguindo-se lavagem em água destilada. Cada vaso constou de seis sementes de milho. As mudas foram irrigadas diariamente com água de abastecimento até início das regas com rejeito salino. O desbaste ocorreu uma semana após a emergência, permanecendo duas plantas por vaso.

A irrigação com água salina teve início 20 dias após o desbaste, obedecendo a CE de cada tratamento. Para evitar o choque de salinidade, o estresse salino foi imposto com aplicação progressiva de água salina até alcançar a concentração desejada. As CE da água de irrigação de cada tratamento foram verificadas com um condutivímetro portátil (modelo Instrutherm CD-

860) a cada dois dias. As irrigações ocorreram manualmente. A determinação das lâminas diárias (LD) foi baseada no método de lisimetria de drenagem, calculada a cada dois dias, em lisímetros correspondentes a cada nível de salinidade. Para o cálculo, foi levado em consideração o volume aplicado (Va) via irrigação, por vaso, obtido pela diferença entre a lâmina anterior (La) aplicada menos a média do volume drenado (Vd), dividido pelo número de vasos (n), conforme equação 1:

$$Va = (La - Vd)/n \quad \text{Eq. 1}$$

Para manutenção das condições nutricionais, foram feitas duas aplicações de solução de Hoagland; Arnon (1950), em concentração total, com ausência de fósforo, em intervalos de 15 dias, contados após a germinação. Aos 34 dias, foi aplicada fertirrigação recomendada por Pinho et al. (2009) de 72,73 kg de N ha⁻¹ e 39,28 kg de KCl ha⁻¹, dividida em duas frações. As fontes dos fertilizantes utilizados foram ureia (45%) e cloreto de potássio (60%).

Aos 50 dias após emergência, início do pendoamento, as plantas foram coletadas e acondicionadas, conforme objetivo metodológico para processamento de análises.

Para determinação do teor relativo de água (TRA), folhas frescas foram coletadas, postas em sacos plásticos e acondicionadas em isopor com gelo. No laboratório, determinou-se o TRA a partir da obtenção do peso da massa fresca (MFP), massa túrgida (PMT) e massa seca (PMS) de discos foliares de área conhecida, segundo método descrito por França et al. (2017) e calculado por meio da fórmula: $TRA = \{[(PMF - PMS) / (PMT - PMS)] \times 100\}$, conforme citado por Weatherley (1950).

A prolina livre foi extraída conforme Alvarenga et al. (2011), a partir de 0,5g de folhas secas maceradas e homogeneizadas em 15 ml de ácido sulfosalicílico a 3%, durante cerca de três minutos. O extrato obtido foi centrifugado a 5000 rpm durante dez minutos. Em um tubo de ensaio, foram adicionados 3 ml do sobrenadante, acrescidos de 3 ml de ácido acético glacial e 3 ml de ninhidrina ácida. A mistura foi aquecida em banho-maria a 100 °C durante uma hora e posteriormente resfriada em banho de gelo, para finalizar a reação. Por fim, foram adicionados à mistura 6 ml de tolueno para separação das fases, sendo em seguida realizada a leitura pelo método colorimétrico de Bates et al. (1973), em espectrofotômetro (Micronal, Modelo B572) a 520 nm.

Para análise dos açúcares solúveis totais, seguiu-se o método de Dubois et al. (1956), com modificações. Os açúcares foram extraídos a partir de 0,1 g do material vegetal seco, macerado em 5 ml de etanol 80% e incubado a 95 °C em banho-maria, durante dez minutos, três vezes (extração tripla). Os extratos foram centrifugados a 3.000 rpm, durante dez minutos.

Em um tubo de ensaio, foram adicionados 2 ml do sobrenadante, acrescido de 2 ml de clorofórmio e 2 ml de água deionizada. A mistura foi posta em repouso até a separação das fases, composta por pigmentos no fundo do tubo e carboidratos dissolvidos em meio aquoso na parte superior. A quantificação foi determinada a partir da mistura de 500 µL da solução de carboidratos dissolvido em meio aquoso, acrescida de 500µL de fenol (5%) e 2,5 ml de ácido sulfúrico concentrado. A quantificação deu-se em espectrofotômetro (Micronal, Modelo B572) a 490 nm.

Para extração de proteínas solúveis, amostras de folhas frescas foram trituradas em N2 líquido, homogeneizadas em tampão fosfato de potássio 1 mM, suplementado com 1mM de EDTA e 3 mM de DTT. O extrato foi centrifugado e o sobrenadante, armazenado em ultra freezer a 80 °C. O teor de proteína foi determinado com base em curva padrão de albumina de soro bovino (BRADFORD, 1976).

Os pigmentos fotossintéticos (clorofila a, b e totais) foram determinados por meio de análise não destrutiva, com um medidor de clorofila portátil eletrônico ClorofiLOG Falker. As leituras foram realizadas em plantas no estágio de desenvolvimento VT (início do pendoamento), na quarta folha do cartucho, aos 50 dias após emergência.

A peroxidação lipídica foi determinada conforme Heath; Packer (1968), com modificações. Para isso, preparou-se um extrato a partir do macerado de 200 mg de biomassa fresca em ácido tricloroacético a 0,1% (TCA), juntamente com 20% de PVPP (polivinilpolipirrolidona). A mistura foi homogeneizada e centrifugada a 10.000 g por cinco minutos a 4 °C. Para determinação, uma alíquota de 0,250 µL do sobrenadante mais 1,0 mL de solução, contendo 0,5% de TBA e 20% de TCA, foi posta em banho-maria (95 °C) por 30 minutos e depois resfriada por dez minutos. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 535 e 600 nm.

O peróxido de hidrogênio (H₂O₂) foi determinado a partir do extrato da peroxidação lipídica. Uma alíquota de 200 µL do sobrenadante foi coletada e misturada com 200 µL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) e 800 µL de solução de iodeto de potássio. As amostras foram mantidas em gelo e no escuro por 60 minutos, depois foram mantidas em temperatura ambiente, para leitura em espectrofotômetro a 390 nm, conforme proposto por Alexieva et al. (2001).

A atividade das enzimas foi determinada a partir do extrato bruto de proteínas. Para determinar a atividade da Ascorbato peroxidase (APX), um mix foi preparado com 10 ml de tampão de fosfato de potássio a 80 mM (pH 7,0), 2 mL de ácido ascórbico a 5 mM e 2 mL de EDTA a 1 mM. A reação foi obtida a partir de 850µL do mix acrescido de 50 µL do extrato

vegetal e 100 μL de H_2O_2 a 1 mM. A leitura foi acompanhada durante um minuto a 290 nm em espectrofotômetro (Micronal, Modelo B572), os resultados foram expressos em $\mu\text{mol}/\text{mg}$ de proteínas/min, considerando que uma unidade de APX decompõe 1 μmol de H_2O_2 por mg de proteína em um minuto a pH 7,0, conforme Nakato; Asada (1981).

A atividade da catalase seguiu-se conforme Havir e Mchale (1987), com modificações de Azevedo et al. (1998). O ensaio foi realizado a 25 °C em uma solução contendo: 1,390 μL de tampão de fosfato de potássio a 100mM (pH 7,5), 50 μL de extrato vegetal e 60 μL de H_2O_2 . A reação foi iniciada pela adição do H_2O_2 , e a atividade foi acompanhada monitorando a degradação a 240 nm, durante um minuto. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol}/\text{mg}$ de proteínas/min.

A superóxido dismutase ocorreu conforme Giannopolitis; Ries (1977). Em tubos de ensaio, foram adicionados 3,32 ml de meio de reação (tampão de fosfato de potássio 50 mM (pH 6,0), EDTA a 1 mM e metionina 13 mM), acrescido de 400 μL de NBT a 750 μM , 80 μL de riboflavina a 1mM e 200 μL do extrato vegetal diluído (50 μL da amostra mais 150 μL do tampão de extração). Os tubos foram submetidos à iluminação com lâmpadas fluorescentes de 30 watts (30 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante cinco minutos. A leitura ocorreu em ambiente sem iluminação, iniciando com o branco escuro, seguido das amostras, em 560 nm. Os resultados foram expressos em U SOD g^{-1} MF.

A determinação dos nutrientes P, Na e K da folha, caule e raiz deu-se por meio de digestão seca de 0,500 mg de biomassa seca em ácido nítrico. Da solução ácida, determinou-se Na e K por espectrofotometria de chama, conforme Embrapa (2009).

Os resultados foram submetidos à análise de variância por meio do teste F e, quando significativos, se aplicou teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para o fator condição micorrízica e regressão para o fator condutividade elétrica da água de irrigação. Os dados que não apresentaram distribuição normal foram transformados em raiz quadrada – SQRT. As análises foram realizadas com auxílio do *software* estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014).

3.3 RESULTADOS

A interação da CE_a do rejeito salino da osmose reversa com a presença de FMAs foi significativa para o teor relativo de água ($p < 0,01$), prolina livre ($p < 0,01$), açúcares solúveis totais ($p < 0,01$), proteínas totais ($p < 0,01$) e sódio na folha ($p < 0,05$). Os teores de clorofila a, b e totais não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para teor relativo de água (TRA), Prolina livre (PL), Açúcares solúveis totais (CST), proteínas totais (PS_{totais}), acúmulo de sódio na folha (Na⁺ folha), de clorofila a (Chl_a) clorofila b (Chl_b), clorofilas totais (Chl_{totais}) de plantas de milho crioulo (*Zea mays* L.) em função da CEa e influência de FMA.

FV	GL	Teste F				
		MST	TRA	PL	AST	P _{Totais}
FMA	2	183,951	25,450 ***	67,493***	20,793***	0,259 ^{ns}
CEa (dS m ⁻¹)	3	44,448***	10,119**	129,665***	6,798*	2,068 ^{ns}
FMA x ECa	6	35,752***	8,351**	21,587***	12,242***	7,585**
		Na _(folha)	Chl _a	Chl _b	Chl _{totais}	
FMA	2	29,910***	1,341 ^{ns}	1,327 ^{ns}	0,596 ^{ns}	
CEa (dS m ⁻¹)	3	65,373***	2,437 ^{ns}	1,246 ^{ns}	1,884 ^{ns}	
FMA x ECa	6	2,862*	0,671 ^{ns}	0,652 ^{ns}	1,207 ^{ns}	

FV- Fonte de variação, GL- Graus de liberdade, FMA- Fungo micorrízico arbuscular, (CE_a) - Condutividade elétrica da água de irrigação, ^{ns} não significativo, ***, ** e * Significativo ao nível de probabilidade de 0,1, 1 e 5% (p<0,001), (p<0,01) e (p<0,5), respectivamente.

O teor relativo de água (TRA) nas plantas de M1 e M2 não foi afetado pelo aumento da CEa, com TRA médio de 61,3% e 54,1%, respectivamente. Nas plantas M3, o menor TRA foi obtido no nível de 2,8 dSm⁻¹, que reduziu para 58,1%. Entre plantas, o menor teor relativo de água (46,3%) foi obtido no nível 3,1 dSm⁻¹(46,3%) nas plantas M2 quando comparadas às plantas M1 e M2 (Figura 1A).

A maior média de massa seca total (MST) em plantas M1 (180,9 g planta⁻¹) foi obtida no nível 4,4 dS m⁻¹ (Figura 1B). Nas plantas M2, os níveis de CEa não promoveram diferença significativa de MST, com média de 121,8 g planta⁻¹. Nas plantas M3, o nível de 2,2 dS m⁻¹ promoveu maior acúmulo de MST, atingindo cerca de 233,9 g planta⁻¹. Entre plantas, os maiores resultados de MST foram obtidos para as plantas M3 nos níveis 1,8 dSm⁻¹ e 3,1 dS m⁻¹. Quando as plantas do tratamento M3, nos mesmos níveis de salinidade, foram comparadas às plantas M1, observou-se redução de MST de 32,8% e 23,4%, respectivamente; quando comparadas a M2, essa redução foi ainda maior, 66,8% e 128,4%, respectivamente (Figura 1B).

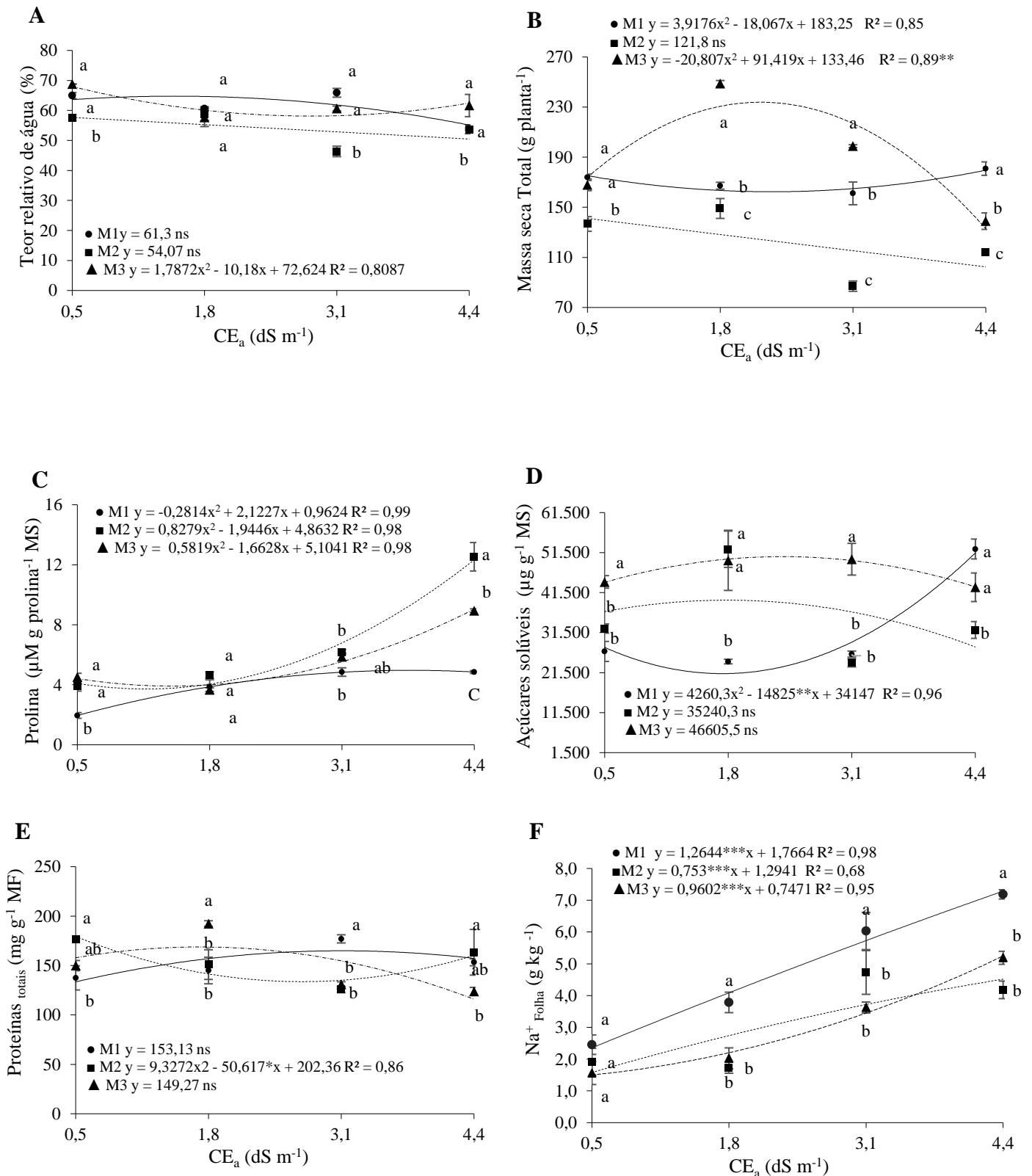


Figura 1. Teor relativo de água - *TRA* (A), massa seca total - *MST* (B) prolina livre - *PL* (C), açúcares solúveis totais - *AST* (D), proteínas solúveis totais - *PS* (E) e acúmulo de Na⁺ nas folhas - [Na⁺]_{folha} (F), em plantas de milho crioulo em função da CE_a (dS m⁻¹) e influência de FMA. (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico, ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). D, n= 3. Letras iguais não diferem estatisticamente para influência de FMA pelo teste Tukey (p<0.05).

As concentrações de prolina nas plantas M1 foram maiores no nível de 3,7 dS m⁻¹, correspondendo a 4,9 µM g prolina⁻¹ MS (Figura 1C). Nas plantas M2 e M3, os aumentos da concentração de prolina para 12,5 e 8,9 µM g prolina⁻¹ MS, respectivamente, foram obtidos no maior nível, 4,4 dS m⁻¹. As plantas de milho M2 e M3 obtiveram resultados superiores às plantas M1 no maior nível 4,4 dS m⁻¹, correspondendo a um aumento de 158 e 84%, respectivamente (Figura 1C).

A concentração de açúcares solúveis totais (AST) aumentaram nas plantas de M1 no nível de CEa 4,4 dSm⁻¹ para 52397,82 µg g⁻¹MS (Figura 1D). Para M2 e M3, não houve diferença entre os níveis de CEa, a concentração média obtida corresponde a 3524,0 e 46605,5 µg g⁻¹MS, respectivamente. As plantas M3 concentraram mais AST quando comparadas a M1 e M2, exceto no nível 4,4 dS m⁻¹. Os teores de AST das plantas de M1 irrigadas no nível 4,4 dS m⁻¹ aumentaram 63% em relação às plantas de M2 na mesma condição de CEa (Figura 1D).

Para proteínas solúveis totais (PS), verifica-se que os níveis de CEa não promoveram diferença estatística para as plantas M1 e M3 (Figura 1E). As concentrações médias foram de 153,13 e 149,27 mg g⁻¹ MF, respectivamente. Para as plantas M2, o nível 0,5 dS m⁻¹ promoveu maior incremento de PS, correspondendo a 176,2 mg g⁻¹ MF (Figura 1E). Entre os tratamentos micorrízicos, o maior acúmulo de PS foi expresso pelas plantas M3 e M1 nos níveis 1,8 e 3,1 dS m⁻¹, respectivamente. As plantas M3 aumentaram 32,7 e 27,4% o teor de proteínas em relação às plantas de M1 e M2, respectivamente, no mesmo nível de CEa, 1,8 (dSm⁻¹). As plantas M1 no nível 3,1 dS m⁻¹ aumentaram em 0,9% o teor de proteínas em relação à testemunha (Figura 1E).

O acúmulo de sódio (Na⁺) nas folhas de milho ocorreu de forma linear crescente para os três tratamentos (Figura 1F). Em M1, M2 e M3, o maior acúmulo de Na⁺ ocorreu no nível 4,4 dS m⁻¹, correspondendo a 7,18, 4,18 e 5,18 g kg⁻¹ de Na⁺, respectivamente. Entre plantas, as plantas M1 acumularam mais sódio em todos os níveis de CEa. As plantas M2 e M3 no maior nível, 4,4 dS m⁻¹, reduziram o acúmulo de Na⁺ nas folhas em 41,8% e 27,8%, quando comparadas às plantas M1 (Figura 1F).

A interação CEa (dS m⁻¹) e a presença de FMA influenciaram os teores de peróxido de hidrogênio (p<0,05), peroxidação lipídica (p<0,001), percentual de dano à membrana (p<0,01), atividade das enzimas superóxido dismutase (p<0,01), ascorbato peroxidase (p<0,01) e catalase (p<0,001) (Tabela 4).

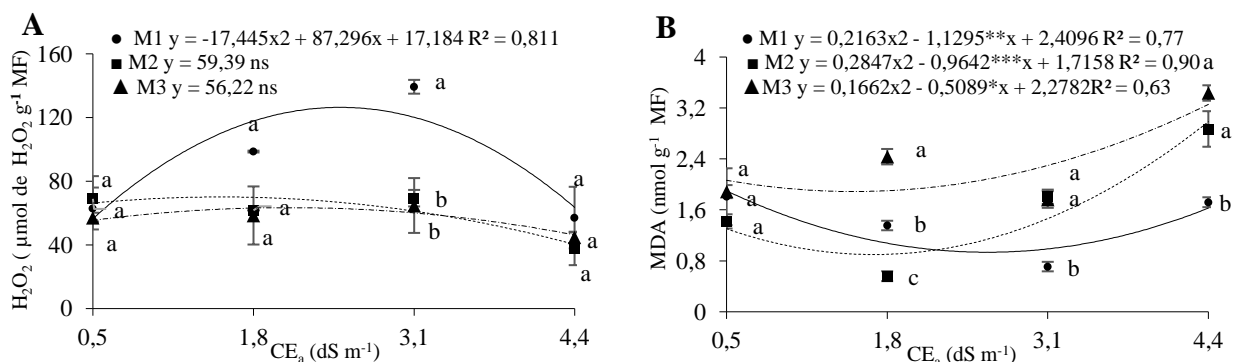
Tabela 4. Resumo da análise de variância para o acúmulo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), peroxidação lipídica (MDA), atividade da superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) de plantas de milho crioulo (*Zea mays* L.) em função da CEA e influência de FMA.

FV	GL	Teste F				
		H ₂ O ₂	MDA	SOD	APX ^a	CAT ^a
FMA	2	6,892*	32,366**	4,167*	18,027**	86,338**
CEa (dSm ⁻¹)	3	6,386*	32,502**	18,456**	28,339**	69,947**
FMA x EC _a	6	1,650*	11,137**	5,709**	5,267**	18,780**

^a Dados transformados em raiz quadrada-SQRT. FV- Fonte de variação; GL- Graus de liberdade; FMA- Fungo micorrízico arbuscular; CEa - Condutividade elétrica da água de irrigação. ^{ns} não significativo; *, **significativo a 5% e 1% de probabilidade.

Os maiores teores de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) para as plantas M1 foram obtidos no nível de 2,5 dS m⁻¹, correspondendo a 126,4 μmol de H₂O₂ g⁻¹ MF. Nas plantas M2 e M3, os níveis de CEa não promoveram diferença significativa, com médias de 59,39 e 56,224 μmol de H₂O₂ g⁻¹ MF, respectivamente. As maiores reduções da produção de H₂O₂ foram observadas para as plantas M2 e M3 no nível de 4,4 dS m⁻¹, correspondendo a 34 e 24%, respectivamente, em relação às plantas não inoculadas (M1). O teor de H₂O₂ aumentou em 100,8 e 115,1% nas plantas de M1 no nível 2,5 dS m⁻¹, em relação às plantas M2 e M3, respectivamente (Figura 2A).

A peroxidação lipídica ajustou-se ao modelo quadrático da regressão em todos os tratamentos. A maior concentração de malondialdeído (MDA), 1,81 μmol g MF, foi obtida nas plantas M1 no nível de CEa (0,5 dS m⁻¹). Para as plantas M2 e M3, o nível 4,4 dS m⁻¹ promoveu maior acúmulo de MDA, correspondente a 2,87 e 3,43 μmol g⁻¹ MF. Entre plantas, as maiores concentrações de MDA, 66,8% e 99,6%, foram obtidas nas plantas M3 no nível 4,4 dS m⁻¹, quando comparadas às plantas M1 (Figura 2B).



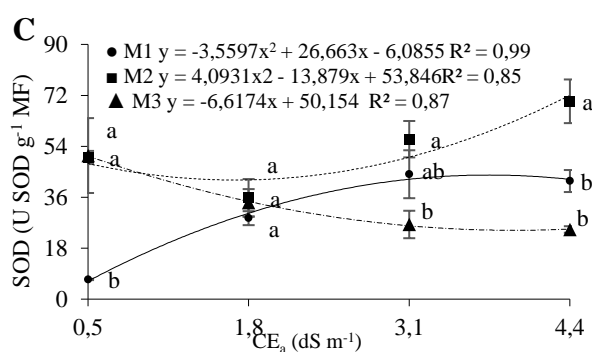


Figura 2. Acúmulo de peróxido de hidrogênio - H_2O_2 (A); peroxidação lipídica - *MDA* (B) e atividade da superóxido dismutase - *SOD* (C) de plantas de milho crioulo em função da CE_a (dSm^{-1}) e influência de FMA. (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico; ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*; ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). DP, n= 3. Letras iguais não diferem estatisticamente para influência de FMA pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

A maior atividade da superóxido dismutase (*SOD*) nas plantas M1 foi obtida no nível $3,7 dS m^{-1}$, correspondendo a $43,8 U SOD g^{-1} MF$. Nas plantas M2, a maior atividade *SOD*, $69,9 U SOD g^{-1} MF$, foi obtida no nível $4,4 dS m^{-1}$. Para as plantas M3, o aumento da CE_a para $4,4 dS m^{-1}$ reduziu para $24,6 U SOD g^{-1} MF$. As plantas M2 obtiveram resultados superiores a M1 e M3 nos níveis $3,1$ (28% e 114%) e $4,4 dS m^{-1}$ (67% e 184%) (Figura 2C).

A atividade da ascorbato peroxidase (*APX*) nas plantas M1 se comportou de forma quadrática, com maior atividade no nível $3,7 dS m^{-1}$ para $25,8 \mu mol. min^{-1}. mg^{-1} PT$. Nas plantas M2 e M3, a maior atividade foi obtida no nível de $4,4 dS m^{-1}$, correspondendo a $39,2$ e $46,8 \mu mol. min^{-1}. mg^{-1} PT$, respectivamente. Entre plantas, as M3 apresentaram maior atividade da *APX* nos níveis $0,5$ e $4,4 dS m^{-1}$, com ganho de $209,9\%$ e $108,1\%$ quando comparados às plantas M1 nos mesmos níveis (Figura 3A).

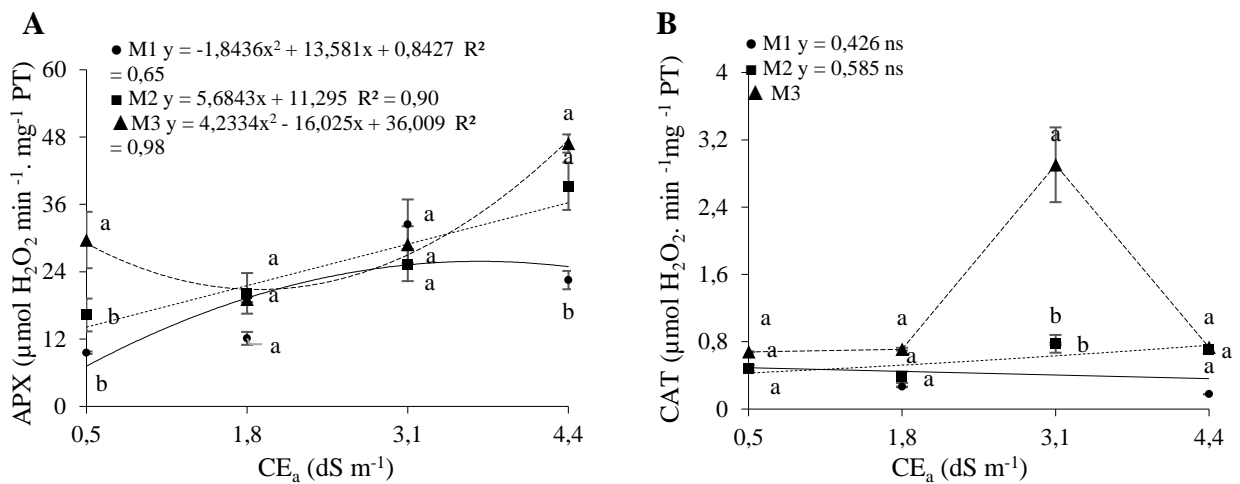


Figura 3. Atividade específica da ascorbato peroxidase - APX (A) e atividade catalase - CAT (B) de plantas de milho crioulo em função da CEa (dS m^{-1}) e influência de FMA. (● M1- plantas testemunha sem inóculo fúngico; ■ M2- plantas com inóculo fúngico de *G. albida*; ▲ M3 plantas com inóculo fúngico de *G. albida*, mais a microbiota do solo). DP, n= 3. Letras iguais maiúsculas não diferem estatisticamente para influência de FMA e minúsculas entre CEa (dS m^{-1}) pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

Na atividade catalase (CAT), as plantas de M1 e M2 não diferiram entre níveis de CEa com média de 0,426 e 0,585 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{PT}$, respectivamente. As plantas M3 não se ajustaram ao modelo quadrático e linear, com média de 0,708 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{PT}$ nos níveis 0,5, 1,8 e 4,4 dS m^{-1} e média de 2,903 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{PT}$ no nível 3,1 (Figura 3B). Entre plantas, a maior atividade catalase foi obtida nas plantas M3 (2,903 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{PT}$), com ganho 3,7 vezes maior quando comparadas às plantas M1 no mesmo nível, 3,1 dS m^{-1} (Figura 3B).

3.4 DISCUSSÃO

O efeito osmótico, gerado pela presença de sais na água de irrigação, reduz o potencial hídrico do solo e desencadeia a desidratação celular das plantas pela dificuldade de absorção de água, constituindo um indicativo de estresse (ANDRADE et al., 2023; PEREIRA et al., 2023). Os resultados mostraram que os teores relativos de água nas células vegetais foram mantidos em todos os níveis de CEa nas plantas não inoculadas e inoculadas com *G. albida*. A associação com a *G. albida* (M2) no nível 3,1 dS m^{-1} não foi suficiente para manter elevado o teor relativo de água nas folhas.

A manutenção do teor relativo de água nas plantas de milho pode ter ocorrido em resposta ao ajuste osmótico nas células vegetais. O ajuste osmótico ocorre por meio do acúmulo

de osmólitos que atuam como sinalizadores e/ou osmoprotetores ao estresse, como, por exemplo, o aminoácido prolina (CATÃO et al., 2020). Plantas de milho inoculadas com *G. albida* concentraram prolina em maior quantidade a partir do nível 3,1 dS m⁻¹, seguidas das plantas inoculadas com *G. albida* mais a microbiota no solo e das não inoculadas.

Em resposta ao estresse salino, a prolina, um soluto orgânico produzido pelas plantas, desempenha papel significativo na manutenção do ajuste osmótico a fim de reduzir os efeitos negativos da presença de sais nas células vegetais (DAR et al., 2023). A produção de prolina, mesmo que em baixa quantidade, é suficiente para indicar que está ocorrendo o ajuste osmótico em milho (PEREIRA et al., 2023) e no presente trabalho foi potencializada na presença de *G. albida*. Resultado semelhante foi obtido por Souza et al. (2020), que verificaram que em *H. suaveolens* houve aumento da concentração de prolina em condições de estresse salino sob influência de *G. albida*.

No nível 4,4 dS m⁻¹, as plantas de milho sem *G. albida* (M1) responderam com aumento da concentração de açúcares solúveis totais (AST), que, em conjunto com o aumento de prolina, pode ter contribuído para a manutenção do teor de água nas folhas e promoção de maior acúmulo de massa seca total na maior condição de estresse. De acordo com Iqbal et al. (2020), o acúmulo de açúcares é uma das respostas estratégicas de tolerância ao estresse salino em milho, o que explica acúmulo elevado desse carboidrato nas plantas dessa espécie.

Na ausência de *G. albida* (M1), o aumento de AST não ocorre nas condições de estresse menos severo (1,8 e 3,1 dS m⁻¹), o que indica a necessidade de um estresse mais elevado para que ocorra o ajuste osmótico por meio do incremento na concentração de AST. Por outro lado, a produção de AST foi maior nas plantas inoculadas com *G. albida* mais a microbiota no solo até o nível 3,1 dS m⁻¹. Esse resultado indica que em condições de salinidade mais elevada as plantas de milho sob efeito do FMA (M2 e M3) tiveram a síntese de prolina mais acentuada, provavelmente devido ao estresse mais severo. A prolina, além de exercer papel de osmoprotetor, é considerada um indicador de estresse (CARDOSO; MONTEIRO, 2021; SANNAZZARO et al., 2006), o que explica sua maior expressão nos níveis mais altos de salinidade.

A colonização com FMA resulta no acúmulo de metabólitos que induzem o sistema de defesa das plantas. Para o milho da variedade Ibra em condições de estresse salino, o ajuste osmótico é uma resposta bioquímica importante empregada pelas plantas, principalmente quando colonizada por *G. albida* e *G. albida* mais a microbiota do solo. A principal estratégia adotada pela planta quando associada ao FMA foi de reduzir o nível de Na⁺ nas folhas na

comparação a M1 e aumentar concentração de osmólitos, como açúcares solúveis totais, até 3,1 dS m⁻¹, e prolina, a partir de 3,1 dS m⁻¹.

A redução do acúmulo de AST nas plantas inoculadas *G. albida* e *G. albida* mais a microbiota do solo, no nível 4,4 dS m⁻¹, pode ter ocorrido em resposta ao redirecionamento dos açúcares para a produção de outros metabólitos primários, como observado em milho por Silva; Maia; Silva (2019), os quais relatam que plantas de milho inoculadas *G. albida* não promoveram aumento da concentração de AST quando comparadas às plantas não micorrízicas. Esse fato pode indicar que a planta não estava sob estresse osmótico, razão pela qual não precisou se autorregular osmoticamente pela produção de AST. Em *H. suaveolens* associadas com *G. albida* sob estresse salino severo (105 mM), ajustou-se osmoticamente com o aumento da concentração de AST (SOUZA et al., 2020).

O estresse oxidativo é outro efeito negativo do excesso de sais nas células vegetais. A produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (EROs), como o peróxido de hidrogênio, degenera as membranas citoplasmáticas, podendo causar a morte celular (CATÃO et al., 2020). As plantas inoculadas com *G. albida* (M2) e *G. albida* mais a microbiota do solo (M3) apresentaram menor acúmulo de peróxido de hidrogênio, principalmente no nível 3,1 dS m⁻¹. É possível que a quantidade de peróxido de hidrogênio produzido não tenha sido suficiente para promover resposta eficiente das enzimas antioxidantes, o que justificaria o aumento da produção de malondialdeído (MDA) nesses tratamentos.

Por outro lado, a atividade da ascorbato peroxidase (APX) foi mais eficiente quando as plantas de milho foram inoculadas com *G. albida* (M2) e *G. albida* mais a microbiota do solo (M3) no nível 4,4 dS m⁻¹. Ainda assim, o aumento da atividade dessa enzima não foi suficiente para reduzir a peroxidação lipídica (MDA).

Por sua vez, na ausência de *G. albida* (M1), a redução da peroxidação lipídica nas plantas de milho no nível 3,1 dS m⁻¹ possivelmente está associada à atividade das enzimas antioxidantes (APX). Enquanto superóxido dismutase (SOD) produzia peróxido de hidrogênio pela dismutação do ânion-radical superóxido (O²⁻), a enzima APX foi a responsável por catalisar a degradação dessa molécula em água e oxigênio, razão pela qual a integridade das membranas foi mantida no nível 3,1 dS m⁻¹.

A associação de fungos micorrízicos arbusculares na produção de metabólitos primários e secundários das plantas já é relatada na literatura para diversos cereais (KHAN; SHAH; HUI, 2022). No entanto, as respostas das plantas diferem de acordo com o gênero ou até mesmo a espécie de FMA utilizado. De acordo com Yang et al. (2022), alterações dos perfis metabólicos em milho, inoculados com *Glomus sp.* e *T. longibrachiatum* sob estresse salino, aumentaram o

desempenho das plantas de milho. Por outro lado, o gênero *Acaulospora* spp. favoreceu o aumento de AST em milho (SANTOS et al., 2020). A presença de FMA *Fuscutata heterogama* e *Claroideoglossum etunicatum* promoveu aumento da concentração de prolina em mudas de *L. alba* sob estresse salino (PALHARES NETO et al., 2023).

O aumento da eficiência do ajuste osmótico promovido nas plantas inoculadas com *G. albida* (M2) e nas plantas inoculadas com *G. albida* mais a microbiota do solo (M3) pode ter induzido a redução do estresse oxidativo e, por consequência, a redução do peróxido de hidrogênio foi identificada no nível 3,1 dS m⁻¹. No entanto, o estresse oxidativo foi suficiente para induzir o sistema de defesa antioxidante, observado no aumento da atividade da ascorbato peroxidase no nível salino mais alto (4,4 dS m⁻¹) nas plantas M2 e M3, bem como da catalase no nível salino 3,1 dS m⁻¹ nas plantas M3.

3.5 CONCLUSÕES

O aumento da CEa promove estresse osmótico e oxidativo nas plantas de milho pelo aumento da concentração de íons Na⁺.

A simbiose entre as plantas de milho com a *G. albida* (M2) e nas plantas inoculadas com *G. albida* mais a microbiota do solo (M3) favorece a menor captação de íons Na⁺; o ajuste osmótico, pelo aumento na concentração de osmoprotetores, além de reduzir o estresse oxidativo, pela ação das enzimas ascorbato peroxidase nas plantas de M2 e M3 e catalase nas plantas inoculadas com *G. albida* mais a microbiota do solo (M3).

Considerando esses resultados, propomos fortemente que níveis mais elevados de sal causam estresse oxidativo nas células e podem provocar danos na membrana a partir da produção de ROS.

REFERÊNCIAS

ALEXIEVA V.; SERGIEV I.; MAPELLI S.; KARANOV E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant Cell Environ.**, v. 24 p. 1337–1344. 2021.

ALMEIDA, J. R. F.; FRISCHKORN, H. Salinization mechanisms of a small alluvial aquifer in the semiarid region of northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 643-649, 2015.

ALVARENGA, I. C. A.; QUEIROZ, G. A.; HONÓRIO, I. C. G.; VALADARES, R. V.; MARTINS, E. R. Free proline in *Lippia sidoides* Cham. under water stress before harvest. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, p. 539-541, 2011.

ANDRADE, M. D. S.; SOUSA, J. F. D.; MORAIS, M. B. D.; ALBUQUERQUE, C. C. D. Saline pisciculture effluent as an alternative for irrigation of *Croton blanchetianus* (Euphorbiaceae). **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 27, n. 4, p. 256-263, 2023.

ANDRADE, W. L.; DE MELO, A. S.; MELO, Y. L.; SÁ, F. V.S.; ROCHA, M. M.; SILVA OLIVEIRA, A. P. S.; FERNANDES JÚNIOR, P. I. *Bradyrhizobium* inoculation plus foliar application of salicylic acid mitigates water deficit effects on cowpea. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 656-667, 2021.

AZEVEDO, R. D.; ALAS, R. M.; SMITH, R. J.; LEA, P. J. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v. 104, n. 2, p. 280-292, 1998.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.

BEGUM, N.; QIN, C.; AHANGER, M. A.; RAZA, S.; KHAN, M. I.; ASHRAF, M.; AHMED, N.; ZHANG, L. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 1068, 2019.

BRADFORD, M. M. A. Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

CARDOSO A. A. S.; MONTEIRO, F. A. Sulfur supply reduces barium toxicity in Tanzania guinea grass (*Panicum maximum*) by inducing antioxidant enzymes and proline metabolism, **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 208, p. 111643, 2021.

CATÃO, H. C. R. M.; CAIXETA, F.; LOPES, A. M.; NERY-SILVA, F. A.; SÁ JÚNIOR, A. D. Antioxidant activity and physiological performance of popcorn seed after saline stress and analysis of seedling images. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, 2020.

DAR, M. H.; RAZVI, S. M.; SINGH, N.; MUSHTAQ, A.; DAR, S.; HUSSAIN, S. Arbuscular mycorrhizal fungi for salinity stress: Anti-stress role and mechanisms. **Pedosphere**, v. 33, n. 1, p. 212-224, 2023.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; NETO, O. N. S.; QUEIROZ, Í. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 151-162.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. T.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

FRANÇA, P. H. T.; DA SILVA, E. C. A.; SILVA, T. C.; BRASIL, N. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Análise fisiológica em mudas de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess) submetidas ao déficit hídrico. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 4, p. 264-269, 2017.

FREITAS M. S. M.; MARTINS, M. A.; VIEIRA, I. J. C. Produção e qualidade de óleos essenciais de *Mentha arvensis* em resposta à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 9, p. 887-894, 2004.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES S.K., Superoxide Dismutases: I. Occurrence in Higher Plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 309–314, 1977.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and Developmental Characterization of Multiple Forms of Catalase in Tobacco Leaves. **Plant Physiology**, v. 84, n. 2, p. 450–455, 1987.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 125, p. 850-857, 1968.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water-culture method for growing plants without soil. **Circular. California agricultural experiment station**, v. 347, n. 2nd edit, 1950.

IQBAL, S.; HUSSAIN, S.; QAYYAUM, M. A.; ASHRAF, M. The response of maize physiology under salinity stress and its coping strategies. **Plant stress physiology**, p. 1-25, 2020.

KHAN, Y.; SHAH, S.; HUI, T. The Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Influencing Plant Nutrients, Photosynthesis, and Metabolites of Cereal Crops—A Review. **Agronomy**, v. 12, n. 9, p. 2191, 2022.

MATHUR, S.; JAJOO, A. Arbuscular mycorrhizal fungi protects maize plants from high temperature stress by regulating photosystem II heterogeneity. **Industrial Crops and Products**, v. 143, n. 111934, 2020.

MELO, L. D. F. A.; MELO JUNIOR, J. L. A.; SANTOS, E. L.; SOARES, L. B. F.; PAES, R. A.; CHAVES, L. F. G.; COSTA, J. F. O.; ASSIS, W. O. Physiological potential of maize under water and salt stress. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 32076-32086, 2020.

MOREIRA, H.; PEREIRA, S. I.; VEGA, A.; CASTRO, P. M.; MARQUES, A. P. Synergistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting bacteria benefit maize growth under increasing soil salinity. **Journal of Environmental Management**, v. 257, p. 109982, 2020.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen Peroxide is Scavenged by Ascorbate-specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts, **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867–880, 1981.

OLIVEIRA, A. M.; DIAS, N. D. S.; GURGEL, G. D. S.; RABELO, L. N.; MELO, M. D. S.; DOS SANTOS, M. V. Physicochemical impacts of brine waste disposal in Neosol and Chernozem in the west of Rio Grande do Norte, Brazil. **Irriga**, v. 23, n. 3, p. 413-425, 2018.

PALHARES NETO, L.; SILVA-SANTOS, L.; SOUZA, L. M.; MORAIS, M. B.; CORTE-REAL, N.; MONTE JÚNIOR, I. P. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on morphophysiological responses and secondary metabolism in *Lippia alba* (Verbenaceae) under different water regimes. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 42, p. 827-841, 2023.

PEREIRA, K. T. O.; TORRES, S. B.; PAIVA, E. P.; ALVES, T. R. C.; SOUZA NETO, M. L.; VENÂNCIO, J. B.; DA SILVA SÁ, F. V. Discontinuous Hydration Cycles with Elicitors Improve Germination, Growth, Osmoprotectant, and Salt Stress Tolerance in *Zea mays* L. **Agriculture**, v. 13, n. 964, p. 1-14, 2023.

KAYA, C.; SONMEZ, O.; AYDEMIR, S.; ASHRAF, M.; DIKILITAS, M. Exogenous application of organic acids in maize seedlings under salt stress. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. 250-727, 2024.

VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. D. A. R.; DOS REIS, M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009.

RODRIGUES, V. D. S.; BEZERRA, F. M.; SOUSA, G. G. D.; FIUSA, J. N.; LEITE, K. N.; VIANA, T. V. D. A. Yield of maize crop irrigated with saline Waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 101-105, 2020.

LARA, T. S.; CORREIA, T. S.; DA SILVA SOUSA, L. Influência da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nativos da Savana no desenvolvimento do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Ciência Amazônica**, v. 9, n. 4, p. 21-28, 2020.

SHAHZAD, H.; ULLAH, S.; IQBAL, M.; BILAL, H. M.; SHAH, G. M.; AHMAD, S.; AHMAD, I. Salinity types and level-based effects on the growth, physiology and nutrient contents of maize (*Zea mays*). **Italian Journal of Agronomy**, v. 14, n. 4, p. 199-207, 2019.

SILVA, F. A.; MAIA, L. C.; SILVA, F. S. B. Arbuscular mycorrhizal fungi as biotechnology alternative to increase concentration of secondary metabolites in *Zea mays* L. **Brazilian Journal of Botany**, v. 42, p. 189-193, 2019.

SOUZA, M. C. G. D.; MORAIS, M. B. D.; ANDRADE, M. D. S.; VASCONCELOS, M. A. D.; SAMPAIO, S. S.; ALBUQUERQUE, C. C. D. Mycorrhization and saline stress response in *Hyptis suaveolens*. **Ciência Rural**, v. 50, n. 6, e20190533, 2020.

YANG, R.; QIN, Z.; WANG, J.; ZHANG, X.; XU, S.; ZHAO, W.; HUANG, Z. The Interactions between Arbuscular Mycorrhizal Fungi and *Trichoderma longibrachiatum* Enhance Maize Growth and Modulate Root Metabolome under Increasing Soil Salinity. **Microorganism**, v. 10, n. 5, p. 1042, 2022.

ZAHRA, N.; RAZA, Z. A.; MAHMOOD, S. Effect of Salinity stress on various growth and physiological attributes of two contrasting maize genotypes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, e20200072, 2020