

ORIGINAL PAPER**Trocas gasosas e crescimento de algodoeiro de fibra colorida submetido ao estresse salino e à aplicação foliar de H₂O₂**

Jackson Silva Nóbrega^{1*}, Lauriane Almeida dos Anjos Soares², Geovani Soares de Lima², Paulo Vinícius de Oliveira Freire², Reynaldo Teodoro de Fátima², Maila Vieira Dantas³, Iara Almeida Roque³ & Hans Raj Gheyi^{3,4}

¹Universidade Federal do Oeste do Pará, Rurópolis, Pará, Brasil

²Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil

³Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil

⁴Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil

Resumo: O algodoeiro é uma das principais culturas agrícolas do mundo, sendo muito cultivada no Nordeste brasileiro. No entanto, sua exploração no semiárido do Nordeste brasileiro é limitada pela salinidade da água de irrigação, sendo necessário a adoção de estratégias capazes de atenuar os efeitos do estresse salino, como a aplicação foliar de peróxido de hidrogênio. O objetivo desse trabalho foi avaliar as trocas gasosas e o crescimento de algodoeiro de fibra naturalmente colorida ‘BRS Jade’ submetido ao estresse salino e aplicação foliar de peróxido de hidrogênio. O experimento foi realizado em condições de campo no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil. O delineamento estatístico foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 5 × 5, sendo cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,3; 2,0; 3,7; 5,4; e 7,1 dS m⁻¹) e cinco concentrações de peróxido de hidrogênio – H₂O₂ (0, 25, 50, 75 e 100 µM). A salinidade da água de irrigação reduziu as trocas gasosas e o crescimento de algodoeiro ‘BRS Jade’. A aplicação foliar de H₂O₂ nas concentrações de 62,5 e 50 µM promoveu efeito benéfico na condutância estomática e a transpiração das plantas de algodoeiro sob CEa de 0,3 dS m⁻¹. A concentração interna de CO₂ e a taxa de assimilação de CO₂ foram maiores nas plantas sem aplicação de H₂O₂ sob os níveis de CEa de 0,3 e 3,7 dS m⁻¹, respectivamente. A concentração de 100 µM de H₂O₂ em condições sem estresse salino (CEa de 0,3 dS m⁻¹) estimulou o crescimento em altura de planta e a área foliar do algodoeiro ‘BRS Jade’.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L., aclimação, salinidade, Semiárido.

* Autor correspondente: E-mail: jacksonnobreaga@hotmail.com

Editores: Mairton Gomes da Silva & Petterson Costa Conceição Silva

Recebido em: 12 de agosto de 2024

Aceito em: 21 de janeiro de 2026

Gas exchange and growth of colored cotton subjected to saline stress and foliar application of H₂O₂

Abstract: Cotton is one of the main agricultural crops in the world, being widely cultivated in the Brazilian Northeast. However, its exploration in the semi-arid region of Northeastern Brazil is limited by the salinity of the irrigation water, making it necessary to adopt strategies capable of mitigating the effects of saline stress, such as the foliar application of hydrogen peroxide. The objective of this study was to evaluate gas exchange and growth of naturally colored cotton fiber ‘BRS Jade’ subjected to saline stress and foliar application of hydrogen peroxide. The experiment was carried out under field conditions at the Center for Agro-Food Science and Technology of the Federal University of Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brazil. The experimental design was in randomized complete block with a 5 × 5 factorial scheme, consisting of five levels of irrigation water electrical conductivity – EC_w (0.3, 2.0, 3.7, 5.4, and 7.1 dS m⁻¹) and five concentrations of hydrogen peroxide – H₂O₂ (0, 25, 50, 75, and 100 µM). The salinity of the irrigation water reduced gas exchange and the growth of ‘BRS Jade’ cotton. Foliar application of H₂O₂ at concentrations of 62.5 and 50 µM promoted a beneficial effect on stomatal conductance and transpiration of cotton plants under EC_w of 0.3 dS m⁻¹. The internal CO₂ concentration and CO₂ assimilation rate were higher in plants grown without H₂O₂ application at the EC_w levels of 0.3 and 3.7 dS m⁻¹, respectively. The 100 µM concentration of H₂O₂ stimulated the growth in plant height and leaf area of the cotton plant ‘BRS Jade’ under conditions without saline stress (EC_w 0.3 dS m⁻¹).

Keywords: *Gossypium hirsutum* L., acclimatization, salinity, Semiarid.

Introdução

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é uma oleaginosa de grande relevância para o semiárido nordestino, sendo uma das principais culturas exploradas na região, onde o Brasil é o segundo maior produtor mundial. Em 2023, a produção brasileira foi de 2,83 mil toneladas de algodão em pluma, com destaque para as regiões Sul e Sudeste que detêm, respectivamente, 42,9 e 25,5% da produção nacional, seguidos pelo Nordeste, que é responsável por 11,1% (CONAB, 2023).

Apesar de ser uma espécie que apresenta alta adaptabilidade às condições semiáridas, à escassez hídrica encontrada na região Nordeste em função da irregularidade na distribuição de chuvas e elevadas taxas de evaporação, faz com que os agricultores façam uso da irrigação para atender à necessidade hídrica da cultura (Cavalcante et al., 2021).

Diante do cenário de escassez hídrica, os agricultores acabam utilizando águas subterrâneas que, em muitos casos, possuem altos teores de sais devido à

composição natural do solo, o que pode promover uma série de distúrbios nos processos bioquímicos e fisiológicos das plantas (Ribeiro et al., 2020; El-Sattar e Abdelhameed, 2024). O excesso de sais na água e/ou no solo reduz o potencial osmótico da solução do solo, limitando a capacidade de absorção de água pela planta. Além disso, promove efeitos iônicos que resultam em toxicidade por íons específicos e desbalanço de nutrientes (Truşcă et al., 2023; Fareed et al., 2024).

Assim, é necessário o uso de estratégias para atenuar o efeito deletério do estresse salino, tal como a aplicação foliar de peróxido de hidrogênio (H₂O₂). Este composto, um subproduto da fotossíntese liberado pelo sistema antioxidante de defesa da planta, pode atuar em baixas concentrações na sinalização e expressão de genes de defesa sob condições de estresse, como o salino (Veloso et al., 2023). Dentre os efeitos, o H₂O₂ pode aumentar a atividade enzimática e a produção de compostos e solutos antioxidantes, melhorando o sistema de defesa aos efeitos

deletérios do estresse salino (Silva et al., 2019a; Dantas et al., 2022). O efeito benéfico da aplicação de H_2O_2 é relatado para outras culturas, como em melão (Santos et al., 2019), em pepino (Zhang et al., 2021), em algodoeiro nas cultivares ‘BRS Rubi’ e ‘BRS Topázio’ (Veloso et al., 2023), em pimentão (Aragão et al., 2023) e em tomate cereja (Nóbrega et al., 2024).

Assim, o objetivou-se com o presente estudo avaliar as trocas gasosas e o crescimento do algodoeiro de fibra naturalmente colorida, submetida ao estresse salino e à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio em ambiente semiárido.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no período de julho a agosto de 2019, em condições de

campo, no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Pombal (6° 45’ 57” de latitude Sul, 37° 48’ 00” de longitude e uma altitude de 157 m), Paraíba, Brasil. Foram utilizados vasos adaptados como lisímetros, com capacidade de 20 L. Foi utilizado o genótipo de algodoeiro naturalmente colorido ‘BRS Jade’, sendo realizado o semeio em julho, colocando duas sementes por vaso e após 10 dias da emergência das plântulas foi realizado o desbaste, deixando a mais vigorosa.

As condições meteorológicas durante a condução do experimento encontram-se na Figura 1. Os dados foram coletados de uma estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

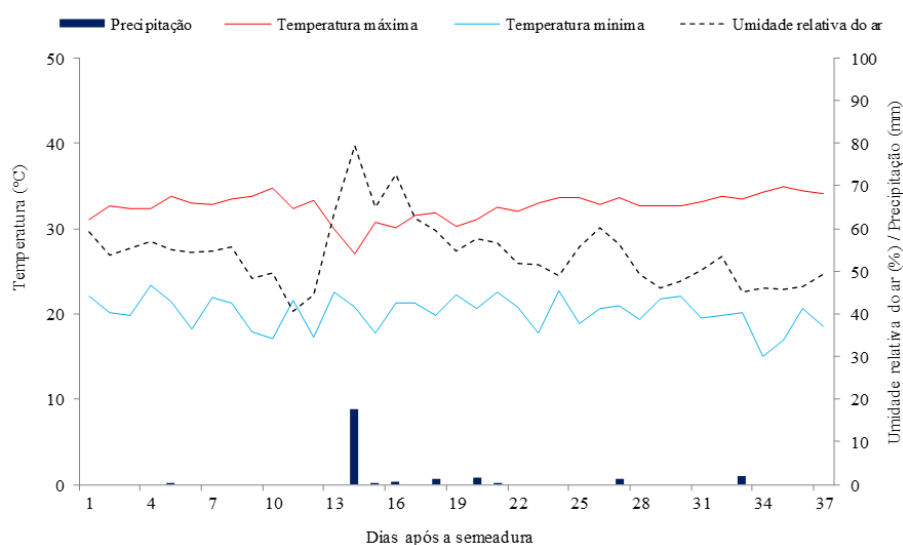


Figura 1. Dados meteorológicos coletados durante a condução do experimento.

A pesquisa foi realizada adotando-se o delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 5×5 , correspondendo a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,3; 2,0; 3,7; 5,4; e 7,1 $dS\ m^{-1}$) e cinco concentrações de peróxido de hidrogênio – H_2O_2 (0, 25, 50, 75 e 100 μM), com três repetições. Os níveis de CEa a partir de 2,0 $dS\ m^{-1}$ foram definidos com base no estudo de Lima et al. (2018), no

qual foram utilizados níveis salinos semelhantes no cultivo do algodoeiro, enquanto as concentrações de H_2O_2 foram baseadas no estudo de Silva et al. (2019b) com a cultura da graviola.

Os lisímetros foram preenchidos com uma camada drenante de 0,5 kg de brita. A base de cada unidade experimental foi perfurada e acoplada a um dreno com 15 mm de diâmetro. Em seguida, os lisímetros foram preenchidos com solo do tipo

Neossolo Regolítico (Entisol) *Eutrófico*, de textura franco-arenosa, coletado na profundidade de 0-20 cm em uma área agrícola do município de Pombal-PB. Os

atributos físico-hídricos e químicos do solo (Tabela 1) foram determinados conforme a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017).

Tabela 1. Atributos físico-hídricos e químicos do solo utilizado no experimento.

Características químicas								
pH (H ₂ O) (1:2,5)	M.O. (g kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺
						(cmol _c kg ⁻¹)		
5,58	2,93	39,2	0,23	1,64	9,07	2,78	0,00	8,61
Características químicas				Características físicas				
CE _{es}	CTC	RAS	PST	Fração granulométrica (g kg ⁻¹)			Umidade (dag kg ⁻¹)	
(dS m ⁻¹)	(cmol _c kg ⁻¹)	(mmol L ⁻¹) ^{0,5}	(%)	Areia	Silte	Argila	33,42 ¹	1519,5 ²
2,15	22,33	0,67	7,34	572,70	100,70	326,60	25,91	12,96

pH – potencial hidrogeniônico; M.O – matéria orgânica, obtida por digestão úmida Walkley-Black; Ca²⁺ e Mg²⁺ – cálcio e magnésio extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na⁺ e K⁺ – sódio e potássio extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 M pH 7,0; CE_{es} – condutividade elétrica do extrato de saturação; CTC – capacidade de troca catiônica; RAS – razão de adsorção de sódio do extrato de saturação; PST – percentagem de sódio trocável; ¹ e ² – potenciais nos quais os valores de umidade foram obtidos na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, respectivamente.

A adubação com N, P e K foi realizada conforme recomendação de Novais et al. (1991) para ensaios em vasos, utilizando-se 100, 300 e 150 mg kg⁻¹ de solo de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Como fontes de N, P e K, utilizaram-se ureia, fosfato monoamônico e cloreto de potássio, respectivamente. Os micronutrientes foram aplicados via foliar a cada 10 dias após a emergência, na concentração de 1,5 g L⁻¹ do produto comercial Dripsol Micro Rexene® Equilíbrio (Vitas Brasil, Candeias, Bahia, Brasil), contendo: 1,2% de Mg, 0,85% de B, 3,4% de Fe, 4,2% de Zn, 3,2% de Mn, 0,5% Cu e 0,06% de Mo.

As águas de irrigação foram preparadas a partir da adição dos sais NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O à água proveniente do sistema de abastecimento local (CEa de 0,3 dS m⁻¹), conforme os tratamentos pré-estabelecidos. As quantidades de sais foram determinadas considerando-se a relação entre a CEa e a concentração de sais (Richards, 1954), de acordo com a Equação 1.

$$Q \approx 10 \times \text{CEa} \quad (1)$$

Em que: Q – soma dos cátions, mmol_c L⁻¹; CEa – condutividade elétrica da água para irrigação, dS m⁻¹.

A irrigação foi realizada com o volume correspondente ao obtido pelo balanço de água, sendo determinado conforme a Equação 2.

$$VI = \frac{(V_a - V_d)}{(1 - FL)} \quad (2)$$

Em que: VI – volume de água aplicado a cada irrigação, mL; V_a – volume de água aplicado na irrigação anterior, mL; V_d – volume drenado na irrigação anterior, mL; FL – fração de lixiviação, decimal. Adotou-se FL de 0,10.

As soluções de H₂O₂ foram preparadas por diluição em água deionizada e aplicadas com o auxílio de um borrifador, nas faces abaxial e adaxial das folhas, até o completo molhamento. As aplicações foram realizadas em dois momentos, sempre a partir das 17:00 h. Durante cada aplicação, as plantas foram isoladas com lona plástica para evitar a deriva das soluções, utilizando-se um volume médio de 15 mL por planta.

Aos 35 dias após a semeadura (DAS),

avaliaram-se as trocas gasosas utilizando-se um analisador portátil de gás por infravermelho – IRGA modelo LCpro – SD (ADC Bioscientific Ltd., Hoddesdon, UK). O equipamento operou em condições naturais de temperatura do ar e concentração de CO₂, complementadas por uma fonte de radiação artificial que forneceu 1.200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com base na curva de resposta fotossintética à luz. Foram determinados a condutância estomática – *g_s* ($\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a transpiração – *E* ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a taxa de assimilação de CO₂ – *A* ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a concentração interna de CO₂ – *C_i* ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$).

Também aos 35 DAS, avaliaram-se: a altura de planta (AP, cm), medida do colo ao ápice com régua graduada; o diâmetro do caule (DC, mm), aferido com paquímetro digital (mm); o número de folhas, obtido pela contagem daquelas completamente expandidas; o comprimento da nervura principal da folha (CF, cm), com auxílio de régua graduada. A partir do CF, a área foliar unitária (AF, cm²) foi estimada pela Equação 3 (Grimes e Carter, 1969).

$$AF = 0,4322 \times CF^{2,3002} \quad (3)$$

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para normalidade ($p \leq 0,05$)

e, em seguida, à análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$). Nos casos significativos, aplicou-se a análise de regressão polinomial para os níveis de CEa e para as concentrações de H₂O₂. As análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar (Ferreira, 2019). Para a apresentação dos dados foram elaborados gráficos de superfície de resposta, utilizando o programa SigmaPlot®.

Resultados e Discussão

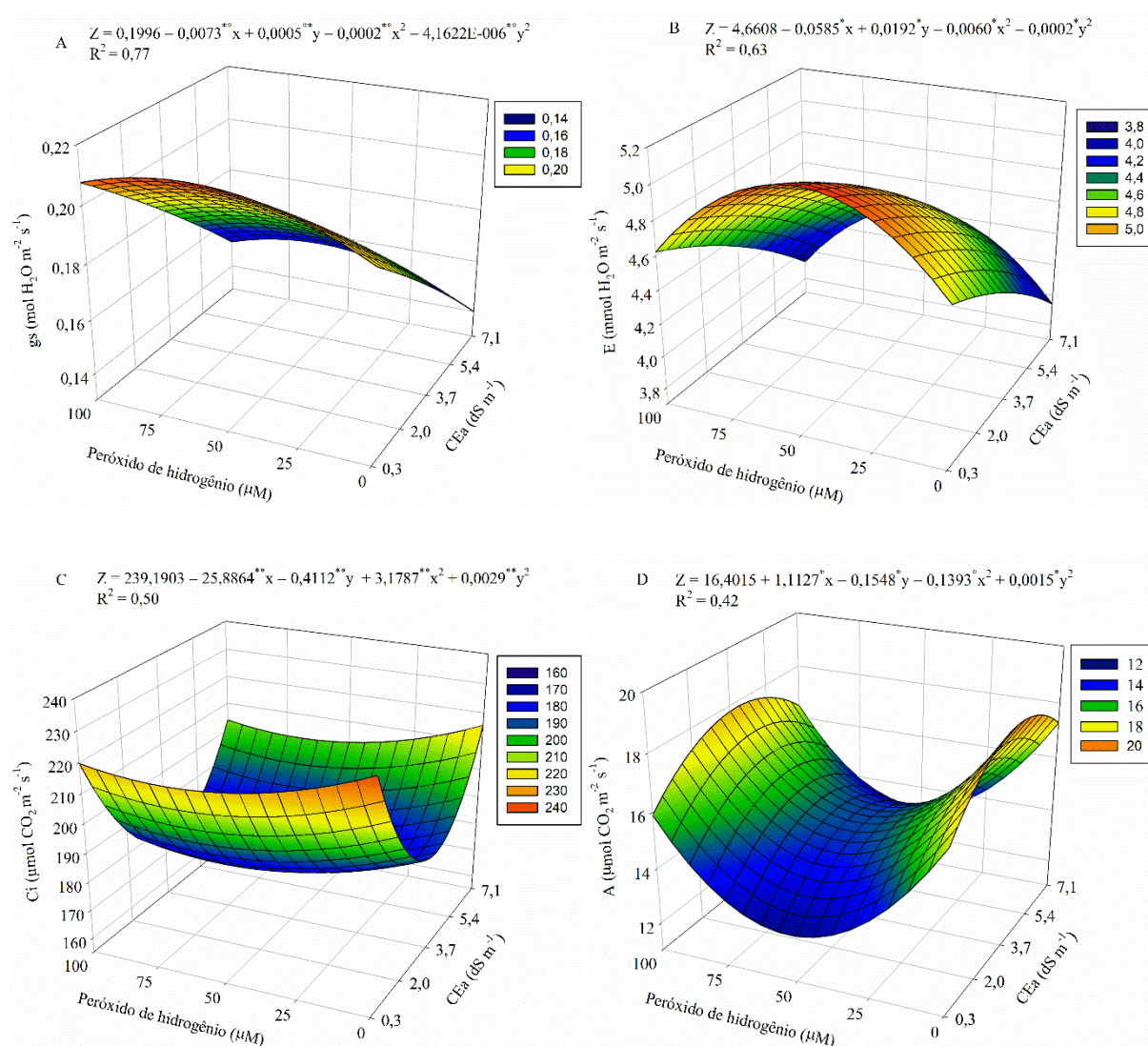
De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 2), constatou-se que houve efeito significativo da interação entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e as concentrações de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) para condutância estomática (*g_s*), transpiração (*E*), concentração interna de CO₂ (*C_i*) e taxa de assimilação de CO₂ (*A*) em plantas de algodoeiro aos 35 dias após a semeadura.

O máximo valor de *g_s* (0,2135 mol H₂O m⁻¹ s⁻¹) foi estimado na concentração de 62,5 μM de H₂O₂ e sem estresse salino (CEa de 0,3 dS m⁻¹) (Figura 2A). O aumento da CEa promoveu redução na *g_s*, cujo menor valor (0,1430 mol H₂O m⁻¹ s⁻¹) foi estimado sob maior nível de CEa (7,1 dS m⁻¹), combinado com a concentração de 6,25 μM de H₂O₂.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para condutância estomática (*g_s*), transpiração (*E*), concentração interna de CO₂ (*C_i*) e taxa de assimilação de CO₂ (*A*) em plantas de algodoeiro ‘BRS Jade’ cultivado sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e concentrações de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) aos 35 dias após a semeadura.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios			
		<i>G_s</i>	<i>E</i>	<i>C_i</i>	<i>A</i>
CEa	4	0,0091**	5,49**	348,55 ^{NS}	158,33**
Regressão linear	1	0,032**	15,15**	305,30 ^{NS}	525,54**
Regressão quadrática	1	0,0035**	0,98**	12,87 ^{NS}	76,50**
H ₂ O ₂	4	0,0013*	0,46**	1124,78 ^{NS}	39,73**
Regressão linear	1	0,00010 ^{NS}	0,031 ^{NS}	1485,22 ^{NS}	22,41 ^{NS}
Regressão quadrática	1	0,0036**	1,07**	2074,28 ^{NS}	39,34*
Interação CEa × H ₂ O ₂	16	0,0010*	0,65**	1923,74**	26,51**
Blocos	2	0,00065 ^{NS}	1,18 ^{NS}	89,44 ^{NS}	0,28 ^{NS}
Resíduos	74	0,00046	0,086	648,02	0,88
CV%		12,07	6,73	13,28	19,15

GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; NS, * e ** – não significativo, significativo a $p \leq 0,05$ e significativo a $p \leq 0,01$, respectivamente, pelo teste F.



Z – variável resposta; X e Y – condutividade elétrica da água de irrigação – CEa e concentrações de peróxido de hidrogênio – H₂O₂, respectivamente. * e ** – significativo a $p \leq 0,05$ e significativo a $p \leq 0,01$, respectivamente, pelo teste F.

Figura 2. Análises dos desdobramentos dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa e concentrações de peróxido de hidrogênio – H₂O₂ para condutância estomática – g_s (A), transpiração – E (B), concentração interna de CO₂ – C_i (C) e taxa de assimilação de CO₂ – A (D) de plantas de algodoeiro de fibra naturalmente colorida ‘BRS Jade’, aos 35 dias após a semeadura.

O fechamento parcial dos estômatos é um comportamento comum em plantas sob estresse salino. Nessa condição, as plantas fecham seus estômatos para reduzir a perda de água, mantendo a turgescência dos tecidos e evitando a absorção excessiva de sais (Figueiredo et al., 2021). Por outro lado, constatou-se que, sob a concentração de 62,5 μM de H₂O₂ e irrigação com CEa de 2,85 dS m⁻¹, a redução na g_s foi de 9,32% em relação ao cultivo sem estresse salino

(CEa de 0,3 dS m⁻¹). Esse resultado indica que o H₂O₂ atenuou os danos causados pelo estresse salino.

Para a E das plantas de algodoeiro (Figura 2B), o maior valor (5,11 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) foi obtido sem estresse salino (CEa de 0,3 dS m⁻¹) e concentração de 50 μM de H₂O₂. Entretanto, com o aumento da CEa para 5,4 dS m⁻¹ e sob a mesma concentração de 50 μM, a redução na E foi de apenas 9,19% em comparação ao cultivo sem

estresse salino. A combinação do maior nível de CEa ($7,1 \text{ dS m}^{-1}$) com a maior concentração de H_2O_2 ($100 \mu\text{M}$) resultou no menor valor de E ($3,92 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), o que equivale a uma redução de 82% em comparação ao máximo estimado. Esse efeito está diretamente associado ao fechamento parcial dos estômatos, induzido pelo estresse salino, desencadeado pela redução do potencial osmótico do solo, limitando a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas (Ferreira et al., 2023).

Destaca-se o efeito benéfico do H_2O_2 em aliviar o dano causado pelo estresse salino sobre a g_s (Figura 2A) e a E (Figura 2B), uma vez que reduções menores que 10% foram observadas em níveis elevados de CEa. Possivelmente, esse efeito tenha ocorrido em função do H_2O_2 auxiliar na redução dos níveis de espécies reativas de oxigênio (EROs), por meio da atividade de enzimas como peroxidase, catalase e superóxido dismutase, resultando no equilíbrio do metabolismo das EROs, como observado por Gao et al. (2025) em pêssego.

A C_i máxima estimada ($231,71 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi obtida nas plantas sob cultivo sem estresse salino (CEa de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$) e sem aplicação foliar de H_2O_2 (Figura 2C). Enquanto o menor valor ($172 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi obtido sob irrigação com CEa de $4,1 \text{ dS m}^{-1}$ e concentração de $68,7 \mu\text{M}$ de H_2O_2 , representando um decréscimo de 25,8% em comparação ao valor obtido sem estresse salino. O fechamento parcial dos estômatos induzido pelo estresse salino, compromete a entrada de carbono na câmara subestomática, limitando a disponibilidade de carbono para o processo fotossintético (Nóbrega et al., 2022).

Para a A (Figura 2D), o maior valor estimado ($18,61 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi obtido nas plantas sob CEa de $3,7 \text{ dS m}^{-1}$ e sem aplicação de H_2O_2 . Em contrapartida, o menor valor ($12,65 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ocorreu na ausência de estresse salino (CEa de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$) associada à concentração de $50 \mu\text{M}$ de H_2O_2 . A ocorrência desse comportamento indica que as plantas

conseguiram se ajustar às condições salinas, cenário associado ao fato de o algodoeiro ser considerado tolerante ao estresse salino, sendo o nível de salinidade limiar da água de $5,1 \text{ dS m}^{-1}$. Em pesquisa realizada por Veloso et al. (2023) com o algodoeiro de fibra colorida sob condições de estresse salino, constatou-se que as cultivares ‘BRS Rubi’ e ‘BRS Topázio’ apresentaram maior taxa de assimilação de CO_2 sob CEa de $5,3 \text{ dS m}^{-1}$ e com aplicação foliar de $50 \mu\text{M}$ de H_2O_2 .

A redução nas trocas gasosas do algodoeiro sob salinidade da água de irrigação também foi observada por outros autores. Dias et al. (2020) constataram que a irrigação com CEa acima de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ comprometeu os parâmetros fisiológicos da cv. ‘BRS 368 RF’. Da mesma forma, Silva et al. (2024) verificaram que a salinidade acima de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ reduziu as trocas gasosas, a eficiência fotoquímica e o crescimento do algodoeiro cv. ‘BRS Jade’.

Quanto às variáveis de crescimento das plantas de algodoeiro (altura de planta – AP, diâmetro do caule – DC, número de folhas – NF e área foliar – AF), constatou-se efeito significativo da interação entre os níveis de CEa e as concentrações de H_2O_2 (Tabela 3).

Para AP (Figura 3A), o valor máximo estimado ($71,5 \text{ cm}$) ocorreu na maior concentração ($100 \mu\text{M}$) de H_2O_2 sob cultivo sem estresse salino (CEa de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$). Já o menor valor ($37,2 \text{ cm}$) ocorreu sob maior CEa ($7,1 \text{ dS m}^{-1}$) e na concentração de $18,75 \mu\text{M}$ de H_2O_2 , representando uma redução de 48% em relação ao valor máximo obtido. O aumento do crescimento das plantas demonstra que a aplicação foliar de H_2O_2 pode ser benéfica para atenuar os efeitos nocivos do estresse salino, possivelmente por estar envolvido nos mecanismos enzimáticos de defesa, reduzindo os efeitos osmóticos e iônicos promovidos pelo estresse. Resultados semelhantes foram observados por Veloso et al. (2023) nas cultivares de algodoeiro ‘BRS Rubi’ e ‘BRS Topázio’, e por Nóbrega et al. (2024) em plantas de tomate.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) de plantas de algodoeiro ‘BRS Jade’ cultivado sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e concentrações de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) aos 35 dias após a semeadura.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios			
		AP	DC	NF	AF
CEa	4	25,65**	2,25**	33,76**	38965,0**
Regressão linear	1	69,63**	2,92**	112,66**	115850,9**
Regressão quadrática	1	4,81**	0,015 ^{NS}	0,30 ^{NS}	517,09**
H_2O_2	4	8,27**	0,13*	0,43 ^{NS}	11376,1**
Regressão linear	1	6,24*	0,095 ^{NS}	0,16 ^{NS}	14972,01**
Regressão quadrática	1	0,09 ^{NS}	0,083 ^{NS}	0,042 ^{NS}	5807,04 ^{NS}
Interação CEa $\times$ H_2O_2	16	5,15**	0,43**	3,49**	2461,6**
Blocos	2	0,90 ^{NS}	0,0013 ^{NS}	1,00 ^{NS}	703,3 ^{NS}
Resíduos	74	1,19	0,037	1,11	1784,6
CV%		5,66	3,96	9,94	19,15

GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; NS, * e ** – não significativo, significativo a $p \leq 0,05$ e significativo a $p \leq 0,01$, respectivamente, pelo teste F.

Cabe salientar que, sob CEa de 1,57 dS m^{-1} , a redução em relação ao máximo valor estimado foi considerada aceitável (em torno de 10%) quando aplicada a concentração de 100 μM de H_2O_2 . Isso demonstra o efeito benéfico do H_2O_2 , que foi capaz de mitigar os impactos do estresse salino. Esse efeito protetor pode estar associado ao aumento da atividade antioxidante, por meio da sinalização enzimática e da produção de compostos osmoprotetores, resultando no incremento da tolerância da planta ao estresse salino (Chattha et al., 2022).

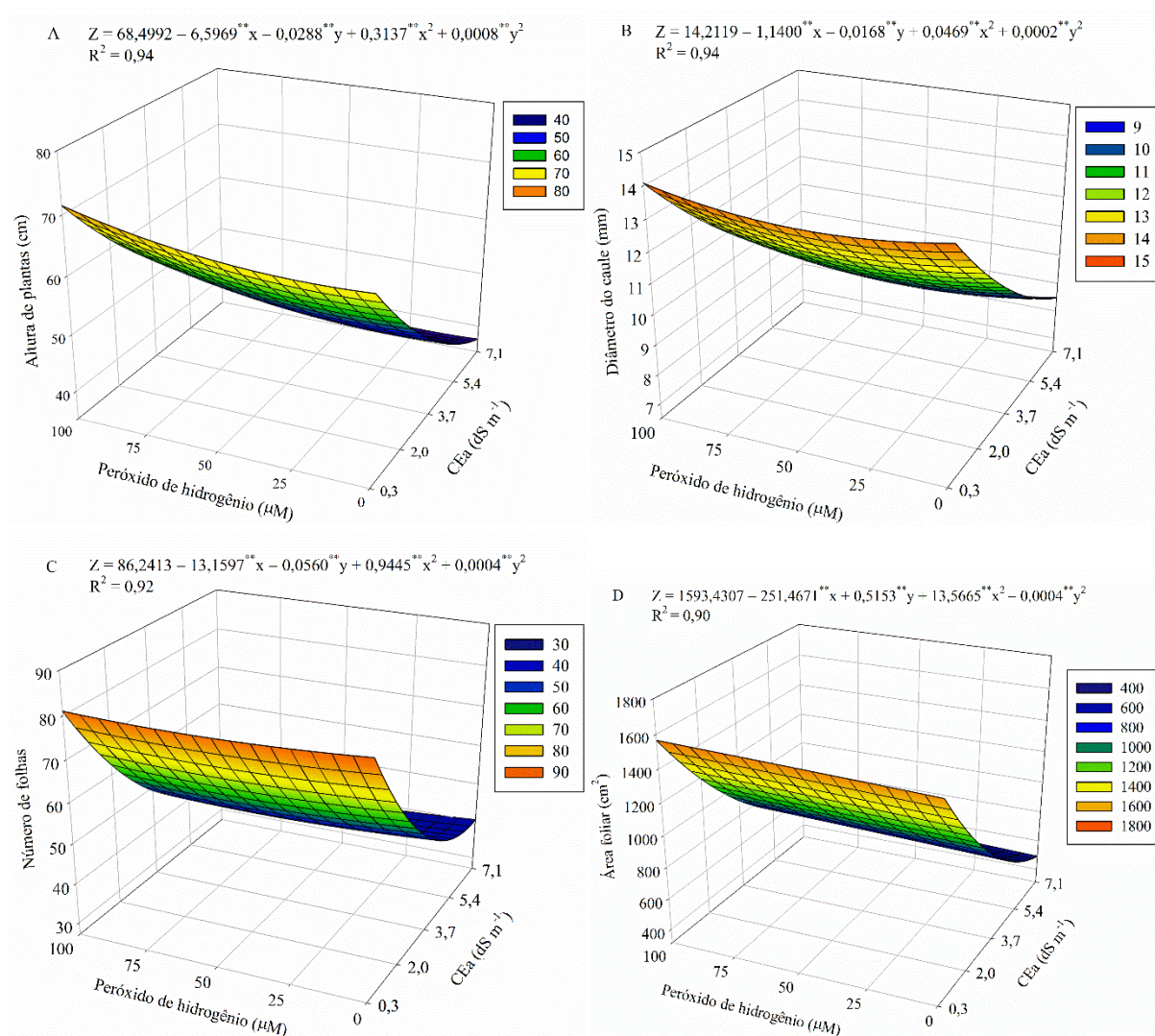
Para o DC (Figura 3B), o valor máximo estimado de 13,87 mm foi obtido sob cultivo sem estresse salino (CEa de 0,3 dS m^{-1}) e sem aplicação foliar de H_2O_2 (0 μM). Em seguida, observaram-se decréscimos com a elevação dos níveis de CEa, cujo menor valor (8,10 mm) foi obtido sob maior CEa (7,1 dS m^{-1}) e na concentração de 43,5 μM de H_2O_2 . Esse valor corresponde um decréscimo de 41,6% em relação ao valor máximo obtido. Esse efeito está associado ao fato de o estresse salino afetar diretamente diversos processos fisiológicos, dentre eles os processos de divisão e a turgescência celular e, por conseguinte, restringe o crescimento das plantas (Nóbrega et al., 2022).

De modo semelhante ao observado para o DC (Figura 3B), o máximo NF (82,37 folhas) foi estimado sob cultivo das plantas sem estresse salino e sem aplicação foliar de H_2O_2 (Figura 3C). O NF diminuiu com o aumento dos níveis de CEa, estimando-se o menor valor (38 folhas) sob CEa de 7,1 dS m^{-1} e na concentração de 43,5 μM de H_2O_2 , o que representou uma redução de 53,6% na emissão de folhas do algodoeiro em relação ao maior valor obtido. Essa inibição no número de folhas é reflexo da redução do potencial osmótico do solo, limitando a capacidade da planta absorver água e nutrientes, diminuindo a emissão e expansão foliar (Fátima et al., 2024), como estratégia para amenizar a perda de água para atmosfera e reduzir a absorção excessiva de íons tóxicos.

Para a AF total da planta (Figura 3D), a aplicação foliar de H_2O_2 na maior concentração (100 μM) sob cultivo sem estresse salino (CEa de 0,3 dS m^{-1}) proporcionou o máximo valor estimado (1566,62 cm^2). Em seguida, observaram-se decréscimos com a elevação dos níveis de CEa, atingindo o menor valor (491,89 cm^2) sob maior nível de CEa (7,1 dS m^{-1}) e sem aplicação foliar de H_2O_2 . O efeito benéfico na AF está associado ao fato de o H_2O_2 atuar na sinalização e mediação de processos

fisiológicos, proporcionando melhores condições de aclimação da planta às

condições de estresse salino (Guedes et al., 2023; Guedes et al., 2024).



Z – variável resposta; X e Y – condutividade elétrica da água de irrigação – CEa e concentrações de peróxido de hidrogênio – H₂O₂, respectivamente. * e ** – significativo a $p \leq 0,05$ e significativo a $p \leq 0,01$, respectivamente, pelo Teste F.

Figura 3. Análises dos desdobramentos dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa e concentrações de peróxido de hidrogênio – H₂O₂ para altura de planta (A), diâmetro do caule (B), número de folhas (C) e área foliar (D) das plantas de algodoeiro ‘BRS Jade’, aos 35 dias após a semeadura.

Conclusões

O estresse salino comprometeu o crescimento e as trocas gasosas das plantas de algodoeiro ‘BRS Jade’, aos 35 dias após a semeadura. Porém, a aplicação foliar na concentração de até 100 μ M de peróxido de hidrogênio aliviou os efeitos deletérios do estresse salino sobre as características das trocas gasosas e crescimento das plantas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Processo 151057/2024-9) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

Referências

- Aragão, J.; Lima, G. S.; Lima, V. L. A.; Silva, A. A. R.; Santos, L. F. S.; Dias, M. S.; Arruda, T. F. L.; Souza, A. R.; Soares, L. A. A. Hydrogen peroxide in the mitigation of salt stress in bell pepper. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 44, n. 1, p. 217-236, 2023. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n1p217>
- Cavalcante, E. S.; Lacerda, C. F.; Costa, R. N. T.; Gheyi, H. R.; Pinho, L. L.; Bezerra, F. M. S.; Oliveira, A. C.; Canjá, J. F. Supplemental irrigation using brackish water on maize in tropical semi-arid regions of Brazil: yield and economic analysis. *Scientia Agricola*, v. 78, n. suppl. 1, e20200151, 2021. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0151>
- Chattha, M. U.; Hassan, M. U. U.; Khan, I.; Nawaz, M.; Shah, A. N.; Sattar, A.; Hashem, M.; Alamri, S.; Aslam, M. T.; Alhaithloul, H. A. S.; Hassan, M. U.; Qari, S. H. Hydrogen peroxide priming alleviates salinity induced toxic effect in maize by improving antioxidant defense system, ionic homeostasis, photosynthetic efficiency and hormonal crosstalk. *Molecular Biology Reports*, v. 49, n. 6, p. 5611-5624, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07535-6>
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: Grãos. Safra 2022/23. 7º Levantamento. v. 9, 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 25/05/2024.
- Dantas, M. V.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Pinheiro, F. W. A.; Silva, P. C. C.; Soares, L. A. A. Gas exchange and hydroponic production of zucchini under salt stress and H₂O₂ application. *Revista Caatinga*, v. 35, n. 2, p. 436-439, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252022v35n219rc>
- Dias, A. S.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Fernandes, P. D. Growth and gas exchanges of cotton under water salinity and nitrogen-potassium combination. *Revista Caatinga*, v. 33, n. 2, p. 470-479, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n219rc>
- El-Sattar, A. M. A.; Abdelhameed, R. E. Amelioration of salt stress effects on the morpho-physiological, biochemical and K/Na ratio of *Vicia faba* plants by foliar application of yeast extract. *Journal of Plant Nutrition*, v. 47, n. 12, p. 1996-2014, 2024. <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2327581>
- Fareed, S.; Haider, A.; Ramzan, T.; Ahmad, M.; Younis, A.; Zulkiflar, U.; Rehman, H. U.; Waraich, E. A.; Abbas, A.; Chaudhary, T.; Soufan, W. Investigating the growth promotion potential of biochar on pea (*Pisum sativum*) plants under saline conditions. *Scientific Reports*, v. 14, 10870, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59891-x>
- Fátima, R. T.; Nóbrega, J. S.; Lima, G. S.; Soares, L. A. A.; Pereira, M. B.; Ribeiro, J. E. S.; Gheyi, H. R.; Pereira, W. E. Seaweed extract biofertilizer modulates scarlet eggplant tolerance to salt stress. *Arid Land Research and Management*, v. 38, n. 1, p. 46-61, 2024. <https://doi.org/10.1080/15324982.2023.2224272>
- Figueiredo, F. R. A.; Nóbrega, J. S.; Fátima, R. T.; Ferreira, J. T. A.; Leal, M. P. S.; Melo, M. F.; Dias, T. J.; Albuquerque, M. B. Impact of biostimulant and saline water on cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in Brazil. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, v. 27, n. 9, p. 2141-2150, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-01058-3>
- Ferreira, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- Ferreira, J. T. A.; Lima, G. S.; Silva, S. S.; Soares, L. A. A.; Fátima, R. T.; Nóbrega, J. S.; Gheyi, H. R.; Almeida, F. A.; Mendonça, A. J. T. Hydrogen peroxide in the induction of tolerance of guava seedlings to salt stress. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 44, n. 2, p. 739-754, 2023. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n2p739>
- Gao, X.; Li, M.; Gong, Q.; Li, G.; Yu, H.; Dong, X.; Wang, X.; Gong, Z.; Wang, Z.; Xiao, Y.; Zhang, A. Hydrogen-sulfide-mediated PpAOS3-JA module provides insight into salt stress resistance in peach. *Plants*, v. 14, n. 10, 1477, 2025. <https://doi.org/10.3390/plants14101477>

Grimes, D. W.; Carter, L. M. A linear rule for direct nondestructive leaf area measurements. *Agronomy Journal*, v. 61, n. 3, p. 477-479, 1969. <https://doi.org/10.2134/agronj1969.00021962006100030048x>

Guedes, M. A.; Gheyi, H. R.; Lima, G. S.; Soares, L. A. A.; Sá, V. K. N. O.; Silva, L. A.; Silva, F. J. L.; Torres, R. A. F. Aplicação foliar de H₂O₂ no cultivo hidropônico de tomate cereja sob soluções nutritivas salinas. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 13, n. 1-3, p. 150-164, 2024. <https://doi.org/10.19149/wrim.v13i1-3.4944>

Guedes, M. A.; Silva, A. A. R.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Silva, L. A.; Oliveira, V. K. N.; Fátima, R. T.; Nobre, R. G.; Nóbrega, J. S.; Azevedo, C. A. V.; Silva, S. S.; Gomes, J. P. Hydroponic cultivation of Laranja cherry tomatoes under salt stress and foliar application of hydrogen peroxide. *Agriculture*, v. 13, n. 9, 1688, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091688>

Lima, G. S.; Dias, A. S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Andrade, E. M. G. Saline water irrigation and nitrogen fertilization on the cultivation of colored fiber cotton. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 1, p. 151-160, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n118rc>

Nóbrega, J. S.; Figueiredo, F. R. A.; Silva, T. I.; Fátima, R. T.; Ferreira, J. T. A.; Ribeiro, J. E. S.; Bruno, R. L. A. Ecophysiology of *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze (*Lamiaceae*) under saline stress and salicylic acid. *Ciência Rural*, v. 52, n. 9, e20210389, 2022. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210389>

Nóbrega, J. S.; Guedes, M. A.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Silva, L. A.; Silva, S. S.; Brito, L. A. Photosynthetic pigments, growth, and production of cherry tomato under salt stress and hydrogen peroxide. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 28, n. 6, e275968, 2024. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n6e275968>

Novais, R. F.; Neves, J. C. L.; Barros, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A. J.; Garrido, W. E.; Araújo, J. D.; Lourenço, S.

(ed.) Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: Embrapa, 1991. p. 189-198.

Ribeiro, J. E. S.; Sousa, L. V.; Silva, T. I.; Nóbrega, J. S.; Figueiredo, F. R. A.; Bruno, R. L. A.; Dias, T. J.; Albuquerque, M. B. *Citrullus lanatus* morphophysiological responses to the combination of salicylic acid and salinity stress. *Agrária: Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 15, n. 1, e6638, 2020. <https://doi.org/10.5039/agraria.v15i1a6638>

Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. Washington: United States Salinity Laboratory Staff, 1954. 160p.

Santos, A. S.; Almeida, J. F.; Silva, M. S.; Nóbrega, J. S.; Queiroga, T. B.; Pereira, J. A. R.; Linné, J. A.; Gomes, F. A. L. The influence of H₂O₂ application methods on melon plants submitted to saline stress. *Journal of Agricultural Science*, v. 11, n. 11, p. 245-252, 2019. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n11p245>

Silva, A. A. R.; Lima, G. S.; Azevedo, C. A. V.; Veloso, L. L. S. A.; Capitulino, J. D.; Gheyi, H. R. Induction of tolerance to salt stress in soursop seedlings using hydrogen peroxide. *Comunicata Scientiae*, v. 10, n. 4, p. 484-490, 2019b. <https://doi.org/10.14295/cs.v10i4.3036>

Silva, P. C. C.; Azevedo Neto, A. D.; Gheyi, H. R.; Ribas, R. F.; Cova, A. M. W.; Silva, C. R. R. Avaliação de métodos de aplicação de H₂O₂ para aclimação de plantas de girassol à salinidade. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 8, n. 1-3, p. 1-4, 2019a. <https://doi.org/10.19149/wrim.v8i1-3.1703>

Silva, S. T. A.; Soares, L. A. A.; Lima, G. S.; Silva, S. S.; Fátima, R. T.; Gheyi, H. R.; Silva, A. A. R.; Nóbrega, J. S. Gas exchange and growth of colored cotton under salt stress and application of salicylic acid. *Revista Caatinga*, v. 37, e12439, 2024. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252024v37i12439rc>

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3.ed., rev. e ampl. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 573p.

Truşcă, M.; Gâdea, Ş.; Vidican, R.; Stoian, V.; Vâtcă, A.; Balint, C.; Sotian, V. A.; Horvat, M.; Vâtcă, S. Exploring the research challenges and

perspectives in ecophysiology of plants affected by salinity stress. *Agriculture*, v. 13, n. 3, 734, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030734>

Veloso, L. L. S. A.; Azevedo, C. A. V.; Nobre, R. G.; Lima, G. S.; Silva, I. J.; Lacerda, C. N. Hydrogen peroxide in the acclimation of colored-fiber cotton genotypes to salt stress. *Revista Caatinga*, v. 36, n. 2, p. 414-423, 2023. <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n218rc>

Zhang, Y.; Wang, Y.; Wen, W.; Shi, Z.; Gu, Q.; Ahammed, G. J.; Cao, K.; Jahan, M. S.; Shu, S.; Wang, J.; Sun, J.; Guo, S. Hydrogen peroxide mediates spermidine-induced autophagy to alleviate salt stress in cucumber. *Autophagy*, v. 17, n. 10, p. 2876-2890, 2021. <https://doi.org/10.1080/15548627.2020.1847797>