



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



**TESE DE DOUTORADO**

**PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO COMO MITIGADOR DO ESTRESSE SALINO NO  
CULTIVO IRRIGADO DE GRAVIOLEIRA**

JESSICA DAYANNE CAPITULINO

Campina Grande, PB

Fevereiro – 2024

JESSICA DAYANNE CAPITULINO

Engenheira Agrícola

**PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO COMO MITIGADOR DO ESTRESSE SALINO NO  
CULTIVO IRRIGADO DE GRAVIOLEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola.

Orientadores:

Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo

Prof. Dr. Geovani Soares de Lima

Campina Grande, PB

Fevereiro - 2024

C244p

Capitulino, Jessica Dayanne.

Peróxido de hidrogênio como mitigador do estresse salino no cultivo irrigado de gravioleira / Jessica Dayanne Capitulino – Campina Grande, 2024.

158 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Ciências Naturais, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo, Prof. Dr. Geovani Soares de Lima."

Referências.

1. Gravioleira. 2. Estresse Salino. 3. Irrigação e Drenagem. 4. Peróxido de Hidrogênio. 5. Águas Salinas. 6. Semiárido. I. Azevedo, Carlos Alberto Vieira de. II. Lima, Geovani Soares de. III. Título.

CDU 634.41(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

## FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

**JESSICA DAYANNE CAPITULINO**

**"PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO COMO MITIGADOR DO ESTRESSE SALINO NO CULTIVO DE GRAVIOLEIRA"**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como pré-requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 16/02/2024

Carlos Alberto Vieira de Azevedo - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Geovani Soares de Lima - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Vera Lucia Antunes de Lima - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Maria Sallydelândia Sobral de Farias - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Lauriane Almeida dos Anjos Soares - Examinador(a) Externo(a) - UAGRA/CCTA/UFCG

André Alisson Rodrigues da Silva - Examinador(a) Externo(a) - PDPG/UFCG



Documento assinado eletronicamente por **GEOVANI SOARES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR-VISITANTE**, em 04/03/2024, às 11:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no

art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **André Alisson Rodrigues da Silva, Usuário Externo**, em 04/03/2024, às 12:31, conforme horário oficial de

Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **MARIA SALLYDELANDIA DE FARIAS ARAUJO, PROFESSOR3 GRAU**, em 25/03/2024, às 22:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002,](#)

---

[de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 27/03/2024, às 09:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 27/03/2024, às 15:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº](#)

---

[002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **LAURIANE ALMEIDA DOS ANJOS SOARES, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/04/2024, às 16:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4254028** e o código CRC **338F5B81**.

---

A minha querida amiga Valderez (*In memoriam*) por me ensinar qual a diferença entre conhecimento e sabedoria. Minha eterna gratidão!

## **MINHA HOMENAGEM**

*Dedico esta conquista a minha mãe e aos meus  
tios maternos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Jeová Deus pela saúde, forças e sabedoria.

Aos meus orientadores Carlos Alberto Vieira de Azevedo e Geovani Soares de Lima por todo tempo dedicado a este trabalho e por seus conselhos e paciência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro;

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em especial a Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), pela disponibilidade de espaço para realização deste trabalho.

Aos meus amigos do Grupo de Pesquisa em manejo de solo, água e planta na região semiárida André, Luana Lucas, Thiago Filipe, Allesson, Larissa e Vitória pela dedicação e esforço no desenvolvimento da pesquisa.

Aos membros avaliadores por se disporem à avaliação do trabalho e pelas sugestões para melhoria.

A toda a minha família, por todo apoio, carinho e incentivo concedidos durante toda minha formação. Meus sinceros agradecimentos a todos que, de alguma forma, contribuíram com esta conquista. Muito obrigada!

## SUMÁRIO

	Pág.
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>14</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>19</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>23</b>
<b>CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA .....</b>	<b>23</b>
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>24</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1 Geral .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2 Específicos.....</b>	<b>26</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Aspectos gerais da cultura da gravioleira .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Disponibilidade e qualidade de água em regiões semiáridas do Brasil....</b>	<b>28</b>
<b>3.3 Tolerância das plantas a salinidade .....</b>	<b>29</b>
<b>3.4 Salinidade em plantas de gravioleira .....</b>	<b>31</b>
<b>3.5 Peróxido de hidrogênio como atenuante do estresse salino em plantas....</b>	<b>32</b>
<b>4 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>41</b>
<b>1 MATERIAL E MÉTODOS GERAL.....</b>	<b>42</b>
<b>1.1 Local do experimento .....</b>	<b>42</b>
<b>1.2 Delineamento experimental e tratamentos .....</b>	<b>43</b>
<b>1.3 Aquisição das mudas .....</b>	<b>44</b>
<b>1.4 Implantação e condução do experimento .....</b>	<b>44</b>
<b>1.5 Preparação das águas e manejo de irrigação .....</b>	<b>46</b>
<b>1.6 Preparo e aplicação das concentrações de peróxido de hidrogênio .....</b>	<b>47</b>
<b>1.7 Manejo de adubação .....</b>	<b>49</b>
<b>1.8 Manejo de poda e fitossanitário.....</b>	<b>50</b>
<b>1.9 Variáveis analisadas .....</b>	<b>50</b>
<b>1.9.1 Avaliações de crescimento .....</b>	<b>50</b>
<b>1.9.2 Avaliações fisiológicas.....</b>	<b>52</b>
<b>1.9.3 Composição mineral.....</b>	<b>58</b>
<b>1.9 Análise estatística .....</b>	<b>58</b>

2	REFERÊNCIAS .....	58
	CAPÍTULO III .....	61
	TROCAS GASOSAS, EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA E CRESCIMENTO DE GRAVIOLEIRA SOB ESTRESSE SALINO E PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO	61
	RESUMO.....	62
	ABSTRACT .....	62
1.	INTRODUÇÃO .....	63
2.	MATERIAL E MÉTODOS .....	64
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	69
4.	CONCLUSÕES.....	80
5	AGRADECIMENTOS .....	80
6	REFERÊNCIAS .....	80
	CAPÍTULO IV.....	86
	MORFOFISIOLOGIA DE GRAVIOLEIRA SOB ESTRESSE SALINO E APLICAÇÃO DE H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> NA FASE DE PRÉ-FLORAÇÃO.....	86
	RESUMO.....	87
	ABSTRACT .....	87
1	INTRODUÇÃO .....	88
2	MATERIAL E MÉTODOS .....	89
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	94
4	CONCLUSÕES.....	103
5	REFERÊNCIAS .....	103
	CAPÍTULO V .....	107
	PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA ATENUAÇÃO DO ESTRESSE SALINO EM GRAVIOLEIRA .....	107
	RESUMO.....	108
	ABSTRACT: .....	109
1	INTRODUÇÃO .....	109
2	MATERIAL E MÉTODOS .....	110
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	116
4	CONCLUSÕES.....	129
5	REFERÊNCIAS .....	129
	CAPÍTULO VI.....	133
	COMPOSIÇÃO MINERAL E FISIOLOGIA DA GRAVIOLEIRA SOB ESTRESSE SALINO E APLICAÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO .....	133
	RESUMO.....	134

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>135</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>136</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>137</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>141</b>
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>151</b>
<b>5 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>152</b>
<b>CAPÍTULO VII .....</b>	<b>159</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>159</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>160</b>

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo II - Material e métodos gerais

---

	Pág.
<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	43
<b>Tabela 2.</b> Consumo hídrico das plantas de gravioleira e condutividade elétrica média da água drenada (CE <sub>dr</sub> ) por planta durante a condução do experimento (780 dias após transplântio), para os diferentes níveis de salinidade da água de irrigação (CE <sub>a</sub> ) .....	45
<b>Tabela 3.</b> Recomendação de adubação mineral para gravioleira.....	47

### Capítulo III - Influência da aplicação foliar de peróxido de hidrogênio nas trocas gasosas, eficiência fotoquímica e crescimento de gravioleira sob estresse salino

---

<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	63
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância referente à condutância estomática ( <i>g<sub>s</sub></i> ), transpiração ( <i>E</i> ), taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> ( <i>A</i> ), concentração interna de CO <sub>2</sub> ( <i>C<sub>i</sub></i> ), eficiência instantânea da carboxilação ( <i>EiCi</i> ) e eficiência instantânea do uso da água ( <i>EiUA</i> ) de gravioleira cv. Morada Nova aos 210 dias após o transplântio, irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio.....	67
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância para fluorescência inicial ( <i>F<sub>0</sub></i> ), fluorescência máxima ( <i>F<sub>m</sub></i> ), variável ( <i>F<sub>v</sub></i> ) e eficiência quântica do fotossistema II ( <i>F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub></i> ) de gravioleira cv. Morada Nova aos 210 dias após o transplântio, irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio.....	71
<b>Tabela 4.</b> Resumo da análise de variância referente ao diâmetro de caule ( <i>DC</i> ), altura de copa ( <i>A<sub>copa</sub></i> ), diâmetro de copa ( <i>D<sub>copa</sub></i> ), volume de copa ( <i>V<sub>copa</sub></i> ) e índice de vigor vegetativo ( <i>IVV</i> ) de gravioleira cv. Morada Nova aos 210 dias após o transplântio, irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio.....	73

## Capítulo IV - Morfofisiologia de gravioleira sob estresse salino e aplicação de h<sub>2</sub>o<sub>2</sub> na fase de pré-floração

---

<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	87
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância referente à condutância estomática ( <i>gs</i> ), transpiração ( <i>E</i> ), taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> ( <i>A</i> ), concentração interna de CO <sub>2</sub> ( <i>C<sub>i</sub></i> ), eficiência instantânea da carboxilação ( <i>EiCi</i> ) e eficiência instantânea do uso da água ( <i>EiUA</i> ) de gravioleira cv. Morada Nova aos 370 dias após o transplântio, irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio.....	91
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância referente à porcentagem de extravasamento de eletrólitos (%EE), déficit de saturação hídrica (DSH), diâmetro de copa ( <i>D<sub>Copa</sub></i> ), volume de copa ( <i>V<sub>Copa</sub></i> ), altura de copa ( <i>H<sub>Copa</sub></i> ), diâmetro de caule ( <i>DC</i> ) e índice de vigor vegetativo ( <i>IVV</i> ) de gravioleira cv. Morada Nova aos 370 dias após o transplântio, irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio....	96

## Capítulo V - Peróxido de hidrogênio na atenuação do estresse salino em gravioleira

---

<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	108
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância referente ao déficit de saturação hídrica (DSH), extravasamento de eletrólitos (%EE), condutância estomática ( <i>gs</i> ), concentração interna de CO <sub>2</sub> ( <i>C<sub>i</sub></i> ), taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> ( <i>A</i> ), transpiração ( <i>E</i> ), eficiência instantânea do uso da água ( <i>EiUA</i> ) e eficiência instantânea da carboxilação ( <i>EiCi</i> ) de gravioleira cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio, aos 780 dias após o transplântio.....	113
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância referente à fluorescência inicial ( <i>F<sub>0</sub></i> ), fluorescência máxima ( <i>F<sub>m</sub></i> ), fluorescência variável ( <i>F<sub>v</sub></i> ), eficiência quântica do fotossistema II ( <i>F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub></i> ), clorofila <i>a</i> ( <i>Cl a</i> ), clorofila <i>b</i> ( <i>Cl b</i> ), clorofila <i>total</i> ( <i>Cl t</i> ) e carotenóides ( <i>Car</i> ) de graviola cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio, aos 780 dias após o transplântio.....	118

<b>Tabela 4.</b> Resumo da análise de variância referente ao diâmetro de caule (DC) e taxa de crescimento relativo de diâmetro de caule ( $TCR_{dc}$ ) de gravioleira cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio, aos 780 dias após o transplântio.....	123
--	-----

## **Capítulo VI – Composição mineral e fisiologia da gravioleira sob estresse salino e aplicação de peróxido de hidrogênio**

---

<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	135
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância referente aos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), sódio (Na), cloreto (Cl), relação N/P e Na/K de gravioleira cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio, aos 780 dias após o transplântio.....	138
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância referente a fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ), eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), clorofila <i>a</i> (Cl <i>a</i> ), clorofila <i>b</i> (Cl <i>b</i> ), clorofila <i>total</i> (Cl <i>t</i> ) e carotenóides (Car) de gravioleira cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio, aos 370 dias após o transplântio.....	142

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo II – Material e métodos geral

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Caracterização da área experimental.....	37
<b>Figura 2.</b> Temperatura do ar (máxima e mínima) e umidade relativa do ar média observada na área interna da casa de vegetação durante o período experimental .....	38
<b>Figura 3.</b> Detalhes da distribuição dos tratamentos na área experimental.....	39
<b>Figura 4.</b> Vasos adaptados como lisímetros de drenagem.....	38
<b>Figura 5.</b> Transplântio das mudas de gravioleira para os vasos adaptados como lisímetros de drenagem .....	41
<b>Figura 6.</b> Preparação das concentrações de peróxido de hidrogênio antes da aplicação.	43
<b>Figura 7.</b> Disposição das plantas no momento do início das aplicações foliares de peróxido de hidrogênio, aos 45 dias após o transplântio.....	44
<b>Figura 8.</b> Isolamento das plantas de gravioleira antes de cada evento de aplicação foliar do peróxido de hidrogênio.....	44
<b>Figura 9.</b> Avaliação de crescimento em diâmetro de caule com auxílio de um paquímetro (A) e do diâmetro de copa de gravioleira através de uma trema (B).....	47
<b>Figura 10.</b> Determinação das trocas gasosas nas plantas de gravioleiras utilizando um através do equipamento portátil de medição de fotossíntese “LCPro+” da ADC Bio Scientific Ltda.....	48
<b>Figura 11.</b> Avaliação da fluorescência da clorofila <i>a</i> nas plantas de gravioleiras com auxílio de um Fluorômetro de pulso modulado.....	49
<b>Figura 12.</b> Quantificação dos teores de pigmentos fotossintéticos das amostras de folhas de gravioleiras através do equipamento espectrofotômetro.....	50
<b>Figura 13.</b> Determinação do extravasamento de eletrólitos no limbo foliar das plantas de gravioleiras.....	51

<b>Figura 14.</b> Avaliação do déficit de saturação hídrica em plantas de gravioleira.....	52
--	----

### **Capítulo III - Trocas gasosas, eficiência fotoquímica e crescimento de gravioleira sob estresse salino e aplicação foliar de peróxido de hidrogênio**

---

<b>Figura 1.</b> Temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar média da área interna da casa de vegetação durante o período experimental.....	59
--	----

<b>Figura 2.</b> Condutância estomática – $g_s$ de gravioleira cv. Morada Nova, em função da salinidade da água de irrigação- CEa (A) e das concentrações de peróxido de hidrogênio (B), concentração interna de CO <sub>2</sub> - $C_i$ (C) e transpiração – $E$ (D) em função da dos níveis de CEa e taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> – $A$ (E) em função da interação entre os níveis de CEa e das concentrações de peróxido hidrogênio- H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , aos 210 dias após o transplantio.....	65
---	----

<b>Figura 3.</b> Eficiência instantânea de carboxilação - $EiCi$ (A) e eficiência instantânea no do uso da água - $EiUA$ (B) de gravioleira cv. Morada Nova, em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação - CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , aos 210 dias após o transplantio.....	68
--	----

<b>Figura 4.</b> Fluorescência inicial - $F_0$ (A), fluorescência variável - $F_v$ (C) e eficiência quântica do fotossistema II – $F_m/F_v$ (D) de gravioleira cv. Morada Nova, em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação – CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio – H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , e fluorescência máxima - $F_m$ (B) em função da salinidade da água de irrigação – CEa, aos 210 dias após o transplantio.....	70
--	----

<b>Figura 5.</b> Altura de copa - $A_{copa}$ (A), índice de vigor vegetativo - IVV (B), volume de copa - $V_{copa}$ (C) diâmetro de copa – $D_{copa}$ (D) e diâmetro de caule – DC (E) de plantas de graviola cv. Morada Nova, em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação – CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio – H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , aos 210 dias após o transplantio.....	73
--	----

### **Capítulo IV - Morfofisiologia de gravioleira sob estresse salino e aplicação de h<sub>2</sub>o<sub>2</sub> na fase de pré-floração**

---

<b>Figura 1.</b> Temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar média da área interna da casa de vegetação durante o período experimental.....	83
--	----

**Figura 2.** Condutância estomática -  $g_s$  (A), taxa de assimilação de  $CO_2$  -  $A$  (C) em função da salinidade da água de irrigação – CEa e transpiração -  $E$  (B) e concentração interna de  $CO_2$  -  $C_i$  (D) de gravioleira cv. Morada Nova em função da interação entre os níveis de CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio -  $H_2O_2$ , aos 370 dias após o transplântio..... 91

**Figura 3.** Eficiência instantânea de carboxilação-  $E_iC_i$  (A) em função dos níveis da água de irrigação – CEa da água de irrigação e eficiência instantânea no uso de água –  $E_iU_A$  (B) de gravioleira cv. Morada Nova em função da interação entre a os níveis de CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio –  $H_2O_2$ , aos 370 dias após o transplântio..... 93

**Figura 4.** Extravasamento de eletrólitos – %EE (A) no limbo foliar de gravioleira cv. Morada Nova, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação – CEa da água de irrigação e déficit de saturação hídrica – DSH (B) e porcentagem de extravasamento de eletrólitos – %EE (C) no limbo foliar em função das concentrações de peróxido de hidrogênio –  $H_2O_2$ , aos 370 dias após o transplântio..... 95

**Figura 5.** Diâmetro de copa –  $D_{Copa}$  (A), volume de copa -  $V_{Copa}$  (B), altura de copa -  $H_{Copa}$  (C), diâmetro de caule – DC (D) de gravioleira cv. Morada Nova, em função dos níveis de CEa e diâmetro de caule – DC (E) em função das concentrações de peróxido de hidrogênio -  $H_2O_2$ , aos 370 dias após o transplântio..... 97

## **Capítulo V - Peróxido de hidrogênio na atenuação do estresse salino em gravioleira**

---

**Figura 1.** Temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar média da área interna da casa de vegetação durante o período experimental. 104

**Figura 2.** Déficit de saturação hídrica – DSH (A) no limbo foliar de gravioleira cv. Morada Nova, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação – CEa e extravasamento de eletrólitos – % EE (B) em função das concentrações de peróxido de hidrogênio –  $H_2O_2$ , aos 780 dias após o transplântio..... 111

**Figura 3.** Condutância estomática –  $g_s$  (A) de gravioleira cv. Morada Nova, em função das concentrações de peróxido hidrogênio-  $H_2O_2$ , e concentração interna de  $CO_2$  –  $C_i$  (B), taxa de assimilação de  $CO_2$  –  $A$  (C) e transpiração –  $E$  (D) em função da interação entre os níveis de CEa e das concentrações de peróxido, aos 780 dias após o transplântio..... 112

**Figura 4.** Eficiência instantânea no uso da água - *EiUA* (A) de graviola cv. Morada Nova, em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação - CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e eficiência instantânea de carboxilação - *EiCi* (B) em função das concentrações de peróxido de hidrogênio - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, aos 780 dias após o transplântio..... 114

**Figura 5.** Fluorescência inicial – F<sub>0</sub> (A), fluorescência máxima – F<sub>m</sub> (C) e eficiência quântica do fotossistema II - F<sub>m</sub>/F<sub>v</sub> (E) de gravioleira cv. Morada Nova, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação – CEa, fluorescência inicial – F<sub>0</sub> (B) em função das concentrações de peróxido de hidrogênio - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, e fluorescência variável – F<sub>v</sub> (D) em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação – CEa e das concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, aos 780 dias após o transplântio..... 116

**Figura 6.** Teores de clorofila *a* – Cl *a* (A) e clorofila *total* – Cl *t* (D) de gravioleira cv. Morada Nova, em função das concentrações de peróxido de hidrogênio, clorofila *total* – Cl *t* (C) em função dos níveis de salinidade da água de irrigação – CEa, e clorofila *b* – Cl *b* (B) e carotenóides – Car (E) em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação – CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, aos 780 dias após o transplântio..... 119

**Figura 7.** Diâmetro de caule – DC (A) de gravioleira cv. Morada Nova em função da interação em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação – CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e taxa de crescimento relativo de diâmetro de caule – TCR<sub>dc</sub> (B) em função das concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, aos 780 dias após o transplântio..... 121

## **Capítulo VI – Composição mineral e fisiologia da gravioleira sob estresse salino e aplicação peróxido de hidrogênio**

---

**Figura 1.** Temperatura (máxima e mínima) e umidade média relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental..... 131

**Figura 2.** Teores foliares de nitrogênio – N (A) de gravioleira cv. Morada Nova, em função das concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, fósforo – P (B) e potássio – K (C), em função dos níveis de salinidade da água de irrigação – CEa e das concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, e enxofre – S (D), sódio – Na (E) e cloreto – Cl (F) em função dos níveis de CEa, aos 780 dias após o transplântio..... 136

**Figura 3.** Relação N/P (B) e Na/K (C), em função dos níveis de CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, aos 780 dias após o transplântio 139

**Figura 4.** Fluorescência inicial – (F<sub>0</sub>) (A), fluorescência variável – (F<sub>v</sub>) (B) e eficiência quântica do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>), (E) de gravioleira cv. Morada Nova, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação – CEa e fluorescência variável – (F<sub>v</sub>) (C) e fluorescência máxima – (F<sub>m</sub>) (D) em função das concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, aos 370 dias após o transplântio 141

---

CAPITULINO, J. D. **Peróxido de hidrogênio como mitigador do estresse salino no cultivo irrigado de gravioleira**. 2024. 157p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola: Área de concentração em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal de Campina Grande. Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola. Campina Grande, PB.

## RESUMO

A gravioleira é importante socioeconomicamente para a região do Nordeste brasileiro devido a sua importância econômica e social do agronegócio. Entretanto, nessa região as concentrações de sais dissolvidos presentes nas águas associadas comprometem o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo necessário o uso de tecnologias que atenuem os efeitos deletérios do estresse salino sobre as plantas. Pelo exposto, avaliaram-se com esta pesquisa, o crescimento a fisiologia e a composição mineral da gravioleira cv. Morada Nova em função da irrigação com águas salinas e aplicação foliar do peróxido de hidrogênio. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no município de Campina Grande, Paraíba, durante o período de abril de 2020 a abril de 2023. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial  $4 \times 4$ , sendo quatro níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEA (0,8; 1,6; 2,4 e 3,2  $\text{dS m}^{-1}$ ) e quatro concentrações de peróxido de hidrogênio -  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0, 10, 20 e 30  $\mu\text{M}$ ) com três repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. Aos 210 dias após o transplante, a irrigação com água com condutividade elétrica acima de 0,8  $\text{dS m}^{-1}$  inibiu a condutância estomática, a concentração interna de  $\text{CO}_2$ , a transpiração, a fluorescência máxima, a altura da copa e o índice de vigor vegetativo de gravioleira cv. Morada Nova e aos 370 DAT, diminuiu a condutância estomática, a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , a eficiência instantânea de carboxilação, o déficit de saturação hídrica foliar, a biossíntese de clorofila *a* e *b* e o crescimento das plantas de graviola. A aplicação foliar de peróxido de hidrogênio nas concentrações de 12, 18 e 15  $\mu\text{M}$ , respectivamente, atenuaram os efeitos do estresse salino sobre a condutância estomática, a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  e a síntese de clorofila *a* de plantas de gravioleira, aos 780 dias após o transplante. A concentração de peróxido de hidrogênio de 30  $\mu\text{M}$  intensificou o estresse salino sobre as trocas gasosas, a fluorescência variável e o extravasamento de eletrólitos no limbo foliar e sobre os teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio de plantas de graviola cv. Morada Nova, aos 780 dias após o transplante.

**Palavras-chave:** *Annona muricata* L., salinidade, espécies reativas de oxigênio, aclimação.

CAPITULINO, J. C. **Hydrogen peroxide as a salt stress mitigater in irrigated soursop cultivation**. 2024. 157p. Thesis (Doctoral in Agricultural Engineering). Federal University of Campina Grande, Academic Unit of Agricultural Engineering. Campina Grande, PB.

## ABSTRACT

Soursop cultivation is socioeconomically important for the Brazilian Northeast region due to its economic and social importance in agribusiness. However, in this region, the concentrations of dissolved salts present in the water associated with long periods of drought during several months of the year affect the growth and development of plants, making it necessary to use technologies that mitigate the harmful effects of saline stress on plants. Based on the above, this research evaluated the growth, physiology and mineral composition of the soursop tree cv. Morada Nova due to irrigation with saline water and foliar application of hydrogen peroxide. The experiment was conducted in a greenhouse on a soil classified as a regolith neosol with a sandy loam texture, in the municipality of Campina Grande-PB, during the period from April 2020 to April 2023. The experimental design of randomized blocks was used, in  $4 \times 4$  factorial scheme, with four levels of electrical conductivity of irrigation water - CEa (0.8; 1.6; 2.4 and  $3.2 \text{ dS m}^{-1}$ ) and four concentrations of hydrogen peroxide -  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0, 10, 20 and  $30 \mu\text{M}$ ) with three replicates, totaling 48 experimental plots. At 210 days after transplanting, irrigation with water with electrical conductivity above  $0.8 \text{ dS m}^{-1}$  inhibited stomatal conductance, internal  $\text{CO}_2$  concentration, transpiration, maximum fluorescence, crown height and vigor index vegetative soursop tree cv. Morada Nova and at 370 DAT, stomatal conductance,  $\text{CO}_2$  assimilation rate, instantaneous carboxylation efficiency, leaf water saturation deficit, chlorophyll *a* and *b* biosynthesis and the growth of soursop plants decreased. Foliar application of hydrogen peroxide at concentrations of 12, 18 and  $15 \mu\text{M}$ , respectively, attenuated the effects of saline stress on stomatal conductance,  $\text{CO}_2$  assimilation rate and chlorophyll *a* synthesis of soursop plants, 780 days after the transplant. The hydrogen peroxide concentration of  $30 \mu\text{M}$  intensified the salt stress on gas exchange, variable fluorescence and electrolyte extravasation in the leaf blade and on the leaf nitrogen, phosphorus and potassium contents of soursop plants cv. Morada Nova, 780 days after transplanting.

**Key words:** *Annona muricata* L., salinity, oxygen reactive species, acclimatization.

## **CAPÍTULO I**

---

### **CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A gravioleira (*Annona muricata* L.) é uma frutífera da família Annonaceae, originária da América Central e norte da América do Sul. O cultivo de anonáceas no país, especialmente da graviola, vem crescendo especialmente, por causa da maior procura por frutas tropicais, além da possibilidade de seu uso na indústria farmacêutica e cosmética, destacando-se como fonte de vitamina C e de substâncias antioxidantes (Bento et al., 2016).

De acordo com o Anuário Brasileiro da fruticultura 2020, o Brasil continua sendo o terceiro maior produtor mundial de frutas do mundo, com 44,5 milhões de toneladas produzidas no ano de 2020 de um total de 340 milhões de toneladas colhidas (Anuário Brasileiro da Fruticultura, 2020). O maior produtor de Graviola do mundo é o México, seguido do Peru. O Brasil fica em terceiro lugar. Em 2018 no México, a produção em nível nacional foi de 29.228,66 t, com uma área total plantada de 3.527,43 ha e uma superfície colhida de 2.884,74 ha, tendo o Estado de Nayarit como primeiro lugar em área cultivada, com 2.529,94 ha e uma produção de 21.810,86 t, com produtividade média de 10,39 t ha<sup>-1</sup> (SIAP-SAGARPA, 2018).

No Brasil, é uma das frutas mais conhecidas nos mercados das regiões Norte e Nordeste, com uma produção de 7.569 mil toneladas em 2017, responsável por arrecadar R\$ 24.230,863 milhões (CENSO AGRO, 2017). Os Estados da Bahia e Alagoas se destacam como os maiores produtores com 4,509 e 1,448 mil toneladas de frutos de graviola, respectivamente, seguidos por Pernambuco (579,0 toneladas), Rio Grande do Norte (187,0 toneladas) e Espírito Santo (137,0 toneladas). A Paraíba, por sua vez, ocupa o oitavo lugar em relação aos Estados que mais produz graviola no Brasil (82,0 toneladas) (CENSO AGRO, 2017).

No Nordeste brasileiro, por sua vez, cerca de 53,20% das fontes hídricas apresentam condutividade elétrica da água de 3,0 dS m<sup>-1</sup>, decorrente da alta evaporação e da baixa precipitação, características comuns dessa região, o que reduz a qualidade desse recurso para a utilização na agricultura (Morais et al., 1998), destacando-se o estresse salino como um dos principais fatores limitantes a produção agrícola nesta região, o estresse salino tem se destacado (Khan et al., 2019).

As plantas sob condições de estresse salino, sofrem alterações em todos os processos fisiológicos, bioquímicos e morfológicos. O excesso de sais na água e/ou no solo reduz o potencial osmótico da solução, limitando a disponibilidade de água para as plantas, em função dos efeitos osmóticos e iônicos e, por conseguinte redução na expansão da área foliar e fechamento dos estômatos, prejudicando a fotossíntese e inibindo o crescimento das plantas (Silva et al., 2019). Ocorrendo alteração na homeostase iônica através do desequilíbrio nutricional, causando deficiências de  $\text{Ca}_2^+$ ,  $\text{Mg}_2^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , induzidas pela competição iônica com  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  acumulados em excesso no solo e nas plantas (Martins et al., 2019).

Ainda, sob estresse salino, as plantas podem inibir a síntese do ácido 5-aminolevulínico molécula precursora da clorofila, ou causar o aumento da enzima responsável pela degradação da clorofila (clorofilase), causando reduções na fotossíntese (Nóbrega et al., 2021). Além disso, o acúmulo de íons de sais como Cl, Na, e B, fornecidos pela irrigação com águas salinas, causam a desestabilização da membrana celular (Sousa et al., 2017)

Em trabalho avaliando-se os efeitos da salinidade da água e fontes de nitrogênio na cultura da gravioleira (Silva et al. 2017), verificaram reduções nos pigmentos fotossintéticos e inibição na eficiência fotoquímica das plantas. Já Veloso et al. (2018), constataram que a irrigação com água com CEa superior a  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$  reduziu significativamente a altura de plantas, o número de folhas e a fitomassa seca da parte aérea da gravioleira na fase de formação de mudas. Contudo, a intensidade dos efeitos do estresse salino sobre as plantas depende da espécie, cultivar, condições climáticas, manejo de irrigação e adubação e aplicação de substâncias elicitores (Negrão et al., 2017).

Como alternativa para diminuir os efeitos deletérios da salinidade sobre as plantas, têm-se a utilização do peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), que em pequenas concentrações funciona como um importante sinalizador intracelular para a ativação de respostas ao estresse e de vias de defesas da planta (Shalaby et al., 2023). O peróxido de hidrogênio pode estimular um maior acúmulo de proteínas e carboidratos solúveis, que atuarão como solutos orgânicos, auxiliando no ajuste osmótico das plantas sob condições de estresse salino condições, permitindo uma maior absorção de água e nutrientes (Carvalho et al., 2011; Bagheri et al., 2019).

Silva et al. (2019), em sua pesquisa com gravioleira cv. Morada Nova e Silva et. (2016) trabalhando com milho, verificaram que a utilização de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) de forma exógena nas concentrações de  $25 \mu\text{M}$  e  $8 \mu\text{M}$ , respectivamente, é uma

alternativa promissora de aclimação das plantas ao estresse salino. Estes autores observaram que a aplicação de diferentes concentrações de  $H_2O_2$  promoveu aclimação das plantas à salinidade da água de irrigação no crescimento inicial das plantas.

Lima et al. (2021), estudando as relações hídricas, os pigmentos fotossintéticos e o crescimento do maracujazeiro-azedo cv. BRS Rubi do Cerrado, em função da natureza catiônica da água de irrigação e aplicação de peróxido de hidrogênio, observaram que a aplicação de 60  $\mu M$  de  $H_2O_2$  diminuiu o extravasamento de eletrólitos nas plantas de maracujazeiro-azedo irrigadas com água de composição cálcica ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ), aos 60 dias após a semeadura.

Portanto, considerando a importância dessa frutífera no agronegócio brasileiro e ausência de estudos abordando os efeitos do estresse salino e aplicação foliar de peróxido de hidrogênio nas distintas fases de desenvolvimento é de extrema importância o desenvolvimento de pesquisas com o propósito de identificar estratégias de mitigação dos efeitos do estresse salino no cultivo da gravioleira.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar o efeito das concentrações de peróxido hidrogênio no crescimento, na fisiologia e composição mineral da gravioleira cv. Morada Nova, cultivada sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, visando fornecer subsídios ao seu cultivo em regiões semiáridas do Nordeste brasileiro.

### **2.2 Específicos**

- Avaliar o crescimento da gravioleira cv. Morada Nova, irrigadas com águas salinas e submetidas a concentrações de peróxido de hidrogênio;
- Analisar as alterações nas trocas gasosas e a fluorescência da clorofila *a* de gravioleira cv. Morada Nova, irrigadas com águas salinas e concentrações de peróxido de hidrogênio;
- Determinar os teores de pigmentos fotossintéticos, o extravasamento de eletrólitos e o teor relativo de água no limbo foliar da gravioleira cv. Morada Nova cultivada sob diferentes condutividades elétricas da água de irrigação e concentrações de peróxido de hidrogênio;

- Quantificar os teores de N, P, K, Na, Cl, e S nos tecidos foliares da gravioleira cv. Morada Nova cultivada sob diferentes níveis de salinidades da água e concentrações de peróxido de hidrogênio.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Aspectos gerais da cultura da gravioleira**

A graviola (*Annona muricata* L.) originou-se na América Central e nos Vales Peruanos, sendo uma frutífera de destaque na economia de diversos países como México, Brasil, Venezuela e Costa Rica (São Jose et al., 2014). Foi introduzida no Brasil no século XVI pelos colonizadores portugueses, cultivada principalmente, nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Pará, Paraíba, Pernambuco e Distrito Federal (Sacramento et al., 2009).

A gravioleira cresce em torno de 4 a 8 m de altura e 15 a 83 cm de diâmetro de copa com ramos baixos (Manica, 1997). Seus frutos possuem forma variada, apresentando-se ovóides, condiformes ou irregulares, com 15 a 30 cm de comprimento por 10 a 20 cm de largura. O fruto é uma baga normalmente verde, de casca flexível, ouriçada de pseudos espinhos carnosos, curtos e moles (Jiménez-Zurita et al., 2016). Quando verde, a polpa é branca, de odor forte e acre, torna-se suave, agradável, sucosa, refrigerante, doce e ligeiramente ácida com seu amadurecimento. Seu peso médio é de 4 kg (Pinto et al., 2005), podendo conter de 55 a 170 sementes negras com 2 cm de largura (Awan et al., 1980). Possui o maior sistema radicular dentre as demais annonáceas podendo adaptar-se a diferentes tipos de solos, apesar de requerer solos profundos, ricos e bem drenados com pH ligeiramente ácido (5,5 - 6,5) (Ramos, 1992).

A gravioleira é uma espécie tropical, cuja necessidade hídrica do cultivo é na ordem de 1.000 a 1.200 mm/ano (Pinto et al., 2001). É uma planta bastante exigente em nutrientes principalmente, em potássio e nitrogênio com elevadas demandas durante todo o ciclo. (Gomes Júnior et al., 2018). Batista et al. (2003) observaram que mudas de gravioleira são mais exigentes em potássio e nitrogênio, apresentando a seguinte ordem decrescente de absorção de macronutrientes: K, N, Ca, Mg e P, já os micronutrientes são exigidos na seguinte ordem decrescente: Fe, Mn, Zn, Cu.

No Nordeste brasileiro, o cultivo da graviola surge como uma atividade promissora, pois seus frutos de sabor e aroma agradáveis podem ser consumidos de forma in natura, como também em sucos, polpas, doces e sorvetes, além do seu uso medicinal, visto que partes da gravioleira (cascas, raízes, folhas, polpa e sementes) são ricas em compostos

bioativos, sendo desta forma, utilizadas por doentes cancerígenos como tratamento alternativo (Oliveira Neto et al., 2014; Moghadamtousi et al., 2015).

Além disso, essa fruteira tem potencial fitoterápico, destacando-se como anti-inflamatório, antimicrobiano, antioxidante e citotóxico, sendo fonte de vitamina C, carboidratos, cálcio e substâncias antioxidantes. Suas folhas são ricas em metabólitos secundários, dentre eles as acetogeninas, os quais são compostos bioativos que atuam como um anticancerígeno (Suns et al., 2017; Daddiouaissa & Amid 2018), também, atua na redução do risco de outras doenças como a artrite e diabetes (Moraes, 2016) e retarda sintomas associados à fibromialgia a exemplo da dor crônica, ansiedade e depressão (Quilez et al., 2018).

Informações recentes a respeito da área plantada e comercialização da graviola no comércio nacional são escassas, no entanto, sabe-se que o Estado da Bahia detém 58,7% da área cultivada de gravioleira do país, com ênfase para as regiões do litoral sul e extremo sul do Estado, tornando-se o maior produtor nacional, cuja área plantada georreferenciada é de 1.531 ha (CENSO AGRO, 2017).

### **3.2 Disponibilidade e qualidade de água em regiões semiáridas do Brasil**

O Semiárido brasileiro comporta 1.262 municípios, em uma área territorial de 1.128.697 km<sup>2</sup>, estende-se pelos nove estados da região Nordeste e também pelo norte de Minas Gerais, no total, ocupa 12% do território nacional e abriga cerca de 28 milhões de habitantes divididos entre zonas urbanas (62%) e rurais (38%), sendo portanto, um dos semiáridos mais povoados do mundo (INSA, 2024).

A precipitação pluviométrica do Semiárido brasileiro é caracterizada pela variabilidade espaço-temporal, que, associada aos baixos valores anuais, resulta na frequente ocorrência de dias sem chuva. Os altos níveis de radiação solar incidente resultam em elevadas taxas evapotranspiratórias, que reduzem a umidade do solo e a quantidade de água armazenada nos reservatórios, o que em conjunto com a precipitação pluviométrica média anual inferior a 800mm promovem uma menor disponibilidade de água na região (Gama et al., 2020).

Dessa forma, a baixa disponibilidade de água, associada a altas temperaturas e elevada evapotranspiração que comumente ocorre nas regiões áridas e semiáridas, contribuem para que as águas dessa região apresentem níveis moderados de sais dissolvidos (Velooso et al., 2018). De acordo com Pessoa et al. (2019), em áreas produtoras das regiões semiáridas, não obstante a demanda evaporativa supera o suprimento hídrico do solo e a qualidade

das águas que podem ser usadas na irrigação nem sempre é adequada, pois além da salinidade aumentar ao longo do tempo, muitas vezes, o cultivo é feito em solos que não possuem condições físicas para lixiviação dos sais e aeração suficiente à expansão radicular.

Em períodos de secas, a exploração de águas subterrâneas na região semiárida é a garantia para o atendimento das demandas, tanto para necessidades básicas quanto como insumo no sistema produtivo, onde estas águas costumam ser a principal ou única fonte disponível (Bourque et al., 2019). No entanto, não só a quantidade de água é preocupante, mas também a sua qualidade.

Segundo Ayres e Westcot (1999), a qualidade da água define-se em três critérios básicos: salinidade, sodicidade e toxicidade. O efeito da salinidade é de natureza osmótica, podendo afetar diretamente a produtividade das culturas, é o resultado da acumulação de sais na dissolução do solo (Lima et al., 2017). A sodicidade, determinada pela razão de adsorção de sódio (RAS) da água de irrigação, se refere ao efeito do sódio contido na água de irrigação, que tende a elevar a porcentagem de sódio trocável no solo (PST), afetando a sua capacidade de infiltração; para medir o seu risco, utiliza-se a condutividade elétrica da água mais a relação de adsorção de sódio (RAS): relação entre os íons Na, Ca e Mg (Almeida, 2010). A toxicidade refere-se ao efeito de alguns íons sobre as plantas, como o cloreto, o sódio e o boro que, quando encontrados em concentrações elevadas, podem causar danos às culturas, reduzindo sua produção (Bortolini et al., 2018)

Medeiros (1992) verificou que os principais sais presentes nas fontes na água do Nordeste brasileiro são, NaCl, CaCl<sub>2</sub> e MgCl<sub>2</sub>, com proporções 7:2:1 respectivamente. Já Silva Júnior et al. (1999) constataram que na água do semiárido nordestino a maioria dos sais presentes são cloreto de sódio (NaCl), o sulfato de magnésio (MgSO<sub>4</sub>), o sulfato de sódio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), o cloreto de magnésio (MgCl<sub>2</sub>) e o carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). De acordo com Morais et al. (1998), cerca de 53,20% das fontes de água (reservatórios, barragens e poços) dessa região apresentam salinidade acima de 3,0 dS m<sup>-1</sup>, com severa restrição de irrigação (QUAL CLASSIFICAÇÃO).

### **3.3 Tolerância das plantas a salinidade**

A tolerância de uma cultura à salinidade reflete na sua capacidade de suportar os efeitos do excesso de sais na zona radicular, sendo variável com fatores do solo, clima e fase fenológica (Qadir et al., 2008).

Em relação a tolerância à salinidade, as plantas podem ser divididas em dois grupos: halófitas e glicófitas, as primeiras potencialmente mais tolerantes à salinidade, por possuírem estratégias mais eficientes na convivência com o estresse salino, enquanto as glicófitas são sensíveis aos sais, havendo uma alta variabilidade entre espécies e cultivares, em função dos mecanismos de tolerância que cada uma apresenta (Silva et al., 2018).

Dentre as estratégias bioquímicas utilizadas pelas plantas pode-se citar a acumulação ou absorção seletiva de íons, controle da entrada de íons pelas raízes e transporte para as folhas, compartimentalização de íons em nível celular (vacúolos) e estrutural (folhas), síntese de osmólitos, alterações nas vias fotossintéticas, modificações na estrutura de membrana, indução de enzimas antioxidantes e hormônios (Yarra, 2019).

Entretanto, a resposta das plantas a salinidade varia dependendo da espécie, do genótipo, do estágio fenológico, do período de exposição aos sais, condições climáticas da região, do tipo de solo e do método de irrigação e das práticas de manejo de adubação (Melo et al., 2022).

Geralmente, o estresse salino afeta negativamente o crescimento das plantas em todos os seus estágios de desenvolvimento, porém a germinação e o crescimento inicial são as fases mais afetadas (Araújo, 2016). Por reduzir o potencial osmótico do solo, o acúmulo de sais em especial o sódio e o cloreto, podem provocar déficit hídrico e distúrbio nutricional, causando o fechamento estomático, reduzindo o potencial produtivo da cultura (Arzani, 2016).

Sob condições de estresse salino, as plantas pode diminuir a área foliar, como um mecanismo importante para a redução das perdas de água pela planta (Alves et al., 2021). Também os processos fisiológicos das plantas são afetados, entre eles a transpiração, a assimilação de CO<sub>2</sub>, a síntese de proteínas e fotossíntese, que acaba limitando a capacidade produtiva das plantas (Braz, 2019).

De acordo com Azevedo et al. (2017), elevadas concentrações de sais dissolvidos na solução do solo, ocasionam efeito osmótico, reduzindo o potencial hídrico e, conseqüentemente, diminuindo a disponibilidade de água e nutrientes. Desta maneira, Dias & Blanco (2016) ressaltam ainda que, o aumento da pressão osmótica causado pelo excesso de sais solúveis na solução do solo, poderá atingir um nível em que as plantas não terão força de sucção suficiente para superar o potencial osmótico e, como resultado a planta não irá absorver água, e, portanto, nutrientes, em razão da condição de estresse hídrico, sendo este processo também denominado de seca fisiológica.

Além disso, na maioria das espécies cultivadas sob condições de salinidade as concentrações de  $K^+$  e  $Ca^+$  são diminuídas devido ao mecanismo de competição ou antagonismo entre eles, interferindo nas funções fisiológicas das plantas (Schossler et al., 2012).

### **3.4 Salinidade em plantas de gravioleira**

As plantas quando expostas a salinidade, tem o seu metabolismo e suas atividades fisiológicas afetadas negativamente, especialmente devido aos efeitos osmóticos, iônicos e oxidativos. Cavalcante et al. (2001), estudando os efeitos de fontes salinas através da irrigação com água rica em cloreto de sódio e em cloreto de magnésio, com níveis de condutividade elétrica de 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 6,0 e 9,0  $dSm^{-1}$  sobre o crescimento inicial da gravioleira, cv. Morada Nova, concluíram que a gravioleira, durante a fase de formação de mudas, ajustou-se osmoticamente como planta moderadamente tolerante aos sais e sua área foliar e o rendimento biológico das plantas aumentaram com o nível de salinidade da água de irrigação de até 3,0  $dS m^{-1}$ .

Por sua vez, em pesquisa desenvolvida por Nobre et al. (2003), avaliando a formação de mudas enxertadas de gravioleira sob estresse salino, concluíram que, a sobrevivência dos enxertos diminui com o aumento da salinidade e com o tempo de exposição das plantas ao estresse salino, ocorrendo morte de todas as plantas submetidas à salinidade superior a 2,5  $dS m^{-1}$ .

Já Veloso et al. (2018), ao trabalharem com a gravioleira cv. Morada Nova constataram que o crescimento das plantas foi reduzido pelo aumento da salinidade da água de irrigação, entretanto, água com até 2,0  $dS m^{-1}$  pode ser usada para produzir mudas de graviola com uma redução média aceitável de 10% no crescimento das mudas.

Silva et al. (2018), estudando o crescimento e trocas gasosas em gravioleira sob irrigação com águas salinas (0,5; 1,1; 2,5 e 3,5  $dS m^{-1}$ ) e fontes de nitrogênio, também observaram que o aumento da salinidade da água inibiu a abertura estomática e a carboxilação no interior das folhas. Já Veloso et al. (2020), avaliando as alterações fisiológicas e crescimento de gravioleira cultivadas com águas salinas (1,6; 2,4; 3,2 e 4,0  $dS m^{-1}$ ) e  $H_2O_2$  na fase pós-enxertia, observaram que a salinidade da água de irrigação a partir de 1,6  $dS m^{-1}$  causa alterações na condutância estomática, transpiração e concentração interna de  $CO_2$  das plantas de gravioleira. Contudo, são incipientes estudos que mostrem a tolerância da gravioleira na fase de formação de produção.

### **3.5 Peróxido de hidrogênio como atenuante do estresse salino em plantas**

O peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) consiste numa espécie reativa de oxigênio (ERO), produzido naturalmente pelas plantas, capaz de oxidar lipídios de membranas, desnaturar proteínas e reagir com DNA, provocando mutações (Bhatla e Lal, 2017).

As plantas sob condições de estresse severo, ocorre a superredução da cadeia de elétrons nos cloroplastos e nas mitocôndrias, formando espécies reativas de oxigênio (EROS) em excesso, como ânion superóxido ( $O_2^{\bullet-}$ ), peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), radical hidroxila ( $HO^{\bullet}$ ) e oxigênio singlete ( $^1O_2$ ), esse desequilíbrio causa prejuízos ao metabolismo da planta, no qual, em níveis elevados, tornam-se tóxicas e capazes de interagir com todos os tipos de moléculas orgânicas, como ácidos nucleicos e lipídios (Sharma et al., 2002; Noctor, et al., 2014; Foyer, 2018; Denaxa et al., 2020).

Por outro lado, em baixas concentrações, as espécies reativas de oxigênio (EROS) atuam como agentes de sinalização intracelular, induzindo uma resposta positiva no sistema antioxidante (Dantas et al. 2022). Santos et al. (2020), relata que o  $H_2O_2$  em baixas concentrações funciona como um importante sinalizador intracelular para a ativação de respostas ao estresse e de vias de defesas do vegetal e pode contribuir na aclimação das plantas aos estresses abióticos, o que consiste em um processo no qual a exposição prévia de um indivíduo a determinado tipo de estresse, provoca mudanças metabólicas responsáveis pelo aumento de sua tolerância a nova exposição ao estresse.

Pesquisas mostram que em situações de estresse salino, a aplicação foliar de peróxido de hidrogênio por pulverização e/ou pré-tratamento das sementes, em baixas concentrações, revelou-se promissor na aclimação das culturas ao estresse salino (Bagheri et al., 2019; Silva et al., 2019), fornecendo uma condição de estresse moderado que provoca o acúmulo de sinais latentes em diferentes partes da planta. Desta forma, quando ocorre uma condição de estresse mais severo, os sinais conduzem ajustes moleculares, resultando em mecanismos de aclimação (Savvides et al., 2016).

Gondim et al. (2011), destacam que o processo de aclimação a determinadas condições de estresse se constitui numa alternativa para aumentar a capacidade de sobrevivência das plantas a condições adversas. Com esse intuito, Azevedo Neto et al. (2005) e Carvalho et al. (2011) em trabalhos sobre aclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com  $H_2O_2$ , concluíram que baixas concentrações de  $H_2O_2$  (1  $\mu M$ ) foram suficientes para induzir os sistemas de defesa antioxidativos, de modo a minimizar os efeitos deletérios da salinidade.

Silva et al. (2016) constataram que a aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na semeadura e pulverização foliar promoveu aclimação de plantas de milho à salinidade da água de irrigação. Já Gondim et al. (2011) observaram que a pulverização foliar de plantas de milho com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> induziu a aclimação das plantas ao estresse salino, revertendo parcialmente os efeitos deletérios da salinidade no crescimento.

Veloso et al. (2020), trabalhando com gravioleira cv. Morada Nova (CEa variando de 0,5 a 3,5 dS m<sup>-1</sup>), Silva et al. (2019) com o maracujazeiro amarelo (CEa variando de 0,7 dS m<sup>-1</sup> a 2,8 dS m<sup>-1</sup>) e Liu et al. (2020) com trigo (VALORES) concluíram que o uso de peróxido de hidrogênio via embebição das sementes e pulverização foliar mitigou os efeitos deletérios causados pela salinidade da água de irrigação nas trocas gasosas e no crescimento das plantas.

Já Capitulino et al. (2022), estudando métodos de aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como atenuante do estresse salino na produção de mudas de gravioleira cv. Morada Nova, concluiu que o uso de águas salinas, com condutividade elétrica da água até 3,0 dS m<sup>-1</sup> permitiu a produção de mudas de qualidade, já o método de aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por pulverização foliar (20 µM) minimizou os efeitos do estresse salino nas trocas gasosas das mudas.

Silva et al. (2019), constataram que os efeitos deletérios do estresse salino foram mitigados pela aplicação foliar de peróxido de hidrogênio nas trocas gasosas e crescimento das plantas de gravioleira, em que a concentração de 20 µM pode ser utilizada para induzir a tolerância a salinidade em mudas de gravioleira cv. Morada Nova.

Pelo exposto, percebe-se que a pulverização foliar de peróxido de hidrogênio é uma alternativa promissora no processo de aclimação ao estresse salino. Todavia, não há relatos na literatura sobre a utilização do peróxido de hidrogênio na cultura da gravioleira até a fase de pré-floração. Dessa forma, o desenvolvimento de novos estudos é de fundamental importância para compreender as alterações fisiológicas, no crescimento e composição mineral das plantas de gravioleira cultivadas sob estresse salino e aplicação foliar de peróxido de hidrogênio com o propósito de expandir o cultivo irrigado desta fruteira no semiárido do nordeste brasileiro.

#### **4 REFERÊNCIAS**

ADAB - Agência de defesa agropecuária do estado da Bahia. 2010. Disponível em: <<http://www.adab.ba.gov.br/modules/news/article.php?storyid=480>>. Acesso em: 21 de Dezembro de 2022.

- Almeida, O. A. Qualidade de água de irrigação. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2010, 234p.
- Alves, C. P.; Cirino Júnior, B.; Rocha, A. K. P.; Vieira, D. S. M. de M.; Eugênio, D. da S.; Leite, M. L. de M. V. Morphophysiological responses of forage plants under crop and grazing management: A review. *Research, Society and Development*, v.10, e10610615405, 2021.
- Araújo, E. B. G.; Silva Sá, F.V. da; Oliveira, F, A.; Souto, L. S.; Paiva, E. P.; Silva, M. K. N.; Mesquita, E. F.; Brito, M. E. B. Crescimento inicial e tolerância de cultivares de meloeiro à salinidade da água. *Revista Ambiente & Água*, v.11, p.1980-1993, 2016.
- Arzani, A & Ashraf, M. Engenharia Inteligente de Recursos Genéticos para Melhor Tolerância à Salinidade em Plantas de Cultivo. *Revisões Críticas em Ciências Vegetais*, v.35, p.146-189, 2016.
- Awan, J. A.; Kar, A.; Udoudoh, P, J. Preliminary studies on the seeds of *Annona muricata* Linn. *Plant Foods Humam Nutrire*, v.30, p.163-168, 1980.
- Ayers, R. S. & Westcot, D.W. A qualidade de água na agricultura. Campina Grande-PB: UFPB,1999.
- Azevedo Neto, P. R. L.; Bezerra, D. E. L.; Souto, F. M.; Bitu, S. G.; Junior, E. B. P. Efeito dos sais e da qualidade da água no solo e na planta. *Revista de Agroecologia no Semiárido*, v. 1, p.01-12, 2017.
- Azevedo Neto, A. D.; Prisco, J. P.; Enéas-Filho, J.; Medeiros, J.V. R.; Gomes-Filho, E. Hydrogen peroxide pre-treatment induces salt-stress acclimation in maize plants. *Journal of Plant Physiology*, v.162, p.1114-1122, 2005.
- Bagheri, M.; Gholami, M.; Baninasab, B. Hydrogen peroxide-induced salt tolerance in relation to antioxidant systems in pistachio seedlings. *Scientia Horticulturae*, v.243, p.207-213, 2019.
- Batista, M. M. F.; Viégas, I. J. M.; Frazão, D. A. C. F.; Thomaz, M. A. A.; Silva, R. C. L. Efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral em gravioleiras (*Annona muricata* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.25, p.315-318, 2003.
- Bento, E. B.; Monteiro, Á. F.; Lemos, I. C. S.; Brito Junior, F. E. de; Oliveira, D. R. de; Menezes, I. R. A. de; Kerntopf, M. R. Estudio etnofarmacológico comparativo en la región del Araripe de la *Annona muricata* L. (Graviola). *Revista Cubana de Plantas Medicinai*s, v.21, p.9-19, 2016.

- Bourque, K.; Schiller, A.; Angosto, C. L.; Mc Phail, L.; Bagnasco, W.; Aires, A.; Larsen, A. Equilibrando a produção agrícola, a gestão das águas subterrâneas e as metas de biodiversidade: Um modelo de otimização multibenefícios da agricultura no condado de Kern, Califórnia. *Ciência do Meio Ambiente Total*, v.670, p.865-875, 2019.
- Bortolini, L.; Maucieri, C.; Borin, M. A tool for the evaluation of irrigation water quality in the arid and semi-arid regions. *Agronomy*, v.8, 2018.
- Bhatla, S. C.; Lal, A. M. *Plant Physiology, Development and Metabolism*. 1.ed. Singapore, p. 1251, 2017.
- Braz, R. S.; Lacerda, C. F. de; Assís Júnior, R. N.; Ferreira, J. F. S.; Oliveira, A. C.; Ribeiro, A. A. Growth and physiology of maize under water salinity and nitrogen fertilization in two soils. *Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, p.907-913, 2019.
- Capitulino, J. D.; Lima, G. S de; Azevedo, C. A. V.; Silva, A. A. R da; Veloso, L. L. S. A.; Farias, M. S. S.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Lima, V. L. A. Gas exchange and growth of soursop under salt stress and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> application methods. *Brazilian Journal of Biology*, v. 82, e261312, 2022.
- Carvalho, F. E. L.; Lobo, A. K. M.; Bonifacio, A.; Martins, M. O.; Lima Neto, M. C.; Hnilicková, J. A. G. Aclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p. 416-423, 2011.
- Cavalcante, L. F.; Carvalho, S. D.; Lima, E. D.; Feitosa Filho, J. C.; Silva, D. A. Desenvolvimento inicial da gravioleira sob fontes e níveis de salinidade da água. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.23, p.455-459, 2001.
- Censo Agropecuário. Resultados preliminares. 2017. Disponível em: <[https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76303](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76303)> Acesso em: Outubro de 2022.
- Daddioucussa, D & Amid, A. Anticancer activity acetogenins from *Annona muricata* fruit. *The International Medica Journal Malaysa*, v.17, p.103-112, 2018.
- Dantas, M. V., Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Pinheiro, F. W. A.; Silva, P. C. C.; Soares, L. A. dos A. Gas exchange and hydroponic production of zucchini under salt stress and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> application. *Revista Caatinga*, v.35, p.436-449, 2022.
- Denaxa, N. K.; Damvakaris, T.; Roussos, P. A. Antioxidant defense system in young olive plants against drought stress and mitigation of adverse effects through external application of alleviating products. *Scientia Horticulturae*, v.259, p.1-11, 2020.

- Dias, N. S & Blanco, F. F. Efeito dos sais no solo e nas plantas. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTA Sal, 2016. Cap.6, p.151-161.
- Fernandes, E. A.; Soares, L. A. A.; Lima, G. S de; Silva Neta, A. M. S.; Roque, I. A.; Silva, F. A.; Fernandes, P. D.; Lacerda, C. N. Danos celulares, trocas gasosas e crescimento de *Annona squamosa* L. sob solução salina irrigação com água e fertilização com potássio. Semina: Ciências Agrárias, v.42, p.999-1018, 2021.
- Forman, H. J.; Maiorino, M.; Ursini, Signaling functions of reactive oxygen species. Biochemistry, v.49, p.835-842, 2010.
- Foyer, C. H. Reactive oxygen species, oxidative signaling and the regulation of photosynthesis. Environmental and Experimental Botany, v.154, p.134-142, 2018.
- Gama, D. C.; Jesus, J. B. de. Principais solos da região Semiárida do Brasil favoráveis ao cultivo do Eucalyptus L'Heritier. BIOFIX Scientific Journal, v.5, p.214-221, 2020.
- Gomes Júnior, G. A.; Pereira, R. A.; Sacramento, C. K.; Souza Júnior, J. O. Extração e exportação de nutrientes em frutos de gravioleira. Ciência Agrícola, Rio Largo, v. 16, p.80-84, 2018.
- Gondim, F. A.; Gomes Filho, E.; Marques, E. C.; Prisco, J. T. Efeitos do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no crescimento e acúmulo de solutos em plantas de milho sob estresse salino. Revista Ciências Agrônômica, v.42, p.373-38, 2011.
- Hansra, D. M.; Silva, O.; Mehta, A.; Ahn, E. Patient with metastatic breast cancer achieves stable disease for 5 years on shourp and xeloda after progressing on multiple lines of therapy. Advances in Breast Cancer Research, v.3, p.84, 2014.
- INSA – Instituto Nacional do Semiárido. 2024. O semiárido brasileiro. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Disponível em: < <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiario-brasileiro>> Acesso em: 04 de fevereiro de 2024.
- Jiménez-Zurita, J. O.; Balois-Morales, R.; Alia-Tejacal, I.; Juárez-López, P.; Sumaya-Martínez, M. T.; Bello-Lara, J. E. Caracterización de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, v. 7, p. 1261-1270, 2016.
- Khan, M. S.; Akther, T.; Ali, D. M.; Hemalatha, S. An investigation on the role of salicylic acid alleviate the saline stress in rice crop (*Oryza sativa* L). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, v.18, e101027, 2019.
- Larcher, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos: RiMa, 2000. 531 p.

- Liu, L.; Huang, L.; Lin, X.; Sun, C. O. Hydrogen peroxide alleviates salinity-induced damage by increasing proline buildup in wheat seedlings. *Plant Cell Reports*, v.39, p.567-575, 2020.
- Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Soares, L. A. A.; Fernandes, P. D.; Freitas, G. F. Trocas gasosas, pigmentos cloroplastídicos e dano celular na mamoneira sob diferentes composições catiônica da água. *Irriga*, v. 22, p. 757-774, 2017.
- Lima, G. S. de; Souza, W. B. B.; Pinheiro, F. W. A.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R. Cationic nature of water and hydrogen peroxide on the formation of passion fruit seedlings. *Revista Caatinga*, v.34, p.904-906, 2021.
- Martins, J. B.; Santos Júnior, J. A.; Bartusch, V. P.; Gheyi, H. R.; Bezerra Neto, E.; Silva, M. M. D. Water relations in parsley plants cultivated in brackish nutrient solutions of different cationic natures. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, p.662-668, 2019.
- Manica, I. Taxonomia, morfologia e anatomia. In: São José, A. R. Edição Especial. Anonáceas, produção e mercado (pinha, graviola, atemóia e cherimólia). Vitória da Conquista: UESB, 1997. 20p.
- Medeiros, J. F. Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE. Campina Grande: UFCG, 1992. 173p. Dissertação de Mestrado
- Melo, G. L.; Petry, M.T.; Silva, C. M de; Fresinghelli Netto, J.; Martins, J. D.; Villa, B de; Tonetto, F.; Moura, M. B de; Mendonça, M. T.; Tokura, L. K. Ocorrências e controle de salinidade no uso de um sistema de irrigação localizada. *Revista de Ciências Ambientais* v. 16, p. 1-11, 2022
- Morais, E. R. C.; Maia, C. E.; Oliveira, M. Qualidade da água para irrigação em amostras analíticas do banco de dados do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró. *Revista Caatinga*, v.11, p. 75- 83, 1998.
- Moghadamtousi, S. Z.; Fadaeinasab, M.; Nikzad, S.; Mohan, G.; Ali, H. M.; Kadir, H. A. *Annona muricata* (Annonaceae): a review of its traditional uses, isolated acetogenins and biological activities. *International journal of molecular sciences*, v.16, p.15625-15658, 2015.
- Negrão, S.; Schmöckel, S. M.; Tester, M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, v.119, p.1-11, 2017.

- Nobre, R. G.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R. Santos, F. J. D. S.; Bezerra, I. L.; Gurgel, M. T. Germinação e formação de mudas enxertadas de gravioleira sob estresse salino, *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.38, p.1365-1371, 2003.
- Nóbrega, J. S.; Fátima, R. T. de; Ferreira, J. T. A.; Figueiredo, F. R. A.; Melo, M. F.; Caledônio, W. F.; Dias, T. J. Photochemical efficiency, biomass and chlorophyll of phyális under salinity and biostimulant. *Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, v.16, p.1-7, 2021.
- Noctor, G.; Mhamdi, A.; Foyer, C. H. The Roles of Reactive Oxygen Metabolism in Drought: Not So Cut and Dried. *Plant Physiology*, v.164, p.1636-1648, 2014.
- Oliveira Neto, E. A.; Santos, D. C.; Santos, Y. M. G. dos. Agroindustrial utilization of soursop (*Annona muricata* L.) for production of liqueurs: Sensory evaluation, *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v.5, p.33-42, 2014.
- Pessoa, L. G. M.; Freire, M. B. G. dos S.; Santos, R. L.; Freire, F. J.; Santos, P. R. dos; Miranda, M. F. A. Saline water irrigation in semiarid region: II -effects on growth and nutritional status of onions. *Australian Journal of Crop Science*, v.13, p.1177–1182,2019.
- Pinto, A. C. de; Cordiero, Q. M. C. R.; De Andrade, S. R. M.; Ferreira, F. R.; Filguieras, H. A.; Alves, D. I. *Annona species*. Southampton, UK: University of Southampton - International Centre for Unde-utilised Crops, 2005. 268p.
- Pinto, A. C. de Q.; Silva, E. M. da; Ramos; V. H. V.; Rodrigues, A. A. Tratos Culturais. In: Oliveira, M. A. S. (Ed.). *Graviola, produção*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001.p.26-33.
- Pizarro, F. *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. 2 ed. Madrid: Editora agrícola espanhola, S. A.,1985. 542p.
- Pinheiro, L.G.; Ferreira, D. M.; Silva, F.L da; Medeiros, J. A.; Medeiros, L.C.; Peixe, P. D.; Moreira, S. A. Avaliação da sustentabilidade do processo de dessalinização de água no semiárido potiguar: Estudo da Comunidade da Caatinga Grande. *Revista Sociedade e natureza*, v.1, p.132-157,2020.
- Qadir, M.; Tubeileh, A. J.; Akhtar, A. Larbi, P, S.; Khan, M. A. Productivity enhancement of salt-affected environments through crop diversification. *Land Degradation & Development*, v.19, p.429-453, 2008.
- Quilez, A. M.; De La Paz, S. M.; Archer, A. F.; Delapuerta, R.; Gimenez, M. D. G. Dietssupplemented with *Annona muricata* improve the symptoms of fibromyalgia. *Pharma Nutrition*, v.6, p.81-84, 2018.

- Ramos, V. H. V. Cultura da gravioleira (*Annona muricata* L.) In: Donadio, L. C. Fruticultura tropical. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 268p.
- Sacramento, C. K.; Moura, J. I. L.; Coelho Junior, E. Graviola. In: Santos-Serejo, J. A. Fruticultura tropical: espécies regionais e exóticas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. Cap.5, p. 95-132.
- Santos, L. C. dos; Silva, S. T. de A.; Medeiros, C. R. de; Santos, A. V. D. dos; Lima, G. S. de; Severo, P. J. da S.; Medeiros, J. E. de; Brilhante, C. L.; Pereira, J. D. A. Peróxido de hidrogênio como atenuante do estresse salino na formação de mudas de pitaita vermelha (*Hylocereus costaricensis*). Brazilian Journal of Development, v.6, p.7295-27308, 2020.
- Savvides, A.; Ali, S.; Tester, T.; Fotopoulos, V. Chemical Priming of Plants Against Multiple Abiotic Stresses: Mission Possible. Trends in plant Science, v.21, p.329-340, 2016.
- São José, A. R.; Pires, M. M.; Freitas, A. L. G. E.; Ribeiro, D. P.; Perez, L. A. A. Atualidades e perspectivas das Anonáceas no mundo. Revista Brasileira de Fruticultura, v.36, p.86-93, 2014.
- Schossler, T. R.; Machado, D. M.; Zuffo, A. M.; Andrade, F. R. de; Piauilino, A. C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. Enciclopédia Biosfera, v.8, p.2012-1563, 2012.
- Sharma, P.; Jha, A. B.; Dubey, R. S.; Pessarakli, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. Journal of Botany, v.2, p.1-26, 2012.
- SIAP-SIGARPA- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponível em: <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/>. Acesso em: 24 Jul. 2023.
- Silva, A. A. R.; Lima, G. S. de; Azevedo, C. V. de; Veloso, L. L. S.; Capitulino, J. D.; Gheyi, H. R. Induction of tolerance to salt stress in soursop seedlings using hydrogen peroxide. Comunicata Scientiae, v.10, p.484-490, 2019.
- Silva, E. M. da; Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Sá, F. V. da S.; Souza, L. de P. Growth and gas exchanges in soursop under irrigation with saline water and nitrogen sources. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.22, p.776-78, 2018.
- Silva, E. M. da; Lacerda, F. H. D.; Medeiros, A. de S.; Souza, L. de P.; Pereira, F. H. F. Métodos de aplicação de diferentes concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em milho sob estresse salino. v.11, p.1-7, 2016.

- Silva Júnior, L. G. A.; Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.3, p.11-17, 1999.
- Suns, S.; Liu, J.; Sun, X.; Zhu, W.; Yang, F.; Felczak, L.; Dou, Q. P.; Zhou, K. Novel Annona ceous acetogenins from graviola (*Annoma Muricata*) and their anti-proliferation on human prostate câncer cell Pc-3. *Tetrahedron letters*, v.26, p.4382-4385, 2017.
- Sousa, J. R. M.; Gheyi, H. R.; Brito, M. E. B.; Silva, F. A. F.; Lima, G. S. de. Dano na membrana celular e pigmentos clorofilianos de citros sob águas salinas e adubação nitrogenada. *Irriga*, v.22, p.353-368, 2017.
- Shalaby, O. A. E.; Farag, R.; Mohamed, F. M. I. Effect of hydrogen sulfide and hydrogen peroxide on growth, yield and nutrient content of broccoli plants grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, v.316, p.112035, 2023.
- Veloso, L. L. de S.; Nobre, R. G.; Souza, L. P.; Gheyi, H. R.; Cavalcante, I. T. S. C.; Araújo, E. B. G.; Silva, W. L. da. Formation of soursop seedlings irrigated using waters with different salinity levels and nitrogen fertilization. *Biosciense*, v.34, p.151-160, 2018.
- Veloso, L. L. de S.; Silva, A. A. R.; Capitulino, J. D.; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V.; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Fernandes, P.D. Photochemical efficiency and growth of soursop rootstocks subjected to salt stress and hydrogen peroxide. *Agriculture and Food*, v.5, p.1-13, 2020.
- Yarra, R. The wheat NHX gene family: Potencial role in improving salinity stress tolerance of plants. *Plant Gene*, v.18, p.100-178, 2019.

## **CAPÍTULO II**

---

### **MATERIAL E MÉTODOS GERAL**

# 1 MATERIAL E MÉTODOS GERAL

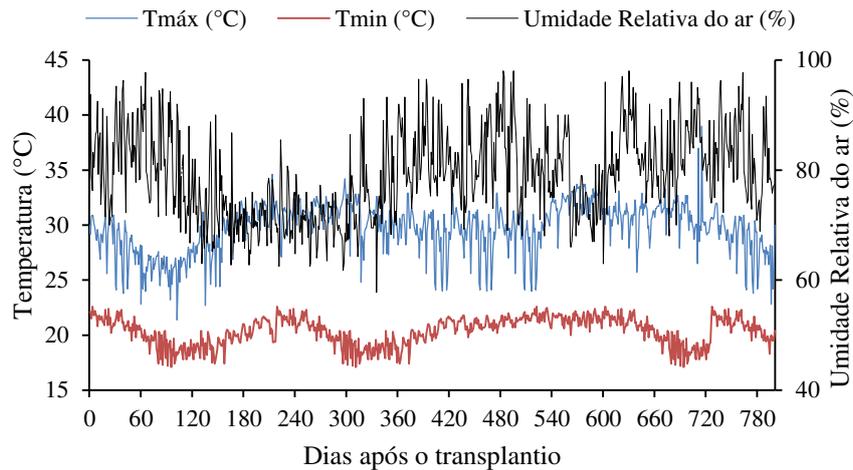
## 1.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido durante os meses de abril de 2020 a abril de 2023, em casa de vegetação do tipo arco, coberta com polietileno de baixa densidade de 150 micras (Figura 1), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UAEEA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em Campina Grande, Paraíba, Brasil, nas coordenadas geográficas 7°15'18" S de latitude, 35°52'28" W de longitude e altitude média de 550 m.



**Figura 1.** Caracterização da área experimental

De acordo com a classificação climática de Köppen, Campina Grande possui clima com temperaturas mais moderadas, considerado tropical com estação seca do tipo As, com a estação chuvosa se iniciando em maio com término em setembro, podendo se estender até outubro (Azevedo et al., 2015). Os dados de temperatura máxima, mínima e umidade relativa do ar coletados durante a condução do experimento estão apresentados na Figura 2.



**Figura 2.** Temperatura do ar (máxima e mínima) e umidade relativa média do ar coletadas na área interna da casa de vegetação durante o período experimental

Tmáx - Temperatura máxima e Tmin -Temperatura mínima

### 1.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos consistiram de quatro níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,8 - controle; 1,6; 2,4; 3,2 dS m<sup>-1</sup>) e quatro concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0 - controle; 10; 20 e 30 μM), no arranjo fatorial 4 × 4, distribuídos em blocos casualizados, com três repetições, perfazendo o total de 48 unidades experimentais (Figura 3).

BLOCO 3	S <sub>1</sub> H <sub>2</sub> 41	S <sub>3</sub> H <sub>4</sub> 42	S <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 43	S <sub>3</sub> H <sub>2</sub> 44	S <sub>2</sub> H <sub>3</sub> 45	S <sub>3</sub> H <sub>1</sub> 46	S <sub>4</sub> H <sub>4</sub> 47	S <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 48
	S <sub>2</sub> H <sub>1</sub> 33	S <sub>3</sub> H <sub>3</sub> 34	S <sub>1</sub> H <sub>1</sub> 35	S <sub>1</sub> H <sub>4</sub> 36	S <sub>4</sub> H <sub>3</sub> 37	S <sub>1</sub> H <sub>3</sub> 38	S <sub>4</sub> H <sub>1</sub> 39	S <sub>4</sub> H <sub>2</sub> 40
BLOCO 2	S <sub>4</sub> H <sub>1</sub> 25	S <sub>3</sub> H <sub>4</sub> 26	S <sub>2</sub> H <sub>1</sub> 27	S <sub>4</sub> H <sub>2</sub> 28	S <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 29	S <sub>3</sub> H <sub>2</sub> 30	S <sub>2</sub> H <sub>3</sub> 31	S <sub>3</sub> H <sub>1</sub> 32
	S <sub>1</sub> H <sub>4</sub> 17	S <sub>3</sub> H <sub>3</sub> 18	S <sub>4</sub> H <sub>3</sub> 19	S <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 20	S <sub>1</sub> H <sub>2</sub> 21	S <sub>1</sub> H <sub>1</sub> 22	S <sub>4</sub> H <sub>4</sub> 23	S <sub>1</sub> H <sub>3</sub> 24
BLOCO 1	S <sub>4</sub> H <sub>4</sub> 9	S <sub>3</sub> H <sub>4</sub> 10	S <sub>2</sub> H <sub>3</sub> 11	S <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 12	S <sub>3</sub> H <sub>1</sub> 13	S <sub>4</sub> H <sub>3</sub> 14	S <sub>4</sub> H <sub>1</sub> 15	S <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 16
	S <sub>1</sub> H <sub>4</sub> 1	S <sub>1</sub> H <sub>2</sub> 2	S <sub>2</sub> H <sub>1</sub> 3	S <sub>3</sub> H <sub>3</sub> 4	S <sub>4</sub> H <sub>2</sub> 5	S <sub>1</sub> H <sub>1</sub> 6	S <sub>1</sub> H <sub>3</sub> 7	S <sub>3</sub> H <sub>2</sub> 8

**Figura 3.** Detalhes da distribuição dos tratamentos na área experimental

S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub> correspondem a 0,8; 1,6; 2,4; e 3,2 dS m<sup>-1</sup>. H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>3</sub> e H<sub>4</sub> correspondem a 0, 10, 20 e 30 μM.

Os níveis salinos das águas foram estabelecidos baseando-se em estudo desenvolvido por Silva et al. (2019). Já as concentrações de peróxido de hidrogênio foram determinadas a partir de estudo desenvolvido por Veloso et al. (2020), onde verificaram que o uso do peróxido de hidrogênio na concentração de 20  $\mu\text{M}$ , atenuou os efeitos deletérios da salinidade da água de irrigação nas trocas gasosas e no crescimento inicial da graviola cv. Morada Nova. As concentrações de peróxido de hidrogênio foram aplicadas através de pulverizações foliares.

### **1.3 Aquisição das mudas**

As mudas foram provenientes de um pomar comercial credenciado no cadastro de sementes e mudas no Distrito de São Gonçalo, Sousa, PB (coordenadas geográficas locais 06° 45' 33" latitude S, 38° 13' 41" de longitude W e altitude média de 220 m).

Nesta pesquisa foi utilizada a cultivar de gravioleira Morada Nova, que segundo Costa et al. (2016) é o material genético preferido pelos agricultores da região Nordeste, compondo a maioria dos pomares comerciais no Brasil, por apresentar maior número de caracteres favoráveis, tais como, alta produtividade, melhor qualidade do fruto e menor suscetibilidade à broca do fruto (*Cerconota anonnella* Sepp.).

### **1.4 Implantação e condução do experimento**

As gravioleiras foram cultivadas em vasos adaptados como lisímetros de drenagem, com 212 L de capacidade (0,75 m de profundidade e 0,2827 m<sup>2</sup> de área) (Figura 4); cada um perfurado em sua base para permitir a drenagem, e acoplados dois drenos transparentes de 20 mm de diâmetro. Em cada dreno se inseriu um tecido geotêxtil (tipo Bidin) e uma camada de 1,0 kg de brita (n° 0) para evitar a obstrução pelo material de solo. Abaixo de cada dreno foram colocadas duas garrafas plásticas com capacidade de 2 L cada, para a coleta de água drenada e estimativa do consumo de água pela planta.



**Figura 4.** Vasos adaptados como lisímetros de drenagem

Os lisímetros foram preenchidos com um solo classificado como Neossolo Regolítico (Entisol) de textura franco arenosa proveniente da zona rural (camada 0 – 0,30 m) do município de Riachão de Bacamarte - PB (7° 15' 34" S de latitude, 35° 40' 1" W de longitude e altitude média de 192 m). Os atributos químicos e físico- hídricos do solo (Tabela 1) foram determinados conforme metodologia proposta por Teixeira et al. (2017).

**Tabela 1.** Atributos químicos e físico-hídricos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

Características químicas									
pH H <sub>2</sub> O	M.O.	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	
1:2,5	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....						
6,5	8,1	79	0,24	0,51	14,9	5,4	0	0,9	
.....Características químicas.....					.....Características físico-hídricas.....				
CE <sub>es</sub>	CTC	RAS	PST	Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )		
dS m <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	(mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	%	Areia	Silte	Argila	33,42 kPa <sup>1</sup>	1519,5 kPa <sup>2</sup>	
2,15	16,54	0,16	3,08	572,7	100,7	326,6	25,91	12,96	

M.O. – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>Oac 1 M pH 7,0; Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup> extraídos com CaOAc 0,5 M pH 7,0; PST- Percentagem de sódio trocável; CE<sub>es</sub> – Condutividade elétrica do extrato de saturação; FA – Franco Arenoso; AD – Água disponível.

O transplântio das mudas para os lisímetros (Figura 5) foi realizado em abril de 2020; durante o período de aclimação das mudas na casa de vegetação (60 dias após o transplântio), as plantas foram irrigadas com água de abastecimento do município de Campina Grande e em seguida, iniciou-se a aplicação dos distintos níveis de CEa.



**Figura 5.** Transplântio das mudas de gravioleira para os vasos adaptados como lisímetros de drenagem

### 1.5 Preparação das águas e manejo de irrigação

Os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8; 1,6; 2,4; 3,2 dS m<sup>-1</sup>) foram obtidos a partir da diluição dos sais de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, na proporção equivalente a 7:2:1, entre Na:Ca:Mg, respectivamente, em água de abastecimento local. Esta proporção de sais é comumente encontrada em fontes de águas utilizadas para irrigação, em pequenas propriedades do Nordeste brasileiro (Medeiros, 1992).

No preparo das águas de irrigação, se considerou a relação entre CEa e concentração de sais (Richards, 1954), conforme a Eq. 1:

$$Q = 10 \times CEa \quad (1)$$

Em que:

Q - quantidade de sais (mmolc L<sup>-1</sup>); e,

CEa - condutividade elétrica da água de irrigação (dS m<sup>-1</sup>).

Após preparo e calibração das águas, serão armazenadas em caixas d'água de 500 litros de capacidade identificadas e devidamente protegidas, de modo a se evitar a evaporação.

Aos 60 dias após o transplântio, iniciou-se a irrigação com as águas salinas, com um turno de rega de três dias, aplicando-se água em cada lisímetro conforme tratamento, de forma a manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo, sendo a quantidade aplicada de acordo com a necessidade hídrica das plantas, estimada pelo balanço de água, cujo volume foi determinado pela Eq. 2:

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

Em que:

VI - volume de água a ser aplicado no próximo evento de irrigação (mL);

Va - volume aplicado no evento de irrigação anterior (mL);

Vd - volume drenado (mL); e,

FL - fração de lixiviação de 0,10, aplicada a cada 30 dias com o objetivo de evitar o acúmulo excessivo de sais na zona radicular.

Durante a condução do experimento todo o volume de água aplicado e drenado, foi utilizado na determinação do consumo hídrico da gravioleira. Além disso, foi mensurada a condutividade elétrica da água drenada, cujos valores podem ser observados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Consumo hídrico das plantas de gravioleira e condutividade elétrica média da água drenada (CE<sub>dr</sub>) por planta durante a condução do experimento (780 dias após transplântio), para os diferentes níveis de salinidade da água de irrigação (CE<sub>a</sub>)

CE <sub>a</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	Consumo hídrico (L por planta)	Consumo hídrico (mm por planta)	CE <sub>dr</sub> (dS m <sup>-1</sup> )
0,8	458,84	1623,63	11,35
1,6	441,53	1562,38	13,42
2,4	402,57	1424,52	15,22
3,2	380,93	1347,94	17,89

\* Lâmina calculada levando em consideração a área do lisímetro (0,2827 mm)

### 1.6 Preparo e aplicação das concentrações de peróxido de hidrogênio

As concentrações de peróxido de hidrogênio foram obtidas através de sua diluição em água destilada (Figura 6A), posteriormente, foi feita a calibração por meio do espectrofotômetro no comprimento de onda de absorvância de 240 nm, com cubeta de quartzo. As concentrações de 10, 20 e 30 µM receberam 0,01, 0,02 e 0,03 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por litro de água, respectivamente (Figura 6B). As concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foram preparadas em cada evento de aplicação, uma vez que sua degradação na presença de luz é rápida, sendo que ao final de cada aplicação quantificado o volume utilizado por tratamento. Para diminuir a tensão superficial das gotas na superfície foliar, foi utilizado o adjuvante Wil fix na concentração de 0,5 mL L<sup>-1</sup> de solução. O pulverizador utilizado foi da marca Jacto - Jacto XP® com capacidade de 12 L, com pressão de trabalho (máxima) de 88 psi (6 bar), bico JD 12P.



**Figura 6.** Preparação das concentrações de peróxido de hidrogênio antes de cada evento de aplicação

As aplicações de  $H_2O_2$  iniciaram-se aos 45 dias após o transplântio das mudas para os lisímetros (Figura 7) e continuaram em intervalos de 30 dias (total de 36 aplicações), pulverizando as faces abaxial e adaxial das folhas, de modo a umedecê-las totalmente, utilizando-se de pulverizador costal, com aplicações realizadas entre 17:00 e 18:00 horas.



**Figura 7.** Disposição das plantas no início das aplicações foliares de peróxido de hidrogênio, aos 45 dias após o transplântio

Para evitar a deriva do peróxido de hidrogênio durante a aplicação foliar nas plantas, foi confeccionada uma estrutura de metalon galvanizado e colocada uma cortina plástica, conforme a Figura 8.



**Figura 8.** Isolamento das plantas de gravioleira (A) durante as aplicações do peróxido de hidrogênio (B)

### 1.7 Manejo de adubação

As adubações com nitrogênio, fósforo e potássio foram realizadas com base na recomendação de Cavalcante (2008) para a [gravioleira (Tabela 3). Na determinação da quantidade a ser aplicada foi considerado a disponibilidade dos nutrientes contida no solo. Como fonte de nitrogênio foi empregado a ureia (45% N), de fósforo o fosfato monoamônio (12% N; 61% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), e de potássio o cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O).

**Tabela 3.** Recomendação de adubação mineral para gravioleira.

ADUBAÇÃO	N (g por planta)	P (g por planta)	K (g por planta)
1 ano	50	60	40
2 ano	100	60	40
3 ano	120	80	80

Fonte: Cavalcante (2008).

As adubações com NPK foram parceladas em 24 vezes e aplicadas quinzenalmente, via fertirrigação. Também, quinzenalmente foi aplicada uma solução Dripsol micro® para suprir a exigência de micronutrientes na concentração de 1,0 g L<sup>-1</sup> contendo: Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%) e Mo (0,02%), via foliar, nas faces adaxial e abaxial, com o uso de um pulverizador costal.

## **1.8 Manejo de poda e fitossanitário**

Antes do transplântio realizou-se uma poda, que consistiu na condução em haste única da planta, deixando a haste principal a 60 cm da superfície do solo, em seguida, foram deixados três ramos bem localizados em diferentes alturas, distribuídos simetricamente em espiral (EMBRAPA, 1999). Estes, denominados ramos primários, formaram a estrutura base da copa e foram podados quando atingiram 40 cm de comprimento, de modo a estimular a brotação de ramos secundários e controlar o crescimento lateral.

A poda corretiva foi efetuada de modo a manter a altura padrão das plantas e controlar o crescimento lateral indesejado, além de manter uma copa bem arejada, que possibilite a penetração da luz solar e facilite a colheita e outros tratamentos culturais, do mesmo modo serão retirados os galhos secos, caídos e praguejados.

Durante a condução do experimento, foi realizado a escarificação do solo e controle de pragas e doenças utilizando defensivos químicos preconizados para a cultura de forma preventiva, adotando-se medidas de controle quando necessário.

## **1.9 Variáveis analisadas**

### **1.9.1 Avaliações de crescimento**

Aos 210, 370 e 780 DAT foram avaliados o diâmetro do caule (DC), diâmetro da copa (DCopa), volume da copa (VCopa) e índice de vigor vegetativo (IVV). O diâmetro do caule foi medido a 3 cm do colo da planta, com auxílio de um paquímetro (Figura 9A) digital; o DCopa indicado pela média do diâmetro da copa na direção da linha (DL) e na direção da entrelinha (DE) (Figura 9B).



**Figura 9.** Avaliação de crescimento em diâmetro de caule com auxílio de um paquímetro (A) e do diâmetro de copa de gravioleira através de uma trena (B)

O volume da copa ( $V_{Copa}$ ) e o índice de vigor vegetativo (IVV) foram calculados a partir da metodologia descrita por Portella et al. (2016), conforme as Eqs 3 e 4, respectivamente.

$$V_{Copa} = \frac{\pi \times AC \times DL \times DE}{6} \quad (3)$$

$$IVV = \frac{[AC + D_{Copa} + (DC \times 10)]}{100} \quad (4)$$

Em que:

$V_{Copa}$  - volume de copa ( $m^3$ );

IVV - índice de vigor vegetativo;

AC - altura da copa (m);

DL - diâmetro da copa na direção da linha (m);

Dcopa - diâmetro de copa (m);

DE - diâmetro da copa na direção da entrelinha (m); e,

DC - diâmetro do caule (m).

A partir dos dados de altura de copa e diâmetro de caule dos 210 e 780 DAT foi determinada a taxa de crescimento relativo da altura de copa e diâmetro de caule, variável

que verifica a rapidez no crescimento das plantas quando comparadas com seu tamanho inicial. A taxa de crescimento relativo seguiu a metodologia descrita por Benincasa (2003), conforme a Eq. 5.

$$\text{TCR} = \frac{(\text{Ln}A_2 - \text{Ln}A_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (5)$$

Em que:

TCR – taxa de crescimento relativo;

$A_1$  – variável no tempo  $t_1$ ;

$A_2$  – variável no tempo  $t_2$ ;

$T_1$  – tempo 1 em dias; e,

$T_2$  – tempo 2 em dias.

## 1.9.2 Avaliações fisiológicas

As avaliações foram realizadas aos 210, 370 e 780 DAT.

### 1.9.2.1 Trocas gasosas

As trocas gasosas foram avaliadas através do equipamento portátil de medição de fotossíntese “LCPro+” da ADC Bio Scientific Ltda (Figura 10 A e B), operando com controle de temperatura a 25 °C, irradiação de 1200  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , estabelecidas por meio da curva de resposta fotossintética à luz e determinação do ponto de saturação fotossintética por luz e fluxo de ar de 200  $\text{mL min}^{-1}$  e em nível de  $\text{CO}_2$  do ambiente, avaliadas na terceira folha, contadas a partir do ápice, obtendo-se as seguintes variáveis: taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  -  $A$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração -  $E$  ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática -  $g_s$  ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e concentração interna de  $\text{CO}_2$  -  $C_i$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). De posse desses dados, foram quantificadas a eficiência instantânea no uso da água -  $EiUA$  ( $A/E$ ) [ $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ ] e a eficiência instantânea da carboxilação -  $A/C_i$  ( $EiC_i$ ).



**Figura 10.** Determinação das trocas gasosas de gravioleira (A) utilizando um equipamento portátil de medição de fotossíntese “LCPro+” da ADC Bio Scientific Ltda (B).

#### 1.9.2.2 Fluorescência da clorofila *a*

A fluorescência da clorofila *a* foi determinada na mesma folha em que foram avaliadas as trocas gasosas, utilizando-se um Fluorômetro de pulso modulado, modelo OS5p da Opti Science (Figura 11) com o protocolo Fv/Fm, para se chegar as variáveis de indução de fluorescência: fluorescência inicial ( $F_0$ ), máxima ( $F_m$ ) e variável ( $F_v = F_m - F_0$ ) e eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) (Sá et al., 2015). Tal protocolo foi realizado após adaptação das folhas ao escuro por um período de 30 min, com um clipe do equipamento, de modo a garantir que todos os aceptores estivessem oxidados, ou seja, com os centros de reação estivessem abertos.



**Figura 11.** Avaliação da fluorescência da clorofila *a* nas gravioleiras através do fluorômetro de pulso modulado

### 1.9.2.3 Pigmentos fotossintéticos

Os teores de clorofila *a*, *b*, *total* e carotenóides foram determinados de acordo com a metodologia de Arnon (1949), utilizando-se 1 disco foliar obtido da terceira folha madura do ápice. Cada amostra recebeu 7,0 mL de Acetona P.A a 80% (Figura 12A) e armazenadas no escuro por 48 horas. Os extratos obtidos foram submetidos a leituras em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 470, 647 e 663 nm (Figura 12B). Os valores observados nas leituras foram submetidos às seguintes Eq. 6, 7, 8 e 9:

$$\text{Clorofila } a \text{ (Cl } a) = (12,21 \times \text{ABS}_{663}) - (2,81 \times \text{ABS}_{647}) \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (Cl } b) = (20,13 \times \text{ABS}_{647}) - (5,03 \times \text{ABS}_{663}) \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{Carotenóides (Car)} = [(1000 \times \text{ABS}_{470}) - (1,82 \times \text{Cl } a) - (85,02 \times \text{Cl } b)] / 198 \dots\dots\dots(8)$$

$$\text{Clorofila total (Cl } t) = (7,15 \times \text{ABS}_{663}) + (18,71 \times \text{ABS}_{647}) \dots\dots\dots(9)$$

Em que:

Cl *a* - clorofila *a*;

Cl *b* - clorofila *b*;

Cl *t* - clorofila *total*; e,

Car - carotenoides.

Os valores para os teores de clorofila *a*, *b*, *total* e carotenoides nas folhas foram expressos em mg g<sup>-1</sup> de matéria fresca (MF).



**Figura 12.** Quantificação dos teores de pigmentos fotossintéticos das amostras de folhas de gravioleiras (A) através do equipamento espectrofotômetro (B).

#### **1.9.2.4 Extravasamento de eletrólitos**

Para a determinação do extravasamento de eletrólitos (EE) utilizou-se um perfurador de cobre para obter cinco discos foliares com área de  $1,54 \text{ cm}^2$  em seguida foram lavados e acondicionados em erlenmeyer<sup>®</sup> contendo 50 mL de água destilada. Após fechados com papel alumínio, os erlenmeyers<sup>®</sup> foram acondicionados à temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , por 90 min, em seguida, aferida a condutividade elétrica inicial do meio ( $X_i$ ) usando condutivímetro de bancada (MB11, MS Techonopon<sup>®</sup>). Logo depois, as amostras foram submetidas à temperatura de  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ , por 90 min, em estufa de circulação forçada de ar (SL100/336, SOLAB) (Figura 13) e, após resfriamento do conteúdo, aferiu-se a condutividade elétrica final ( $X_f$ ).



**Figura 13.** Determinação do extravasamento de eletrólitos no limbo foliar das plantas de gravioleira

O extravasamento de eletrólitos no limbo foliar foi expresso como a porcentagem de condutividade elétrica inicial em relação à condutividade elétrica após o tratamento por 90 min a 90° C, conforme metodologia proposta de Scotti-Campos et al. (2013), utilizando-se a Eq. 10:

$$EE = \frac{X_i}{X_f} \times 100 \quad (10)$$

Em que:

EE - porcentagem de extravasamento de eletrólitos (%);

X<sub>i</sub> - condutividade elétrica inicial (dS m<sup>-1</sup>); e,

X<sub>f</sub> - condutividade elétrica final (dS m<sup>-1</sup>).

### 1.9.2.5 Déficit de saturação hídrica

Para a determinação do déficit de saturação hídrica (DSH) foram retiradas duas folhas do terço médio do ramo principal para a obtenção de cinco discos de 12 mm de diâmetro de cada folha. Imediatamente após a coleta, os discos foram pesados, evitando-se a perda de umidade, obtendo-se a massa fresca (MF); na sequência, as amostras foram colocadas em béquer, imersas em 50 mL de água destilada por 24h (Figura 14).



**Figura 14.** Avaliação do déficit de saturação hídrica em plantas da gravioleira

Após esse período, o excesso de água dos discos foi retirado com papel toalha e obtida a massa túrgida (MT) das amostras, as quais foram secas em estufa de circulação forçada de ar, até peso constante para obtenção da massa seca (MS) das amostras. O DSH foi determinado de acordo com metodologia determinada por Lima et al. (2015), considerando-se a Eq. 11:

$$DSH = \left( \frac{MT - MF}{MT - MS} \right) \times 100 \quad (11)$$

Em que:

DSH - déficit de saturação hídrica (%);

MF - massa fresca de folha (g);

MT - massa túrgida (g); e,

MS - massa seca (g).

### 1.9.3 Composição mineral

As análises nutricionais foram realizadas aos 780 DAT, período em que a plantas de gravioleira entraram em fase de pré-floração. Para tanto foram coletadas folhas da parte mediana da copa das plantas. O material vegetal coletado foi lavado com água destilada e secado em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante. Após a secagem as amostras foram pesadas, moídas e submetidas a análises químicas segundo metodologia recomendada por Silva (1999).

Para a determinação do teor foliar de nitrogênio (N) utilizou-se HCl 0,01 mol L<sup>-1</sup>, e para o fósforo (P), potássio (K), enxofre (S) e sódio (Na) HCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Por sua vez, para o cloro (Cl) foi utilizado 1mol L<sup>-1</sup> de HNO<sub>3</sub>. As análises do respectivo material foram realizadas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas (LSNP) do CCTA/UFCG. As relações Na/K e N/P na folha da gravioleira cv. Morada Nova foram determinadas seguindo metodologia proposta de Tedesco et al. (1985).

### 1.9 Análise estatística

Os dados coletados passaram pelo teste de normalidade de distribuição (teste de Shapiro-Wilk). Em seguida, realizada análise de variância ao nível de 0,05 de probabilidade, e nos casos de significância, foi feita uma análise de regressão linear e quadrática, utilizando-se o software estatístico SISVAR-ESAL v.5.6 (Ferreira, 2019). Em caso de heterogeneidade nos dados, verificada através dos valores do coeficiente de variação, foi feita análise exploratória dos dados com transformação de dados em  $\sqrt{x}$ . Havendo significância da interação entre os fatores, foi utilizado o software SigmaPlot v.12.5 para a obtenção das superfícies de resposta.

## 2 REFERÊNCIAS

- Azevedo, J. V. V. D.; Santos, C. A. C. D.; Alves, T. L. B.; Azevedo, P. V. D.; Olinda, R. A. D. Influência do clima na incidência de infecção respiratória aguda em crianças nos municípios de Campina Grande e Monteiro, Paraíba, Brasil. Revista brasileira de meteorologia, v.30, p.467-477, 2015.
- Arnon, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, v.24, p.1-15, 1949.
- Benincasa, M. M. P. Análise de crescimento de plantas, noções básicas. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

- Carmo, C. D. S.; De Araujo, W. S.; Bernardi, A. D. C.; Saldanha, M. F. C. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos, 2000.
- Cavalcante, F. J. A. Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3.ed. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2008.
- Costa, E.; Sassaqui, A. R.; Silva, A. K. D.; Rego, N. H.; Fina, B. G. Mudanças de graviola: emergência e desenvolvimento sob diferentes ambientes de cultivo e substrato. *Engenharia Agrícola*, v.36, p.217-228, 2016.
- EMBRAPA. Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009, 627p
- Ferreira, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v.37, p.529-535, 2019.
- Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Soares, L. A. A.; Xavier, D. A.; Santos Junior, J. A. Water relations and gas exchange in castor bean irrigated with saline water of distinct cationic nature. *African Journal of Agricultural Research*, v.10, p.1581-1594, 2015.
- Medeiros, J. F. de. Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE. Campina Grande: UFPB, 1992.173p. Dissertação Mestrado.
- Portella, C. R.; Marinho, C. S.; Amaral, B. D.; Carvalho, W. S. G.; Campos, G. S.; Silva, M. P. S.; Sousa, M. C. Desempenho de cultivares de citros enxertadas sobre o trifoliato 'Flying Dragon' e limoeiro 'Cravo' em fase de formação do pomar. *Bragantia*, v.75, p.70-75, 2016.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U.S, Department of Agriculture. 1954. 160 p.
- Scotti-Campos, P.; Pham-Thi, A. T.; Smedo, J. N.; Pais, I. P.; Ramalho, J. C.; Matos, M. C. Physiological responses and membrane integrity in three Vigna genotypes with contrasting drought tolerance. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, v.25, p.1002-1013, 2013.
- Silva, A. A. R. da; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Veloso, L. L. de S. A.; Capitulino, J. D.; Gheyi, H. R. Induction of tolerance to salt stress in soursop seedlings using hydrogen peroxide. *Comunicata Scientiae*, v.10, p.484-490, 2019.
- Tedesco, M. J.; Volkweiss, S. J.; Bohnen, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1985. Paginação irregular. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3.ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 573 p.
- Veloso, L. L. de S. A.; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Nobre, R. G.; Silva, A. A. R. da; Capitulino, J. D.; Gheyi, H. R.; Bonifacio, B. F. Physiological changes and growth of soursop plants under irrigation with saline water and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in post-grafting phase. Semina: Ciências Agrárias, v.41, p.3023-3038, 2020.

### CAPÍTULO III

---

## **TROCAS GASOSAS, EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA E CRESCIMENTO DE GRAVIOLEIRA SOB ESTRESSE SALINO E PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO**

*Artigo publicado na Plants, v. 12, n. 3, e599, 2023*

DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12030599>

## **TROCAS GASOSAS, EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA E CRESCIMENTO DE GRAVIOLEIRA SOB ESTRESSE SALINO E PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO**

### **RESUMO**

O peróxido de hidrogênio em baixas concentrações têm sido utilizado como atenuador do estresse salino, pois induz uma resposta positiva no sistema antioxidante das plantas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as trocas gasosas, o rendimento quântico e o crescimento de plantas de gravioleira cv. Morada Nova sob irrigação com água salina e aplicação foliar de peróxido de hidrogênio. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial  $4 \times 4$ , correspondendo a quatro níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8, 1,6, 2,4 e 3,2  $\text{dS m}^{-1}$ ) e quatro concentrações de peróxido de hidrogênio -  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0, 10, 20 e 30  $\mu\text{M}$ ), com três repetições. A irrigação com água com condutividade elétrica acima de 0,8  $\text{dS m}^{-1}$  inibiu a condutância estomática, a concentração interna de  $\text{CO}_2$ , a transpiração, a fluorescência máxima, a altura da copa e o índice de vigor vegetativo das plantas de gravioleira cv. Morada Nova. A concentração de peróxido de hidrogênio de 30  $\mu\text{M}$  resultou em maior condutância estomática. A salinidade da água de 0,8  $\text{dS m}^{-1}$  na concentrações de peróxido de hidrogênio de 13  $\mu\text{M}$ , resultou em maior eficiência quântica do fotossistema II da gravioleira cv. Morada Nova, aos 210 dias após o transplântio.

**Palavras-chave:** *Annona muricata* L., águas salinas, atenuante.

## **INFLUENCE OF FOLIAR APPLICATION OF HYDROGEN PEROXIDE ON GAS EXCHANGE, PHOTOCHEMICAL EFFICIENCY, AND GROWTH OF SOURSOP UNDER SALT STRESS**

### **ABSTRACT**

Hydrogen peroxide at low concentrations has been used as a salt stress attenuator, because it induces a positive response in the antioxidant system of plants. Thus, the objective of

this study was to evaluate the gas exchange, quantum yield, and growth of soursop plants cv. Morada Nova cultivated under irrigation with saline water and foliar application of hydrogen peroxide. The experiment was conducted under greenhouse conditions, using a randomized block design, in a 4 × 4 factorial scheme, corresponding to four levels of electrical conductivity of irrigation water - EC<sub>w</sub> (0.8, 1.6, 2.4, and 3.2 dS m<sup>-1</sup>) and four doses of hydrogen peroxide - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 10, 20, and 30 μM), with three replicates. Irrigation using water with electrical conductivity above 0.8 dS m<sup>-1</sup> inhibited stomatal conductance, internal CO<sub>2</sub> concentration, transpiration, maximum fluorescence, crown height, and vegetative vigor index of soursop plants cv. Morada Nova. Hydrogen peroxide concentration of 30 μM resulted in greater stomatal conductance. Water salinity of 0.8 dS m<sup>-1</sup> with hydrogen peroxide concentrations of 13 μM, resulted in higher and quantum efficiency of photosystem II of soursop plants cv. Morada Nova, at 210 days after transplanting.

**Key words:** *Annona muricata* L., saline waters, attenuator.

## 1 INTRODUÇÃO

A gravioleira (*Annona muricata* L.) é uma frutífera originária da América Central e dos Vales Peruanos, destaca-se pelo potencial de comercialização no mercado interno com relevante importância econômica e perspectivas para exportação, pela sua elevada aceitação do fruto e da polpa, principalmente pelas suas inúmeras utilidades alimentícias e farmacêuticas (Cavalcante et al., 2016; Bento et al., 2016).

Apesar do potencial produtivo da gravioleira na região Nordeste do Brasil, uma das limitações ao seu sistema de produção é a ocorrência de baixas precipitações e elevada evapotranspiração na maior parte dos meses do ano (Silva et al., 2023). Além disso, as fontes hídricas comumente utilizadas na irrigação possuem concentrações elevadas de sais (Silva et al., 2021; Lima et al., 2022).

As altas concentrações de sais na água e/ou no solo inibem o crescimento das plantas, devido às restrições de absorção de água (efeito osmótico) e alterações no metabolismo, e desequilíbrio iônico (efeito iônico), que danificam componentes celulares, degradam pigmentos fotossintéticos e causam peroxidação lipídica da membrana (Lima et al., 2016; Pinheiro et al., 2022).

Na gravioleira, o estresse salino (a partir de 0,7 dS m<sup>-1</sup>) induz perda da atividade fotossintética, devido às limitações estomáticas e não estomáticas (Silva et al., 2018;

Veloso et al., 2022) e prejudica a eficiência quântica do fotossistema II, indicando a ocorrência de danos fotoinibitórios nos centros de reação do PSII, promovendo a formação de espécies reativas de oxigênio (Veloso et al., 2018), o que pode ocasionar danos oxidativos aos lipídios, proteínas e outros componentes celulares (Santos et al., 2018).

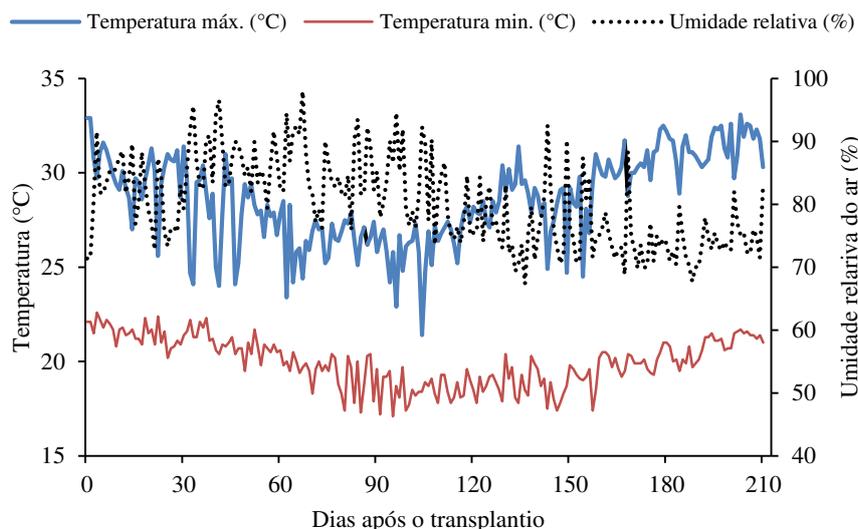
Entre as alternativas utilizadas para reduzir os efeitos do estresse salino nas plantas, destaca-se a aplicação foliar de peróxido de hidrogênio. Pesquisas foram realizadas e tem demonstrado a eficiência da aplicação exógena de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em pequenas concentrações na aclimação das culturas ao estresse salino, agindo como um importante sinalizador intracelular para a ativação de respostas ao estresse e de vias de defesas do vegetal (Bagheri et al., 2019; Silva et al., 2019a; Veloso et al., 2022).

Este estudo parte da hipótese de que a aplicação foliar de peróxido de hidrogênio ameniza os efeitos do estresse salino na gravioleira, por meio da regulação de processos fisiológicos, o que contribui para o aumento da atividade fotossintética e antioxidante, evitando a peroxidação lipídica causada por espécies reativas de oxigênio (ROS), aumento da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e regulação estomática, levando a uma melhora no crescimento da gravioleira.

Nesse contexto, objetivou-se com esta pesquisa avaliar as trocas gasosas, o rendimento quântico e o crescimento de gravioleira cv. Morada Nova, irrigada com águas salinas e aplicação foliar de peróxido de hidrogênio.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi desenvolvida entre os meses de abril de 2020 a abril de 2023, sob condições de casa-de-vegetação, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, localizada no município de Campina Grande, Paraíba, Brasil, situada pelas coordenadas geográficas locais 07°15'18" S, 35°52'28" W e altitude média de 550 m. Os dados de temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental estão dispostos na Figura 1.



**Figura 1.** Temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em arranjo fatorial  $4 \times 4$ , cujos tratamentos foram constituídos da combinação entre dois fatores: quatro níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8; 1,6; 2,4 e 3,2  $\text{dS m}^{-1}$ ) associados a quatro concentrações de peróxido de hidrogênio -  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0, 10, 20 e 30  $\mu\text{M}$ ) com três repetições e uma planta por parcela perfazendo 48 unidades experimentais.

Os níveis salinos das águas foram estabelecidos baseando-se em estudo desenvolvido por Silva et al. (2019a), onde constataram que água com até 2,0  $\text{dS m}^{-1}$  pode ser usada para produzir mudas de graviola com uma redução média aceitável de 10% no crescimento. Já as concentrações de peróxido de hidrogênio foram adaptadas a partir de estudo desenvolvido por Veloso et al. (2020a), que verificaram que o uso do peróxido de hidrogênio na concentração de 20  $\mu\text{M}$ , atenuou os efeitos deletérios da salinidade da água de irrigação nas trocas gasosas e no crescimento inicial da graviola cv. Morada Nova.

As mudas de gravioleira cv. Morada Nova foram obtidas em viveiro comercial credenciado no Registro de Sementes e Mudanças, no Distrito de São Gonçalo, Sousa-PB. A cultivar de gravioleira Morada Nova, foi escolhida por ser a mais usada pelos produtores, compondo a maioria dos pomares comerciais no Brasil, além de possuir frutos maiores, que podem pesar até 15 kg, e maior produção em comparação as demais cultivares (São José et al., 2014).

Foram utilizados vasos plásticos adaptados como lisímetros de drenagem, com 2112 L (0,75 m de profundidade e 0,2827  $\text{m}^2$  de área) de capacidade para o cultivo das plantas;

cada lisímetro foi perfurado na base para permitir a drenagem, e acoplada a um dreno transparente de 16 mm de diâmetro. A extremidade do dreno no interior do lisímetro foi envolvida com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução do material de solo. Abaixo de cada dreno havia dois recipientes para a coleta da água drenada visando determinação do consumo hídrico pelas plantas.

Os vasos foram preenchidos com um solo classificado como Neossolo Regolítico (*Entisol*) de textura franco arenosa proveniente da zona rural (camada 0 – 0,30 m) do município de Riachão de Bacamarte, PB (7° 15' 34" S de latitude, 35° 40' 1" W de longitude e altitude média de 192 m), cujas características químicas e físicas (Tabela 1) foram obtidas conforme Teixeira et al. (2017).

**Tabela 1.** Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

pH H <sub>2</sub> O	MO	P	Características químicas					
			K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>
1:2,5	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....cmolc kg <sup>-1</sup> .....					
6,5	8,1	79	0,24	0,51	14,9	5,4	0	0,9
.....Características químicas.....			.....Características físicas.....					
CE <sub>es</sub>	CTC	RAS <sub>es</sub>	PST	Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )	
dS m <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>	(mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	%	Areia	Silte	Argila	33,42 kPa <sup>1</sup>	1519,5 kPa <sup>2</sup>
2,15	16,54	0,16	3,08	572,7	100,7	326,6	25,91	12,96

M.O. – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>OAc 1 M pH 7,0; Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup> extraídos com CaOAc 0,5 M pH 7,0; PST- Percentagem de sódio trocável; CE<sub>es</sub> – Condutividade elétrica do extrato de saturação.

As águas de irrigação com diferentes níveis de condutividade elétrica foram preparadas dissolvendo-se os sais NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, na proporção equivalente de 7:2:1, respectivamente, em água de abastecimento local (CE<sub>a</sub> = 0,38 dS m<sup>-1</sup>), comum em fontes de água utilizadas para irrigação em pequenas propriedades do Nordeste (Medeiros, 1992).

No preparo das águas de irrigação, foi considerada a relação entre CE<sub>a</sub> e concentração de sais, extraída de Richards (1954), conforme a Eq. 1:

$$Q = 10 \times CE_a \quad (1)$$

Onde:

Q = quantidade de sais a ser aplicado (mmolc L<sup>-1</sup>)

CE<sub>a</sub> = condutividade elétrica da água (dS m<sup>-1</sup>)

Durante o período de aclimação na casa de vegetação (60 dias após o transplante), as plantas foram irrigadas com água de baixa salinidade (0,38 dS m<sup>-1</sup>) e em seguida iniciou-se à aplicação dos tratamentos.

Aos 60 dias após o transplântio, iniciou-se a irrigação com as águas salinas, com um turno de rega de três dias, aplicando-se a água em cada lisímetro conforme tratamento, de forma a manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo e evitar o acúmulo excessivo de sais no solo, sendo a quantidade a ser aplicada determinada pela necessidade hídrica das plantas, estimada pelo balanço de água, cujo volume de água foi estipulado pela Eq. 2:

$$VI = \frac{(Va - Vd)}{(1 - FL)} \dots\dots\dots (2)$$

Em que:

VI = volume de água a ser usado no próximo evento de irrigação (mL);

Va = volume aplicado no evento de irrigação anterior (mL);

Vd = volume drenado (mL); e

FL = fração de lixiviação de 0,10, aplicada a cada 30 dias, visando evitar o acúmulo excessivo de sais na zona radicular.

As adubações com nitrogênio, fósforo e potássio foram realizadas de acordo com Cavalcante (2008) para a cultura da gravioleira. Conforme disponibilidade dos nutrientes contida na análise de solo. Como fonte de nitrogênio a ureia, de fósforo o fosfato monoamônio, e de potássio o cloreto de potássio.

Os micronutrientes foram aplicados via foliar, a partir dos 60 DAT e continuaram em intervalos de 15 dias, utilizando sendo aplicados quinzenalmente 1 g L<sup>-1</sup> de uma solução de Dripsol<sup>®</sup> Micro com a seguinte composição: Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%); Mo (0,02%).

As diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio foram obtidas pela diluição em água destilada, posteriormente, foi feita a calibração por meio do espectrofotômetro no comprimento de onda de absorvância de 240 nm. As aplicações foliares tiveram início aos 45 dias após o transplântio das mudas para os lisímetros e foram realizadas em intervalos de 30 dias, pulverizando as faces abaxial e adaxial das folhas, de modo a se obter o molhamento completo, utilizando-se um pulverizador costal, sendo as pulverizações realizadas entre as 17:00 e 18:00 h. Foram aplicados em média 330 mL da solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por plantas. Para diminuir a tensão superficial das gotas na superfície foliar, foi utilizado o adjuvante Wil fix na concentração de 0,5 mL L<sup>-1</sup> de solução. O pulverizador utilizado foi da marca Jacto - Jacto XP<sup>®</sup> com capacidade de 12 L, com pressão de trabalho (máxima) de 88 psi (6 bar), bico JD 12P.

A deriva entre os tratamentos foi controlada através de uma cortina de lona plástica, que envolvia toda a planta à medida que a solução de peróxido de hidrogênio era aplicada.

A poda de formação foi feita quando a planta atingiu uma altura de 60 cm momento que houve o corte da gema do meristema apical. Das brotações que surgiram foram selecionadas três pernas bem distribuídas e equidistantes, esses ramos, por sua vez, foram podados quando atingirem 40 cm de comprimento (EMBRAPA, 1992). Durante a condução do experimento, foi feito o monitoramento do surgimento de pragas e doenças, sendo observada a incidência, estas foram erradicadas por meio de controle químico, através do uso de defensivos.

Avaliaram-se aos 210 dias após o transplântio (DAT) as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a* e o crescimento da gravioleira cv. Morada nova. As trocas gasosas foram avaliadas pela condutância estomática -  $g_s$  ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração -  $E$  ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  -  $A$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e concentração interna de  $\text{CO}_2$  -  $C_i$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), em folhas do terço médio das plantas, utilizando-se de analisador de gases infravermelho portátil – IRGA (Infra Red Gás Analyser, modelo LCpro-SD, da ADC BioScientific, UK). A partir da razão entre  $A/g_s$  e  $A/C_i$  determinou-se a eficiência no uso de água –  $EiUA$  [ $(\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ ] e a eficiência de carboxilação –  $EiCi$  [ $(\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$ ], respectivamente. As leituras foram realizadas entre 7:00 e 10:00 horas da manhã, na terceira folha totalmente expandida contada a partir da gema apical, conduzidas sob condições naturais de temperatura do ar, concentração de  $\text{CO}_2$  e utilizando uma fonte artificial de radiação de  $1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , estabelecida através da curva de resposta fotossintética à luz.

Nas mesmas folhas foram realizadas as medições da fluorescência da clorofila *a*, utilizando-se de fluorômetro de pulso modulado, modelo OS5p da Opti Science. Foram mensuradas a fluorescência inicial ( $F_0$ ), máxima ( $F_m$ ), variável ( $F_v$ ) e eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ); tal protocolo foi realizado após adaptação das folhas ao escuro por um período de 30 min, entre as 7:00 e 09:00 horas da manhã, usando-se um clipe do equipamento, de modo a garantir que todos os aceptores primários estivessem totalmente oxidados.

O crescimento da gravioleira foi avaliado pela altura de copa ( $A_{\text{copa}}$ ), o diâmetro de caule (DC), o diâmetro da copa ( $D_{\text{copa}}$ ), foi determinado pela média do diâmetro da copa em direção a linha (DL) e na direção da entrelinha (DE), o volume de copa ( $V_{\text{copa}}$ ) e o índice de vigor vegetativo (IVV). O  $V_{\text{copa}}$  e o IVV foram determinados pelas Eqs.3 e 4, respectivamente, seguindo a metodologia de Portella et al. (2016):

$$V_{\text{copa}} = \frac{\pi \times H \times DL \times DE}{6} \dots\dots\dots(3)$$

$$IVV = \frac{[H + D_{\text{copa}} + (DC + 10)]}{100} \dots\dots\dots(4)$$

Em que:

$V_{\text{copa}}$  – volume da copa ( $m^3$ );

IVV – índice de vigor vegetativo;

H – altura de copa (m);

DL – diâmetro da copa na direção da linha (m);

DE – diâmetro da copa na direção da entrelinha (m); e

DC – diâmetro de caule (m).

Os dados coletados passaram pelo teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk) ao nível de 0,05 de probabilidade. Em seguida, realizada análise de variância ao nível de 0,05 de probabilidade, e nos casos de significância, feita uma análise de regressão linear e quadrática, utilizando-se o software estatístico SISVAR- ESAL (Ferreira, 2019). Nos casos em que houve significância da interação entre os fatores, foi utilizado o software SigmaPlot v.12.5 para a obtenção das superfícies de resposta.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

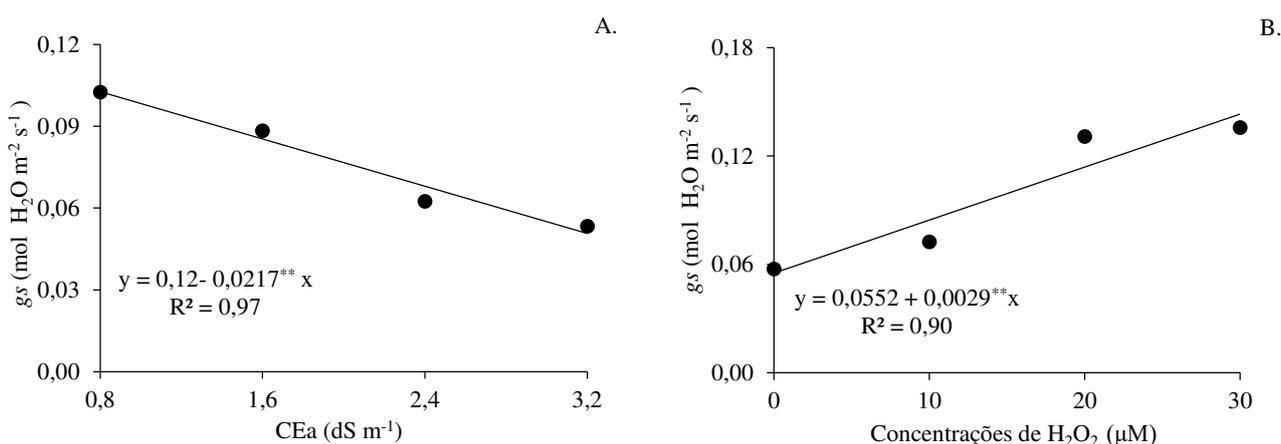
Houve efeito significativo dos níveis de salinidade da água de irrigação sobre a condutância estomática ( $g_s$ ), a concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ) e transpiração ( $E$ ) da gravioleira (Tabela 2). As concentrações de  $H_2O_2$  influenciaram de forma isolada sobre a condutância estomática ( $g_s$ ). A interação entre os níveis de salinidade da água e as concentrações de  $H_2O_2$  exerceu efeito significativo sobre a taxa de assimilação de  $CO_2$  ( $A$ ), a eficiência instantânea no do uso da água ( $EiUA$ ) e a eficiência instantânea de carboxilação ( $EiCi$ ).

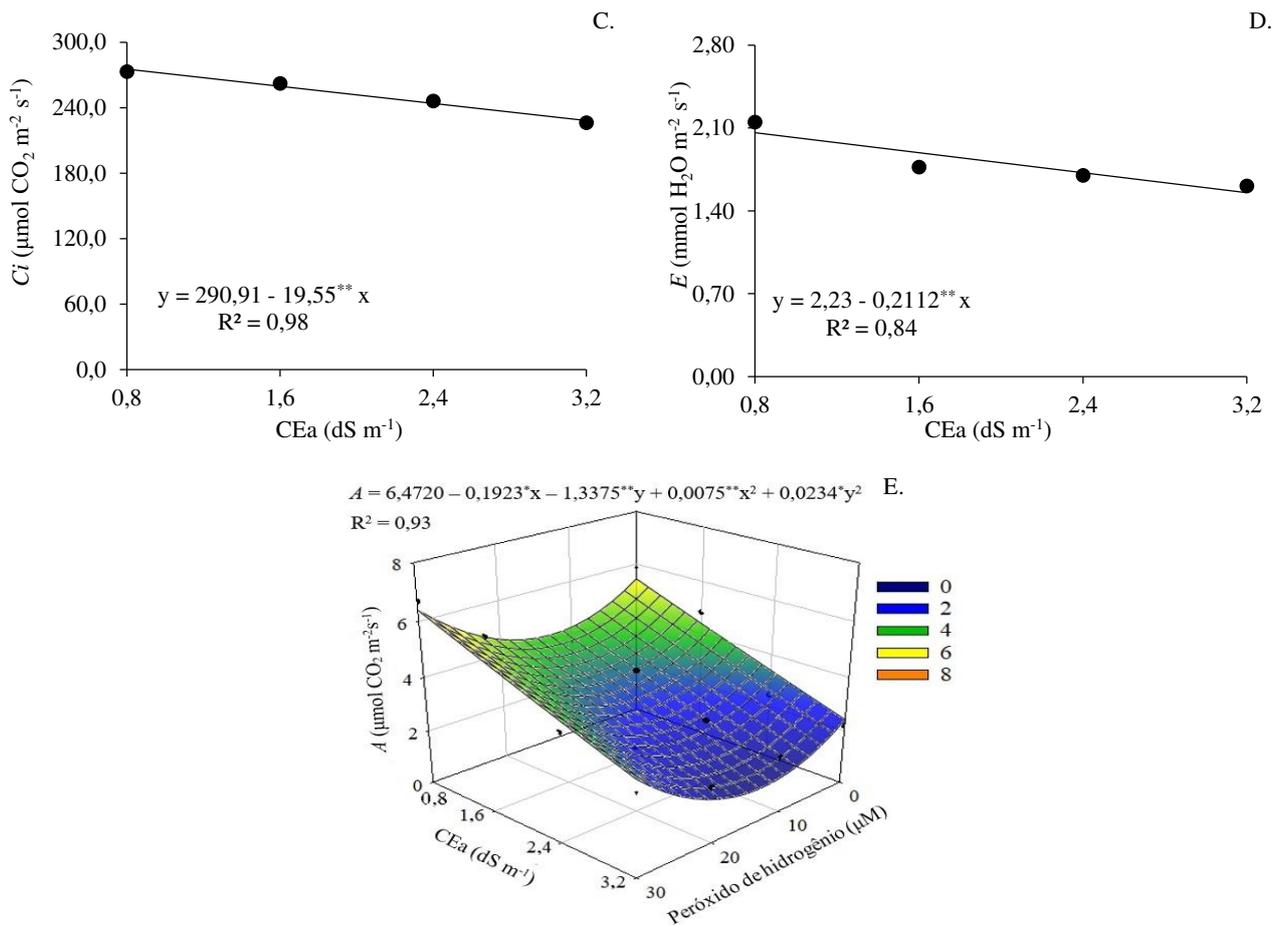
**Tabela 2.** Resumo da análise de variância referente à condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ), taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ), eficiência instantânea da carboxilação ( $EiCi$ ) e eficiência instantânea do uso da água ( $EiUA$ ) da gravioleira cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio aos 210 dias após o transplântio

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios					
		$g_s$	$E$	$A$	$C_i$	$EiCi$	$EiUA$
Níveis Salinos (NS)	4	0,000547**	0,1781**	0,880 <sup>ns</sup>	87,729**	0,00009 <sup>ns</sup>	0,3614 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	0,000240*	0,111**	0,3960 <sup>ns</sup>	122,90**	0,00001 <sup>ns</sup>	0,0039 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	0,00010 <sup>ns</sup>	0,1220 <sup>ns</sup>	0,0892 <sup>ns</sup>	124,32 <sup>ns</sup>	0,00025 <sup>ns</sup>	0,9867 <sup>ns</sup>
Peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )	4	0,001836**	0,0206 <sup>ns</sup>	2,650*	3594,42 <sup>ns</sup>	0,000083**	3,1369**
Regressão linear	1	0,004160**	0,0011 <sup>ns</sup>	0,0811 <sup>ns</sup>	2480,68 <sup>ns</sup>	0,00009 <sup>ns</sup>	5,693**
Regressão quadrática	1	0,000300 <sup>ns</sup>	0,0024 <sup>ns</sup>	4,656**	4048,25 <sup>ns</sup>	0,00030**	0,0965 <sup>ns</sup>
Interação (NS $\times$ $\text{H}_2\text{O}_2$ )	16	0,001775 <sup>ns</sup>	0,3500 <sup>ns</sup>	9,450**	2442,85 <sup>ns</sup>	0,000186**	1,074**
Blocos	3	0,00015 <sup>ns</sup>	0,0687 <sup>ns</sup>	0,1692 <sup>ns</sup>	23,003 <sup>ns</sup>	0,000053 <sup>ns</sup>	0,2020 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	0,000149	0,0347	0,334	105,27	0,000060	0,112
CV (%)		15,65	10,33	12,39	3,97	10,26	13,91

<sup>ns</sup>, \* e \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL- Grau de liberdade. CV: Coeficiente de variação

A condutância estomática das plantas de gravioleira cv. Morada Nova foi reduzida de forma linear pelo aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 2A), com diminuição de 18,08% por incremento unitário da CEa. Ao comparar a  $g_s$  das plantas submetidas a CEa de  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$  em relação as que receberam o menor nível salino ( $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ ) verifica-se redução de 50,74 %. A redução da  $g_s$  com o aumento da salinidade da água é uma forma das plantas minimizarem as perdas de água na forma de vapor pela atmosfera e manter uma pressão de turgescência no interior de suas células, além de diminuir a absorção de sais (Dias et al., 2018; Lima et al., 2021).





\* e \*\* Significativo a  $p \leq 0,05$  e  $0,01$  respectivamente.

X e Y correspondem as concentrações de peróxido de hidrogênio e a CEa, respectivamente.

**Figura 2.** Condutância estomática –  $g_s$  de gravioleira cv. Morada Nova, em função da salinidade da água de irrigação- CEa (A) e das concentrações de peróxido de hidrogênio (B), concentração interna de  $\text{CO}_2$  -  $C_i$  (C) e transpiração –  $E$  (D) em função da dos níveis de CEa e taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  –  $A$  (E) em função da interação entre os níveis de CEa e das concentrações de peróxido hidrogênio-  $\text{H}_2\text{O}_2$ , aos 210 dias após o transplântio.

Com relação aos efeitos das concentrações de  $\text{H}_2\text{O}_2$  sobre a condutância estomática das plantas de gravioleira (Figura 2B), verifica-se aumento linear de 5,25% por incremento unitário na concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Em termos relativos, nota-se que a aplicação foliar de  $30 \mu\text{M}$  resultou em um aumento de  $0,0870 \text{ CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  em relação as plantas cultivadas com  $0 \mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . O efeito benéfico do peróxido de hidrogênio observado na condutância estomática da gravioleira cv. Morada nova pode ter ocorrido devido aos mecanismos de defesa desenvolvidos pela planta, induzindo o sistema de enzimas antioxidantes, minimizando assim, os efeitos deletérios de salinidade (Carvalho et al., 2011; Baxter et al., 2014). Silva et al.(2019a), em sua pesquisa estudando a indução de tolerância ao estresse salino (CEa variando de  $0,6$  a  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) em mudas de gravioleira usando peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$  de  $0$  a  $20 \mu\text{M}$ ), verificaram que a

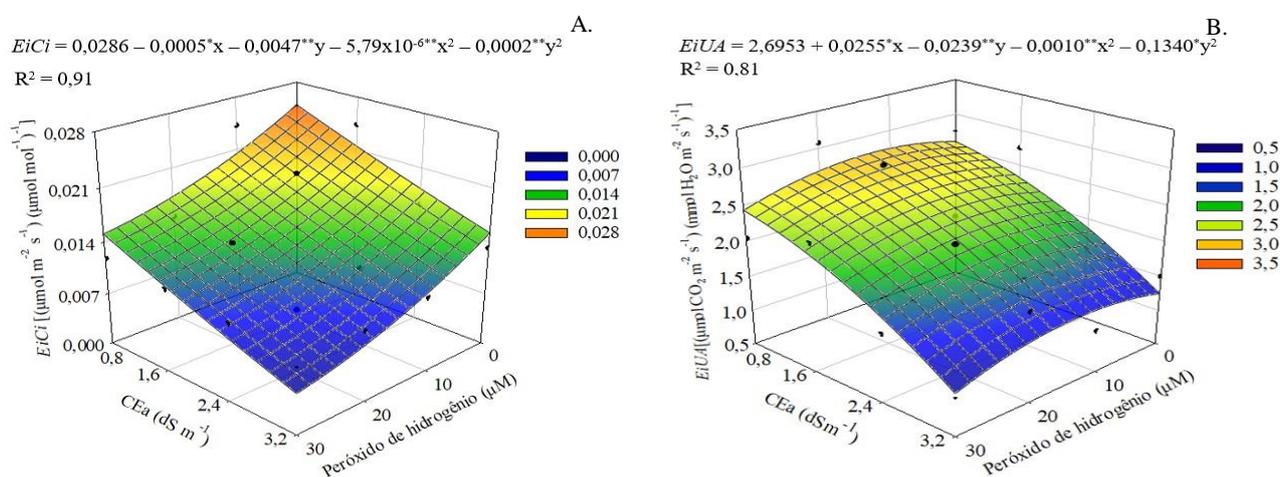
aplicação de peróxido de hidrogênio na concentração de 20  $\mu\text{M}$  promoveu maior condutância estomática quando comparado ao tratamento controle (0  $\mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), para todos os níveis salinos, aos 110 dias após o transplântio.

Quanto aos efeitos da condutividade elétrica da água de irrigação na concentração interna de  $\text{CO}_2$  (Figura 2C) e na transpiração (Figura 2D), nota-se decréscimos lineares de 6,72 e 9,47%, respectivamente, por aumento unitário da CEa. Ao comparar a  $C_i$  e a  $E$  das plantas cultivadas sob salinidade da água de 3,2  $\text{dS m}^{-1}$  em relação as que receberam CEa de 0,8  $\text{dS m}^{-1}$ , verifica-se diminuições de 17,04 e 24,59%, respectivamente, aos 210 dias após o transplântio. A redução na condutância estomática restringe a entrada de  $\text{CO}_2$  e diminui os espaços intercelulares. Veloso et al. (2020b), avaliando as alterações fisiológicas e crescimento de gravioleira cultivadas com águas salinas (CEa variando de 1,6 a 4,0  $\text{dS m}^{-1}$ ) e  $\text{H}_2\text{O}_2$  na fase pós-enxertia, também observaram redução na transpiração com o aumento do nível de condutividade elétrica da água. A diminuição na  $E$  é uma estratégia da planta para reduzir a perda de água através da transpiração, constituindo um mecanismo de tolerância ao estresse salino (Simões et al., 2020).

Para a interação entre os níveis de CEa e as concentrações de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (Figura 2E) verifica-se que o valor máximo estimado da taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  (6,39  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), foi obtido nas plantas irrigadas com CEa de 0,80  $\text{dS m}^{-1}$  e aplicação foliar de  $\text{H}_2\text{O}_2$  de 30  $\mu\text{M}$ . Por outro lado, o valor mínimo estimado de  $A$  (1,19  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foi alcançado nas plantas submetidas à CEa de 3,2  $\text{dS m}^{-1}$  e aplicação foliar de peróxido de hidrogênio na concentração de 13  $\mu\text{M}$ . A diminuição da  $A$  pode estar relacionada à menor concentração de  $\text{CO}_2$  encontrada na câmara subestomática, devido ao fechamento parcial dos estômatos e possíveis restrições metabólicas ao ciclo de Calvin e por conseguinte, redução na síntese de açúcares no processo fotossintético e no substrato para a RuBisCo (Dias et al., 2019; Silveira et al., 2011). A diminuição da taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  nas plantas induzida pelo estresse, pode ocorrer por fatores estomáticos e/ou não estomáticos, causando alterações nos processos metabólicos da fotossíntese e afetando as atividades de uma série de enzimas no estroma envolvidas na redução de  $\text{CO}_2$  (Hnilicková et al., 2017; Turan et al., 2022).

Para a eficiência instantânea de carboxilação (Figura 3A) ( $EiCi$ ) e a eficiência instantânea no do uso da água ( $EiUA$ ) (Figura 3B), constata-se que a irrigação com água de condutividade elétrica de 0,8  $\text{dS m}^{-1}$  e na ausência de aplicação foliar de peróxido de hidrogênio (0  $\mu\text{M}$ ) resultou em maiores valores estimados de  $EiCi$  [0,0247 ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) $^{-1}$ ]. Para a  $EiUA$  o maior valor estimado foi obtido na CEa de 0,8  $\text{dS m}^{-1}$

<sup>1</sup> e quando as plantas foram submetidas a aplicação foliar de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 13 μM [2,75 (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>]. Já a irrigação com CEa de 3,2 dS m<sup>-1</sup> e aplicação foliar de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na concentração de 30 μM, proporcionaram os valores mínimos estimados de 0,0045 [(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol mol<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>] na *EiCi* e de 1,11 [(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>] na *EiUA*. O estresse salino nas plantas ocasiona perdas expressivas no funcionamento do fotossistema devido a degradação das proteínas envolvidas na atividade fotossintética. O que pode explicar as diminuições na *EiCi* e *EiUA* nas de gravioleiras cv. Morada Nova com o aumento da condutividade elétrica da irrigação (Manivannan et al., 2016). Silva et al. (2019b), também observaram redução na eficiência de carboxilação em maracujazeiro sob estresse salino (CEa variando de 0,7 a 2,8 dS m<sup>-1</sup>) e aplicação de peróxido de hidrogênio (0, 25, 50 e 75 μM), aos 60 dias após o transplântio.



X e Y correspondem as concentrações de peróxido de hidrogênio e a CEa, respectivamente.

**Figura 3.** Eficiência instantânea de carboxilação - *EiCi* (A) e eficiência instantânea no do uso da água - *EiUA* (B) de gravioleira cv. Morada Nova, em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação - CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, aos 210 dias após o transplântio.

Houve efeito significativo da interação entre os níveis de salinidade da água e as concentrações de peróxido de hidrogênio sobre a fluorescência inicial, variável e eficiência quântica do fotossistema II das plantas de gravioleira aos 210 DAT (Tabela 3). Os níveis de salinidade da água de irrigação influenciaram significativamente a fluorescência máxima da gravioleira. Já as concentrações de peróxido de hidrogênio influenciaram de forma isolada a fluorescência inicial, a variável e a eficiência quântica do fotossistema II de gravioleira.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), variável ( $F_v$ ) e eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) de gravioleira cv. Morada Nova, irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio aos 210 dias após o transplântio

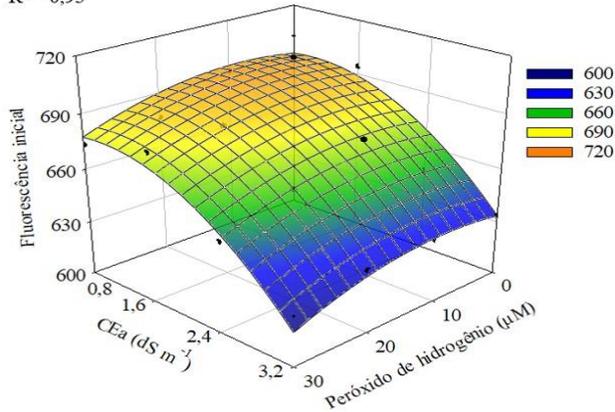
Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		$F_0$	$F_m$	$F_v$	$F_v/F_m$
Níveis salinos (NS)	4	7842,51**	75277,36**	139489,6**	0,002239**
Regressão linear	1	19634,8**	190976,0**	415168,01**	0,006202**
Regressão quadrática	1	2257,7 <sup>ns</sup>	32870,5 <sup>ns</sup>	3088,02 <sup>ns</sup>	0,000033 <sup>ns</sup>
Peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ )	4	658,99**	1771,91 <sup>ns</sup>	4881,95*	0,000928**
Regressão linear	1	436,32*	479,12 <sup>ns</sup>	608,01 <sup>ns</sup>	0,000375 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	21,60 <sup>ns</sup>	3006,75 <sup>ns</sup>	13736,3**	0,002408**
Interação (NS $\times$ $H_2O_2$ )	16	362,87**	7207,74 <sup>ns</sup>	5538,60**	0,000163*
Blocos	3	140,15 <sup>ns</sup>	16949,8 <sup>ns</sup>	1220,47 <sup>ns</sup>	0,000065 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	82,83	3186,54	1279,87	0,000049
CV (%)		1,36	2,42	2,08	0,97

<sup>ns</sup>, \* e \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . CV: Coeficiente de variação. GL- Grau de liberdade.

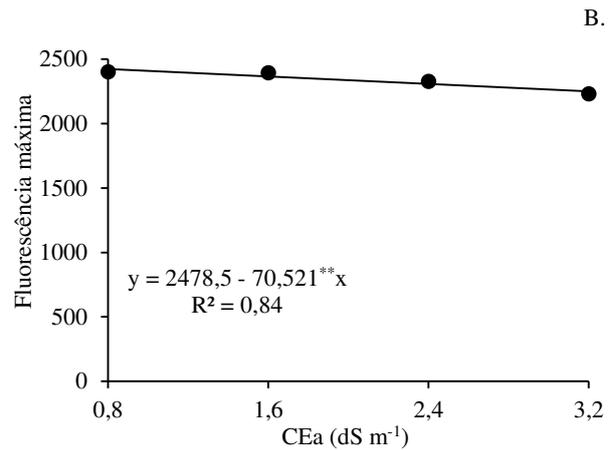
A interação entre os níveis de salinidade da água e as concentrações de peróxido de hidrogênio influenciou significativamente a fluorescência inicial da gravioleira (Figura 4A), sendo o maior valor estimado (695,62) obtido nas plantas irrigadas com CEa de 0,8 dS  $m^{-1}$  e na aplicação foliar de 10  $\mu M$  de  $H_2O_2$ . As plantas sob irrigação de água de 3,2 dS  $m^{-1}$  e aplicação foliar de 30  $\mu M$  de  $H_2O_2$  alcançaram o valor mínimo estimado de 618,86. Neste caso, a concentração de 30  $\mu M$  pode ter induzido dano oxidativo à membrana celular e possivelmente uma influência negativa na fluorescência inicial nas gravioleiras cv. Morada Nova aos 210 DAT. Em altas concentrações, o peróxido de hidrogênio causa danos às plantas, possivelmente devido às alterações que ocorrem em seu metabolismo, principalmente em decorrência do estresse oxidativo, levando à restrição dos processos fotossintéticos (Cattivelli et al., 2008).

$$F_0 = 679,41 + 0,6506 \cdot x + 26,198 \cdot y - 0,0382 \cdot x^2 - 12,67 \cdot y^2$$

$$R^2 = 0,93$$



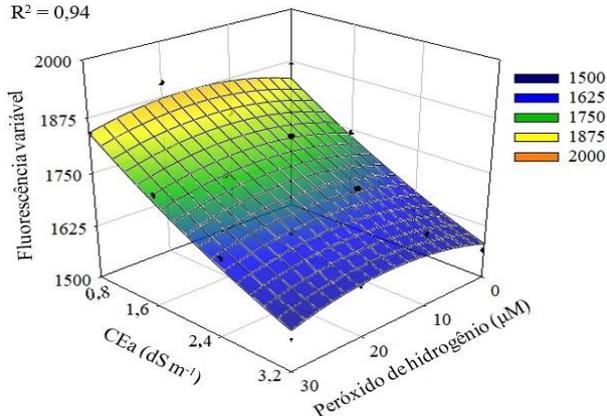
A.



B.

$$F_v = 1947,10 - 5,3933 \cdot x - 154,11 \cdot y - 0,1692 \cdot x^2 + 12,53 \cdot y^2$$

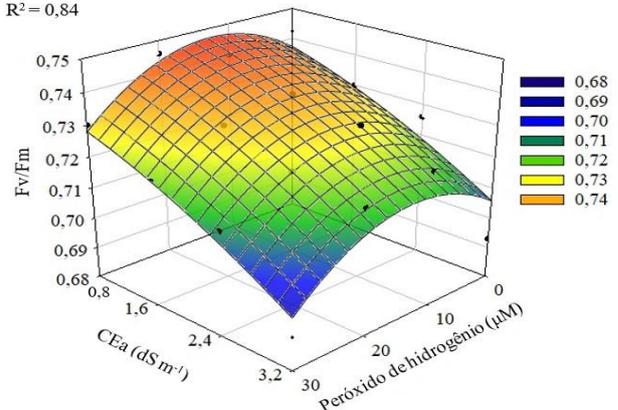
$$R^2 = 0,94$$



C.

$$F_v/F_m = 0,7427 + 0,0016 \cdot x - 0,0052 \cdot y - 6,26 \times 10^{-5} \cdot x^2 - 0,0020 \cdot y^2$$

$$R^2 = 0,84$$



D.

\* e \*\* Significativo a  $p \leq 0,05$  e  $0,01$  respectivamente.

X e Y correspondem as concentrações de peróxido de hidrogênio e a CEa, respectivamente.

**Figura 4.** Fluorescência inicial -  $F_0$  (A), fluorescência variável -  $F_v$  (C) e eficiência quântica do fotossistema II -  $F_m/F_v$  (D) de gravioleira cv. Morada Nova, em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação - CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio, e fluorescência máxima -  $F_m$  (B) em função da salinidade da água de irrigação - CEa, aos 210 dias após o transplântio.

A fluorescência máxima da gravioleira foi reduzida de forma linear pelo aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 4B), com decréscimo de 2,85% por incremento unitário da CEa. Ao comparar a  $F_m$  das plantas irrigadas com CEa de  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$  em relação as que estavam sob irrigação com o menor nível salino da água ( $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ ), verifica-se diminuição de 6,99%. A restrição da  $F_m$  pelo estresse salino indica uma desaceleração na atividade fotossintética visando atenuar os efeitos tóxicos da salinidade (Monteiro et al., 2018).

Em um estudo realizado por Silva et al. (2022), avaliando a fluorescência da clorofila a em plantas de gravioleira sob estresse salino (CEa variando de  $0,8$  a  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ ), também foi observada uma redução de 3,31% na fluorescência máxima pelo aumento da

condutividade elétrica da água de irrigação; os autores atribuíram esse fato à baixa eficiência na fotorredução das quinonas e no fluxo de elétrons entre os fotossistemas, o que resulta em baixa atividade do fotossistema II na membrana do tilacóides, influenciando diretamente no fluxo de elétrons entre os fotossistemas.

A irrigação com água de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$  associado a aplicação das concentrações de peróxido de hidrogênio de 0 e  $13 \text{ }\mu\text{M}$ , respectivamente, proporcionou os maiores valores estimados da fluorescência variável (1831,83) (Figura 4C) e da eficiência quântica do fotossistema II (0,7474) (Figura 4B). Entretanto, a combinação entre a maior salinidade da água de irrigação ( $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ ) e a maior concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $30 \text{ }\mu\text{M}$ ) resultou na obtenção dos menores valores estimados de Fv (1268,17) e Fv/Fm (0,6972). Assim, pode-se dizer que a aplicação do peróxido de hidrogênio em pequenas concentrações, contribuíram para maior eficiência na fotorredução da quinona A e no fluxo de elétrons entre os fotossistemas, promovendo uma adequada atividade do PSII na membrana dos tilacóides, influenciando diretamente no fluxo de elétrons entre os fotossistemas, fato que evidencia que não ocorreu dano no FSII, pois, quando o aparelho fotossintético se encontra intacto, os valores de Fv/Fm variam entre 0,75 e 0,85 (Reis & Campostrini, 2011).

Resultado semelhante ao encontrado por Veloso et al. (2019) em sua pesquisa, avaliando a eficiência fotoquímica e crescimento de porta-enxertos de graviola submetidos ao estresse salino (CEa variando de 0,6 a  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) e peróxido de hidrogênio (0 e  $20 \text{ }\mu\text{M}$ ), constataram que, as aplicações de peróxido de hidrogênio na concentração de  $20 \text{ }\mu\text{M}$  minimizaram os efeitos negativos da salinidade na fluorescência inicial e favoreceram a eficiência quântica do fotossistema II, aos 120 dias após a semeadura.

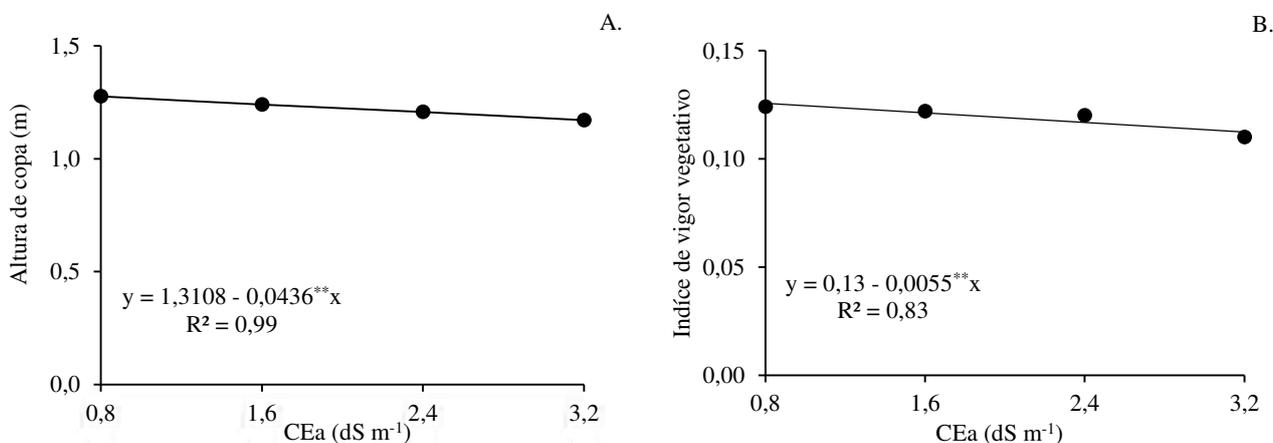
Houve efeito significativo da interação entre os níveis de salinidade e concentrações de peróxido de hidrogênio sobre o diâmetro de caule (DC) e diâmetro de copa ( $D_{\text{copa}}$ ) (Tabela 4). O fator salinidade da água de irrigação influenciou de forma isolada a altura de copa ( $A_{\text{copa}}$ ) e o índice de vigor vegetativo (IVV) das plantas de gravioleira, aos 210 dias após o transplântio. Houve efeito significativo das concentrações de peróxido de hidrogênio apenas para  $V_{\text{copa}}$  das plantas de gravioleira.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância referente ao diâmetro de caule (DC), altura de copa ( $A_{\text{copa}}$ ), diâmetro de copa ( $D_{\text{copa}}$ ), volume de copa ( $V_{\text{copa}}$ ) e índice de vigor vegetativo (IVV) de gravioleira cv. Morada Nova, irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio aos 210 dias após o transplântio

Fonte de variação	GL	Quadrado médio				
		DC	$A_{\text{copa}}$	$D_{\text{copa}}$	$V_{\text{copa}}$	IVV
Níveis Salinos (NS)	4	0,00002 <sup>ns</sup>	0,0250 <sup>*</sup>	0,0748 <sup>ns</sup>	0,00262 <sup>*</sup>	0,0007 <sup>*</sup>
Regressão linear	1	0,00001 <sup>ns</sup>	0,0297 <sup>*</sup>	0,1440 <sup>ns</sup>	0,00662 <sup>**</sup>	0,00001 <sup>*</sup>
Regressão quadrática	1	0,00002 <sup>ns</sup>	0,0285 <sup>ns</sup>	0,0018 <sup>ns</sup>	0,00063 <sup>ns</sup>	0,00002 <sup>ns</sup>
Peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ )	4	0,000021 <sup>ns</sup>	0,0129 <sup>ns</sup>	0,0344 <sup>ns</sup>	0,01284 <sup>**</sup>	0,00006 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	0,000001 <sup>ns</sup>	0,0049 <sup>ns</sup>	0,0331 <sup>ns</sup>	0,01460 <sup>**</sup>	0,00001 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	0,00001 <sup>ns</sup>	0,0024 <sup>ns</sup>	0,0408 <sup>ns</sup>	0,0107 <sup>ns</sup>	0,00009 <sup>ns</sup>
Interação (NS $\times$ $H_2O_2$ )	16	0,000021 <sup>**</sup>	0,0109 <sup>ns</sup>	0,1119 <sup>**</sup>	0,0067 <sup>**</sup>	0,00005 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0,000030 <sup>ns</sup>	0,0520 <sup>ns</sup>	0,0230 <sup>ns</sup>	0,00129 <sup>ns</sup>	0,000075 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	0,000023	0,078	0,0201	0,0045	0,00004
CV (%)		7,29	7,28	15,81	15,39	1,63

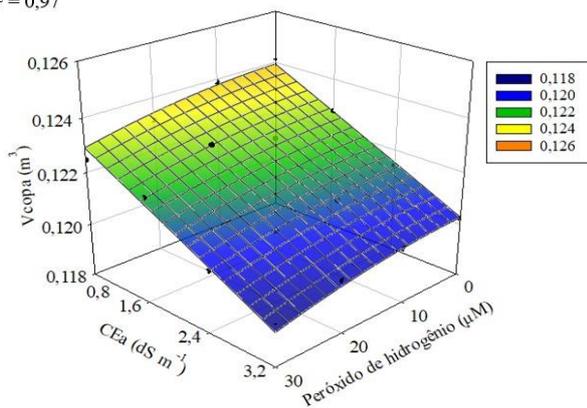
<sup>ns</sup>, \* e \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL- Grau de liberdade. CV: Coeficiente de variação

A salinidade da água de irrigação afetou negativamente a altura de copa (Figura 5A) e o índice de vigor vegetativo (Figura 5B) das gravioleiras, aos 210 dias após o transplântio. Verifica-se pelas equações de regressão (Figura 5A e 5B) diminuição linear de 3,32 e 4,23% na  $A_{\text{copa}}$  e no IVV das plantas, respectivamente. Comparando-se a  $A_{\text{copa}}$  e o IVV das plantas irrigadas com CEa de  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$  em relação as que foram submetidas a salinidade da água de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ , verifica-se diminuição de 8,20 e 10,51%, respectivamente. A inibição do crescimento das plantas pode ser consequência do efeito ocasionado pelo excesso de sais na zona radicular, o que impõe limitações hídrico, afetando de forma negativa o alongamento, a expansão celular. Além disso, o fechamento parcial dos estômatos prejudica a fotossíntese resultando em um menor crescimento (Yadav et al., 2019).



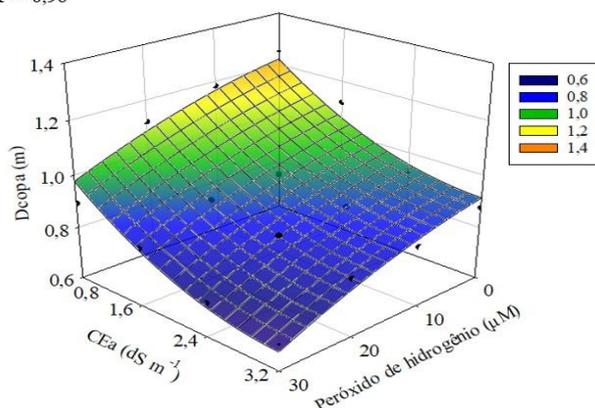
$$V_{\text{copa}} = 0,1251 - 6,32 \times 10^{-6} \text{ns} x - 0,0015 \text{**} y - 9,16 \times 10^{-7} \text{ns} x^2 - 1,29 \times 10^{-5} \text{ns} y^2$$

$$R^2 = 0,97$$



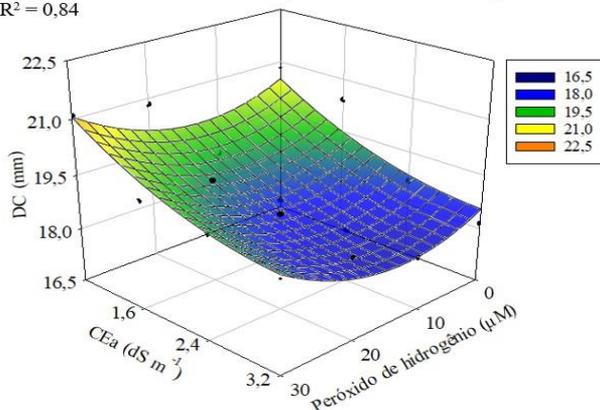
$$D_{\text{copa}} = 1,4480 - 0,0043 \text{ns} x - 0,3219 \text{**} y - 0,0001 \text{ns} x^2 + 0,048 \text{**} y^2$$

$$R^2 = 0,96$$



$$DC = 21,88 - 0,09665 \text{**} x - 1,960 \text{**} y + 0,0038 \text{**} x^2 + 0,2879 \text{ns} y^2$$

$$R^2 = 0,84$$



ns, \*\*, \* não significativo, significativo a  $p \leq 0,01$  e a  $p \leq 0,05$ , respectivamente. X e Y correspondem a CEA e as concentrações de peróxido de hidrogênio, respectivamente.

**Figura 5.** Altura de copa -  $A_{\text{copa}}$  (A), índice de vigor vegetativo - IVV (B), volume de copa -  $V_{\text{copa}}$  (C) diâmetro de copa -  $D_{\text{copa}}$  (D) e diâmetro de caule - DC (E) de plantas de graviola cv. Morada Nova, em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação - CEA e das concentrações de peróxido de hidrogênio, aos 210 dias após o transplantio.

A interação entre os níveis de salinidade da água e as concentrações de peróxido de hidrogênio afetou de forma significativa o volume de copa (Figura 5C), o diâmetro de copa (Figura 5D) e diâmetro de caule (Figura 5E) das plantas de gravioleira. A irrigação com água de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$  e na ausência de aplicação foliar de  $\text{H}_2\text{O}_2$  proporcionou os valores máximos de  $0,12389 \text{ m}^3$  e  $1,15976 \text{ m}$ , respectivamente, no  $V_{\text{copa}}$  e  $D_{\text{copa}}$ . Contudo, níveis salinos da água de  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$  e aplicação foliar de  $30 \text{ µM H}_2\text{O}_2$  contribuiu para os valores mínimos de  $V_{\text{copa}}$  ( $0,1191 \text{ m}^3$ ) e  $D_{\text{copa}}$  ( $0,690 \text{ m}$ ), respectivamente nas gravioleiras cv. Morada Nova.

Com relação ao diâmetro de caule (Figura 4E), verifica-se que as plantas irrigadas com água de 0,8 dS m<sup>-1</sup> e submetidas a uma concentração de 30 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> obtiveram um maior diâmetro de caule (DC) (21,06 mm). Por outro lado, a salinidade da água de 3,2 dS m<sup>-1</sup> associado a aplicação foliar de 13 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> resultou em menor crescimento de diâmetro de caule (17,96 mm). Veloso et al. (2020a), avaliando as alterações fisiológicas e crescimento de gravioleira cultivadas com águas salinas e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na fase pós-enxertia, relataram que a aplicação exógena de 20 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> reduziu o efeito deletério da salinidade da água sobre o diâmetro do caule do porta-enxerto e do enxerto das plantas de graviola irrigadas com água de 1,6 dS m<sup>-1</sup>, aos 150 dias após o transplantio.

Em geral, os resultados desta pesquisa revelam que o estresse salino causado pela água de irrigação até 3,2 dS m<sup>-1</sup>, afetou negativamente as trocas gasosas, a eficiência fotoquímica e o crescimento das plantas de graviola em condições de um ambiente protegido. Essas alterações podem estar relacionadas aos efeitos osmóticos e iônicos, principalmente de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, os quais interferem nos processos metabólicos, causando danos à membrana, desequilíbrio nutricional, alterações nos níveis de reguladores de crescimento e redução na síntese de clorofila (Shobha et al., 2021; Najjar et al., 2019). No entanto, a aplicação foliar de peróxido de hidrogênio em baixas concentrações pode reduzir os efeitos nocivos da salinidade da água de irrigação na gravioleira. Este fato pode estar relacionado aos mecanismos de defesa enzimática antioxidante (catalase e peroxidase) nas plantas, reduzindo o efeito negativo das espécies reativas de oxigênio (Kilic et al., 2016; Silva et al., 2019; Nazir et al., 2020). Além disso, o peróxido de hidrogênio pode aumentar a absorção de água e nutrientes, incluindo íons essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, como N, P e K (Farouk et al., 2018).

Por outro lado, em maiores concentrações de peróxido de hidrogênio, observou-se efeito negativo sobre as variáveis analisadas. Vale ressaltar que o efeito benéfico do peróxido de hidrogênio depende de vários fatores, inclusive da concentração da solução, ou seja, em altas concentrações, o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pode exercer efeito tóxico nas plantas (Farouk et al., 2018; Veloso et al., 2019). O peróxido de hidrogênio é a espécie reativa de oxigênio mais estável nas células e, em altas concentrações, pode se espalhar rapidamente pela membrana subcelular, resultando em dano oxidativo à membrana plasmática (Liu et al., 2020). Além disso, em altas concentrações, o peróxido de hidrogênio pode reagir com o O<sub>2</sub> e tornar-se possivelmente responsável pela dissociação do complexo pigmento-proteína da antena interna do sistema de captação de luz do fotossistema II, dentro do

aparato fotossintético, causando inativação enzimática, descoloração do pigmento e peroxidação lipídica (Kilic et al., 2016; Zhang et al., 2014).

#### **4 CONCLUSÕES**

1. A irrigação com água de condutividade elétrica a partir de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$  inibe a condutância estomática, a concentração interna de  $\text{CO}_2$ , a transpiração, a fluorescência máxima, a altura de copa e o índice de vigor vegetativo da gravioleira cv. Morada Nova, aos 210 após o transplantio.
2. A concentração de  $30 \text{ }\mu\text{M}$  de peróxido de hidrogênio proporciona maior condutância estomática das plantas de gravioleira cv. Morada Nova.
3. A salinidade da água de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$  e a concentração de peróxido de hidrogênio de  $13 \text{ }\mu\text{M}$ , resulta nos maiores valores de eficiência quântica do fotossistema II e eficiência instantânea no do uso da água das plantas de gravioleira cv. Morada Nova.
4. Níveis salinos da água de  $3,2 \text{ dSm}^{-1}$  e aplicação foliar de  $30 \text{ }\mu\text{M H}_2\text{O}_2$  contribuiu para os menores valores de  $V_{\text{copa}}$  e  $D_{\text{copa}}$  das plantas de gravioleira cv. Morada Nova aos 210 após o transplantio.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão de auxílio financeiro (Proc. 430525/2018-4) para condução da pesquisa, e pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa ao terceiro autor (Proc. 306245/2017-5).

#### **6 REFERÊNCIAS**

- Bagheri, M.; Gholami, M.; Baninasab, B. Hydrogen peroxide-induced salt tolerance in relation to antioxidant systems in pistachio seedlings. *Scientia Horticulturae*, v.243, p.207-213, 2019.
- Baxter, A.; Mittler, R.; Suzuki, N. EROS as key players in plant stress signalling. *Journal of Experimental Botany*, v.65, p.1229-1240, 2014.
- Bento, E. B.; Monteiro, Á. B.; Lemos, I. C. S.; Brito Junior, F. E.; Oliveira, D. R.; Menezes, I. R. A.; Kerntopf, M. R. Estudio etnofarmacológico comparativo en la

- región del Araripe de la *Annona muricata* L. (Graviola). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, v.21, p.9-19, 2016.
- Carvalho, F. E. L.; Lobo, A. K. M.; Bonifacio, A.; Martins, M. O.; Lima Neto, M. C.; Silveira, J. A. G. Acclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.416-423, 2011.
- Cattivelli, L.; Rizza, F.; Badeck, F. W.; Mazzucotelli, E.; Mastrangelo, A. M.; Francia, E.; Maré, C.; Tondelli, A.; Stanca, A. M. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, v.105, p.1-14, 2008.
- Cavalcante, L. F.; Carvalho, S. D.; Lima, E. D.; Feitosa Filho, J. C.; Silva, D. A. Produção e qualidade da graviola sob irrigação e cobertura do solo com resíduo de sisal. *Magistra*, v.28, p.91-101, 2016.
- Cavalcanti, F. J. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2<sup>a</sup> Aproximação. 3. ed. Recife: IPA, 2008. 212 p.
- Dias, A. S.; Lima, G. S. de; Pinheiro, F. W. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A. Gas exchanges, quantum yield and photosynthetic pigments of West Indian cherry under salt stress and potassium fertilization. *Revista Caatinga*, v.32, p.429-439, 2019.
- Dias, A. S.; de Lima, G. S.; Sá, F. V. S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Fernandes, P. D. Gas exchanges and photochemical efficiency of West Indian cherry cultivated with saline water and potassium fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.628-633, 2018.
- EMBRAPA. A cultura da gravioleira. 1.ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1999. 19p
- Farouk, S.; Amira M. S. A. Q. Enhancing seed quality and productivity as well as physiological responses of pea plants by folic acid and/or hydrogen peroxide application. *Science Horticulture*, v.240, p.29-37, 2018.
- Fernandes, P. D. Hydrogen peroxide in the acclimation of yellow passion fruit seedlings to salt stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, p.116-123, 2021.
- Fernandes, E. A.; Soares, L. A. dos A.; Lima, G. S. de; Silva Neta, A. M. de S.; Roque, I. A.; Silva, F. A. da; Fernandes, P. D.; Lacerda, C. N. Cell damage, gas exchange, and growth of *Annona squamosa* L. under saline water irrigation and potassium fertilization. *Semina Ciências Agrárias*, v.42, p.999-1018, 2021.

- Ferreira, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v.37, p.529-535, 2019.
- Hnilicková, H.; Hnilička, F.; Martinkova, J.; Kraus, K. Effects of salt stress on water status, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of rocket. *Plant Soil Environ*, v.63, p.362-367, 2017.
- Kilic, S.; Kahraman, A. The mitigation effects of exogenous hydrogen peroxide when alleviating seed germination and seedling growth inhibition on salinity-induced stress in barley. *Polish Journal of Environmental Studies*, v.25, p.1053-1059, 2019.
- Lima, G. S. de; Pinheiro, F. W. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A.; Sousa, P. F. do N.; Fernandes, P. D. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.180-189, 2022.
- Lima, G. S de; Andrade, J. N. F de; Medeiros, M. N. V de; Soares, L. A dos A.; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Fernandes, P. D.; Lacerda, C. N de. Gas exchange, growth, and quality of passion fruit seedlings cultivated with saline water. *Semina Ciências Agrárias*, v.42, p.137-154, 2021.
- Lima, G. S. de; Santos, J. B. dos; Soares, L. A. dos A.; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Pereira, R. F. Irrigação com águas salinas e aplicação de prolina foliar em cultivo de pimentão 'All Big'. *Comunicata Scientiae*, v.7, n.4, p.513-522, 2016.
- Liu, L.; Huang, L.; Lin, X.; Sun, C. O. Hydrogen peroxide alleviates salinity-induced damage by increasing proline buildup in wheat seedlings. *Plant Cell Reports*, v.39, p.567-575, 2020.
- Manivannan, A.; Soundararajan, P.; Muneer, S.; Ko, C. H.; Jeong, B. R. Silicon mitigates salinity stress by regulating the physiology, antioxidant enzyme activities, and protein expression in *Capsicum annuum* 'Bugwang'. *Biomed Research International*, v.20, p.1-14, 2016.
- Medeiros, J. F. Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1992. 196p.
- Monteiro, D. R.; Melo, H. F de; More, C. M. T L. S.; Dourado. P. R. M.; Santos, H. R. B.; Souza, E. R de. Chlorophyll a fluorescence in saccharine sorghum irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.673-678, 2018.

- Najar, R.; Aydi, S.; Sassi-Aydi, S.; Zarai, A.; Abdelly, C. Effect of salt stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Medicago truncatula*. *Plant Biosystems*, v.153, p.88-97, 2019.
- Nazir, F.; Fariduddin, Q. T.; Khan, A. Hydrogen peroxide as a signaling molecule in plants and its crosstalk with other plant growth regulators under heavy metal stress. *Chemosphere*, v.252, p.1-19, 2020.
- Pinheiro, F. W. A.; Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A.; Oliveira, S. G. de; Silva, F. A. da. Gas exchange and yellow passion fruit production under irrigation strategies using brackish water and potassium. *Revista Ciência Agronômica*, v.53, e20217816, 2022.
- Portella, C. R.; Marinho, C. S.; Amaral, B. D.; Carvalho, W. S. G.; Campos, G. S.; Silva, M. P. S.; Sousa, M. C. Desempenho de cultivares de citros enxertados sobre o trifoliato 'Flying Dragon' e limoeiro 'Cravo' em fase de formação do pomar. *Bragantia*. v.1, p.70-75, 2016.
- Reis, F.O.; Campostrini, E. Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.17, p.284-295, 2011.
- Richards, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: U. S. Department of Agriculture. 1954. 160p.
- Santos, A. N. dos.; Silva, E. F. S.; Silva, G. S.; Bezerra, R. R.; Pedrosa, M. R. P. Antioxidant response of cowpea co-inoculated with plant growth-promoting bacteria under salt stress. *Brazilian Journal of Botany Microbiology*, v.49, p.513-521, 2018.
- Shobha, S.; Ashwani, K.; Sehrawat, N.; Kumar, K.; Kumar, N.; Lata, C.; Mann, A. Effect of saline irrigation on plant water traits, photosynthesis and ionic balance in durum wheat genotypes. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v.28, p.2510-2517, 2021.
- Silva, A. A. R. da; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Veloso, L. L. S. A.; Souza, L. P.; Fátima, R. T. de; Gheyi, H. R. Exogenous application of salicylic acid on the mitigation of salt stress in *Capsicum annuum* L. *Ciência Rural*, v.53, e20210447, 2023.
- Silva, A. A. R. da; Veloso, L. L. S. A.; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V.; Gheyi, H. R.; Lima, G. S. de; Pinheiro, F. W. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A.; Sousa, P. F. do N.; Fernandes, P. D. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.180-189, 2022.

- Silva, A. A. R. da; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. de; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A.; Veloso, L. L. S. A. Salicylic acid improves physiological indicators of soursop irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.412-419, 2022.
- Silva, A. A. R.; Lima, G. S. de; 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, p.484-490, 2019.
- Silva, A. A. R. da; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Gheyi, H. R.; Souza, L. P.; Veloso, L. L. S. A. Gas exchanges and growth of passion fruit seedlings under salt stress and hydrogen peroxide. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.49, e55671-e55671, 2019a.
- Silva, A. A. R. da; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Veloso, L. L. de S. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A. Salt stress and exogenous application of hydrogen peroxide on photosynthetic parameters of soursop. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, p.257-263, 2019b.
- Silva, E. M. da; Lima, G. S. de.; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Sá, F. V. S.; Souza, L. P. Growth and gas exchanges in soursop under irrigation with saline water and nitrogen sources. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.776-781, 2018.
- Simões, W. L.; Coelho, D. S.; Mesquita, A. C.; Calgaro, M.; Silva, J. S da. Physiological and biochemical responses of sugarcane varieties to salt stress. *Revista Caatinga*, v.32, p.1069-1076, 2020.
- Silveira, A. G.; Silva, S. L. F.; Silva, E. V. Viégas, R. V. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas, 2<sup>nd</sup>ed.; In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de. *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. INCTSal: Fortaleza, Brasil, 2016; Chapter 13, pp.181-197.
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 574p
- Turan, M.; Ekinici, M.; Kul, R.; Boynueyri, F.G.; Yildirim, E. Mitigation of salinity stress in cucumber seedlings by exogenous hydrogen sulfide. *Journal Plant Research*, v.135, p.517-529, 2022.
- Veloso, L. L. S. A.; Azevedo, C. A. V. de; Nobre, R. G.; Lima, G. S. de; Capitulino, J. D.; Silva, F. A. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> alleviates salt stress effects on photochemical efficiency and

- photosynthetic pigments of cotton genotypes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.27, p.34-41, 2023.
- Veloso, L. L. de S. A.; Silva, A. A. R.; Lima, G. S.; Azevedo, C. A. V.; Gheyi, H. R.; Moreira, R. C. L. Growth and gas exchange of soursop under salt stress and hydrogen peroxide application. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.119-125, 2022.
- Veloso, L. L. S.; Lima, G. S.; Azevedo, C. A. V.; Nobre, R. G.; Silva, A. A. R. da.; Capitulino, J. D.; Gheyi, H. R.; Bonifácio, B. F. Physiological changes and growth of soursop plants under irrigation with saline water and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in post-grafting phase. *Semina Ciências Agrárias*, v.41, p.3023-3038, 2020a.
- Veloso, L. L. de S.; Silva, A. A. R.; Capitulino, J. D.; Lima, G. S. de.; Azevedo, C. V. de.; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Fernandes, P.D. Photochemical efficiency and growth of soursop rootstocks subjected to salt stress and hydrogen peroxide. *AIMS Agriculture Food*, v.5, p.1-13, 2020b.
- Veloso, L. L. de S.; Nobre, R. G.; Souza, L, P.; Gheyi, H. R; Cavalcante, I. T. S. C.; Araújo, E. B. G.; Silva, W. L da. Formation of soursop seedlings irrigated using waters with different salinity levels and nitrogen fertilization. *Bioscience Journal*, v.34, p.151-160, 2018.
- Yadav, S. P.; Bharadwaj, R. B.; Nayak, H.; Mahto, R.; Singh, R. K.; Prasad, S. K. Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants: A Review. *International Journal of Chemical Studies*, v.7, p.1793-1798, 2019.
- Zhang, L.; Ma, H.; Chen, T.; Pen, J.; Yu, S.; Zhao, X. Morphological and physiological responses of cotton plants (*Gossypium hirsutum* L.) to salinity. *Plos One*, v.9, p.1-14, 2014.

## CAPÍTULO IV

---

### **MORFOFISIOLOGIA DE GRAVIOLEIRA SOB ESTRESSE SALINO E APLICAÇÃO DE H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> NA FASE DE PRÉ-FLORAÇÃO**

*Artigo publicado na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,  
v. 27, n. 12, p. 948-957, 2023*

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n12p948-957>

## MORFOFISIOLOGIA DE GRAVIOLEIRA SOB ESTRESSE SALINO E APLICAÇÃO DE H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> NA FASE DE PRÉ-FLORAÇÃO

### RESUMO

Na região semiárida do Nordeste brasileiro as fontes hídricas geralmente, possuem elevados teores de sais, restringindo o crescimento e desenvolvimento das plantas. Neste contexto, o presente estudo objetivou-se, avaliar os efeitos das concentrações de peróxido de hidrogênio na morfofisiologia da gravioleira sob estresse salino na fase de pré-floração. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se o delineamento de blocos casualizados e arranjo fatorial 4 × 4, sendo quatro níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8; 1,6; 2,4; 3,2 dS m<sup>-1</sup>) e quatro concentrações de peróxido de hidrogênio - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0; 10; 20 e 30 μM), com três repetições. O peróxido de hidrogênio na concentração de 10 μM aumenta a transpiração e a eficiência instantânea no uso da água nas plantas de graviola irrigadas com CEa de até 1,8 dS m<sup>-1</sup> na fase de pré-floração. O aumento da salinidade da água a partir de 0,8 dS m<sup>-1</sup> diminuiu a condutância estomática, a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, a eficiência instantânea de carboxilação, o déficit de saturação hídrica foliar e o crescimento das plantas de graviola aos 370 dias após o transplântio.

**Palavras-chave:** *Annona muricata* L., salinidade, espécie reativa de oxigênio, aclimatação.

## SOURSOP MORPHOPHYSIOLOGY UNDER SALT STRESS AND H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> APPLICATION IN THE PRE-FLOWERING PHASE

### ABSTRACT

In the semiarid region of the Brazilian Northeast, water sources generally have high levels of salts, standing out as one of the abiotic stresses that restrict the growth and development of plants. In this context, the objective of the present study was to evaluate the effects of foliar applications of hydrogen peroxide on the morphophysiology of soursop under salt stress in the pre-flowering phase. The assay was carried out in a greenhouse, using a randomized block design and a 4 × 4 factorial arrangement, with four levels of electrical conductivity of the irrigation water - EC<sub>w</sub> (0.8, 1.6, 2.4, and 3.2 dS m<sup>-1</sup>) and four

concentrations of hydrogen peroxide –  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0, 10, 20, and 30  $\mu\text{M}$ ), with three replications. Hydrogen peroxide in a concentration of up to 10  $\mu\text{M}$  increased leaf transpiration and water use efficiency of soursop plants irrigated with 1.8  $\text{dS m}^{-1}$  water in the pre-flowering phase. The increase in water salinity from 0.8  $\text{dS m}^{-1}$  decreased stomatal conductance,  $\text{CO}_2$  assimilation rate, instantaneous carboxylation efficiency, and leaf water saturation deficit and inhibited the growth of soursop plants at 370 days after transplanting.

**Key words:** *Annona muricata* L., salinity, reactive oxygen species, acclimatization.

## 1 INTRODUÇÃO

A gravioleira (*Annona muricata* L.) adapta-se bem às condições de cultivo no semiárido brasileiro, devido as características edafoclimáticas desta região. Contudo, nesta região as fontes de águas, são muitas vezes provenientes de poços artesianos que possuem altas concentrações de sais, podendo limitar a produção das culturas (Lima et al., 2022).

O estresse salino pode diminuir a disponibilidade de água para as plantas, causando uma redução do potencial osmótico da solução do solo, induzindo o fechamento estomático e diminuição na transpiração e a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , além de causar, a inativação de enzimas, degradação de pigmentos e peroxidação lipídica de membranas (Ramos et al., 2022).

Estudos realizados destacam os efeitos deletérios da salinidade na gravioleira (Veloso et al., 2022; Capitulino et al., 2022). Veloso et al. (2022), avaliando as trocas gasosas e o crescimento de gravioleira sob estresse salino (CEa de 0,7 à 3,7  $\text{dS m}^{-1}$ ) verificaram que a cultura é sensível a salinidade da água a partir de 0,7  $\text{dS m}^{-1}$ , comprometendo as trocas gasosas e as taxas de crescimento absoluto da altura de planta e diâmetro de caule e crescimento relativo da altura de gravioleira aos 90 dias após o transplantio.

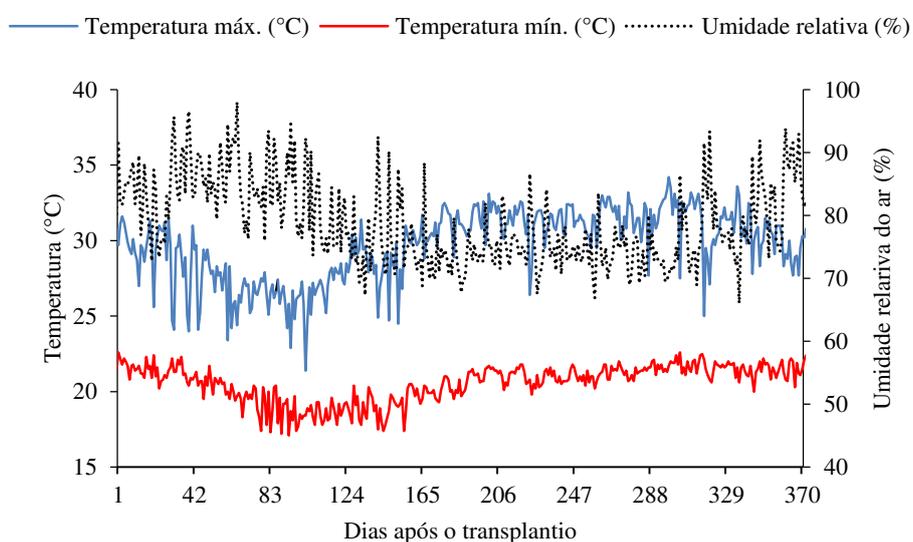
Dentre as estratégias utilizadas para atenuar o estresse salino nas plantas destaca-se o peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). O  $\text{H}_2\text{O}_2$  é uma espécie reativa de oxigênio, funcionando como uma molécula sinalizadora para mediar às respostas ao estresse (Li et al., 2016). Silva et al. (2019b), observaram com a graviola cv. Morada Nova sob irrigação com água com condutividade elétrica de até 3,5  $\text{dS m}^{-1}$  e aplicação exógena de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0 a 100  $\mu\text{M}$ ) via embebição de sementes e pulverização foliar, que a aplicação de 25 e 50  $\mu\text{M}$  atenuou os efeitos do estresse salino na condutância estomática, taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  e teores de clorofila *a*.

De forma similar, Veloso et al. (2020), avaliando as alterações nas trocas gasosas, pigmentos cloroplastídicos e danos celular em gravioleira irrigada com águas salinas e aplicação exógena de  $H_2O_2$ , concluíram que aplicação de  $20 \mu M$  de  $H_2O_2$  mitigou os efeitos da salinidade sobre a transpiração e taxa de assimilação de  $CO_2$ , além de promover a biossíntese dos pigmentos fotossintéticos e reduzir o dano celular aos 150 dias após o transplântio.

Neste contexto, o presente estudo objetivou-se, avaliar os efeitos das concentrações de peróxido de hidrogênio na morfofisiologia de gravioleira sob estresse salino na fase de pré-floração.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido entre os meses de abril de 2020 a abril de 2023, em casa de vegetação, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UA EA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em Campina Grande, Paraíba, nas coordenadas geográficas  $7^{\circ}15'18''$  de latitude Sul,  $35^{\circ}52'28''$  de longitude Oeste e altitude média de 550 m. Os dados de temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar da parte interna da casa de vegetação estão dispostos na Figura 1.



**Figura 1.** Temperatura do ar (máxima e mínima) e umidade relativa média do ar observada na área interna da casa de vegetação durante o período experimental

Os tratamentos consistiram de quatro níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8; 1,6; 2,4 e  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ ) e quatro concentrações de peróxido de

hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0; 10; 20 e 30 μM), em arranjo fatorial 4 × 4, distribuídos em blocos casualizados, com três repetições e uma planta por parcela.

As concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foram baseadas a partir de estudo desenvolvido por Veloso et al. (2020), já os níveis salinos da água foram baseados em pesquisa de Silva et al. (2019a).

As mudas de gravioleira cv. Morada Nova foram obtidas em viveiro comercial credenciado no Registro de Sementes e Mudas, no Distrito de São Gonçalo, Sousa-PB. A cultivar de gravioleira Morada Nova, foi escolhida por ser a mais usada pelos produtores, compondo a maioria dos pomares comerciais no Brasil, além de possuir frutos maiores, que podem pesar até 15 kg, e maior produção em comparação as demais cultivares (São José et al., 2014).

Para condução do experimento foram usados vasos plásticos adaptados como lisímetros de drenagem, com capacidade com 212 L (0,75 m de profundidade e 0,2827 m<sup>2</sup> de área), preenchidos com uma camada de 1,0 kg de brita seguido de 230 kg de solo classificado como Neossolo Regolítico (*Entisol*) de textura franco-argiloso, coletado na profundidade de 0-30 cm, procedente do município de Riachão do Bacamarte - PB(7° 15' 34" S de latitude, 35° 40' 1" W de longitude e altitude média de 192 m), cujas as características físico-químicos (Tabela 1) foram determinadas conforme Teixeira et al. (2017).

**Tabela 1.** Atributos químicos e físicos do solo, na camada de 0-0,30 m, utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

		Características químicas						
pH H <sub>2</sub> O	MO	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>
1:2,5	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....cmolc kg <sup>-1</sup> .....					
6,5	8,1	79	0,24	0,51	14,9	5,4	0	0,9
.....Características químicas.....			.....Características físicas.....					
CE <sub>es</sub>	CTC	RAS <sub>es</sub>	PST	Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )	
dS m <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>	(mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	%	Areia	Silte	Argila	33,42 kPa <sup>1</sup>	1519,5 kPa <sup>2</sup>
2,15	16,54	0,16	3,08	572,7	100,7	326,6	25,91	12,96

M O – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>OAc 1 M pH 7,0; Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup> extraídos com CaOAc 0,5 M pH 7,0; PST - Percentagem de sódio trocável; CE<sub>es</sub> – Condutividade elétrica do extrato de saturação; FA – Franco arenoso; AD – Água disponível; DA - Densidade aparente; DP - Densidade de partículas; \* - Capacidade do campo; \*\* - Ponto de murchamento

As águas de irrigação com diferentes níveis de condutividade elétrica foram preparadas dissolvendo-se os sais de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, na proporção equivalente de 7:2:1, respectivamente, em água de abastecimento local (CEa = 0,38 dS

m<sup>-1</sup>). No preparo das águas de irrigação, foi considerada a relação entre CEa e a concentração de sais (Richards, 1954), conforme a Eq. 1:

$$Q = 10 \times CEa \quad (1)$$

Em que:

Q - quantidade de sais a ser adicionado (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)

CEa - condutividade elétrica da água (dS m<sup>-1</sup>)

Aos 60 dias após o transplântio, iniciou-se a irrigação com as águas salinas, um turno de rega de três dias, com aplicação de água em cada lisímetro, conforme tratamento de forma a manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo, o volume a ser aplicado determinado de acordo com a necessidade hídrica das plantas, estimada pelo balanço de água, cujo volume de água pela Eq. 2:

$$VI = \frac{(Va - Vd)}{(1 - FL)} \quad (2)$$

Onde:

VI - volume de água a ser usado no próximo evento de irrigação (mL);

Va - volume aplicado no evento de irrigação anterior (mL);

Vd - volume drenado (mL);

FL - fração de lixiviação de 0,10, aplicado a cada 30 dias para evitar a acumulação excessiva de sais na zona radicular.

As concentrações de peróxido de hidrogênio foram obtidas pela diluição em água destilada, após feita a verificação da concentração o utilizando-se um espectrofotômetro em comprimento de onda de absorbância de 240 nm.

As aplicações com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> iniciaram aos 45 dias após o transplântio das mudas nos lisímetros e continuaram em intervalos de 30 dias, pulverizando as faces abaxial e adaxial das folhas, de modo a se obter o molhamento completo das folhas, utilizando-se um pulverizador costal, sendo as aplicações realizadas entre as 17 e 18 h. Para diminuir a tensão superficial das gotas na superfície foliar, foi utilizado o adjuvante Wil fix na concentração de 0,5 mL L<sup>-1</sup> de solução. O pulverizador utilizado foi da marca Jacto - Jacto XP<sup>®</sup> com capacidade de 12 L, possui pressão de trabalho (máxima) 88 psi (6 bar) e Bico JD 12P, o volume médio aplicado por planta foi de 375 mL.

As adubações com nitrogênio, fósforo e potássio foram realizadas de acordo com recomendação de Cavalcante et al. (2008) para a cultura da gravioleira. Foram aplicados 100 g de nitrogênio, 60 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 g de K<sub>2</sub>O por planta ano, divididos em 24 parcelas

com intervalos de 15 dias. Como fonte de nitrogênio foi utilizada o sulfato de amônio (21% N), para o fósforo o fosfato monoamônio (61% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 12% N), e de potássio o cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O).

As aplicações de micronutrientes foram realizadas quinzenalmente utilizando-se uma solução Dripsol<sup>®</sup> micro na concentração de 1,0 g L<sup>-1</sup>, com composição de: Mg (1,1%); Zn (4,2%); B (0,85%); Fe (3,4%); Mn (3,2%); Cu (0,5%); Mo (0,05%), via foliar, nas faces adaxial e abaxial, com o uso de um pulverizador costal. Durante a condução do experimento foram realizados tratos culturais como poda de formação, capina, escarificação do solo e controle fitossanitários conforme necessidades.

A poda de formação consistiu na condução em haste única da planta, deixando a primeira ramificação a 60 cm da superfície do solo, em seguida foram deixados três ramos bem localizados em diferentes alturas, distribuídos simetricamente em forma de espiral. Estes, denominados ramos primários, formaram a estrutura base da copa e foram podados quando atingiram 40 cm de comprimento, de modo a estimular a brotação de ramos secundários e controlar o crescimento lateral.

Avaliaram-se aos 370 dias após o transplântio (DAT) as trocas gasosas, os índices fisiológicos, e o crescimento de gravioleira cv. Morada Nova. As trocas gasosas foram avaliadas através da condutância estomática -  $g_s$  (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), transpiração -  $E$  (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> -  $A$  (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e concentração interna de CO<sub>2</sub> -  $C_i$  (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), em folhas do terço médio das plantas, utilizando-se de analisador de gases infravermelho portátil – IRGA (Infra Red Gás Analyser, modelo LCpro-SD, da ADC BioScientific, UK). A partir da razão entre  $A/g_s$  e  $A/C_i$  determinou-se a eficiência no uso de água –  $EiUA$  [(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>] e a eficiência de carboxilação –  $EiCi$  [(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol mol<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>], respectivamente. As leituras foram realizadas entre 7:00 e 10:00 horas da manhã, na terceira folha totalmente expandida contada a partir da gema apical, conduzidas sob condições naturais de temperatura do ar, concentração de CO<sub>2</sub> e utilizando uma fonte artificial de radiação de 1.200 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, estabelecida através da curva de resposta fotossintética à luz.

Para a determinação do déficit de saturação hídrica (DSH), foram retiradas duas folhas do terço médio do ramo principal para a obtenção de quatro discos de 12 mm de diâmetro de cada folha. Imediatamente após a coleta, os discos foram pesados, evitando-se a perda de umidade, obtendo-se a massa fresca (MF); em seguida, essas amostras foram colocadas em béquer, imersas em 50 mL de água destilada e acondicionadas por 24 horas. Após esse período, o excesso de água dos discos foi retirado com papel toalha e obtida a massa

túrgida (MT) das amostras, as quais foram secas em estufa a temperatura  $\approx 65 \pm 3$  °C, até peso constante para obtenção da massa seca. (MS) das amostras. O DSH foi determinado de acordo com Lima et al. (2015), pela Equação 3:

$$DSH = \frac{MT - MF}{MT - MS} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

DSH = déficit de saturação hídrica (%);

MF= massa fresca de folha (g);

MT= massa túrgida (g);

MS = massa seca (g).

A porcentagem de extravasamento de eletrólitos (EE) foi estabelecida utilizando-se um perfurador de cobre para obter cinco discos foliares com área 1,54 cm<sup>2</sup> cada, por unidade experimental, os quais foram lavados e acondicionados em erlenmeyer contendo 50 mL de água destilada. Após fechadas com papel alumínio, os erlenmeyers foram acondicionados à temperatura de 25°C, por 90 minutos, em seguida, aferida a condutividade inicial do meio (Xi) usando condutivímetro de bancada (MB11, MS Techonopon<sup>®</sup>). Depois, submetidos à temperatura de 90°C, por 90 minutos, em estufa de secagem (SL100/336, SOLAB<sup>®</sup>) e, após resfriamento do conteúdo das mesmas, aferiu-se a condutividade final (Xf). A porcentagem de extravasamento de eletrólitos do limbo foliar foi expressa como a porcentagem de condutividade elétrica inicial em relação à condutividade elétrica após o tratamento por 90 minutos a 90° C, conforme metodologia proposta por Scotti-Campos et al. (2013), considerando-se a Eq. 4:

$$EE = \frac{Xi}{Xf} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

EE - porcentagem de extravasamento de eletrólitos (%);

Xi - condutividade elétrica inicial (dS m<sup>-1</sup>);

Xf - condutividade elétrica final (dS m<sup>-1</sup>).

Para as análises de crescimento foram mensurados: altura de copa (A<sub>Copa</sub>); o diâmetro do caule (DC), o diâmetro da copa (D<sub>Copa</sub>), foi determinado pela média do diâmetro da copa em direção a linha (DL) e na direção da entrelinha (DE); o volume da copa (V<sub>Copa</sub>) e o índice de vigor vegetativo (IVV) foram obtidos de acordo com as equações 5 e 6, respectivamente, seguindo a metodologia de Portella et al. (2016):

$$V_{\text{Copa}} = \frac{\pi}{6} \times AC \times DL \times DE \quad (5)$$

$$IVV = \frac{[AC + D_{\text{Copa}} + (DC \times 10)]}{100} \quad (6)$$

Em que:

$V_{\text{Copa}}$  - volume de copa ( $\text{m}^3$ );

$D_{\text{Copa}}$  - diâmetro de copa (m);

IVV - índice de vigor vegetativo;

AC - altura da copa (m);

DL - diâmetro da copa na direção da linha (m);

DE - diâmetro da copa na direção da entrelinha (m); e,

DC - diâmetro do caule (mm).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk) ao nível de 0,05 de probabilidade. Subsequentemente foi realizada análise de variância ao nível de 0,05 de probabilidade, e nos casos de significância, realizou-se análise de regressão linear e quadrática, utilizando-se o software estatístico SISVAR-ESAL (Ferreira, 2019). Em caso de significância da interação entre fatores, foi utilizado o software SigmaPlot v.12.5 para a elaboração das superfícies de resposta.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo (Tabela 2) da interação entre os níveis de salinidade e as concentrações de  $\text{H}_2\text{O}_2$  para a transpiração ( $E$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) e eficiência instantânea o uso de água ( $EiUA$ ). O efeito simples dos níveis de salinidade foi significativo para a condutância estomática ( $g_s$ ), taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ) e eficiência instantânea de carboxilação ( $EiCi$ ). As concentrações de  $\text{H}_2\text{O}_2$  de forma simples não influenciaram nenhuma das variáveis analisadas.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância referente à condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ), taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ), eficiência instantânea da carboxilação ( $EiCi$ ) e eficiência instantânea do uso da água

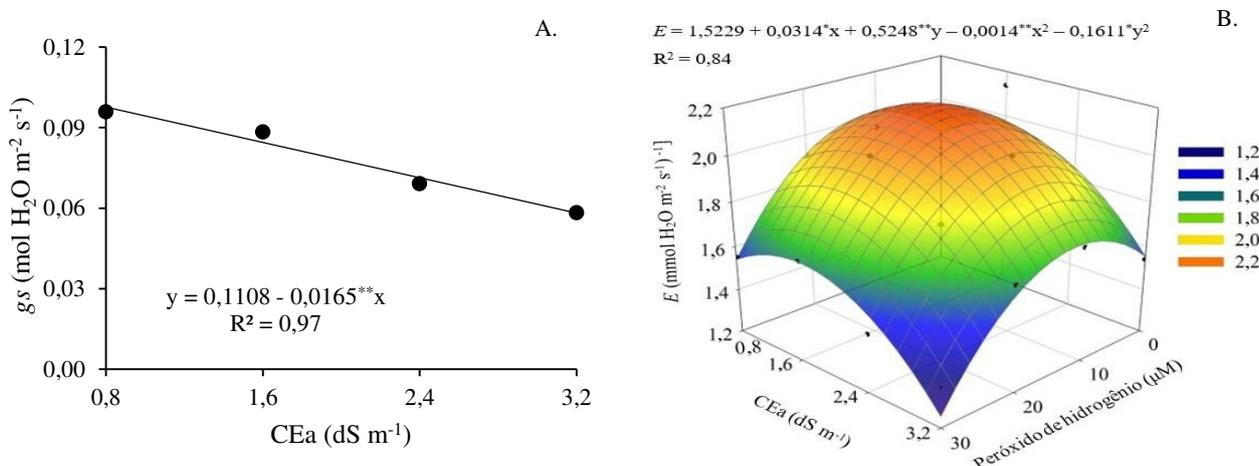
(*EiUA*) de gravioleira cv. Morada Nova aos 370 dias após o transplântio, irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio

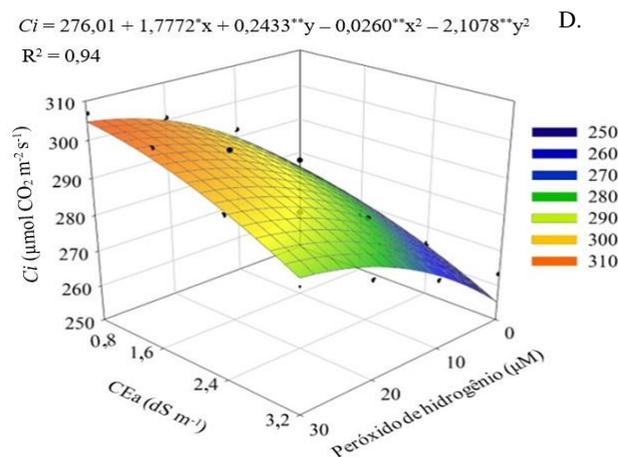
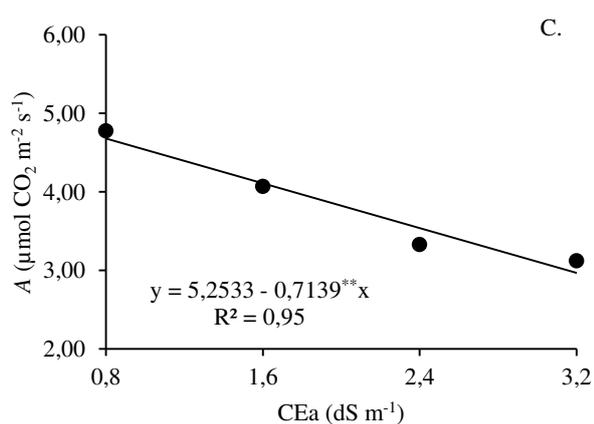
Fonte de variação	GL	Quadrados Médios					
		<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>Ci</i>	<i>EiCi</i>	<i>EiUA</i>
Níveis Salinos (NS)	4	0,00035**	0,4650**	4,640**	753,17 <sup>ns</sup>	0,000870**	0,432 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	0,00081**	0,6710 <sup>ns</sup>	13,37**	1199,3 <sup>ns</sup>	0,000028**	0,692 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	0,00010 <sup>ns</sup>	0,0030**	0,083 <sup>ns</sup>	1050,0 <sup>ns</sup>	0,000112 <sup>ns</sup>	0,585 <sup>ns</sup>
Peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	4	0,00034 <sup>ns</sup>	0,5300**	11,83 <sup>ns</sup>	435,76 <sup>ns</sup>	0,000190 <sup>ns</sup>	1,474**
Regressão linear	1	0,22273 <sup>ns</sup>	0,6712**	23,51 <sup>ns</sup>	193,50 <sup>ns</sup>	0,000375 <sup>ns</sup>	2,387**
Regressão quadrática	1	0,00008 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>	0,393 <sup>ns</sup>	905,67 <sup>ns</sup>	0,000020 <sup>ns</sup>	0,589 <sup>ns</sup>
Interação (NS × H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	16	0,00080 <sup>ns</sup>	0,2120**	9,450 <sup>ns</sup>	3984,1**	0,000177 <sup>ns</sup>	2,422**
Blocos	3	0,00010 <sup>ns</sup>	0,2128 <sup>ns</sup>	0,248 <sup>ns</sup>	154,06 <sup>ns</sup>	0,000060 <sup>ns</sup>	0,250 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	0,000149	0,0550	0,156	171,27	0,000060	0,134
CV (%)		15,65	17,18	10,57	4,78	10,26	16,81

<sup>ns</sup>, \* e \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL: Grau de liberdade, CV: Coeficiente de variação

O aumento da condutividade elétrica da água afetou negativamente a condutância estomática da gravioleira cv. Morada Nova (*gs*) (Figura 2A), plantas cultivadas sob CEa de 3,2 dS m<sup>-1</sup> apresentaram redução de 40,57% (0,0396 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) em *gs* em relação às plantas irrigadas com condutividade elétrica de 0,8 dS m<sup>-1</sup>. O fechamento estomático em plantas é uma forma de evitar a perda de água para o ambiente, mantendo potencial hídrico nas folhas e evitando a desidratação das células-guarda. Visto que, o acúmulo de sais no solo, resulta na diminuição do potencial osmótico próximo as raízes, causando limitações na absorção de água (Lima et al., 2020).

Os resultados constatados neste estudo para a *gs*, estão de acordo com os obtidos por Lacerda et al. (2022) e Veloso et al. (2022) trabalhando com a goiabeira cv. Paluma (CEa de 0,6 e 3,2 dS m<sup>-1</sup>) e a gravioleira cv. Morada Nova (CEa de 0,7 a 3,7 dS m<sup>-1</sup>), respectivamente, verificaram decréscimo na *gs* de 38,57 e 37,93% nas plantas submetidas a CEa de maior salinidade em comparação àquelas que receberam a menor CEa.





\*\*,\* significativo a  $p \leq 0,01$  e a  $p \leq 0,05$ , respectivamente. X e Y correspondem as concentração de  $H_2O_2$  e a CEa, respectivamente.

**Figura 2.** Condutância estomática -  $g_s$  (A), taxa de assimilação de  $CO_2$  - A (C) em função da salinidade da água de irrigação – CEa e transpiração - (E) (B) e concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ) (D) de gravioleira cv. Morada Nova em função da interação entre os níveis de CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio -  $H_2O_2$ , aos 370 dias após o transplantio.

A transpiração de gravioleira (E) (Figura 2B) irrigada com água de  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$  e submetida à concentração de  $10 \text{ µM}$  se destacou com maior valor ( $2,13 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), correspondendo a um aumento de  $9,02\%$  ( $0,18 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) em comparação com plantas irrigadas com a mesma CEa mas sem aplicação de  $H_2O_2$  ( $0 \text{ µM}$ ). Por outro lado, concentração de  $H_2O_2$  acima de  $10 \text{ µM}$  associada ao aumento da CEa promoveram redução da E, com o menor valor ( $1,23 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) obtido em plantas submetidas a  $30 \text{ µM}$  de  $H_2O_2$  e irrigadas com água de  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ .

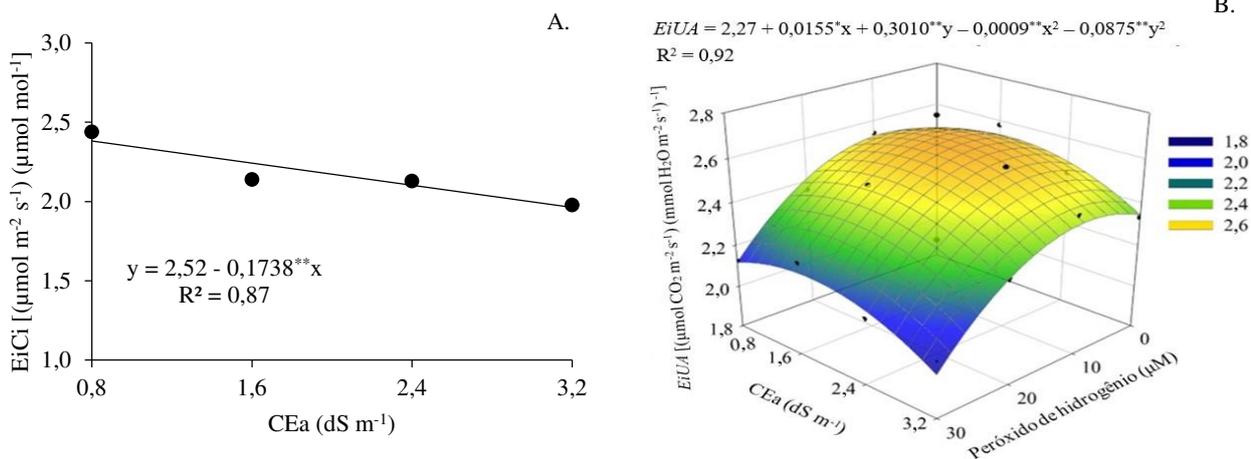
Resultado diferente foi encontrado por Veloso et al. (2020), onde ao estudar as alterações fisiológicas e o crescimento de gravioleira cv. Morada Nova cultivadas com águas salinas e  $H_2O_2$  na fase pós-enxertia, concluíram que a concentração de  $20 \text{ µM}$  de  $H_2O_2$  mitigou os efeitos da salinidade sobre a transpiração e taxa de assimilação de  $CO_2$ , além de promover a biossíntese dos pigmentos fotossintéticos e reduzir o dano celular da gravioleira, aos 150 dias após o transplantio.

Em condições de estresse salino a planta tende a sofrer limitação na absorção de água devido à redução do seu potencial osmótico. No entanto, para garantir a absorção de água e manter as células turgidas, a planta tende a reduzir o fluxo transpiratório e ajustar-se osmoticamente (Silva et al., 2019a). Assim, redução na E pode ter ocorrido devido ao fechamento parcial dos estômatos (Figura 2A), afetando a capacidade de absorção de água pelo sistema radicular nas plantas de graviola.

A taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), foi afetada negativamente pelo aumento da salinidade da água de irrigação (Figura 2C), cuja diminuição foi de 13,59% por incremento unitário da CEa, ou seja, declínio de 36,59% (1,71 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) na *A* das plantas submetidas à CEa de 3,2 dS m<sup>-1</sup> em relação às irrigadas com CEa de 0,8 dS m<sup>-1</sup>. Observa-se que plantas irrigadas com CEa de 0,8 dS m<sup>-1</sup> apresentaram os maior valor de *A* (4,68 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), enquanto o menor valor (2,97 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), foi verificado em plantas cultivadas com água de maior nível de salinidade (3,2 dS m<sup>-1</sup>). Diminuição na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> em plantas cultivadas sob salinidade, também foi observado em gravioleira (Silva et al., 2019b), aceroleira (Dias et al., 2019) e maracujazeiro (Andrade et al., 2022).

Quanto ao efeito da CEa da água de irrigação na concentração interna de carbono (*C<sub>i</sub>*) (Figura 2D), observa-se o maior valor de *C<sub>i</sub>* (304,77 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) nas plantas ao serem irrigadas com água 0,8 dS m<sup>-1</sup> e submetidas a aplicação foliar de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 30 μM. correspondendo a um aumento de 10,88% (29,92 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) em comparação com plantas irrigadas com a mesma CEa mas sem aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0 μM). Apesar do efeito benéfico do peróxido de hidrogênio na concentração de 30 μM, pode-se notar que, com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação há uma diminuição na *C<sub>i</sub>*. Silva et al. (2019c), observaram que a aplicação exógena de 25 μM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foi capaz de mitigar os efeitos da salinidade sobre plantas de maracujá beneficiando as trocas gasosas e o crescimento das plantas.

Para a eficiência instantânea de carboxilação (*E<sub>i</sub>C<sub>i</sub>*), constata-se de acordo com a equação de regressão (Figura 3A), diminuição de 6,90% por incremento unitário da CEa. Ao comparar a *E<sub>i</sub>C<sub>i</sub>* das plantas submetidas a CEa de 3,2 dS m<sup>-1</sup> em relação as que receberam o menor nível salino (0,8 dS m<sup>-1</sup>) verifica-se redução de 17,65%. O aumento da condutividade elétrica níveis de água de irrigação resultam em acúmulo de sais na solução do solo e restringe a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Assim, para evitar a perda de água, as plantas parcialmente fecham seus estômatos e, conseqüentemente, a entrada de CO<sub>2</sub> em a câmara subestomática fica restrita, comprometendo a eficiência instantânea de carboxilação (Pinheiro et al., 2022). Resultados semelhantes foram encontrados por Capitulino et al. (2022), que ao estudar as trocas gasosas e o crescimento de gravioleira sob estresse salino (CEa variando de 0,6 a 3,0 dS m<sup>-1</sup>) e métodos de aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, constataram uma redução de 24,32% na *E<sub>i</sub>C<sub>i</sub>*, quando as plantas foram irrigadas com o maior nível salino em comparação aquelas que foram irrigadas com CEa de 0,6 dSm<sup>-1</sup>.



\*\* significativo a  $p \leq 0,01$ . X e Y correspondem as concentrações de  $H_2O_2$  e a CEA, respectivamente.

**Figura 3.** Eficiência instantânea de carboxilação- *EiCi* (A) em função da salinidade da água de irrigação – CEA da água de irrigação e eficiência instantânea no uso de água – *EiUA* (B) de gravioleira cv. Morada Nova em função da interação entre a os níveis de CEA e das concentrações de peróxido de hidrogênio, aos 370 dias após o transplântio

A eficiência instantânea do uso de água da gravioleira (*EiUA*) (Figura 3B) irrigada com água de 1,8 dS m<sup>-1</sup> e submetida à concentração de 10 μM se destacou com maior valor (2,59[(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>]), correspondendo a um aumento de 2,37% ([0,065 (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>]) em comparação com plantas irrigadas com a mesma CEA, mas sem aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0 μM). Por sua vez, o peróxido de hidrogênio está relacionado à regulação de vários mecanismos em condições de estresses abióticos e bióticos, desta forma, o efeito benéfico do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em baixas concentrações, pode estar associado ao seu papel como sinalizador molecular, regulando várias vias, incluindo respostas ao estresse salino (Baxter et al., 2014).

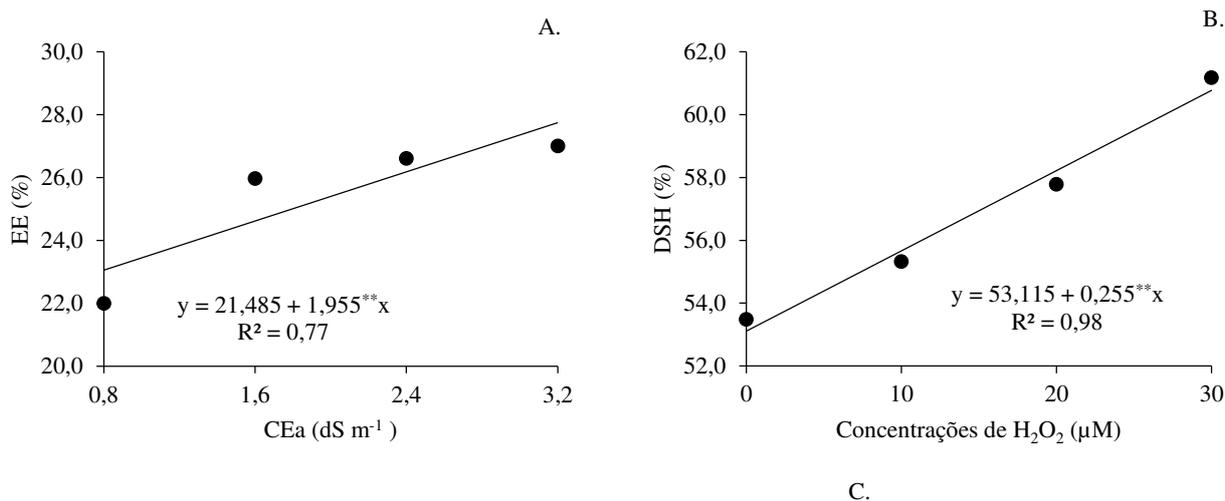
Houve efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) dos níveis salinos para o déficit de saturação hídrica (DSH), porcentagem de extravasamento de eletrólitos (%EE) e diâmetro de caule (DC) (Tabela 3). As concentrações de peróxido de hidrogênio analisadas de forma simples influenciaram o DSH, EE e o DC. Não houve efeito da interação entre os níveis salinos (NS) e as concentrações de peróxido de hidrogênio para as variáveis analisadas de plantas de gravioleira cv. Morada nova aos 370 dias após o transplântio.

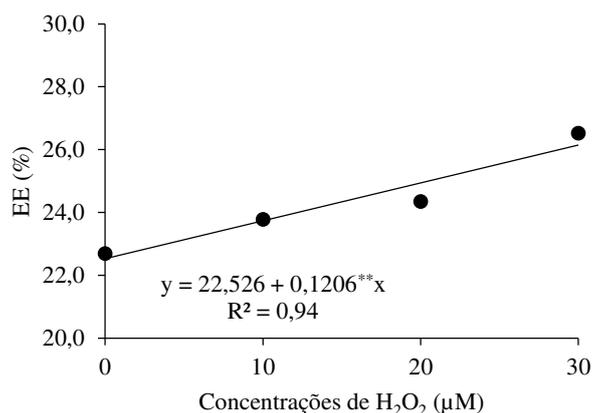
**Tabela 3.** Resumo da análise de variância referente à porcentagem de extravasamento de eletrólitos (%EE), déficit de saturação hídrica (DSH), diâmetro de copa ( $D_{Copa}$ ), volume de copa ( $V_{Copa}$ ), altura de copa ( $H_{Copa}$ ), diâmetro de caule (DC) e índice de vigor vegetativo (IVV) de gravioleira cv. Morada Nova aos 370 dias após o transplântio, irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios						
		EE	DSH	D <sub>Copa</sub>	V <sub>Copa</sub>	H <sub>Copa</sub>	DC	IVV
Níveis Salinos (NS)	4	77,82**	52,0 <sup>ns</sup>	516337,1**	0,00652**	0,0396**	18,73**	0,00008 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	135,78**	155 <sup>ns</sup>	792858,4**	0,01247 <sup>ns</sup>	0,1131 <sup>ns</sup>	2,367*	0,00008 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	39,271 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	701340,9 <sup>ns</sup>	0,00285**	0,0411**	52,16 <sup>ns</sup>	0,00001 <sup>ns</sup>
Peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	4	31,166*	132**	1059816 <sup>ns</sup>	0,00242 <sup>ns</sup>	0,0046 <sup>ns</sup>	17,57**	0,00014 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	35,711**	390**	202695,8 <sup>ns</sup>	0,00392 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	5,011 <sup>ns</sup>	0,00007 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	31,793 <sup>ns</sup>	7,27 <sup>ns</sup>	193032,1 <sup>ns</sup>	0,00226 <sup>ns</sup>	0,0009 <sup>ns</sup>	41,21**	0,00003 <sup>ns</sup>
Interação (NS × H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	16	39,195 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	0,183802 <sup>ns</sup>	0,00268 <sup>ns</sup>	0,0181 <sup>ns</sup>	15,20 <sup>ns</sup>	0,00006 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0,9045 <sup>ns</sup>	2,62 <sup>ns</sup>	134214 <sup>ns</sup>	0,00607 <sup>ns</sup>	0,0038 <sup>ns</sup>	1,322 <sup>ns</sup>	0,00001 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	0,7527	0,31	24338	0,00082	0,0049	1,5708	0,00001
CV (%)		3,56	6,57	8,94	7,35	4,43	3,61	2,74

<sup>ns</sup>, \* e \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL- Grau de liberdade. CV: Coeficiente de variação

A porcentagem de extravasamento de eletrólitos de gravioleiras cv. Morada Nova, aumentou linearmente com um incremento de 9,09% por unidade de aumento de CEa. De acordo com a equação de regressão (Figura 4A), o EE de gravioleiras aumentou 20,35% em plantas submetidas a CEa de 3,2 dS m<sup>-1</sup> em comparação com as que foram submetidas a 0,8 dS m<sup>-1</sup>. O aumento da porcentagem de extravasamento de eletrólitos observado nas plantas de graviola irrigadas com água de maior nível salino (3,2 dS m<sup>-1</sup>), pode ter ocorrido, porque o aumento da concentração de sais na água, pode alterar o equilíbrio nutricional e limitar a disponibilidade de nutrientes nas plantas, incluindo o Ca, elemento que é essencial para a formação da parede celular, gerando assim, um aumento na porcentagem de extravasamento de eletrólitos em condições de alta salinidade (Wanderley et al., 2020).





\*\* significativo a  $p \leq 0,01$ .

**Figura 4.** Porcentagem de extravasamento de eletrólitos – EE (A) em função da salinidade da água de irrigação – CEa da água de irrigação e déficit de saturação hídrica – DSH (B) e porcentagem de extravasamento de eletrólitos – %EE (C) em função das concentrações de peróxido de hidrogênio de gravioleira cv. Morada Nova, aos 370 dias após o transplântio.

As concentrações de peróxido de hidrogênio influenciaram o DSH de gravioleiras (Figura 4B). Plantas submetidas a concentração de 30 µM destacou-se com o maior valor de DSH (60,76%) apresentando um aumento de 14,40% em relação as plantas cultivadas que não foram submetidas ao H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0 µM). Resultado semelhante foi encontrado por Silva et al. (2022), estudando o peróxido de hidrogênio na atenuação do estresse salino nos indicadores fisiológicos e no crescimento de gravioleira, observaram aumento no DSH em plantas submetidas a concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 30 µM.

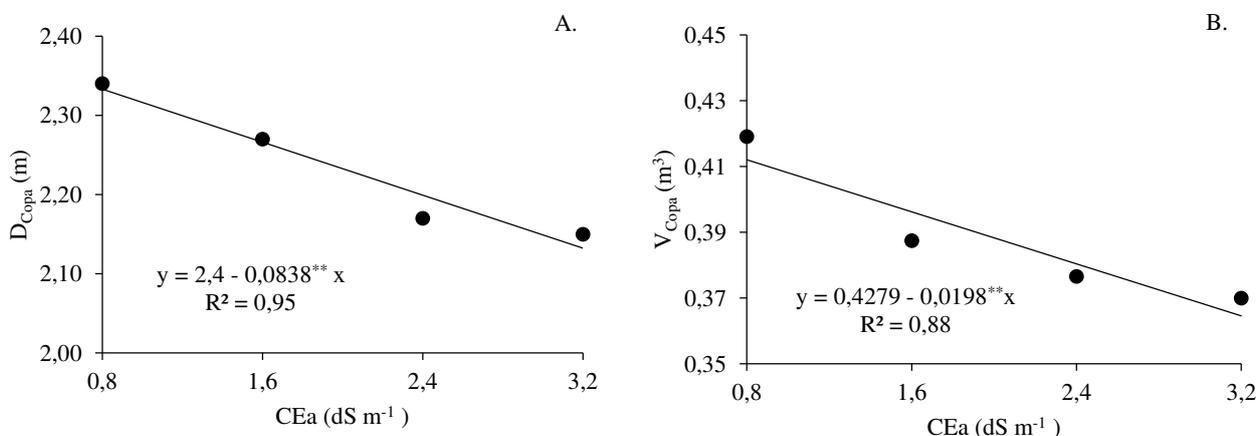
Dito e Gadallah (2019), afirmam que em pequenas concentrações, o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pode beneficiar a atividade fotossintética, melhorando o metabolismo antioxidante de plantas. Por outro lado, em altas concentrações, o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pode intensificar os efeitos deletérios do estresse salino, causando alterações no metabolismo das plantas, devido à restrição da atividade fotossintética, fato que pode ter ocorrido nesta pesquisa, causando assim, o aumento no DSH de plantas de gravioleiras.

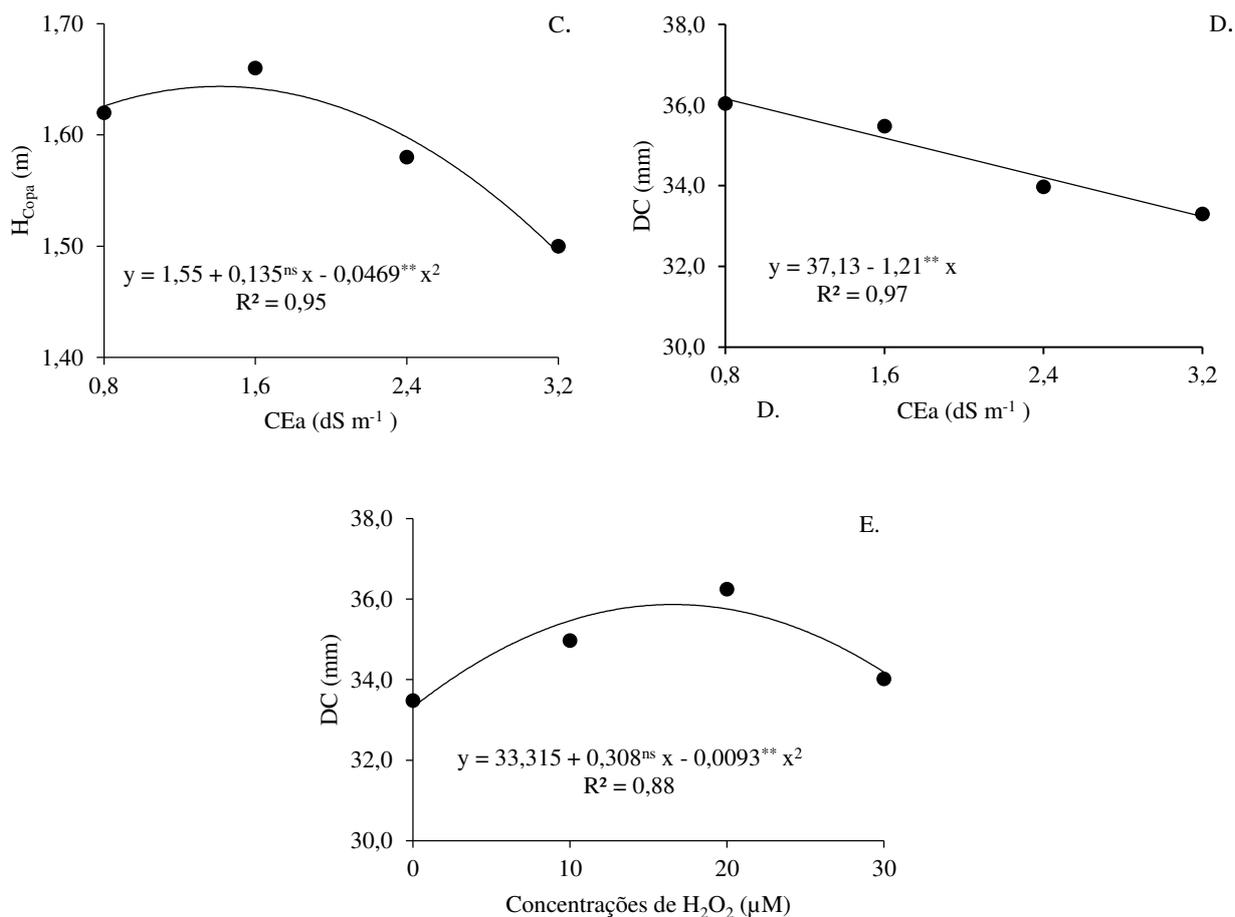
Para as concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, com base na análise de regressão (Figura 4C), houve um aumento na %EE na ordem de 16,06% em plantas de graviola submetidas a aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na concentração de 30 µM (26,14%) em comparação com aquelas que não foram submetidas a aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (22,53%). O peróxido de hidrogênio é a espécie reativa de oxigênio mais estável nas células, porém, em altas concentrações, pode espalhar-se rapidamente pela membrana celular, resultando em dano oxidativo, o que pode ter ocorrido nas plantas de graviola cv. Morada Nova (Farooq et al., 2017).

Para o diâmetro de copa ( $D_{Copa}$ ) e o volume de copa ( $V_{Copa}$ ) (Figura 5A e 5B) das plantas de graviola, observa-se reduções de 3,49 e 4,63% por unidade de incremento da CEa, respectivamente. Ao comparar o  $D_{Copa}$  e o  $V_{Copa}$  das plantas irrigadas com água de maior salinidade ( $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ ) com aquelas cultivadas com o menor CEa ( $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ ), houve diminuições de 8,84 e 13,27%, respectivamente. A inibição no crescimento em  $D_{Copa}$  e  $V_{Copa}$  pode estar associado ao deslocamento do  $\text{Ca}^+$  dos sítios de ligação da parede celular devido ao acúmulo de  $\text{Na}^+$ , diminuindo a reticulação da pectina e consequentemente afetando a alongamento e divisão celular (Byrt et al., 2018). Veloso et al. (2020), observaram uma redução no crescimento de plantas de graviola submetidas à salinidade e atribuíram à diminuição da disponibilidade hídrica ou acúmulo excessivo de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nos tecidos vegetais.

Os resultados obtidos nesta pesquisa, estão de acordo com os obtidos por Lacerda et al. (2022), trabalhando com a goiaba cv. Paluma sob irrigação com água salina (CEa entre  $0,6$  e  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ ), verificaram que a irrigação com água de CEa de  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$  reduz o diâmetro de copa, volume de copa e índice de vigor vegetativo, bem como trocas gasosas e componentes de produção da goiabeira cv. Paluma, aos 390 dias após o transplantio.

Observa-se que a CEa estimada de  $1,44 \text{ dS m}^{-1}$ , acarretou no maior valor de  $H_{Copa}$  da gravioleira ( $1,65 \text{ m}$ ) (Figura 5C). Por sua vez, o valor mínimo de  $H_{Copa}$  foi obtido no maior nível da CEa ( $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ ) ( $1,50 \text{ m}$ ). Reduções no crescimento das plantas pode ser resultado da restrição na absorção de águas e nutrientes, isso pode ocorrer devido ao fechamento parcial dos estômatos, fato que contribui para menor captação de  $\text{CO}_2$  do meio externo ocasionando limitações na produção de fotoassimilados e consequentemente uma redução nos órgãos vegetativos da planta (Carvalho et al., 2020).





<sup>ns, \*\*</sup> respectivamente não significativo e significativo a  $p \leq 0,01$ .

**Figura 5.** Diâmetro de copa –  $D_{Copa}$  (A), volume de copa -  $V_{Copa}$  (B), altura de copa -  $H_{Copa}$  (C), diâmetro de caule – DC (D) de gravioleira cv. Morada Nova, em função dos níveis de CEa e diâmetro de caule – DC (E) em função das concentrações de peróxido hidrogênio -  $H_2O_2$ , aos 370 dias após o transplântio.

O diâmetro do caule (DC) da gravioleira cv. Morada Nova (Figura 5D) decresceu de forma linear quando irrigadas com águas salinas, cuja diminuição foi de 3,26% por incremento unitário da CEa, ou seja, declínio de 8,76% no DC das plantas submetidas à CEa de  $3,2\ dS\ m^{-1}$  em relação às irrigadas com CEa de  $0,8\ dS\ m^{-1}$ . Redução de DC em plantas, também foi observado por Xavier et al. (2022), em estudo realizado com goiabeira “Paluma” sob estresse salino (CEa variando de  $0,6$  a  $4,2\ dS\ m^{-1}$ ). A inibição no crescimento das plantas está relacionado a mudanças no potencial hídrico do solo causadas pelo excesso de sais, que restringem a absorção de água, diminuindo a pressão de turgescência e a atividade celular das plantas, por inibir a expansão e o alongamento celular (Lima et al., 2020a; Lima et al., 2020b).

Para as concentrações de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), observa-se um efeito quadrático no DC de gravioleira cv. Morada Nova (Figura 5E), com o valor máximo estimado de 35,86 mm, obtido quando as plantas receberam a concentração estimada de 17  $\mu M$ , enquanto que o menor valor foi de 33,31 mm em plantas que não receberam a aplicação foliar de  $H_2O_2$  (0  $\mu M$ ). Veloso et al. (2020), avaliando as alterações fisiológicas e crescimento de gravioleira cultivadas com águas salinas e  $H_2O_2$  na fase pós-enxertia, observaram que a aplicação exógena de 20  $\mu M$  de  $H_2O_2$  reduz o efeito deletério da salinidade sobre o diâmetro do caule do porta-enxerto e do enxerto das plantas de graviola irrigadas com água de 1,6 dS  $m^{-1}$ .

#### 4 CONCLUSÕES

1. Irrigação com salinidade da água de irrigação a partir de 0,8 dS  $m^{-1}$ , prejudica a condutância estomática, a taxa de assimilação de  $CO_2$ , eficiência instantânea de carboxilação e inibe o crescimento da gravioleira aos 370 dias após o transplantio.
2. Aplicação foliar de peróxido de hidrogênio na concentração de 10  $\mu M$ , aumenta a transpiração e a eficiência instantânea no uso da água nas plantas de graviola irrigadas com CEa de até 1,8 dS  $m^{-1}$  na fase de pré-floração.

#### 5 REFERÊNCIAS

- Andrade, E. M. G.; Lima, G. S. de; Lima, V. L. A.; Silva, S. S.; Dias, A. S.; Gheyi, H. R. Hydrogen peroxide as attenuator of salt stress effects on the physiology and biomass of yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.28, p.571-578, 2022.
- Baxter, A.; Mittler, R.; Suzuki, N. EROS as key players in plant stress signaling. *Journal of Experimental Botany*, v.65, p.1229-1240, 2014.
- Byrt, C.S.; Munns, R.; Burton, R. A.; Gillihama, M.; Wegea, S. Root cell wall solutions for crop plants in saline soils. *Plant Science*, v.269, p.47-55, 2018.
- Capitulino, J. D.; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Silva, A. A. R. da; Veloso, L. L. de S. A.; Farias, M. S. S.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Lima, V. L. A. Gas exchange and growth of soursop under salt stress and  $H_2O_2$  application methods. *Brazilian Journal of Biology*, v.84, e261312, 2022.
- Carvalho, L. M. D.; Carvalho, H. W. L. D.; Carvalho, C. G. P. D. Yield and photosynthetic attributes of sunflower cultivars grown under supplemental irrigation

- in the semiarid region of the Brazilian Northeast. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.55, p.1-9, 2020.
- Cavalcante, F. J. A. *Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2. Aproximação*. 3.ed. Recife: IPA. 2008. 212p.
- Dias, A. S.; Lima, G. S. de; Pinheiro, F. W. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A. Gas exchanges, quantum yield and photosynthetic pigments of West Indian cherry under salt stress and potassium fertilization. *Revista Caatinga*, v.32, p.429-439, 2019.
- Dito, S.; Gadallah, M. Hydrogen peroxide supplementation relieves the deleterious effects of cadmium on photosynthetic pigments and oxidative stress and improves the growth, yield and quality of pods in pea plants (*Pisum sativum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, v.41, p.2-12, 2019.
- Farooq, M.; Nawaz, A.; Chaudhary, M. A. M.; Rehman, A. Foliage applied sodium nitroprusside and hydrogen peroxide improves resistance against terminal drought in bread wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.203, p.473-482, 2017.
- Ferreira, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v.37, p.529-535, 2019.
- Lacerda, C. N. de; Lima, G. S. de; Soares, L. A. A.; Fatima, R. T.; Gheyi, H. R.; Azevedo, C. A. V. Morphophysiology and production of guava as a function of water salinity and salicylic acid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.451-458, 2022.
- Li, Q.; Wang, Z.; Zhao, Y.; Zhang, X.; Zhang, S.; Bo, L.; Wang, Y.; Ding, Y.; An, L. Putrescine protects hullless barley from damage due to UV-B stress via H<sub>2</sub>S and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mediated signaling pathways. *Plant Cell Reports*, v.35, p.1155-1168, 2016.
- Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Soares, L. A. A.; Xavier, D. A.; Santos Junior, J. A. Water relations and gas exchange in castor bean irrigated with saline water of distinct cationic nature. *African Journal of Agricultural Research*, v.10, p.1581-1594, 2015.
- Lima, G. S. de; Silva, A. R. P. da; Sá, F. V. da S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A. Physicochemical quality of fruits of West Indian cherry under saline water irrigation and phosphate fertilization. *Revista Caatinga*, v.33, p.217-225, 2020a.
- Lima, G. S. de; Pinheiro, F. W. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A.; Silva, S. S. da. Growth and post-harvest fruit quality of West Indian cherry under saline water irrigation and potassium fertilization. *Revista Caatinga*, v.33, p.775-784, 2020b.

- Lima, G. S. de; Pinheiro, F. W. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Sousa, P. F. N.; Fernandes, P. D. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.180-189, 2022.
- Pinheiro, F. W. A.; Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A.; Oliveira, S. G. de; Silva, F. A. da. Gas exchange and yellow passion fruit production under irrigation strategies using brackish water and potassium. *Revista Ciência Agronômica*, v.53, p.1-11, 2022.
- Portella, C. R.; Marinho, C. S.; Amaral, B. D.; Carvalho, W. S. G.; Campos, G. S.; Silva, M. P. S. D.; Sousa, M. C. D. Desempenho de cultivares de citros enxertadas sobre o trifoliato 'flying Dragon' e limoeiro 'cravo' em fase de formação do pomar. *Bragantia*, v.75, p.70-75, 2016.
- Ramos, J. G.; Lima, V. L. A.; Lima, G. S.; Pereira, M. O.; Silva, A. A. R.; Nunes, K. G. Growth and quality of passion fruit seedlings under salt stress and foliar application of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Comunicata Scientiae*, v.13, e3393, 2022.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U.S, Department of Agriculture. 1954. 160p. Agriculture Handbook 60
- São José, A. R.; Pires, M. M.; Freitas, A. L. G. E.; Ribeiro, D. P.; Perez, L. A. A. Atualidades e perspectivas das Anonáceas no mundo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.36, p.86-93, 2014.
- Silva, A. A. R. da; Capitulino, J. D.; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Arruda, T. F. L.; Souza, A. R.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A. Hydrogen peroxide in attenuation of salt stress effects on physiological indicators and growth of soursop. *Brazilian Journal of Biology*, v.84, e261211, 2022.
- Silva, A. A. R. da; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Gheyi, H. R.; Souza, L. de P.; Veloso, L. L. de S. A. Gas exchange and growth of passion fruit seedlings under salt stress and hydrogen peroxide. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.49, e55671, 2019a.
- Silva, A. A. R. de; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Veloso, L. L. de S. A.; Capitulino, J. D.; Gheyi, H. R. Induction of tolerance to salt stress in soursop seedlings using hydrogen peroxide. *Comunicata Scientiae*, v.10, p.484-490, 2019b.
- Silva, A. A. R. da; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Veloso, L. L. de S. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A. Salt stress and exogenous application of hydrogen peroxide on photosynthetic parameters of soursop. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, p.257-263, 2019c.

- Sousa, J. R. M. de; Gheyi, H. R.; Brito, M. E. B.; Silva, F. de A. F. D. da; Lima, G. S. de. Dano na membrana celular e pigmentos clorofilianos de citros sob águas salinas e adubação nitrogenada. *Irriga*, v.22, p.353-368, 2017.
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. (Org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2017, 573p.
- Veloso, L. L. de S. A.; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Nobre, R. G.; Silva, A. A. R. da; Capitulino, J. D.; Gheyi, H. R.; Bonifacio, B. F. Physiological changes and growth of soursop plants under irrigation with saline water and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in post-grafting phase. *Semina: Ciências Agrárias*, v.41, p.3023-3038, 2020.
- Veloso, L. L. de S. A.; Silva, A. A. R. da; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Gheyi, H. R.; Moreira, R. C. L. Growth and gas exchange of soursop under salt stress and hydrogen peroxide application. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.119-125, 2022.
- Wanderley, J. A. C.; Brito, M. E. B.; Azevedo, C. A. V. de; Chagas Silva, F.; Ferreira, F. N.; Lima, R. F. Dano celular e fitomassa do maracujazeiro amarelo sob salinidade da água e adubação nitrogenada. *Revista Caatinga*, v.33, p.757-765, 2020.
- Xavier, A. V. O.; Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Silva, A. A. R. da; Soares, L. A. A.; Lacerda, C. N. Gas exchange, growth and quality of guava seedlings under salt stress and salicylic acid. *Revista Ambiente e Água*, v.17, e2816, 2022.

## CAPÍTULO V

---

### PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA ATENUAÇÃO DO ESTRESSE SALINO EM GRAVIOLEIRA

*Artigo publicado na Revista Caatinga, v. 37, e11876, 2024.*

DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v3711876rc>

## PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA ATENUAÇÃO DO ESTRESSE SALINO EM GRAVIOLEIRA

### RESUMO

Em regiões semiáridas, a utilização de águas salinas para irrigação, tem se tornado uma realidade cada vez mais frequente em função da escassez quantitativa e qualitativa das fontes hídricas que ocorre na maior parte do ano. Assim, a utilização de peróxido de hidrogênio pode ser uma estratégia capaz de amenizar os efeitos deletérios do estresse salino sobre as plantas e garantir a produção agrícola da gravioleira. Deste modo, objetivou-se com esta pesquisa avaliar os efeitos das concentrações de peróxido de hidrogênio sobre os índices fisiológicos e de crescimento de plantas de gravioleira cv. Morada Nova irrigadas com águas de diferentes níveis salinos. Os tratamentos foram distribuídos em um delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial  $4 \times 4$ , correspondendo a quatro níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8, 1,6, 2,4 e 3,2  $\text{dS m}^{-1}$ ) e quatro concentrações de peróxido de hidrogênio -  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0, 10, 20 e 30  $\mu\text{M}$ ), com três repetições. A aplicação foliar de peróxido de hidrogênio nas concentrações de 12, 18 e 15  $\mu\text{M}$ , respectivamente, atenuaram os efeitos do estresse salino sobre a condutância estomática, a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  e a síntese de clorofila *a* de plantas de gravioleira, aos 780 dias após o transplantio. A concentração de peróxido de hidrogênio de 30  $\mu\text{M}$  intensificou o estresse salino sobre as trocas gasosas, a fluorescência variável e o extravasamento de eletrólitos no limbo foliar de plantas de graviola cv. Morada Nova, aos 780 dias após o transplantio.

**Palavras - chave:** *Annona muricata* L., salinidade, espécie reativa de oxigênio, estresse oxidativo.

### HYDROGEN PEROXIDE IN ATTENUATING SALT STRESS IN SOURSOP

## ABSTRACT:

In semi-arid regions, the use of saline water for irrigation has become an increasingly frequent reality due to the qualitative and quantitative scarcity of water sources that occurs most of the year. Thus, the use of hydrogen peroxide can be a strategy capable of mitigating the deleterious effects of saline stress on plants and guaranteeing the agricultural production of crops such as soursop. Thus, the objective of this research was to evaluate the effects of foliar application of hydrogen peroxide on the physiological and growth indices of soursop plants cv. Morada Nova irrigated with waters of different saline levels. The experiment was conducted under greenhouse conditions, using a randomized block design, in a 4 × 4 factorial scheme, corresponding to four levels of electrical conductivity of irrigation water - EC<sub>w</sub> (0.8, 1.6, 2.4, and 3.2 dS m<sup>-1</sup>) and four doses of hydrogen peroxide - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 10, 20, and 30 μM), with three replicates. Foliar application of hydrogen peroxide at concentrations of 12, 18 and 15 μM, respectively, attenuated the effects of salt stress on stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation rate and chlorophyll a synthesis of soursop, at 780 days after transplanting. The 30 μM hydrogen peroxide concentration intensified salt stress on gas exchange, variable fluorescence and electrolyte leakage in the leaf blade of soursop plants cv. Morada Nova, 780 days after transplanting.

**Keywords:** *Annona muricata* L. Salinity. Reactive oxygen species. Oxidative stress.

## 1 INTRODUÇÃO

Pertencente à família Annonaceae, a gravioleira (*Annona muricata* L.) é uma frutífera cultivada no Brasil, principalmente na região semiárida do Nordeste, devido à multifuncionalidade de sua produção, destacando-se como uma boa fonte de vitaminas do complexo B e C (Hasmila; Natsir; Soekamto, 2019). É uma fonte de carboidratos, sais minerais, substâncias antioxidantes e importantes compostos bioativos, tais como acetogeninas, que atuam na prevenção de doenças degenerativas (Mutakin et al., 2022).

Embora a região semiárida do Nordeste do Brasil tenha condições edafoclimáticas para o cultivo da gravioleira, porém a escassez de chuvas e a elevada evapotranspiração durante a maioria dos meses do ano, contribui para que as fontes de águas, tanto subterrâneas (poços) e/ou superficiais (açudes de pequeno e médio portes e lagoas), contenham altos teores de sais, limitando-se seu uso para a irrigação (Brito et al., 2020).

O excesso de sais na água, reduz o potencial osmótico da solução do solo, afetando a disponibilidade de água e causando efeito iônico e alterações nas propriedades físicas e

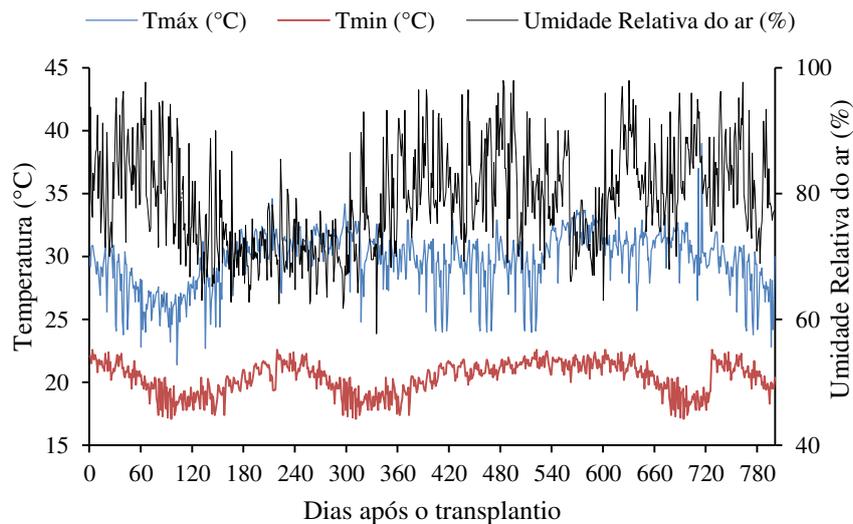
químicas no solo (Soares et al., 2018). Além disso, a presença excessiva de sais na zona radicular das plantas pode afetar negativamente a integridade da membrana celular, limitando o processo fotossintético devido ao fechamento parcial dos estômatos, resultando em danos ao aparato fotossintético e/ou ao sistema enzimático de fixação de CO<sub>2</sub>, independente da natureza dos sais (Velooso et al., 2020a).

No entanto, os efeitos do estresse salino nas plantas, podem ser amenizados com o uso de elicitores, a exemplo, do peróxido de hidrogênio (Capitulino et al., 2022). As plantas quando submetidas a um pré-tratamento com concentrações adequadas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, sofrem alterações no seu metabolismo, através da ativação do sistema de defesa antioxidante enzimático e não enzimático, conferindo maior tolerância a estresses abióticos como a salinidade (Velooso et al., 2020b).

Neste contexto, alguns estudos relataram que a aplicação de peróxido de hidrogênio pode aumentar a tolerância ao estresse salino como observado em plantas de maracujazeiro-azedo (Ramos et al., 2022) e em graviola na fase de formação de mudas (Capitulino et al., 2022). Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos das concentrações do peróxido de hidrogênio nos índices fisiológicos e no crescimento de gravioleira sob irrigação com águas salinas.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi desenvolvido entre os meses de abril de 2020 a maio de 2022 em casa de vegetação, localizada na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UAEA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em Campina Grande, Paraíba, nas coordenadas geográficas 7°15'18'' de latitude Sul, 35°52'28'' de longitude Oeste e altitude média de 550 m. Os dados de temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar medidos dentro da casa de vegetação estão dispostos na Figura 1.



**Figura 1.** Temperatura do ar (máxima e mínima) e umidade relativa média do ar observada na área interna da casa de vegetação durante o período experimental

Os tratamentos consistiram em quatro níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8; 1,6; 2,4; 3,2 dS m<sup>-1</sup>) e quatro concentrações de peróxido de hidrogênio - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0; 10; 20 e 30 μM), em arranjo fatorial 4 × 4, distribuídos em blocos casualizados, com três repetições. Os níveis de condutividade elétrica da água foram baseados em pesquisa anterior de Silva et al. (2019), enquanto as concentrações de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) foram estabelecidas com base em um estudo desenvolvido por Veloso et al. (2020b).

As mudas de gravioleira cv. Morada Nova foram obtidas em viveiro comercial credenciado no Registro de Sementes e Mudas, no Distrito de São Gonçalo, Sousa-PB, produzidas em sacolas de polietileno com dimensões de 10 × 20 cm. A escolha da cultivar Morada Nova, se deu por sua maior utilização em pomares comerciais no Brasil, bem como pelo seu potencial produtivo e tamanho dos seus frutos, que podem pesar até 15 kg (São José et al., 2014).

Para condução do experimento foram usados vasos plásticos adaptados como lisímetros de drenagem, com 212 L (0,75 m de profundidade e 0,2827 m<sup>2</sup> de área) e, preenchidos com uma camada de 1,0 kg de brita seguido de 230 kg de solo classificado como Neossolo Regolítico de textura franco-argilosa, coletado na profundidade de 0 – 30 cm, procedente do município de Riachão do Bacamarte- PB, cujas características físico-químicas (Tabela 1) foram determinadas conforme Teixeira et al. (2017).

**Tabela 1.** Características químicas e físicas do solo (profundidade 0 – 30 cm) utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

Características físico-químicas								
pH H <sub>2</sub> O	MO	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>
1:2.5	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....cmolc kg <sup>-1</sup> .....					
6.5	8.1	79	0.24	0.51	14.9	5.4	0	0.9
.....Características químicas.....				.....Características físicas.....				
CE <sub>es</sub>	CTC	RAS <sub>es</sub>	PST	Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )	
dS m <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>	(mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>	%	Areia	Silte	Argila	33.42 kPa <sup>1</sup>	1519.5 kPa <sup>2</sup>
2.15	16.54	0.16	3.08	572.7	100.7	326.6	25.91	12.96

M O – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>OAc 1 M pH 7,0; Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup> extraídos com CaOAc 0,5 M pH 7,0; PST - Percentagem de sódio trocável; CE<sub>es</sub> – Condutividade elétrica do extrato de saturação; FA – Franco arenoso; AD – Água disponível; DA - Densidade aparente; DP - Densidade de partículas; \* - Capacidade do campo; \*\* - Ponto de murchamento

As águas de irrigação com diferentes níveis de condutividade elétrica foram preparadas dissolvendo-se os sais de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, na proporção equivalente de 7:2:1, respectivamente, em água de abastecimento local (CE<sub>a</sub> = 0,38 dS m<sup>-1</sup>). Essa proporção é comumente encontrada em fontes de água utilizadas para irrigação em pequenas propriedades do Nordeste (Medeiros, 1992). No preparo das águas de irrigação, foi considerada a relação entre CE<sub>a</sub> e a concentração de sais (Richards, 1954), conforme a Eq. 1:

$$Q = 10 \times CE_a \quad (1)$$

Em que:

Q - quantidade de sais a ser adicionado (mmolc L<sup>-1</sup>)

CE<sub>a</sub> - condutividade elétrica da água (dS m<sup>-1</sup>)

Aos 60 dias após o transplântio, iniciou-se a irrigação com as águas salinas, aplicando-se água em cada lisímetro conforme tratamento, de forma a manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo e evitar o acúmulo excessivo de sais no solo, sendo a quantidade a ser aplicada de acordo com a necessidade hídrica das plantas, realizada manualmente, onde diariamente, às 17 horas, foi aplicado, em cada recipiente, o volume correspondente ao obtido pelo balanço de água, cujo volume de água a ser aplicado nas plantas foi determinado pela Eq. 2:

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

Em que:

VI - volume de água a ser usado no evento de irrigação (mL);

V<sub>a</sub> - volume aplicado no evento de irrigação anterior (mL);

Vd - volume drenado (mL);

FL - fração de lixiviação de 0,10, aplicado a cada 30 dias para evitar acumulação excessiva de sais na zona radicular.

A adubação com NPK foi realizada conforme recomendação de Cavalcante et al. (2008), aplicando-se 40 g de N, 60 g de K<sub>2</sub>O e 40 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por planta ano por ano. As adubações foram parceladas em 24 vezes e aplicadas a cada 15 dias. Foram utilizados como fonte de nitrogênio, potássio e fósforo, respectivamente a ureia (45% de N), o cloreto de potássio (50% K<sub>2</sub>O, 17% S) e o fosfato monoamônio (12% de N, 54% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Os micronutrientes foram aplicados via foliar, a partir dos 60 dias após o transplantio e continuaram sendo aplicados quinzenalmente 1,0 g L<sup>-1</sup> de uma solução de Dripsol<sup>®</sup> Micro com a seguinte composição: Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%); Mo (0,02%).

As diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio foram obtidas pela diluição em água destilada, sendo posteriormente, feita a calibração por meio do espectrofotômetro no comprimento de onda de absorvância de 240 nm. As aplicações foliares tiveram início aos 45 dias após o transplantio (DAT) das mudas cultivadas em lisímetros e foram realizadas em intervalos de 30 dias. Para garantir que as folhas fossem completamente molhadas, um pulverizador costal, com bico cônico regulável de metal com 1 cm, pressão de serviço de 2,07 MPa, e vazão de 1,1 L min<sup>-1</sup> foi utilizado para pulverizar nas faces abaxial e adaxial das folhas, sendo as pulverizações realizadas entre as 17:00 e 18:00h. A quantidade de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por planta foi de aproximadamente 400 mL. Além disso, para controlar a deriva da solução entre os tratamentos, uma cortina de lona plástica, foi colocada em torno de cada planta durante a aplicação da solução de peróxido H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

A poda de formação foi feita quando a planta atingiu uma altura de 60 cm momento que houve o corte do meristema apical. Das brotações que surgiram foram selecionadas três pernadas bem distribuídas e equidistantes, esses ramos, por sua vez, foram podados quando atingiram 40 cm de comprimento (Silva et al., 2020). Durante a condução do experimento, foi feito o monitoramento do surgimento de pragas e doenças, ao ser observada a incidência, estas foram erradicadas com o uso de defensivos.

Avaliaram-se aos 780 DAT as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a*, os pigmentos fotossintéticos, o extravasamento de eletrólitos, déficit de saturação no limbo foliar e taxa de crescimento relativo em diâmetro caulinar da gravioleira cv. Morada nova. As trocas gasosas foram avaliadas em folhas do terço médio das plantas, utilizando-se de analisador de gases infravermelho portátil – IRGA (Infra Red Gás Analyser, modelo

LCpro-SD, da ADC BioScientific, UK). As variáveis analisadas foram a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> - *A* (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), transpiração - *E* (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), condutância estomática - *g<sub>s</sub>* (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e concentração interna de CO<sub>2</sub> - *C<sub>i</sub>* (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

A partir da razão entre *A/g<sub>s</sub>* e *A/C<sub>i</sub>* determinou-se a eficiência no uso de água – *EiUA* [(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>] e a eficiência de carboxilação – *EiCi* [(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>], respectivamente. As leituras foram realizadas entre 7:00 e 10:00 horas da manhã, na terceira folha totalmente expandida contada a partir da gema apical, conduzidas sob condições naturais de temperatura do ar, concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, utilizando luz constante de 1.200 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, estabelecida através da curva de resposta fotossintética (Fernandes et al., 2021).

Nas mesmas folhas foram realizadas as medições da fluorescência da clorofila *a*, utilizando-se de fluorômetro de pulso modulado, modelo OS5p da Opti Science. Foram mensuradas a fluorescência inicial (*F<sub>0</sub>*), máxima (*F<sub>m</sub>*), variável (*F<sub>v</sub>*) e eficiência quântica do fotossistema II (*F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>*); tal protocolo foi realizado após adaptação das folhas ao escuro por um período de 30 min, entre as 6:00 e 9:00 horas da manhã, usando-se um clipe do equipamento, para garantir que todos os aceptores primários estivessem totalmente oxidados.

Os teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenóides foram determinados também aos 780 DAT, de acordo com a metodologia de Arnon (1949), utilizando-se 1 disco foliar obtidos da terceira folha madura do ápice, imersos em acetona 80% e armazenados no escuro por 48 horas. Os extratos obtidos foram submetidos a leituras em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 470, 647 e 663 nm. Os valores observados nas leituras foram submetidos às seguintes Eq. 3, 4, 5:

$$\text{Clorofila } a \text{ (Cl } a) = (12,21 \times \text{ABS}_{663}) - (2,81 \times \text{ABS}_{647}) \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (Cl } b) = (20,13 \times \text{ABS}_{647}) - (5,03 \times \text{ABS}_{663}) \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Clorofila total (Cl } t) = (7,15 \times \text{ABS}_{663}) + (18,71 \times \text{ABS}_{647}) \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Carotenóides (Car)} = [(1000 \times \text{ABS}_{470}) - (1,82 \times \text{Cl } a) - (85,02 \times \text{Cl } b)]/198 \dots\dots(6)$$

Os valores obtidos para o conteúdo de clorofilas *a*, *b*, total e carotenóides nas folhas foram expressos em mg g<sup>-1</sup> MF (matéria fresca).

O extravasamento de eletrólitos (EE) no limbo foliar foi determinado utilizando-se um perfurador de cobre para obter, cinco discos foliares com área 1,54 cm<sup>2</sup> cada, por unidade experimental, os quais foram lavados e acondicionados em erlenmeyer contendo 50 mL de água destilada. Após fechados com papel alumínio, os erlenmeyers foram

acondicionados à temperatura de 25 °C, por 24 horas sendo, em seguida, aferida a condutividade inicial do meio (Xi) usando condutivímetro de bancada (MB11, MS Techonopon®). Em seguida os erlenmeyers foram submetidos à temperatura de 90 °C, por 120 minutos, em estufa circulação forçada de ar (SL100/336, SOLAB®) e, após resfriamento do conteúdo dos mesmos, aferiu-se a condutividade final (Xf). O extravasamento de eletrólitos foi expresso como a porcentagem de condutividade elétrica inicial em relação à condutividade elétrica após o tratamento por 90 minutos a 90 °C, de acordo com metodologia de Scotti-Campos et al. (2013), conforme Eq. 7:

$$EE = \frac{X_i}{X_f} \times 100 \dots\dots\dots(7)$$

Em que:

EE = extravasamento de eletrólitos (%);

Xi = condutividade inicial do meio (dS m<sup>-1</sup>);

Xf = condutividade final (dS m<sup>-1</sup>).

Para a determinação do déficit de saturação hídrica (DSH), foram retiradas duas folhas do terço médio do ramo principal e obtido quatro discos de 12 mm de diâmetro de cada folha. Imediatamente após a coleta, os discos foram pesados, evitando-se a perda de umidade, obtendo-se a massa fresca (MF); em seguida, essas amostras foram colocadas em béquer, imersas em 50 mL de água destilada e mantidas em repouso por 24 horas. Após esse período, o excesso de água foi retirado dos discos em repouso com papel toalha e obtida a massa túrgida (MT) das amostras, as quais foram secas em estufa a uma temperatura ≈ 65 ± 3 °C, até peso constante para obtenção da massa seca. (MS) das amostras. O DSH foi determinado de acordo com Lima et al. (2015), pela Eq. 8:

$$DSH = \frac{MT - MF}{MT - MS} \times 10 \quad (8)$$

Em que:

DSH = déficit de saturação hídrica (%);

MF = massa fresca de folha (g);

MT = massa túrgida (g);

MS = massa seca (g).

O crescimento das plantas de gravioleira aos foi avaliado através do diâmetro de caule (DC) (780 DAT) e pelas taxas de crescimento relativo do diâmetro do caule (TCRdc) (210 e 780 DAT) seguindo a metodologia de Benincasa (2003), conforme a Eq.9:

$$TCRdc = \frac{(\ln A_2 - \ln A_1)}{(t_2 - t_1)} \dots\dots\dots(9)$$

Em que:

TCRdc = taxa de crescimento relativo do diâmetro de caule (mm dia<sup>-1</sup>),

A<sub>2</sub> = diâmetro de caule de planta aos 780 DAT;

A<sub>1</sub> = diâmetro de caule de planta no tempo 210 DAT;

t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub> = diferença de tempo entre as avaliações e

ln = logaritmo natural.

Os dados coletados foram submetidos ao teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk). Em seguida foi realizada uma análise de variância ao nível de 0,05 de probabilidade, e nos casos de significância isolado do fator, foi feita uma análise de regressão, utilizando-se o software estatístico SISVAR-ESAL (Ferreira, 2019). Em caso de significância da interação entre fatores, foi utilizado o software SigmaPlot v.12.5 para a elaboração das superfícies de resposta.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo (Tabela 2) da interação entre os níveis de salinidade da água e das concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para a concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), transpiração (E) e a eficiência instantânea do uso de água (EiUA) de gravioleira cv. Morada Nova. Os níveis de salinidade da água influenciaram de forma significativa o déficit de saturação hídrica. Já as concentrações de peróxido de hidrogênio de forma isolada tiveram influência sobre o extravasamento de eletrólitos (EE), a condutância estomática (gs) e a eficiência instantânea de carboxilação (EiCi).

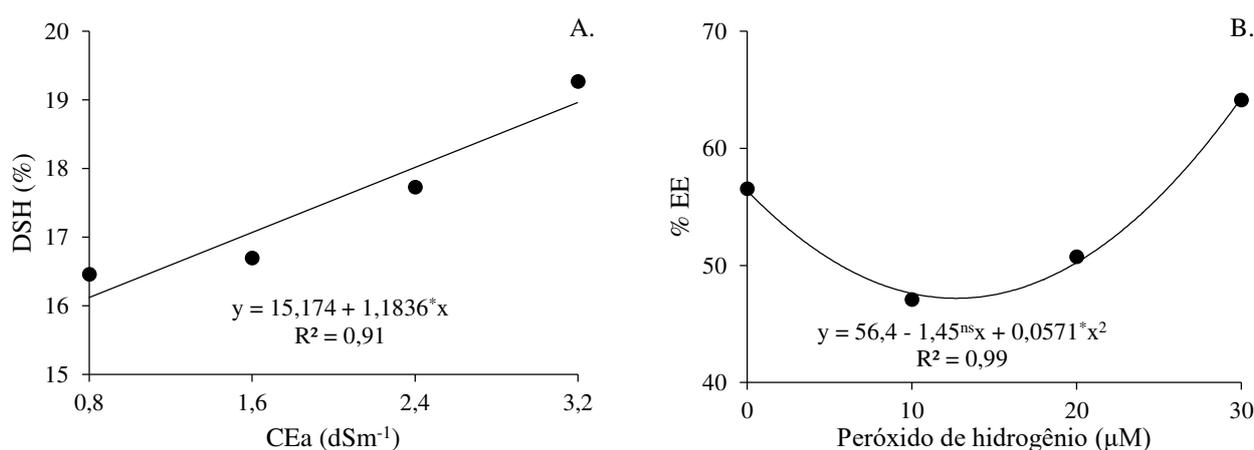
**Tabela 2.** Resumo da análise de variância referente ao déficit de saturação hídrica (DSH), extravasamento de eletrólitos (EE), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), transpiração (E), eficiência instantânea do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea da carboxilação (EiCi) de gravioleira cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio, aos 780 dias após o transplântio.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios							
		DSH	EE	gs	Ci	A	E	EiUA	EiCi
Nível salino (NS)	4	27721,1*	1142,7 <sup>ns</sup>	0,001669 <sup>ns</sup>	102476,1 <sup>ns</sup>	2,2700 <sup>ns</sup>	0,3615 <sup>ns</sup>	9,4981 <sup>ns</sup>	0,00001 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	25678,3*	148,83 <sup>ns</sup>	0,002350 <sup>ns</sup>	57567,0 <sup>ns</sup>	5,8120 <sup>ns</sup>	0,4947 <sup>ns</sup>	25,99 <sup>ns</sup>	0,00008 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	11765,6 <sup>ns</sup>	325,52 <sup>ns</sup>	0,000825 <sup>ns</sup>	38590,0 <sup>ns</sup>	0,9210 <sup>ns</sup>	0,5247 <sup>ns</sup>	2,4354 <sup>ns</sup>	0,000012 <sup>ns</sup>
Peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	4	9085,01 <sup>ns</sup>	934,59**	0,000793*	12203,1 <sup>ns</sup>	3,7700 <sup>ns</sup>	0,7204 <sup>ns</sup>	2,3299 <sup>ns</sup>	0,000010**
Regressão linear	1	4150,01 <sup>ns</sup>	5175,4 <sup>ns</sup>	0,000605 <sup>ns</sup>	3179,17 <sup>ns</sup>	0,1900 <sup>ns</sup>	0,5642 <sup>ns</sup>	1,7779 <sup>ns</sup>	0,000007 <sup>ns</sup>

Regressão quadrática	1	6165,3 <sup>ns</sup>	535,39*	0,00131**	8897,13 <sup>ns</sup>	10,420 <sup>ns</sup>	0,4670 <sup>ns</sup>	1,0480 <sup>ns</sup>	0,000018**
Interação (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> × NS)	16	14039,55 <sup>ns</sup>	1103,2 <sup>ns</sup>	0,000473 <sup>ns</sup>	46429,0*	0,1342**	0,2583*	1,2202*	0,000082 <sup>ns</sup>
Blocos	3	540,58 <sup>ns</sup>	127,06 <sup>ns</sup>	0,000055 <sup>ns</sup>	130,13 <sup>ns</sup>	0,0193 <sup>ns</sup>	0,0126 <sup>ns</sup>	0,0051 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	1836,82	28,82	0,000048	1607,28	0,03670	0,02780	0,02012	0,000007
CV (%)		1,77	0,90	15,27	2,75	5,64	13,07	4,81	6,91

<sup>ns</sup>, \* e \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL- Grau de liberdade. CV: Coeficiente de variação

O déficit de saturação hídrica no limbo foliar aumentou linearmente (Figura 2A) com um incremento de 7,80% por unidade de aumento em CEa. As plantas de graviola irrigadas com água de maior salinidade (3,2 dS m<sup>-1</sup>) obtiveram um aumento de 17,61% (2,84) em comparação com aquelas irrigadas sob CEa de 0,8 dS m<sup>-1</sup>. O aumento no DSH é reflexo do menor conteúdo relativo de água em decorrência da restrição na absorção de água e nutrientes impostas pelo estresse salino. Por sua vez, as plantas de gravioleira submetidas a concentração de 13 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Figura 2B), obtiveram menor valor de EE (47,19%), a partir desta concentração, observa-se aumento no extravasamento de eletrólitos das plantas de graviola. Esse aumento no %EE das plantas cultivadas sob a concentração de 30 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pode estar relacionado ao fato de que, o peróxido de hidrogênio é a espécie reativa de oxigênio mais estável nas células e, em altas concentrações, pode se espalhar rapidamente pela membrana subcelular, resultando em dano oxidativo para a membrana (Farouk; Amira, 2018). Veloso et al. (2020b), também observaram que a aplicação foliar de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0 e 20 µM) em plantas de gravioleira (*A. muricata* L.) irrigadas com águas salinas (1,6 a 4,0 dS m<sup>-1</sup>) reduziu o extravasamento de eletrólitos das plantas, aos 150 dias após o transplântio.

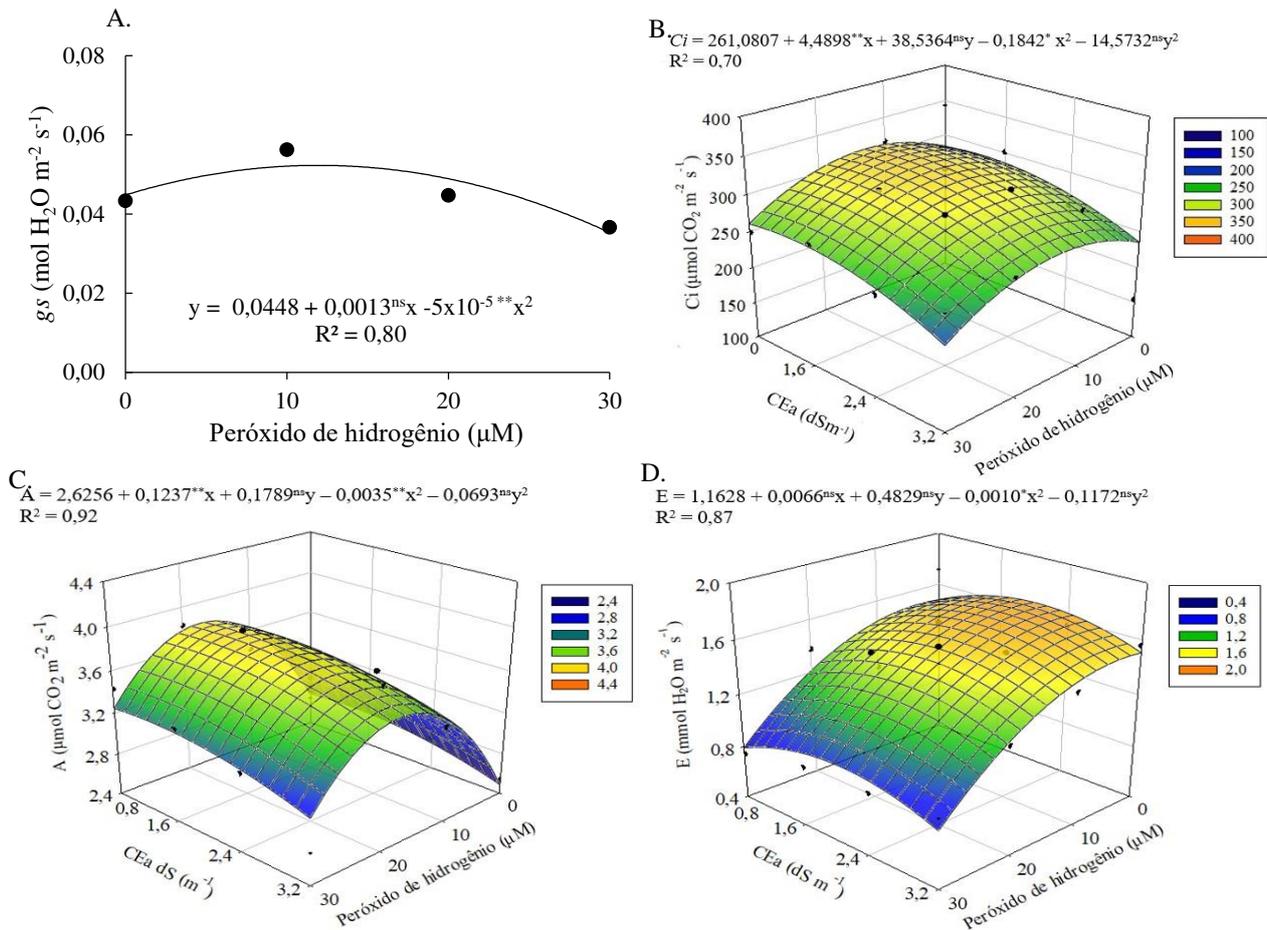


<sup>ns</sup>, \* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$ .

**Figura 2.** Déficit de saturação hídrica – DSH da gravioleira cv. Morada Nova (A) em função da salinidade da água de irrigação – CEa e extravasamento de eletrólitos – EE (B) em função das concentrações de peróxido de hidrogênio, aos 780 dias após o transplântio.

As concentrações de peróxido de hidrogênio influenciaram significativamente a condutância estomática (Figura 3A) das plantas de graviola, cujo valor máximo estimado ( $0,05325 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foi obtido sob aplicação foliar de  $13 \mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Por outro lado, o menor valor de  $0,03880 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , foi observado nas plantas de gravioleira cultivadas sob aplicação foliar de  $30 \mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Para a concentração interna de  $\text{CO}_2$  (Figura 3B), a irrigação com água de  $1,32 \text{ dS m}^{-1}$  associada a aplicação foliar de  $12,19 \mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  proporcionou o maior valor estimado ( $313,916 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), sendo está limitada pela CEa de  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$  e das concentrações mais altas de  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $30 \mu\text{M}$ ), cuja redução foi de  $109,74 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (34,96%). As reduções na  $C_i$  com o aumento da CEa, em plantas de graviola submetidas ao tratamento com concentrações de  $\text{H}_2\text{O}_2$  acima de  $12 \mu\text{M}$ , provavelmente ocorreram devido à menor difusão de  $\text{CO}_2$  na câmara subestomática, como consequência do fechamento estomático.

O fechamento estomático pode ser considerado uma estratégia para diminuir as perdas de água para a atmosfera e, conseqüentemente, manter a turgescência das células-guarda, afetando diretamente a formação de carboidratos na fotossíntese e na produção (Lima et al., 2020). O efeito benéfico do peróxido de hidrogênio em baixas concentrações, também foi observado por Silva et al. (2019a), que avaliando as trocas gasosas e os pigmentos fotossintéticos de mudas de graviola cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas (CEa variando de  $0,7$  a  $3, \text{ dS m}^{-1}$ ) e submetidas à aplicação de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$  variando de  $0$  a  $100 \mu\text{M}$ ) por embebição de sementes e pulverização foliar, observaram que a concentração de  $25 \mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  amenizou os efeitos deletérios do estresse salino sobre a condutância estomática e a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  aos 120 dias após a semeadura. Entretanto, é importante ressaltar que a aplicação de  $\text{H}_2\text{O}_2$  em concentrações inadequadas podem provocar o estresse oxidativo e, conseqüentemente, danificar a membrana celular e outras estruturas celulares, comprometendo a eficiência fotossintética da planta.



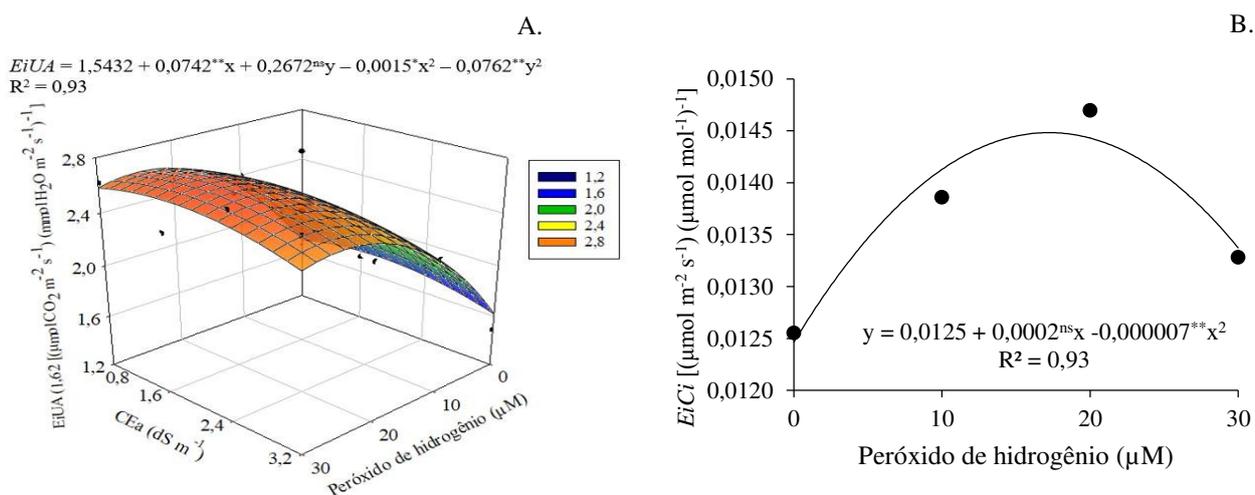
ns, \* e \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . X e Y correspondem a as concentrações de peróxido de hidrogênio e a CEa, respectivamente.

**Figura 3.** Condutância estomática –  $gs$  (A) da gravioleira cv. Morada Nova, em função das concentrações de peróxido hidrogênio-  $\text{H}_2\text{O}_2$ , e concentração interna de  $\text{CO}_2$  –  $Ci$  (B), taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  –  $A$  (C) e transpiração –  $E$  (D) em função da interação entre os níveis de CEa e das concentrações de peróxido, aos 780 dias após o transplântio.

De forma similar a  $Ci$ , as concentrações de  $\text{H}_2\text{O}_2$  via foliar elevaram a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  (Figura 2C) e transpiração (Figura 3D), sendo os maiores valores de  $3,83 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $1,6404 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  obtidos nos tratamentos com CEa de  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$  e concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  de  $18 \mu\text{M}$  para  $A$  e  $11 \mu\text{M}$  para  $E$ . O menor valor da  $A$  ( $2,49 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foi observado nas plantas que não receberam  $\text{H}_2\text{O}_2$  associado a CEa de  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ . Já o menor valor de  $E$  foi encontrado quando as plantas foram submetidas a concentração de  $30 \mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  associado a CEa  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo esse de  $0,6754 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . A redução na taxa de transpiração está diretamente ligada à diminuição da  $gs$ , pois com menor abertura dos estômatos haverá declínio na transpiração, restringindo a perda de água da folha para a atmosfera na forma de vapor, reduzindo assim a taxa de transpiração da planta (Lima et al., 2017).

Capitulino et al. (2022), em estudo avaliando as trocas gasosas e crescimento de mudas de graviola sob estresse salino (CEa variando de 0,6 a 3,0 dS m<sup>-1</sup>) e aplicação de peróxido de hidrogênio (0 e 20 μM), verificaram que a aplicação de peróxido de hidrogênio na concentração de 20μM atenuou os efeitos deletérios da salinidade da água de irrigação sobre as trocas gasosas aos 85 dias após a semeadura.

Na Figura 4A, nota-se que o maior valor para eficiência instantânea de uso de água – *EiUA* (2,69 [(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>]) foi obtido nas plantas irrigadas com água de CEa de 1,75 dS m<sup>-1</sup> e sob aplicação de 25 μM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Já a irrigação com água de 3,2 dS m<sup>-1</sup> na ausência da aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proporcionou o valor mínimo estimado para *EiUA* (1,62 [(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>]). Com o aumento da concentração de sais na água e/ou no solo, as plantas têm maior dificuldade em absorver água e nutrientes. Conseqüentemente, para evitar a perda excessiva de água, elas fecham seus estômatos, restringindo a entrada de CO<sub>2</sub> na câmara subestomática, comprometendo a eficiência instantânea de carboxilação e do uso da água (Silva et al., 2019b).



ns, \* e \*\* respectivamente não significativo, significativo a p≤0,05 e p≤0,01. X e Y correspondem a as concentrações de peróxido de hidrogênio e a CEa, respectivamente.

**Figura 4.** Eficiência instantânea no uso da água - *EiUA* (A) da gravioleira cv. Morada Nova, em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação - CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e eficiência instantânea de carboxilação - *EiCi* (B) em função das concentrações de peróxido de hidrogênio - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, aos 780 dias após o transplantio.

A aplicação foliar de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> elevou a eficiência instantânea de carboxilação - *EiCi* das plantas de gravioleira, aos 780 DAT (Figura 4B), com um maior valor (0,01435 [(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>]) observado nas plantas submetidas a aplicação de 17 μM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Verifica-se ainda que, o menor valor da *EiCi* foi obtido quando as plantas

foram cultivadas na ausência da aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,01246 [(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>]). Assim, é possível que o pré-tratamento das plantas com peróxido de hidrogênio pode provocar uma sinalização metabólica na célula, induzindo o sistema de defesa antioxidante e/ou o aumento de um metabólito minimizando os efeitos negativos causados pela salinidade, o que poderá beneficiar o desempenho fisiológico das plantas expostas as condições subsequentes de estresse mais severo (Panhwar; Kério; Roberto, 2017). Silva et al. (2021), avaliando o efeito da aplicação exógena de peróxido de hidrogênio na emergência, crescimento e trocas gasosas de maracujazeiro-amarelo submetidas ao estresse salino, observaram que a concentração de peróxido de hidrogênio de 10 μM, induz a aclimação das plantas de maracujazeiro ao estresse salino, mitigando os efeitos deletérios da salinidade sobre a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e a eficiência instantânea de carboxilação das plantas.

Houve efeito significativo da interação entre os níveis de salinidade da água e as concentrações de peróxido de hidrogênio sobre a fluorescência variável, clorofila *b* e carotenóides das plantas de gravioleira (Tabela 3). Os níveis de salinidade da água de irrigação influenciaram significativamente a fluorescência inicial, a máxima, a eficiência quântica do fotossistema II e os teores de clorofila *total* da gravioleira. Já as concentrações de peróxido de hidrogênio não influenciaram de forma isolada a fluorescência inicial, a clorofila *a* e a clorofila *total*.

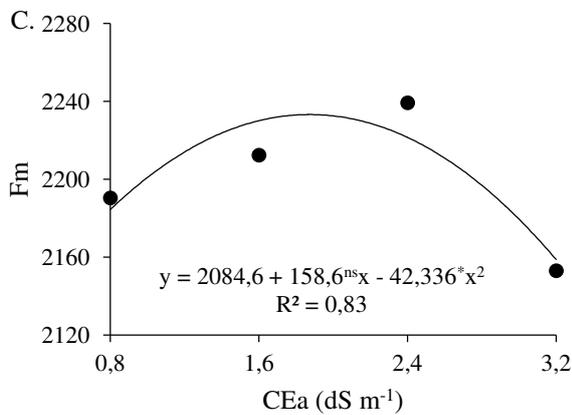
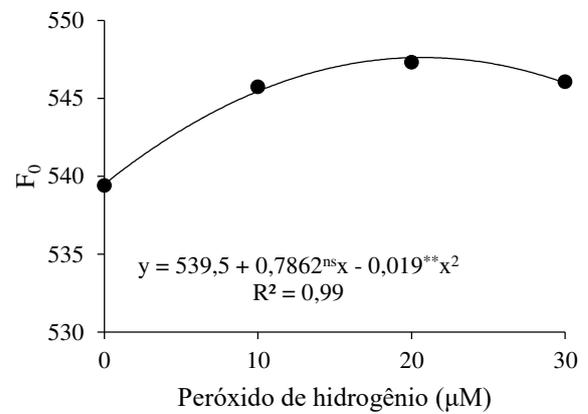
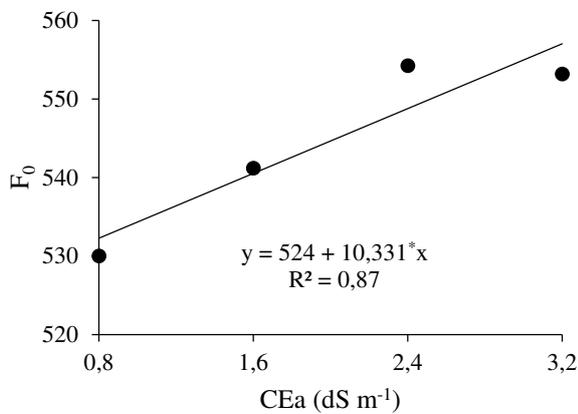
**Tabela 3.** Resumo da análise de variância referente à fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), fluorescência máxima (F<sub>m</sub>), fluorescência variável (F<sub>v</sub>), eficiência quântica do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>), clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), clorofila *total* (Cl *t*) e carotenóides (Car) de plantas de graviola cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio, aos 780 dias após o transplântio

Fonte de variação	G L	Quadrados Médios							
		F <sub>0</sub>	F <sub>m</sub>	F <sub>v</sub>	F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Cl <i>t</i>	Car
Nível salino (NS)	4	1566,33*	1599*	5260,24 <sup>ns</sup>	0,000281**	2134,12 <sup>ns</sup>	4578,92 <sup>ns</sup>	10508**	305,69 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	2169,00*	4385 <sup>ns</sup>	2052,76 <sup>ns</sup>	0,000807**	2363,93 <sup>ns</sup>	13664,5 <sup>ns</sup>	26846*	144,94 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	312,63 <sup>ns</sup>	3524*	781,660 <sup>ns</sup>	0,000008 <sup>ns</sup>	317,35 <sup>ns</sup>	3,0971 <sup>ns</sup>	543,13 <sup>ns</sup>	244,06 <sup>ns</sup>
Peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	4	146,22**	3095 <sup>ns</sup>	536,276 <sup>ns</sup>	0,000053 <sup>ns</sup>	9288,86 <sup>ns</sup>	6518,91 <sup>ns</sup>	30042**	2199,7 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	269,87 <sup>ns</sup>	26,5 <sup>ns</sup>	200,38 <sup>ns</sup>	0,000097 <sup>ns</sup>	91,6370 <sup>ns</sup>	253,878 <sup>ns</sup>	22,038**	1120,6 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	166,88**	4629 <sup>ns</sup>	1298,96 <sup>ns</sup>	0,000275 <sup>ns</sup>	22898,1 <sup>ns</sup>	8978,64 <sup>ns</sup>	62401 <sup>ns</sup>	630,39 <sup>ns</sup>
Interação (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> × NS)	16	1179,67 <sup>ns</sup>	1014 <sup>ns</sup>	19408,2*	0,000110 <sup>ns</sup>	1963,26*	2193,02**	4167,0 <sup>ns</sup>	417,88*
Blocos	3	36,88 <sup>ns</sup>	622 <sup>ns</sup>	616,91 <sup>ns</sup>	0,000054 <sup>ns</sup>	73,5520 <sup>ns</sup>	32,275 <sup>ns</sup>	1,551 <sup>ns</sup>	1,537 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	64,091	399,7	627,78	0,000164	60,597	39,615	87,439	5,666
CV (%)		1,47	0,91	1,54	1,70	15,27	12,06	5,08	6,23

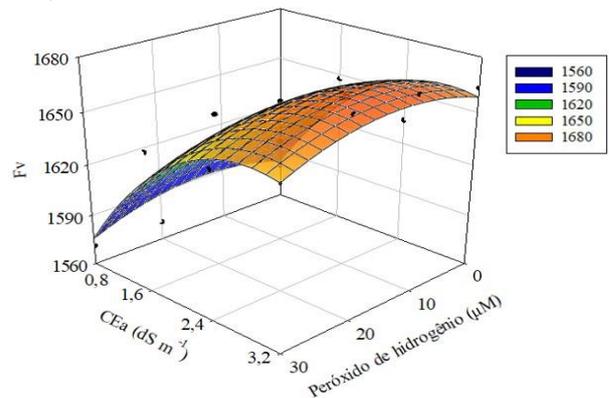
<sup>ns</sup> \* \*\* respectivamente não significativo, significativo a p≤0,05 e p≤0,01. GL- Grau de liberdade. CV: Coeficiente de variação

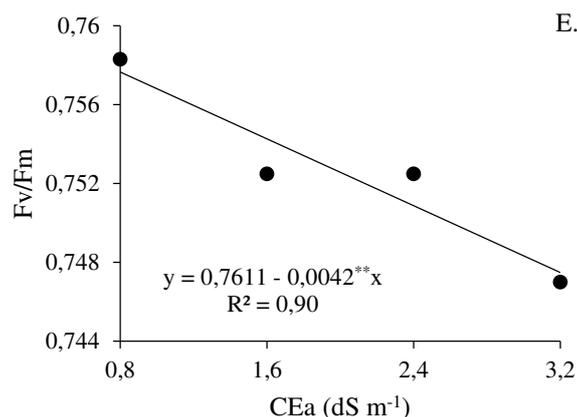
A irrigação com águas salinas aumentou linearmente a fluorescência inicial das plantas de graviola (Figura 5A), sendo o incremento de 1,97% por incremento unitário da CEa,

ou seja, as plantas cultivadas sob salinidade da água de 3,2 dS m<sup>-1</sup> aumentaram a F<sub>0</sub> em 4,65% (557,059) em comparação as que estavam sob irrigação com o menor nível salino (0,8 dS m<sup>-1</sup>) (532,265). A F<sub>0</sub> expressa a perda de energia fotoquímica liberada pelas moléculas de clorofila *a* da antena do fotossistema, assim o valor da F<sub>0</sub> pode aumentar quando os centros de reação do fotossistema II estão comprometidos ou a transferência da energia de excitação da antena para os centros de reação foi prejudicada, ou seja, quando ocorreu uma redução na capacidade de transporte de elétrons (Cintra et al., 2020), fato que pode ter ocorrido neste estudo, a medida que elevou-se os níveis de condutividade elétrica da água.



D.  $F_V = 1510,95 + 1,2988 \cdot x + 104,96 \cdot y - 0,0516 \cdot x^2 - 18,101 \cdot y^2$   
 $R^2 = 0,94$





ns, \*, \*\* não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e a  $p \leq 0,01$  pelo teste F, respectivamente. X e Y correspondem as concentrações de peróxido de hidrogênio e a CEa, respectivamente.

**Figura 5.** Fluorescência inicial –  $F_0$  (A), fluorescência máxima –  $F_m$  (C) e eficiência quântica do fotossistema II -  $F_m/F_v$  (E) da gravioleira cv. Morada Nova, em função da salinidade da água de irrigação – CEa, fluorescência inicial –  $F_0$  (B) em função das concentrações de peróxido de hidrogênio -  $H_2O_2$ , e fluorescência variável –  $F_v$  (D) em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação – CEa e das concentrações de  $H_2O_2$ , aos 780 dias após o transplântio.

Verifica-se ainda que, o maior valor de  $F_0$  (Figura 5B) foi obtido nas plantas de gravioleira submetidas a aplicação de  $21 \mu M$  de  $H_2O_2$  (547,631), já o menor valor foi observado na ausência da aplicação de  $H_2O_2$  ( $0 \mu M$ ) (539,5). Como já mencionado, aumento de  $F_0$  é um indicativo de dano ao centro de reação do fotossistema II, ou redução da capacidade de transferir energia da excitação do sistema coletor de luz para o centro de reação do PSII (Farouk; Amira, 2018), assim, provavelmente o aumento da  $F_0$  na gravioleira cv. Morada Nova, pode estar relacionado à alta concentração de  $H_2O_2$  utilizada e/ou ao tempo de exposição das plantas, uma vez que o peróxido de hidrogênio é uma espécie reativa de oxigênio mais estável nas células e, em altas concentrações, pode espalhar-se rapidamente pela membrana subcelular, resultando em dano oxidativo à célula da membrana.

Para a fluorescência máxima (Figura 5C), o maior valor estimado foi observado nas plantas submetidas à irrigação com CEa de  $1,9 dS m^{-1}$  (2233,107). A partir deste nível de CEa, houve redução, e a menor  $F_m$  foi obtida em plantas cultivadas sob CEa de  $3,2 dS m^{-1}$  (2158,599). Andrade et al. (2022), avaliando a fisiologia de maracujazeiro-azedo sob estresse salino (CEa variando de  $0,7$  a  $2,8 dS m^{-1}$ ) também verificaram que o aumento do estresse salino inibiu a atividade fotoquímica do fotossistema II, fato observado pela redução da fluorescência máxima, aos 205 dias após o transplântio (DAT).

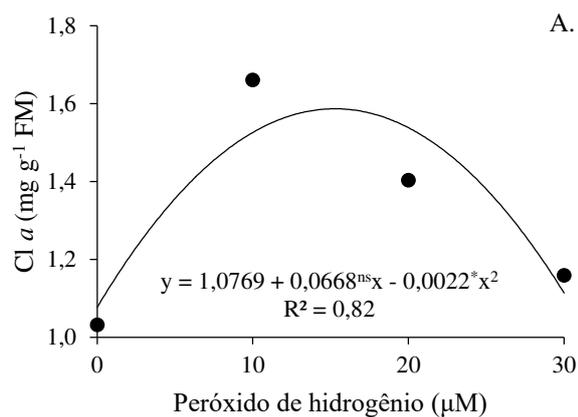
As plantas de gravioleira irrigadas com CEa de 2,9 dS m<sup>-1</sup> e submetidas à concentração de 13 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Figura 5D) destacaram-se com o maior valor de Fv (1671,27). O menor valor de Fv (1575,86) foi obtido em plantas irrigadas com CEa de 0,8 dS m<sup>-1</sup> e submetidas a uma concentração de 30 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Em altas concentrações, o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pode provocar alterações no metabolismo das plantas, principalmente como consequência do estresse oxidativo, limitando as atividades fotossintéticas, porém, quando aplicado em baixas concentrações, pode induzir a ação de enzimas antioxidantes, reduzindo os efeitos deletérios do estresse salino (Cattivelli et al., 2008).

Veloso et al. (2020a), avaliando os teores de pigmentos fotossintéticos e a eficiência fotoquímica de plantas de graviola sob irrigação com águas salinas (0,6 a 3,0 dS m<sup>-1</sup>) e diferentes métodos de aplicação de peróxido de hidrogênio (0 e 20 µM), verificaram que a aplicação de 20 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> via embebição das sementes resultou em aumento de fluorescência máxima e variável de plantas.

A salinidade da água reduziu linearmente a eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) (Figura 5E), sendo os decréscimos de 0,55% por incremento unitário da CEa. Ao comparar a Fv/Fm das plantas cultivadas sob 3,2 dS m<sup>-1</sup> em relação as cultivadas sob salinidade da água de 0,8 dS m<sup>-1</sup>, verifica-se diminuição de 1,35 %.

A aplicação foliar de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proporcionou efeito quadrático sobre os teores de clorofila *a* (Figura 6A), sendo o valor máximo de 1,5839 mg g<sup>-1</sup> FM obtido nas plantas submetidas a concentração de 15 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, já o valor mínimo foi observado na ausência de aplicação do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1,0769 mg g<sup>-1</sup> FM). Em baixas concentrações, o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pode estimular atividade de enzimas antioxidantes, promovendo menor degradação dos pigmentos e aumento da atividade fotossintética, o que reflete no maior crescimento e desenvolvimento das plantas (Veloso et al., 2022).

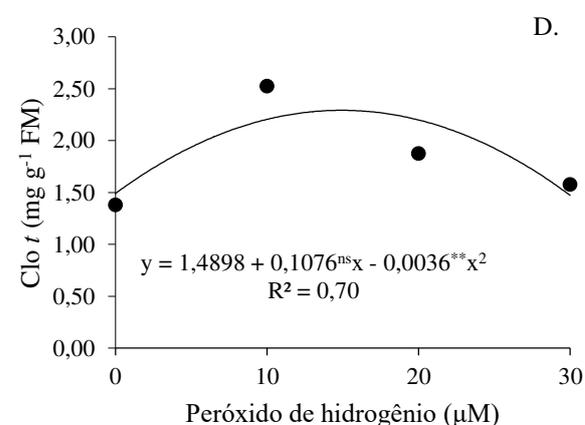
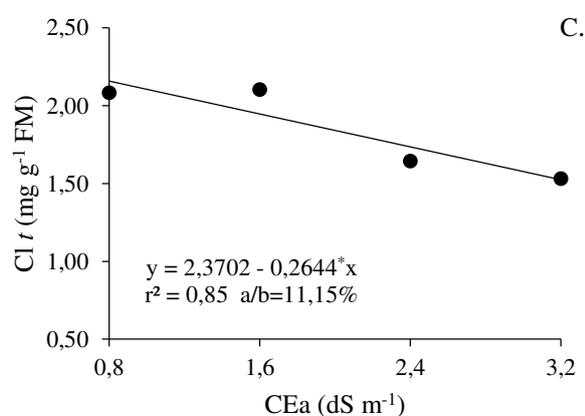
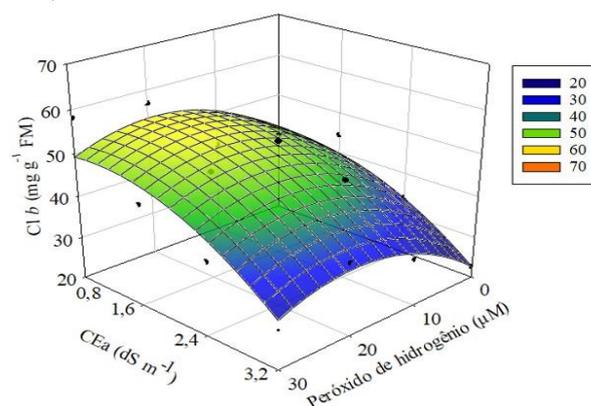
Em estudo avaliando o efeito da aplicação de peróxido de hidrogênio (0, 15, 30 e 45 µM) como atenuante do estresse salino (CEa de 0,6 a 3,0 dS m<sup>-1</sup>) sobre o crescimento do maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis* Sims) aos 240 dias após o transplântio, Ramos et al. (2022), também encontraram efeito benéfico da aplicação de 15 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sobre os teores de pigmentos fotossintéticos nas plantas.



B.

$$Cl b = 36,3843 + 1,3375^*x + 8,5869^{**}y - 0,0350^{**}x^2 - 4,0282^{ns}y^2$$

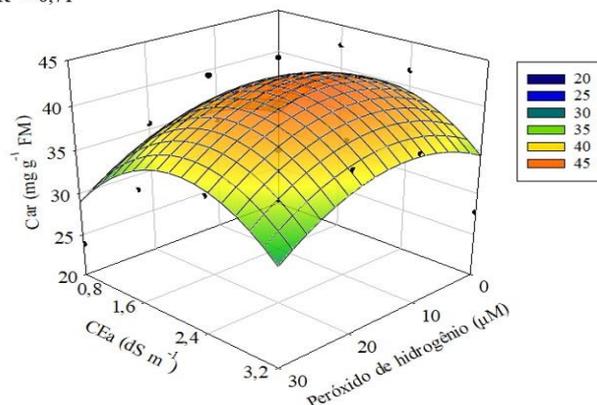
R<sup>2</sup> = 0,85



E.

$$Car = 20,0099 + 0,4334^{**}x + 18,8162^{**}y - 0,0180^{ns}x^2 - 4,4703^*y^2$$

R<sup>2</sup> = 0,71



ns, \*, \*\* não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e a  $p \leq 0,01$  pelo teste F, respectivamente. X e Y correspondem as concentrações de peróxido de hidrogênio e a CEa, respectivamente.

**Figura 6.** Clorofila *a* – Cl *a* (A) e clorofila *total* – Cl *t* (D) da gravioleira cv. Morada Nova, em função das concentrações de peróxido de hidrogênio, clorofila *total* – Cl *t* (C) em função da salinidade da água de irrigação – CEa, e clorofila *b* – Cl *b* (B) e carotenóides – Car (E) em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação – CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio aos 780 dias após o transplântio

A aplicação foliar de  $\text{H}_2\text{O}_2$  na concentração estimada de  $17 \mu\text{M}$  aumentou os teores de clorofila *b* das gravioleira cv. Morada Nova (Figura 6B), irrigadas com águas de  $1,1 \text{ dS m}^{-1}$  ( $0,5217 \text{ mg g}^{-1} \text{ FM}$ ). Na ausência de  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $0 \mu\text{M}$ ) e submetidas ao maior nível salino ( $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ ) as plantas de graviola obtiveram o menor valor de Cl *b* ( $0,2236 \text{ mg g}^{-1} \text{ FM}$ ). Possivelmente isso ocorreu, devido às múltiplas funções fisiológicas desempenhadas pelo  $\text{H}_2\text{O}_2$  na planta, como a capacidade de aumentar a biossíntese de clorofila, já que o uso de agentes sinalizadores na planta, como o  $\text{H}_2\text{O}_2$ , pode promover alteração metabólica na célula e ativação de enzimas antioxidantes como a superóxido dismutase, catalase, guaiacol peroxidase e ascorbato peroxidase, resultando em diminuição do estresse oxidativo nas plantas (Ramos et al. 2022).

O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação reduziu a síntese de clorofila *total* (Figura 6C), cuja diminuição foi de  $11,15\%$  por aumento unitário da CEa. Ao comparar em termos relativos os teores de Cl *t* das plantas irrigadas com água de  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$  com daquelas cultivadas sob salinidade da água de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ , houve uma redução de  $41,63\%$  ( $0,635 \text{ mg g}^{-1} \text{ FM}$ ). A diminuição nos teores de clorofila geralmente é acompanhada pela inativação de reações fotoquímicas, principalmente aquelas mediadas pelo fotossistema II (PSII) em plantas sob estresse salino (Zhao et al., 2019). A irrigação com águas salinas (CEa de  $0,6$  a  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) também reduziu os teores de clorofila *a* e *total* das plantas de maracujazeiro-azedo cv. BRS Rubi do Cerrado, aos 240 dias após o transplante, em estudos observados por Ramos et al. (2022).

De forma similar a síntese de clorofila *a*, as plantas de graviola obtiveram o maior valor de clorofila *total* (Figura 6D) quando submetidas a concentração de  $15 \mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $2,293 \text{ mg g}^{-1} \text{ FM}$ ). Por outro lado, o menor valor de Cl *t*, foi obtido sob a concentração de  $30 \mu\text{M}$   $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $1,4779 \text{ mg g}^{-1} \text{ FM}$ ). Quando em baixas concentrações o peróxido de hidrogênio ajuda a aclimatar os efeitos deletérios do estresse salino, devido a alterações metabólicas que são responsáveis por aumentar sua tolerância ao estresse, possibilitando assim o uso de águas com maiores concentrações de sais (Andrade et al., 2019).

Os teores de carotenóides das plantas de gravioleira cv. Morada Nova foram significativamente afetadas pela interação entre CEa e as concentrações de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (Figura 6E). As plantas cultivadas sob CEa de  $2,1 \text{ dS m}^{-1}$  obtiveram o valor máximo estimado de  $0,4213 \text{ mg g}^{-1} \text{ FM}$  sob aplicação foliar de  $12 \mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Já as plantas cultivadas em água com CEa de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$  e que receberam a maior concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $30 \mu\text{M}$ ) resultou no menor valor de Car ( $0,2711 \text{ mg g}^{-1} \text{ FM}$ ). Assim, sugere-se que, para o teor de carotenóides, o peróxido de hidrogênio na concentração de  $12 \mu\text{M}$ , possa atuar como uma

molécula sinalizadora de estresse abiótico, por meio da ação de componentes enzimáticos e não enzimáticos, promovendo aumento no teor de carotenoides, induzido pela produção de  $\beta$ -caroteno, que são componentes integrados dos tilacóides, que estão envolvidos na absorção e transferência de luz para a clorofila (Silva et al., 2017).

Houve efeito significativo da interação entre os níveis de salinidade da água e as concentrações de  $H_2O_2$  para a o diâmetro de caule (DC) (Tabela 4). Os níveis de salinidade da água afetaram significativamente a taxa de crescimento relativo de diâmetro caule ( $TCR_{dc}$ ). As concentrações de  $H_2O_2$  de forma isolada não influenciaram nenhuma variável analisada.

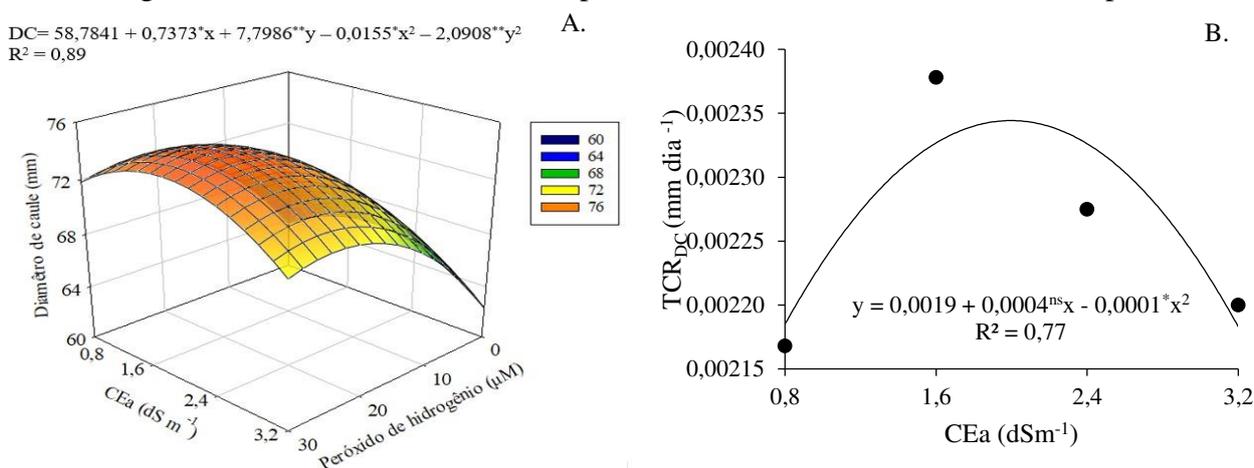
**Tabela 4.** Resumo da análise de variância referente ao diâmetro de caule (DC) e taxa de crescimento relativo de diâmetro de caule ( $TCR_{dc}$ ) de gravioleira cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio, aos 780 dias após o transplântio

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios	
		DC	$TCR_{DC}$
Níveis salinos (NS)	4	60541,0 <sup>ns</sup>	0,00069*
Regressão linear	1	5503,2 <sup>ns</sup>	0,00004 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	43005,2 <sup>ns</sup>	0,00052*
Peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ )	4	6027,86 <sup>ns</sup>	0,00008 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	1576,75 <sup>ns</sup>	0,00070 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	22903,17 <sup>ns</sup>	0,00016 <sup>ns</sup>
Interação (NS x $H_2O_2$ )	16	23588,34**	0,00011 <sup>ns</sup>
Blocos	3	2680,89 <sup>ns</sup>	0,000365 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	587,18	0,000103
CV (%)		3,07	1,35

<sup>ns</sup>, \* e \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL- Grau de liberdade. CV: Coeficiente de variação

O diâmetro de caule (Figura 7A) de plantas de graviola foi beneficiado pela aplicação foliar de peróxido de hidrogênio em concentração estimada de 24  $\mu M$  e uma CEa de 1,86

dS m<sup>-1</sup>. Já o menor DC foi obtido na ausência de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0 μM) e quando as plantas foram irrigadas com a maior CEa (3,2 dS m<sup>-1</sup>). O maior valor estimado de DC nas plantas submetidas a concentração de 24 μM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pode estar associada à capacidade da molécula de peróxido de hidrogênio de estimular o crescimento das plantas, promovendo a divisão e o alongamento celular (Orabi et al. 2015). Veloso et al. (2022), estudando o crescimento de mudas de graviola sob estresse salino (0,7 a 3,7 dS m<sup>-1</sup>) e aplicação foliar de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 25, 50 e 75 μM), também observaram que a aplicação de peróxido de hidrogênio favoreceu o crescimento de plantas em diâmetro de caule e altura de plantas.



ns, \* não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  pelo teste F. X e Y correspondem as concentrações de peróxido de hidrogênio e a CEa, respectivamente.

**Figura 7.** Diâmetro de caule – DC (A) da gravioleira cv. Morada Nova em função da interação em função da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação – CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e taxa de crescimento relativo de diâmetro de caule – TCR<sub>DC</sub> (B) em função das concentrações de peróxido de hidrogênio, aos 780 dias após o transplântio.

Em relação a taxa de crescimento relativo de diâmetro de caule (TCR<sub>DC</sub>), observa-se o valor máximo estimado (0,00230 mm dia<sup>-1</sup>) foi obtido nas plantas irrigadas com CEa de 2,0 dS m<sup>-1</sup> (Figura 7B). A partir desse nível salino, houve redução e, obtendo-se na CEa de 3,2 dS m<sup>-1</sup> a TCR<sub>dc</sub> foi igual a 0,002156 mm dia<sup>-1</sup>. A redução na TCR<sub>dc</sub> das plantas pode ter ocorrido devido a diminuição do potencial osmótico da solução do solo causada pelo excesso de sais solúveis na zona radicular, que limita a absorção de água pelas raízes, fazendo com que a planta diminua a abertura estomática, como um mecanismo para reduzir a perda de água, o que leva à redução do turgor celular e, conseqüentemente, à diminuição da expansão celular e do crescimento das plantas (Lima et al., 2020), fato que pode ter ocorrido neste estudo, provocando reduções na TCR<sub>dc</sub> das plantas de graviola.

#### 4 CONCLUSÕES

1. A concentração de peróxido de hidrogênio de 30  $\mu\text{M}$  intensifica o estresse salino sobre as trocas gasosas, a fluorescência variável e o extravasamento de eletrólitos no limbo foliar da gravioleira cv. Morada Nova, aos 780 dias após o transplântio.

2. A aplicação foliar de peróxido de hidrogênio na concentração até 15  $\mu\text{M}$  estimula a biossíntese da clorofila *a* e *total* e aumenta a eficiência instantânea de carboxilação e, na concentração de 11  $\mu\text{M}$ , alivia o efeito da salinidade da água até 2,1  $\text{dS m}^{-1}$  nos teores de carotenóides de plantas de graviola cv. Morada Nova.

3. A aplicação foliar de peróxido de hidrogênio nas concentrações variando de 11 e 13  $\mu\text{M}$  atenua os efeitos do estresse salino até a CEa de 1,6  $\text{dS m}^{-1}$  sobre a condutância estomática e a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  da gravioleira cv. Morada Nova, respectivamente.

#### 5 REFERÊNCIAS

- Andrade, E. M. G.; Lima, G. S de; Lima, V. L. A.; Silva, S. S. da; Gheyi, H. R.; Silva, A. A. R. Gas exchanges and growth of passion fruit under saline water irrigation and  $\text{H}_2\text{O}_2$  application. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, p.945-951, 2019.
- Andrade, E. M. G.; Lima, G. S. de; Lima, V. L. A.; Silva, S. S.; Dias, A. S.; Gheyi, H. R. Hydrogen peroxide as attenuator of salt stress effects on the physiology and biomass of yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.28, p.571-578, 2022.
- Arnon, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, v.24, p.1-15, 1949.
- Benincasa, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. 2. ed. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2003. 42 p.
- Brito, Y. J. V.; Cardoso, M. K. B.; Da Silva, K. S.; Silva, C. B.; De Medeiros, K. M.; De Lima, C. A. P. Estudo experimental de um dessalinizador solar do tipo bandeja com dupla inclinação para potabilização de água no semiárido paraibano. *Águas Subterrâneas*, v.34, p.156-165, 2020.
- Capitulino, J. D.; Lima, G. S de; Azevedo, C. A. V.; Silva, A. A. R da; Veloso, L. L. S. A.; Farias, M. S. S.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Lima, V. L. A. Gas exchange and

- growth of soursop under salt stress and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> application methods. *Brazilian Journal of Biology*, v.84: e261312, 2022.
- Cattivelli, L.; Rizza, F.; Badeck, F. W.; Mazzucotelli, E.; Mastrangelo, A. M.; Francia, E.; Maré, C.; Tondelli, A.; Stanca, A. M. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, v.105, p.1-14, 2008.
- Cavalcante, F. J. A. Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2. Aproximação. 3.ed. Recife: IPA. 2008. 212p.
- Cintra, P. H. N.; De Melo, O. F. P.; De Menezes, J. O. S.; Padilha, R. C.; Rezende, A. G.; Dos Reis Matos, E. Análise de fluorescência da clorofila a em mudas de cafeeiro sob estresse hídrico. *Brazilian Journal of Development*, v.6, p.28006-28014, 2020.
- Farouk, S.; Amira, M. S. A. Q. Enhancing seed quality and productivity as well as physiological responses of pea plants by folic acid and or hydrogen peroxide application. *Scientia Horticulturae*, v. 240, p.29-37, 2018.
- Fernandes, E. A.; Soares, L. A. dos A.; Lima, G. S. de; Silva Neta, A. M. de S.; Roque, I. A.; Silva, F. A. da; Fernandes, P. D.; Lacerda, C. N. Cell damage, gas exchange, and growth of *Annona squamosa* L. under saline water irrigation and potassium fertilization. *Semina: Ciências Agrárias*, v.42, p.999-1018, 2021.
- Ferreira, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split-plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v.37, p.529-535, 2019.
- Hasmila, I.; Natsir, H.; Soekanto, N. H. Análise fitoquímica e atividade antioxidante do extrato da folha de graviola (*Annona muricata* L.). *Journal of Physics: Conference Series*, v.1341, p.1-6, 2019.
- Lima, G. S de; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Soares, L. A. A.; Xavier, D. A.; Santos Junior, J. A. Water relations and gas exchange in castor bean irrigated with saline water of distinct cationic nature. *African Journal of Agricultural Research*, v.10, p.1581-1594, 2015.
- Lima, G. S de; Dias, A. S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. D. A.; Nobre, R. G.; Pinheiro, F. W. A.; Silva, A. A. R da. Gas exchanges and production of colored cotton under salt stress and nitrogen fertilization. *Bioscience Journal*, v.33, p.1495-1505, 2017.
- Lima, G. S de; Pinheiro, F. W. A., Dias, A. S., Gheyi, H. R., da Silva, S. S., dos Anjos Soares, L. A dos; Silva, A. A. R da; Fernandes, P. D.; Silva Dantas, J. Water status, cell damage and gas exchanges in West Indian cherry (*Malpighia emarginata*) under

- salt stress and nitrogen fertilization. *Australian Journal Crop Science*, v.14, p.319-324, 2020.
- Medeiros, J. F. Qualidade da água de irrigação utilizada nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos Estados do RN, PB, CE e avaliação da salinidade dos solos. 1992. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola: Área de Concentração Irrigação e Drenagem) -Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 1992.
- Mutakin, de M.; Fauziati, R.; Fadhilah, F. N.; Zuhrotun, A.; Amalia, R.; Hadisaputri, Y. E. Pharmacological activities of Soursop (*Annona muricata* Lin.), *Molecules*, v.27: e1201, 2022.
- Panhwar, M.; Keerio, M. I; Robert, M. R. Evaluating changes in wheat genotypes caused by hydrogen peroxide during seed treatment and their involvement in salt tolerance. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences*, v.33, p.23-36, 2017.
- Ramos, J. G.; Lima, V. L. A.; Lima, G. S.; Pereira, M. O.; Silva, A. A. R.; Nunes, K. G. Hydrogen peroxide as salt stress attenuator in sour passion fruit. *Revista Caatinga*, v.35, p.412-422, 2022.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U.S, Department of Agriculture. 1954. 160 p.
- São José, A. R.; Pires, M. M.; Freitas, A. L. G. E.; Ribeiro, D. P.; Perez, L. A. A. Atualidades e perspectivas das Anonáceas no mundo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.36, p.86-93, 2014.
- Scotti-Campos, P.; Pham-Thi, A. T.; Semedo, J. N.; Pais, I. P.; Ramalho, J. C.; Matos, M. C. Physiological responses and membrane integrity in three *Vigna* genotypes with contrasting drought tolerance. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, v.25, p.1002-1013, 2013.
- Silva, A. A. R da; Veloso, L. L de S.; Lima, G, S, de; Azevedo, C. A V de; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D Hydrogen peroxide in the acclimation of yellow passion fruit seedlings to salt stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, p.116-123, 2021.
- Silva, A. A. R da; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Veloso, L. L. de S.; Gheyi, H. R Salicylic acid as an attenuator of salt stress in soursop. *Revista Caatinga*, v.33, p.1092-1101, 2020.
- Silva, A. A. R da; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A de; Veloso, L. L de S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos. A.Salt stress and exogenous application of hydrogen peroxide on

- photosynthetic parameters of soursop. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, p.257-263, 2019a.
- Silva, S. S. da; Lima, G. S de; Lima, V. L. A de; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. D. A.; Lucena, R. C. M. Gas exchanges and production of watermelon plant under salinity management and nitrogen fertilization. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.49: e54822, 2019b.
- Silva, A. A. R. da; Bezerra, F. M. L.; Lacerda, C. F de; Sousa, C. H. C de; Chagas, K. L. Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino. *Revista Agro@mbiente (Online)*, v.10, p.317-325, 2017.
- Soares, L. A. dos A.; Fernandes, P. D.; Lima, G. S. de; Suassuna, J. F.; Brito, M. E.; Sá, F. V. D. S. Growth and fiber quality of colored cotton under salinity management strategies. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.332-337, 2018.
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.
- Veloso, L. L de S.; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Nobre, R. G.; Silva, A. A. R. da; Capitulino, J. D.; Gheyi, H. R.; Bonifácio, B. F. Physiological changes and growth of soursop plants under irrigation with saline water and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in post-grafting phase. *Semina: Ciências Agrárias*, v.41, p.3023-3038, 2020a.
- Veloso, L. L de S.; Capitulino, J. D.; Lima, G. S de; Azevedo, C. A. V de; Silva, A. A. R da; Gheyi, H. R. Application methods of hydrogen peroxide in soursop seedlings irrigated with saline water. *Comunicata Scientiae*, v.11, p.3288, 2020b.
- Veloso, L. L de S.; Silva, A. A. R.; Lima, G. S de; Azevedo, C. A. V de; Gheyi, H. R.; Moreira, R. C. L. Growth and gas exchange of soursop under salt stress and hydrogen peroxide application. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.119-125, 2022.
- Zhao, H.; Liang, H.; Chu, Y.; Sun, C.; Wei, N.; Yang, M.; Zheng, C. Effects of salt stress on chlorophyll fluorescence and the antioxidant system in *Ginkgo biloba* L. Seedlings. *HortScience*, v.5, p.2125-2133, 2019.

## **CAPÍTULO VI**

---

### **COMPOSIÇÃO MINERAL E FISIOLOGIA DA GRAVIOLEIRA SOB ESTRESSE SALINO E APLICAÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO**

## **COMPOSIÇÃO MINERAL E FISIOLOGIA DA GRAVIOLEIRA SOB ESTRESSE SALINO E APLICAÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO**

### **RESUMO**

A gravioleira adapta-se bem às condições edafoclimáticas da região semiárida do Nordeste brasileiro, no entanto a ocorrência de águas com concentrações elevadas de sais, destaca-se como um fator limitante para a expansão do cultivo desta frutífera. Dessa forma, buscar estratégias para viabilizar a produção de frutíferas é de grande importância. O uso do peróxido de hidrogênio em baixas concentrações tem-se mostrado uma boa alternativa, como atenuante do estresse salino em plantas. Assim, objetivou-se com esta pesquisa avaliar a composição mineral nos tecidos foliares e a fisiologia da gravioleira cv. Morada Nova sob irrigação com águas salinas e concentrações de peróxido de hidrogênio na fase de pré-floração. A pesquisa foi conduzida sob condições de casa de vegetação em Campina Grande – Paraíba, utilizando-se o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial  $4 \times 4$ , sendo quatro níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,8, 1,6, 2,4, e 3,2 dS m<sup>-1</sup>) e quatro concentrações de peróxido

de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 10, 20 e 30 µM) com três repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. A irrigação com águas salinas afetou negativamente a biossíntese de clorofila *a* e *b*, a fluorescência inicial, variável e a eficiência quântica do fotossistema II da gravioleira, aos 370 dias após o transplântio. A concentração de peróxido de hidrogênio de 30 µM intensificou o estresse salino sobre os teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio, promovendo os valores mínimos dessas variáveis. Já as concentrações estimadas de 15, 12 e 9 µM, respectivamente, aumentaram os teores de NPK nos tecidos foliares de gravioleira cv. Morada Nova, aos 780 dias após o transplântio. O acúmulo de nutrientes nas folhas de gravioleira cv. Morada Nova na fase de pré-floração segue a seguinte ordem decrescente: P>N>K>S>Cl>Na.

**Palavras - chave:** *Annona muricata* L., nutrição vegetal, salinidade, atenuante

## **MINERAL COMPOSITION AND PHYSIOLOGY OF SOUROP UNDER SALINE STRESS AND APPLICATION OF HYDROGEN PEROXIDE**

### **ABSTRACT:**

The soursop tree adapts well to the edaphoclimatic conditions of the semi-arid region of northeastern Brazil, however the occurrence of waters with high concentrations of salts stands out as a limiting factor for the expansion of the cultivation of this fruit tree. Therefore, seeking strategies to enable fruit production is of great importance. Thus, the objective of this research was to evaluate the mineral composition and physiology of soursop plants cv. Morada Nova cultivated under irrigation with saline water and foliar application of hydrogen peroxide in the pre-flowering phase. The research was conducted under greenhouse conditions in Campina Grande – PB, using a randomized block design, in a 4 × 4 factorial scheme, with four levels of electrical conductivities of irrigation water – CEa (0.8, 1.6, 2.4, and 3.2 dS m<sup>-1</sup>) and four concentrations of hydrogen peroxide – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 10, 20 and 30 µM) with three replicates, totaling 48 experimental plots and one plant per plot. Irrigation with saline water negatively affected the biosynthesis of chlorophyll *a* and *b*, the initial and variable fluorescence and the quantum efficiency of soursop photosystem II, at 370 days after transplanting. The hydrogen peroxide concentration of 30 µM intensified the saline stress on the leaf nitrogen, phosphorus and potassium contents. Concentrations of 15, 12 and 9 µM, respectively, increased NPK levels in the leaf tissues of soursop cv. Morada Nova, 780 days after transplanting. The accumulation

of nutrients in soursop leaves cv. Morada Nova in the pre-flowering phase follows the following descending order:  $P > N > K > S > C > I > Na$ .

**Keywords:** *Annona muricata* L. Salinity. Plant nutrition, saline stress, mitigating

## 1 INTRODUÇÃO

A gravioleira (*Annona muricata* L.) é uma frutífera da família *Annonaceae*. Seus frutos são destinados principalmente para obtenção de polpa, suco, néctar, entre outros produtos (Watanabe et al., 2014), e se destacam pelas propriedades nutricionais e medicinais (Gajalakshmi et al., 2012).

As áreas agrícolas do semiárido brasileiro são caracterizadas pela ocorrência de mananciais com altas concentrações de sais, o que reduz sua qualidade e consequente restrição ao uso na agricultura (Dias et al., 2019; Veloso et al., 2023). O excesso de sais na zona radicular das plantas, pode causar desequilíbrio nutricional, pois altas concentrações de sódio na solução do solo comprometem a absorção de íons como  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$  pelas plantas (Cruz et al., 2018).

Alterações fisiológicas e de crescimento em gravioleira cultivadas com águas salinas, foram observadas por Veloso et al. (2020), verificando que o aumento da salinidade da água de irrigação, a partir de  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ , resultou em alterações na condutância estomática, na transpiração e na concentração interna de  $CO_2$  da gravioleira. Apesar de existir na literatura pesquisas avaliando os efeitos do estresse salino na gravioleira ainda são incipientes estudos sobre a composição mineral.

Há de se considerar que a intensidade dos efeitos do estresse salino nas plantas depende da espécie, genótipo, duração da exposição, manejo de irrigação e adubação, estágio de desenvolvimento, condições climáticas, além dos mecanismos de tolerância ao estresse, incluindo a manutenção da homeostase iônica e o equilíbrio osmótico e eliminação de espécies reativas de oxigênio (Silva et al., 2021).

Uma alternativa para minimizar os efeitos do estresse salino nas plantas é a aplicação de elicitores, como o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) (Shalaby et al., 2021). O  $H_2O_2$  é uma espécie reativa de oxigênio (EROS) que quando geradas e acumuladas em plantas sob condições de estresse causam danos oxidativo ao aparato fotossintético, macromoléculas biológicas e membranas celulares (Zheng et al., 2009; Kaya et al., 2023), no entanto, em baixas concentrações algumas EROS, a exemplo do  $H_2O_2$ , têm efeitos positivos sobre o metabolismo vegetal, regulando as vias de sinalização e desencadeando os mecanismos

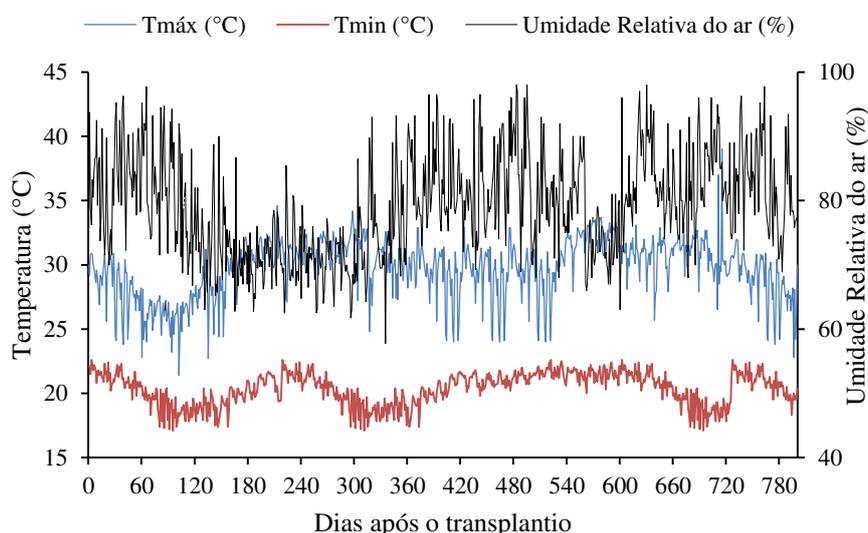
de defesa em resposta aos estresses bióticos e abióticos (Asghar et al., 2021; Shalaby et al., 2023).

Em diversas espécies, o  $H_2O_2$  tem se mostrado capaz de minimizar os efeitos deletérios causados pelo estresse salino sobre as plantas, conforme observado em estudos desenvolvidos por Veloso et al. (2020) com gravioleira, Andrade et al. (2022) em maracujazeiro-azedo e Ferreira et al. (2023) em pesquisa com goiabeira.

Assim, objetivou-se com esta pesquisa avaliar a composição mineral nos tecidos foliares e os índices fisiológicos da gravioleira cv. Morada Nova em função da irrigação com águas salinas e concentrações de peróxido de hidrogênio na fase de pré-floração.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido entre os meses de abril de 2020 a abril de 2023 em casa de vegetação, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UAEA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em Campina Grande, Paraíba, localizadas nas coordenadas geográficas  $7^{\circ} 15' 18''$  de latitude Sul,  $35^{\circ} 52' 28''$  de longitude Oeste e altitude média de 550 m. Os dados de temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar medidos dentro da casa de vegetação estão dispostos na Figura 1.



**Figura 1.** Temperatura do ar (máxima e mínima) e umidade relativa média do ar no interior da casa de vegetação durante o período do experimento.

Os tratamentos consistiram em quatro níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8; 1,6; 2,4; 3,2  $dS\ m^{-1}$ ) e quatro concentrações de peróxido de

hidrogênio - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0; 10; 20 e 30 µM), em arranjo fatorial 4 × 4, distribuídos em blocos casualizados, com três repetições, totalizando 48 parcelas experimentais e uma planta por parcela. Os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação foram baseados em pesquisa realizada por Silva et al. (2019a), enquanto as concentrações de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) foram estabelecidas com base em estudo desenvolvido por Veloso et al. (2020).

As mudas de gravioleira cv. Morada Nova foram obtidas em viveiro comercial credenciado no Registro de Sementes e Mudanças, no Distrito de São Gonçalo, Sousa-PB, produzidas em sacolas de polietileno com dimensões de 10 × 20 cm. A escolha da cultivar Morada Nova, se deu por sua maior utilização em pomares comerciais no Brasil, bem como pelo seu potencial produtivo e tamanho dos seus frutos, que podem pesar até 15 kg (São José et al., 2014).

Para condução do experimento foram usados vasos plásticos adaptados como lisímetros de drenagem, com 212 L (0,75 m de profundidade e 0,2827 m<sup>2</sup> de área) e, preenchidos com uma camada de 1,0 kg de brita seguido de 230 kg de solo classificado como Neossolo Regolítico (Entisol) de textura franco-argilosa, coletado na profundidade de 0 – 30 cm, procedente do município de Riachão do Bacamarte- PB, cujas características químicas e físico-hídricas do solo (Tabela 1) foram determinadas conforme Teixeira et al. (2017).

**Tabela 1.** Características químicas e físico-hídricas do solo (profundidade 0 – 30 cm) utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

Características físico-químicas								
pH H <sub>2</sub> O	MO	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>
1:2.5	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....cmolc kg <sup>-1</sup> .....					
6.5	8.1	79	0.24	0.51	14.9	5.4	0	0.9
.....Características químicas.....			.....Características físico-hídricas.....					
CE <sub>es</sub>	CTC	RAS <sub>es</sub>	PST	Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )	
dS m <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>	(mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>	%	Areia	Silte	Argila	33.42 kPa <sup>1</sup>	1519.5 kPa <sup>2</sup>
2.15	16.54	0.16	3.08	572.7	100.7	326.6	25.91	12.96

MO – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>OAc 1 M pH 7,0; Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup> extraídos com CaOAc 0,5 M pH 7,0; PST - Percentagem de sódio trocável; CE<sub>es</sub> – Condutividade elétrica do extrato de saturação.

As águas de irrigação com diferentes níveis de condutividade elétrica foram preparadas dissolvendo-se os sais de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, na proporção equivalente de 7:2:1, respectivamente, em água de abastecimento local (CE<sub>a</sub> = 0,38 dS m<sup>-1</sup>). Essa proporção é comumente encontrada em fontes de água utilizadas para irrigação em pequenas propriedades do Nordeste brasileiro (Medeiros, 1992). No preparo das águas

de irrigação, foi considerada a relação entre CEa e a concentração de sais (Richards, 1954), conforme a Eq. 1:

$$Q = 10 \times CEa \quad (1)$$

Em que:

Q - quantidade de sais a ser adicionada ( $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ )

CEa - condutividade elétrica da água ( $\text{dS m}^{-1}$ )

Aos 60 dias após o transplântio, iniciou-se a irrigação com as águas salinas, aplicando-se água em cada lisímetro conforme o tratamento, de forma a manter a umidade do solo próximo à capacidade, sendo a quantidade a ser aplicada de acordo com a necessidade hídrica das plantas, realizada de forma manual e diariamente, às 17 horas, sendo aplicado, em cada lisímetro, o volume correspondente ao obtido pelo balanço de água, cujo volume de água a ser aplicado nas plantas foi determinado pela Eq. 2:

$$VI = \frac{(Va - Vd)}{(1 - FL)} \quad (2)$$

Em que:

VI - volume de água a ser aplicado no evento de irrigação (mL);

Va - volume aplicado no evento de irrigação anterior (mL);

Vd - volume drenado (mL);

FL - fração de lixiviação de 0,10, aplicada a cada 30 dias para evitar acumulação excessiva de sais na zona radicular.

A adubação com NPK foi realizada conforme recomendação de Cavalcante et al. (2008), aplicando-se 40 g de N, 60 g de  $\text{K}_2\text{O}$  e 40 g de  $\text{P}_2\text{O}_5$  por planta por ano. As adubações foram parceladas em 24 vezes e aplicadas a cada 15 dias. Foram utilizados como fonte de nitrogênio, potássio e fósforo, respectivamente, a ureia (45% de N), o sulfato de potássio (50%  $\text{K}_2\text{O}$  e 17% S) e o fosfato monoamônio (12% de N e 54% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

Os micronutrientes foram aplicados via foliar, a partir dos 60 dias após o transplântio e continuaram sendo aplicados quinzenalmente  $1,0 \text{ g L}^{-1}$  de uma solução de Dripsol<sup>®</sup> Micro com a seguinte composição: Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%); Mo (0,02%).

As concentrações de peróxido de hidrogênio foram obtidas pela diluição em água destilada, sendo posteriormente, feita a calibração por meio do espectrofotômetro no comprimento de onda de absorvância de 240 nm. As aplicações foliares tiveram início

aos 45 dias após o transplante (DAT) das mudas cultivadas para os lisímetros e foram realizadas em intervalos de 30 dias. Para garantir que as folhas fossem completamente molhadas, um pulverizador costal, com bico cônico regulável de metal com 1 cm, pressão de serviço de 2,07 MPa, e vazão de 1,1 L min<sup>-1</sup> foi utilizado para pulverizar nas faces abaxial e adaxial das folhas, sendo as pulverizações realizadas entre as 17:00 e 18:00 horas. A quantidade de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por planta foi de aproximadamente 400 mL. Além disso, para controlar a deriva da solução entre os tratamentos, uma cortina de lona plástica, foi colocada em torno de cada planta durante a aplicação da solução de peróxido de hidrogênio.

A poda de formação foi feita quando a planta atingiu uma altura de 60 cm momento em que houve o corte do meristema apical. Das brotações que surgiram foram selecionadas três pernadas bem distribuídas e equidistantes, esses ramos, por sua vez, foram podados quando atingiram 40 cm de comprimento (EMBRAPA, 1999). Durante a condução do experimento, foi feito o monitoramento do surgimento de pragas e doenças, ao ser observada a incidência, estas foram erradicadas com o uso de defensivos.

A fluorescência da clorofila *a* foi determinada aos 370 DAT, utilizando-se um fluorômetro de pulso modulado, modelo OS5p da Opti Science; com o protocolo Fv/Fm, para se chegar as variáveis de indução de fluorescência: fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), máxima (F<sub>m</sub>) e variável (F<sub>v</sub> = F<sub>m</sub> – F<sub>0</sub>) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) (Sá et al., 2015). Tal protocolo foi realizado após adaptação das folhas ao escuro por um período de 30 min, com um clipe do equipamento, de modo a garantir que todos os aceptores estivessem oxidados, ou seja, com os centros de reação abertos.

No mesmo dia, os pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* – Cl *a*, clorofila *b* - Cl *b*, clorofila *total* - Cl *t* e carotenoides – Car, foram quantificados de acordo com Arnon (1949), em que foram feitos extratos vegetais a partir de amostras de discos do limbo da terceira folha madura a partir do ápice. A partir deles foram determinados os teores de clorofila e carotenoides nas soluções por meio de espectrofotômetro no comprimento de onda de absorvância (ABS) (470, 647 e 663 nm), por meio das Eqs 3, 4, 5 e 6:

$$\text{Clorofila } a \text{ (Cl } a) = (12,21 \times \text{ABS}_{663}) - (2,81 \times \text{ABS}_{647}) \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (Cl } b) = (20,13 \times \text{ABS}_{647}) - (5,03 \times \text{ABS}_{663}) \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Carotenóides (Car)} = [(1000 \times \text{ABS}_{470}) - (1,82 \times \text{Cl } a) - (85,02 \times \text{Cl } b)] / 198 \dots\dots(5)$$

$$\text{Clorofila } total \text{ (Cl } t) = (7,15 \times \text{ABS}_{663}) + (18,71 \times \text{ABS}_{647}) \dots\dots\dots(6)$$

Os valores para os teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenóides nas folhas foram expressos em mg g<sup>-1</sup> de matéria fresca (MF).

A composição mineral (N, K, P, Na, Cl e S) foi avaliada aos 780 DAT, período em que a plantas de gravioleira entraram em fase de pré-floração. Para tanto foram coletadas folhas da parte mediana da copa das plantas. O material vegetal coletado foi lavado com água destilada e secado em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante. Após a secagem as amostras foram pesadas, moídas e submetidas as análises químicas segundo metodologia recomendada por Silva (1999).

Para a determinação do teor foliar de nitrogênio (N) utilizou-se HCl 0,01 mol L<sup>-1</sup>, e para o fósforo (P), potássio (K), enxofre (S) e sódio (Na) HCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Por sua vez, para o cloro (Cl) foi utilizado 1mol L<sup>-1</sup> de HNO<sub>3</sub>. As análises do respectivo material foram realizadas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas (LSNP) do CCTA/UFCG. As relações Na/K e N/P na folha da gravioleira cv. Morada Nova foram determinadas seguindo metodologia proposta por Tedesco et al. (1985).

Os dados coletados foram submetidos ao teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk). Em seguida foi realizada uma análise de variância ao nível de 0,05 de probabilidade, e nos casos de efeito significativo isolado dos fatores, foi feita uma análise de regressão, utilizando-se o software estatístico SISVAR-ESAL v.5.6 (Ferreira, 2019). Em caso de significância da interação entre os fatores, foi utilizado o software SigmaPlot v.12.5 para a elaboração das superfícies de resposta.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo (Tabela 2) da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação e das concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sobre os teores de clorofila total e carotenóides de gravioleira. Os níveis de salinidade da água de irrigação influenciaram significativamente todas as variáveis, exceto a fluorescência máxima e o teor de carotenóides. Já as concentrações de peróxido de hidrogênio promoveram efeito significativo sobre a fluorescência máxima, fluorescência variável e os carotenóides.

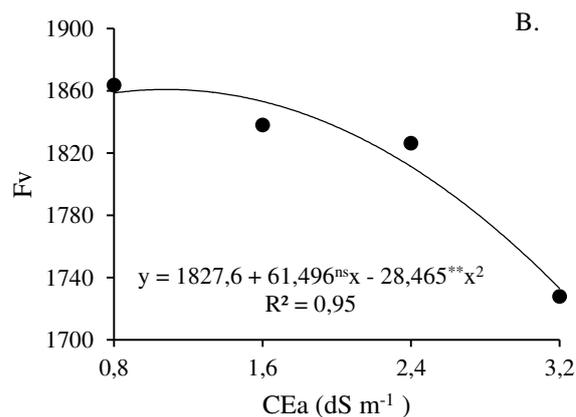
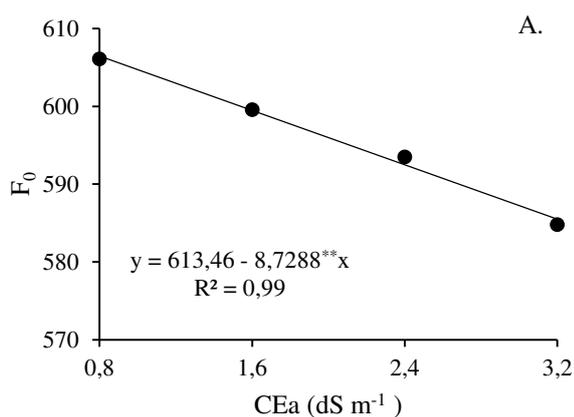
**Tabela 2.** Resumo da análise de variância referente à fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), fluorescência máxima (F<sub>m</sub>), fluorescência variável (F<sub>v</sub>), eficiência quântica do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>), clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), carotenóides (Car) e clorofila *total* (Cl *t*) de gravioleira cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio, aos 370 dias após o transplântio

Fonte de variação	GL	Quadrados médios							
		F <sub>0</sub>	F <sub>m</sub>	F <sub>v</sub>	F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Car	Cl <i>t</i>
Níveis salinos (NS)	4	981,83**	26536,07 <sup>ns</sup>	41892,1**	0,00133*	0,937*	0,405*	0,0079 <sup>ns</sup>	8,066**

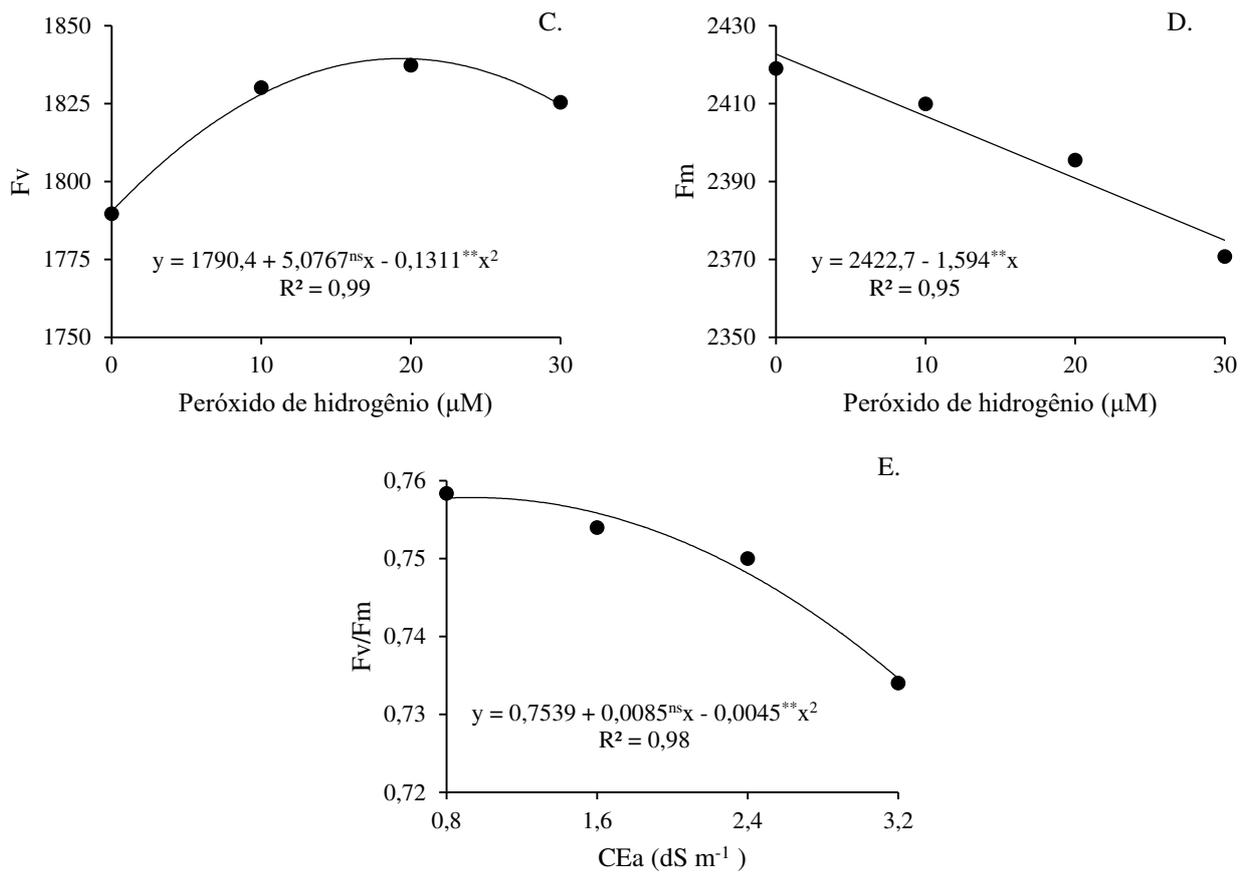
Regressão Linear	1	2926,01**	3816,03 <sup>ns</sup>	61248,15 <sup>ns</sup>	0,00345 <sup>ns</sup>	2,711 <sup>ns</sup>	1,025**	0,0006 <sup>ns</sup>	6,520 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	14,08 <sup>ns</sup>	567,18 <sup>ns</sup>	47628,0**	0,00043**	0,099** <sup>s</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>	13,27**
Peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	4	846,94 <sup>ns</sup>	7365,74**	11471,25**	0,00036 <sup>ns</sup>	0,447 <sup>ns</sup>	0,047 <sup>ns</sup>	0,3551*	0,191 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	0,066 <sup>ns</sup>	19747,2**	18096,06 <sup>ns</sup>	0,00037 <sup>ns</sup>	0,056 <sup>ns</sup>	0,090 <sup>ns</sup>	1,040**	0,105 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	18,75 <sup>ns</sup>	123,52 <sup>ns</sup>	15624,08**	0,00014 <sup>ns</sup>	1,270 <sup>ns</sup>	0,008 <sup>ns</sup>	0,0012 <sup>ns</sup>	0,410 <sup>ns</sup>
Interação (NS x H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	16	499,96 <sup>ns</sup>	15198,39 <sup>ns</sup>	19360,56 <sup>ns</sup>	0,00020 <sup>ns</sup>	1,686 <sup>ns</sup>	0,508 <sup>ns</sup>	0,8036*	3,275*
Blocos	3	13,56 <sup>ns</sup>	126,06 <sup>ns</sup>	645,02 <sup>ns</sup>	0,000008 <sup>ns</sup>	0,1212 <sup>ns</sup>	0,725 <sup>ns</sup>	0,0060 <sup>ns</sup>	0,279 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	49,49	2276,44	283,75	0,000289	0,3122	0,103	0,077	0,401
CV (%)		1,18	1,99	0,93	2,27	10,33	6,40	14,36	6,10

<sup>ns</sup>, \* e \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL- Graus de liberdade. CV: Coeficiente de variação

O aumento na condutividade elétrica da água de irrigação reduziu linearmente fluorescência inicial ( $F_0$ ) na gravioleira cv. Morada Nova (Figura 2A), verifica-se redução de forma linear. Ao comparar em termos relativos, as plantas irrigadas com água de maior nível salino ( $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ ) em relação às que receberam CEa de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ , verifica-se redução de 3,627% (21,22) na  $F_0$ . Desta forma, o menor valor alcançado na  $F_0$  das plantas submetidas aos maiores níveis salinos indica que pode ter ocorrido danos no centro de reação do fotossistema II ou redução da capacidade de transferência da energia da excitação do sistema coletor de luz para o centro de reação, decorrente possivelmente da diminuição do potencial hídrico foliar (Azevedo Neto et al., 2011), provocado pelas altas concentrações de sais da água de irrigação. Dias et al. (2018), em pesquisa com aceroleira sob irrigação com águas salinas (CEa variando de  $0,8$  a  $3,8 \text{ dS m}^{-1}$ ), também observaram que a salinidade da água reduziu a  $F_0$  em 21,49% à medida que a CEa aumentou de  $0,8$  para  $3,8 \text{ dS m}^{-1}$ .



D.



<sup>ns, \*\*</sup> não significativo, significativo a  $p \leq 0,01$  pelo teste F, respectivamente.

**Figura 2.** Fluorescência inicial – (F<sub>0</sub>) (A), fluorescência variável – (F<sub>v</sub>) (B) e eficiência quântica do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>), (E) das plantas de gravioleira cv. Morada Nova, em função da salinidade da água de irrigação – CEa e fluorescência variável – (F<sub>v</sub>) (C) e fluorescência máxima – (F<sub>m</sub>) (D) em função das concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, aos 370 dias após o transplântio.

A salinidade da água de irrigação influenciou de forma quadrática a fluorescência variável (F<sub>v</sub>) da gravioleira cv. Morada Nova (Figura 2B), cujo valor máximo estimado de 1860,80 foi obtido nas plantas irrigadas com o nível de CEa de 1,1  $\text{dS m}^{-1}$  e mínimo de 1732,90 nas plantas cultivadas sob CEa de 3,2  $\text{dS m}^{-1}$ . Em termos relativos, constata-se que as plantas irrigadas com o maior nível de salinidade (3,2  $\text{dS m}^{-1}$ ) reduziram em 6,76% a F<sub>v</sub> (125,68) em comparação com aquelas cultivadas sob o menor nível de salinidade da água (0,8  $\text{dS m}^{-1}$ ). A fluorescência variável refere-se à capacidade da planta de transferir energia dos elétrons ejetados das moléculas de pigmento para a formação de NADPH, ATP e ferredoxina reduzida (Freire et al., 2014). Assim, o declínio de transporte de elétrons e produção de ATP e NADPH pode inibir o processo fotossintético, visto que esses compostos são essenciais para a fixação de CO<sub>2</sub> no ciclo de Calvin (Andrade et al.,

2022). Dias et al. (2018), ao avaliarem o rendimento quântico da aceroleira cv. BRS 366 Jaburu (CEa de 0,8 e 3,8 dS m<sup>-1</sup>) e Fernandes et al. (2022), com pinheira (CEa de 1,3 e 4,0 dS m<sup>-1</sup>) sob condições de estresse salino, observaram que à medida que aumentava a salinidade da água, houve redução de 39,57 e 62,91%, respectivamente, na fluorescência variável.

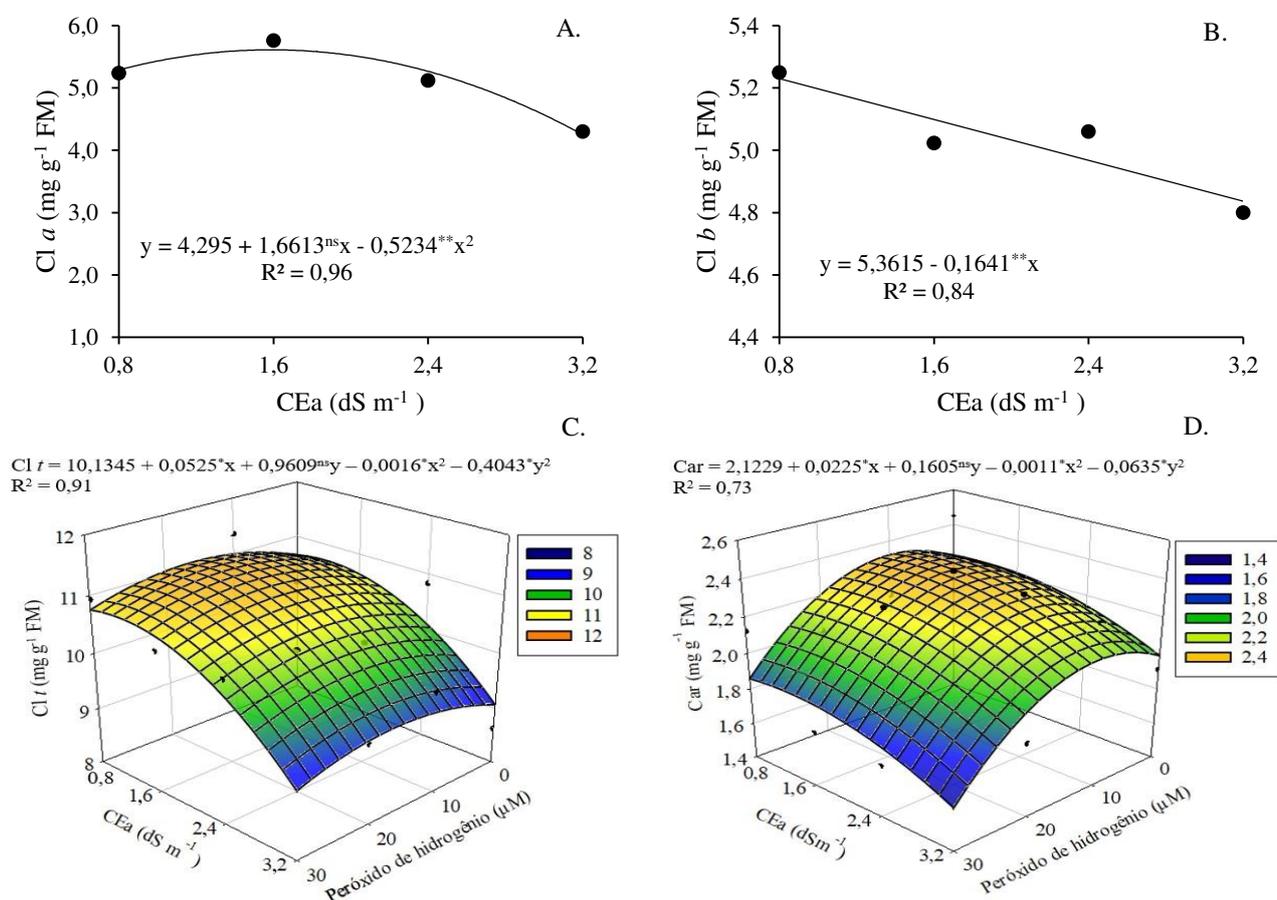
Com relação aos efeitos do peróxido de hidrogênio sobre a fluorescência variável (Fv) das plantas de gravioleira (Figura 2C), verifica-se que a concentração estimada de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 19 µM proporcionou o maior valor de Fv (1839,53). Por outro lado, as plantas submetidas à concentração 0 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> obtiveram o menor valor de Fv (1790,40). O H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> desempenha a função de sinalização hormonal, controlada por sua produção e eliminação, e atua na regulação de processos biológicos, como ajuste osmótico através o aumento da prolina. No entanto, os efeitos positivos do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dependem de sua concentração, bem como do estágio de desenvolvimento da planta e sua exposição anterior a outros tipos de estresse (Liu et al., 2020).

A fluorescência máxima (Fm) foi afetada de maneira significativa com as concentrações de peróxido de hidrogênio (Figura 2D), sendo o valor máximo estimado (2422,70) observado nas plantas que receberam 0 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Em termos relativos, verifica-se uma redução de 2,01% (47,82) na Fm quando aumentou a concentração de peróxido de hidrogênio de 0 para 30 µM. A Fm sinaliza quando os centros de reação do PSII estão fechados e atingem seu máximo assim, com as reduções nesta variável, com o aumento das concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pode indicar que o PSII foi limitado na redução da plastoquinona A (Akhter et al., 2021). Em altas concentrações, o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> danifica diferentes biomoléculas celulares através da oxidação de proteínas, peroxidação lipídica, inativação de enzimas, degradação de clorofila e destruição de ácidos nucleicos sob condições estressantes (Hasanuzzaman et al., 2021).

A eficiência quântica do fotossistema II da gravioleira diminuiu com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 2E). Constata-se que as plantas cultivadas sob CEa de 3,2 dS m<sup>-1</sup> tiveram redução de 13,76% (0,092) em relação àquelas irrigadas com água com 0,8 dS m<sup>-1</sup>. Observa-se ainda que, a partir de 2,4 dS m<sup>-1</sup> houve fotoinibição nos centros de reação do FSII ou este ficou fotoquimicamente inativo, visto que, quando o aparato fotossintético está intacto, os valores de Fv/ Fm variam entre 0,75 e 0,85 (Reis & Campostrini, 2011). De acordo com Carvalho et al. (2011), alterações no processo fotossintético em plantas sob estresse salino resultam em produção excessiva de

EROS e, na ausência de mecanismos de proteção eficientes (enzimáticos ou não), podem ocorrer alterações metabólicas que resultam em danos oxidativos.

O aumento da salinidade da água de irrigação influenciou os teores de clorofila *a* (Figura 3A), atingindo o valor máximo estimado de 5,6131 mg g<sup>-1</sup> FM nas plantas submetidas à CEa de 1,6 dS m<sup>-1</sup>. Por outro lado, o valor mínimo estimado de 4,2515 mg g<sup>-1</sup> FM foi observado em plantas cultivadas sob CEa de 3,2 dS m<sup>-1</sup>. A redução nos teores de Cl *a* induzida pelo estresse salino é um indicativo de destruição da estrutura da membrana do tilacóides (Sayyad-Amin et al., 2016) e de aumento da atividade da clorofilase, que degrada as moléculas do pigmento fotossintetizante, causando o desequilíbrio e perda de atividade das proteínas da pigmentação (Cavalcante et al., 2011). Reduções nos teores de Cl *a* também foram observados por Santos et al. (2023), em plantas de maracujá amarelo sob estresse salino (CEa de 0,6 a 3,0 dS m<sup>-1</sup>).



ns, \*, \*\* não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e a  $p \leq 0,01$  pelo teste F, respectivamente. X e Y correspondem as concentrações de peróxido de hidrogênio e CEa, respectivamente.

**Figura 3.** Teores de clorofila *a* – (Cl *a*) (A) e clorofila *b* – (Cl *b*) (B) de gravioleira cv. Morada Nova, em função da salinidade da água de irrigação – CEa e clorofila *total* – (Cl *t*) (C) e carotenóides – (Car) (D) em função dos níveis de CEa e das concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, aos 370 dias após o transplântio.

Os teores de clorofila *b* da gravioleira foram reduzidos linearmente com o aumento da salinidade da água de irrigação (Figura 3B), havendo uma redução de 3,06% por incremento da CEa. Ao comparar os teores de Cl *b* das plantas irrigadas com água de maior salinidade (3,2 dS m<sup>-1</sup>) com aquelas de menor salinidade (0,8 dS m<sup>-1</sup>), nota-se redução de 8,14%. Sá et al. (2019) atribui a inibição na síntese de clorofila ao aumento na síntese do ácido 5-aminolevulínico, molécula responsável pela produção de clorofila e que atua na degradação das moléculas de pigmento fotossintético. Reduções nos teores de Cl *b* também foram observados por Veloso et al. (2020), ao estudar a fisiologia de gravioleira sob estresse salino (CEa variando de 0,3 a 3,0 dS m<sup>-1</sup>), por incremento da CEa.

O aumento da salinidade da água de irrigação também reduziu os teores de clorofila *total* da gravioleira (Figura 3C), atingindo o valor mínimo de 9,06 mg g<sup>-1</sup> FM observado em plantas submetidas à CEa de 3,2 dS m<sup>-1</sup> e 0 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Assim, os efeitos benéficos da aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na concentração de 16 µM estão relacionados à capacidade desta ERO de influenciar a tolerância das plantas ao estresse salino, causado pelo aumento da síntese de metabólitos (Nazir et al., 2020).

Para os teores de carotenóides (Figura 3D), a concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 10 µM associada à CEa de 2,0 dS m<sup>-1</sup>, promoveu o maior valor de Car (2,3 mg g<sup>-1</sup> FM). Por outro lado, o menor valor de Car (1,67 mg g<sup>-1</sup> FM), foi observado quando as plantas foram irrigadas com o maior nível salino (3,2 dS m<sup>-1</sup>) e submetidas à aplicação foliar de 30 µM. Os carotenóides atuam entre os complexos captadores de luz e na fase lipídica das membranas dos tilacóides, reduzindo a fluidez da membrana e a suscetibilidade à peroxidação lipídica, assim, uma diminuição na concentração de carotenóides é indicativo de que houve degradação do β-caroteno, bem como uma redução na formação de zeaxantina (Taibi et al., 2016). Dessa forma, possivelmente, a função de sinalização de estresse desempenhada pelo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na concentração adequada (10 µM), pode ter desencadeado a ativação de enzimas antioxidantes que persistem nas plantas para aliviar o dano oxidativo, levando a melhorias nos atributos fisiológicos das plantas sob estresse (Dito & Gadallah, 2019).

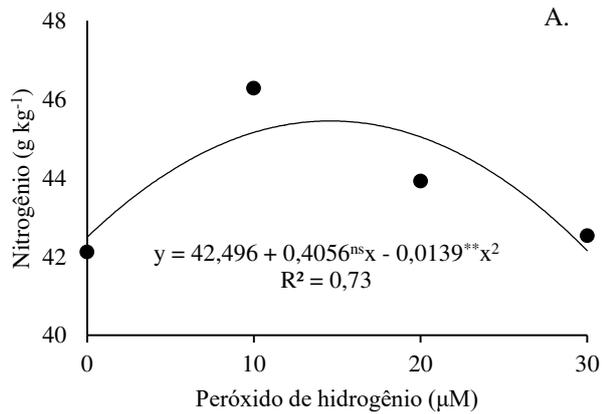
Houve efeito significativo (Tabela 3) da interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação e das concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sobre os teores foliares de fósforo (P), potássio (K) e relação N/P e Na/ K da gravioleira, aos 780 DAT. Os níveis de salinidade da água de irrigação de forma significativa os teores de enxofre (S), cloreto (Cl), sódio (Na). Já as concentrações de peróxido de hidrogênio afetaram significativamente os teores foliares de nitrogênio (N) da gravioleira.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância referente aos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), sódio (Na), cloreto (Cl), relação N/P e a Na/K nas folhas da gravioleira cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas e submetidas à aplicação foliar de peróxido de hidrogênio, aos 780 dias após o transplântio

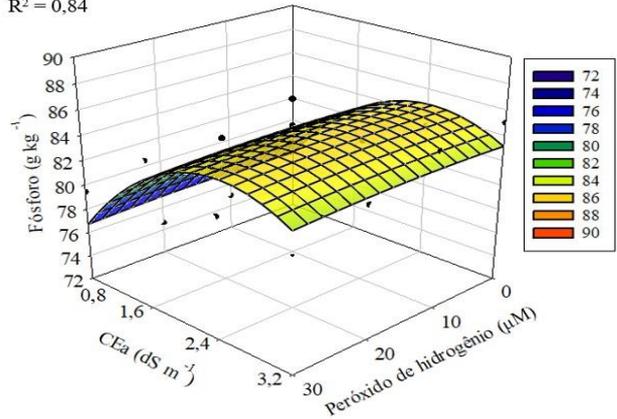
Fonte de variação	GL	Quadrados médios							
		N	P	K	S	Na	Cl	N/P	Na/K
Níveis salinos (NS)	4	194,50 <sup>ns</sup>	142,90 <sup>**</sup>	81,60 <sup>**</sup>	0,257 <sup>**</sup>	13,18 <sup>**</sup>	0,2575 <sup>**</sup>	0,0047 <sup>**</sup>	0,2215 <sup>**</sup>
Regressão Linear	1	8,97 <sup>ns</sup>	259,70 <sup>**</sup>	57,77 <sup>**</sup>	0,346 <sup>**</sup>	38,80 <sup>**</sup>	0,6816 <sup>**</sup>	0,0079 <sup>ns</sup>	0,5827 <sup>*</sup>
Regressão Quadrática	1	258,00 <sup>ns</sup>	141,70 <sup>ns</sup>	38,61 <sup>ns</sup>	0,425 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,0093 <sup>ns</sup>	0,0013 <sup>*</sup>	0,0531 <sup>ns</sup>
Peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	4	76,89 <sup>**</sup>	5,75 <sup>ns</sup>	15,37 <sup>**</sup>	1,859 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,0167 <sup>ns</sup>	0,0046 <sup>**</sup>	0,0030 <sup>*</sup>
Regressão Linear	1	4,84 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	13,89 <sup>ns</sup>	0,890 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	0,0424 <sup>ns</sup>	0,0081 <sup>*</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	213,70 <sup>**</sup>	3,05 <sup>ns</sup>	28,90 <sup>**</sup>	1,477 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>	0,00003 <sup>ns</sup>	0,0083 <sup>**</sup>
Interação (NS x H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	16	50,78 <sup>ns</sup>	21,23 <sup>**</sup>	105,20 <sup>**</sup>	0,111 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,0279 <sup>ns</sup>	0,0108 <sup>**</sup>	0,0298 <sup>**</sup>
Blocos	3	7,85 <sup>ns</sup>	9,15 <sup>ns</sup>	24,97 <sup>ns</sup>	0,022 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,0107 <sup>ns</sup>	0,0010 <sup>ns</sup>	0,0033 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	5,80	2,87	3,78	0,0594	0,22	0,0330	0,0007	0,0008
CV (%)		5,33	2,08	14,32	14,92	17,59	17,32	5,03	12,18

<sup>ns</sup>, \* e <sup>\*\*</sup> respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL- Graus de liberdade. CV: Coeficiente de variação

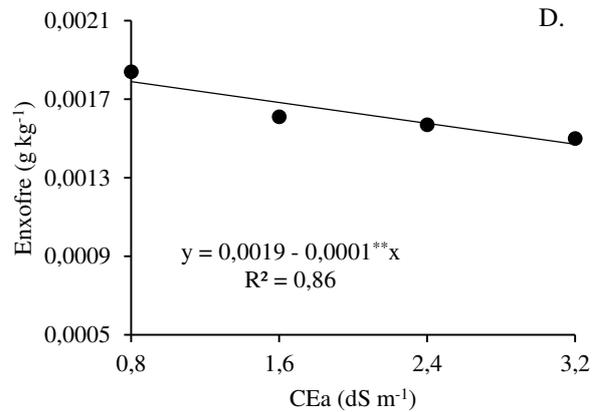
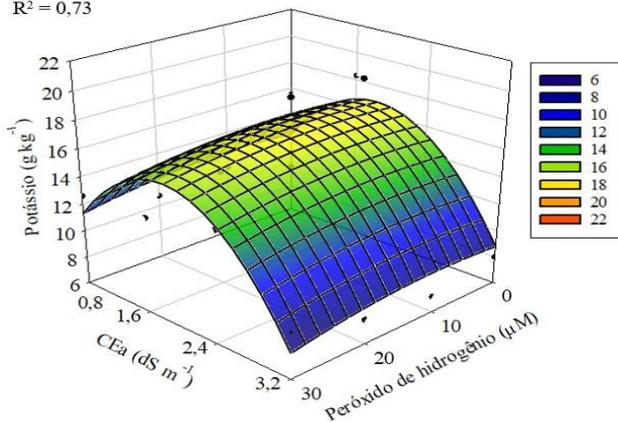
Os teores foliares de nitrogênio (N) na gravioleira cv. Morada Nova, foram afetados significativamente pela aplicação foliar de peróxido de hidrogênio (Figura 4A), sendo os valores máximo e mínimo estimados em 45,45 e 42,15 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, nas plantas submetidas a aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nas concentrações de 15 e 30 µM. Os teores foliares de N obtidos nas plantas de gravioleira, estão na faixa de suficiência indicada por Batista et al. (2003) e Viegas e Frazão (2004), os quais mencionam como adequados teores maiores que 14,30 g kg<sup>-1</sup> e como deficientes teores em torno de 8,5 g kg<sup>-1</sup>. Concentrações adequadas de N podem auxiliar na atividade de enzimas, proteínas e síntese de aminoácidos, além de promover ajuste osmótico em plantas cultivadas sob condições de estresse salino (Silva et al., 2019b). De acordo com Shalaby et al. (2021), o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> atua como uma molécula sinalizadora, desencadeando mecanismos que aumentam significativamente os níveis de antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, que atuam contra os estresses oxidativos.



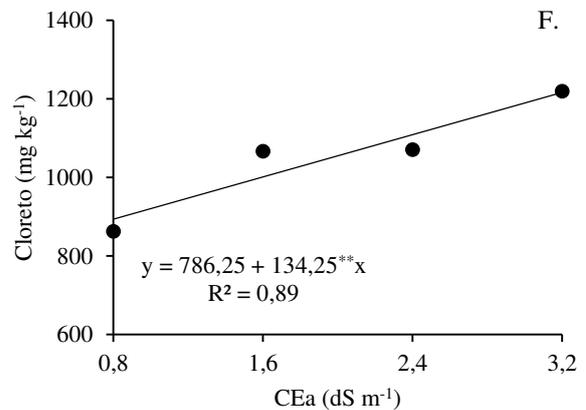
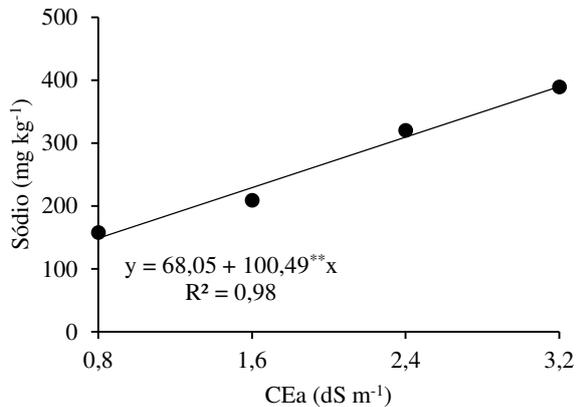
Fósforo =  $67,4080 + 0,0239^{ns}x + 14,2072^{ns}y - 0,0010^{**}x^2 - 2,9043^{**}y^2$  B.  
R<sup>2</sup> = 0,84



Potássio =  $2,5710 + 0,0427^{ns}x + 15,5409^{ns}y - 0,0025^{**}x^2 - 4,2480^{**}y^2$  C.  
R<sup>2</sup> = 0,73



E.



ns, \*\* não significativo, significativo a  $p \leq 0,01$  pelo teste F, respectivamente. X e Y correspondem às concentrações de peróxido de hidrogênio e CEa, respectivamente.

**Figura 4.** Teores foliares de nitrogênio (A) da gravioleira cv. Morada Nova, em função das concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, fósforo (B) e potássio (C), em função da salinidade da água de irrigação – CEa e das concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, e enxofre (D), sódio (E) e cloreto (F) em função dos níveis de CEa, aos 780 dias após o transplantio.

A interação entre os níveis de salinidade da água e as concentrações de peróxido de hidrogênio influenciou significativamente os teores foliares de fósforo (P) (Figura 4B)

nas gravioleiras cv. Morada Nova, sendo o maior valor estimado ( $84,91 \text{ g kg}^{-1}$ ) obtido nas plantas irrigadas com CEa de  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$  e sob aplicação foliar de  $\text{H}_2\text{O}_2$  de  $12 \text{ }\mu\text{M}$ . Já as plantas sob irrigação com água de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$  e aplicação foliar de  $30 \text{ }\mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  alcançaram o valor mínimo estimado de  $76,73 \text{ g kg}^{-1}$ . Neste estudo, observa-se que independente da concentração de peróxido de hidrogênio aplicada, os valores de P, estão acima da faixa considerada adequada. Silva et al. (1986) sugerem como adequados para a gravioleira teores de  $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ .

Os altos teores de P encontrados neste estudo, pode ter relação com a quantidade de P presente no solo utilizado ( $79 \text{ mg dm}^{-3}$ ). De acordo com São José et al. (2014), as anonáceas extraem do solo grandes quantidades de elementos minerais, podendo variar pela espécie botânica e a fase de desenvolvimento. Ainda, aplicações exógenas de  $\text{H}_2\text{O}_2$  pode ter resultado num sistema radicular vigoroso nas plantas de graviola o que aumentou a área de absorção. O fósforo estimula a síntese de solutos orgânicos, promove maior disponibilidade de energia, possibilitando que a planta aumente a seletividade da membrana na absorção de íons benéficos, melhorando a exclusão de íons tóxicos, contribuindo no processo de homeostase iônica (Carneiro et al., 2017).

Para os teores de potássio (K) (Figura 4C) os maiores valores foram obtidos nas plantas irrigadas com água de  $1,8 \text{ dS m}^{-1}$  e concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  de  $9 \text{ }\mu\text{M}$  ( $16,96 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Já as plantas submetidas a aplicação de  $30 \text{ }\mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e que foram irrigadas com água com CEa de  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$  apresentaram os menores teores de K ( $7,83 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Avilán (1975) e Oliveira (2004), consideram inadequado para a gravioleira teor de K foliar abaixo de  $12,6 \text{ g kg}^{-1}$ . Assim, a concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  de até  $20 \text{ }\mu\text{M}$  na CEa de  $2,8 \text{ dS m}^{-1}$  ( $12,63 \text{ g kg}^{-1}$ ), foi capaz de amenizar os efeitos deletérios da salinidade sob os teores de K na folha, possivelmente em função dos mecanismos e sinais bioquímicos, proporcionando aclimatação das plantas ao estresse abiótico, e contribuindo na homeostase iônica (Javed et al., 2018). O aumento nos teores de potássio nas folhas da gravioleira pode ser considerado um mecanismo de tolerância ao estresse salino, uma vez que o íon potássio pode atuar como um osmorregulador a fim de manter a pressão de turgor e o conteúdo relativo de água na planta (Geng et al., 2016).

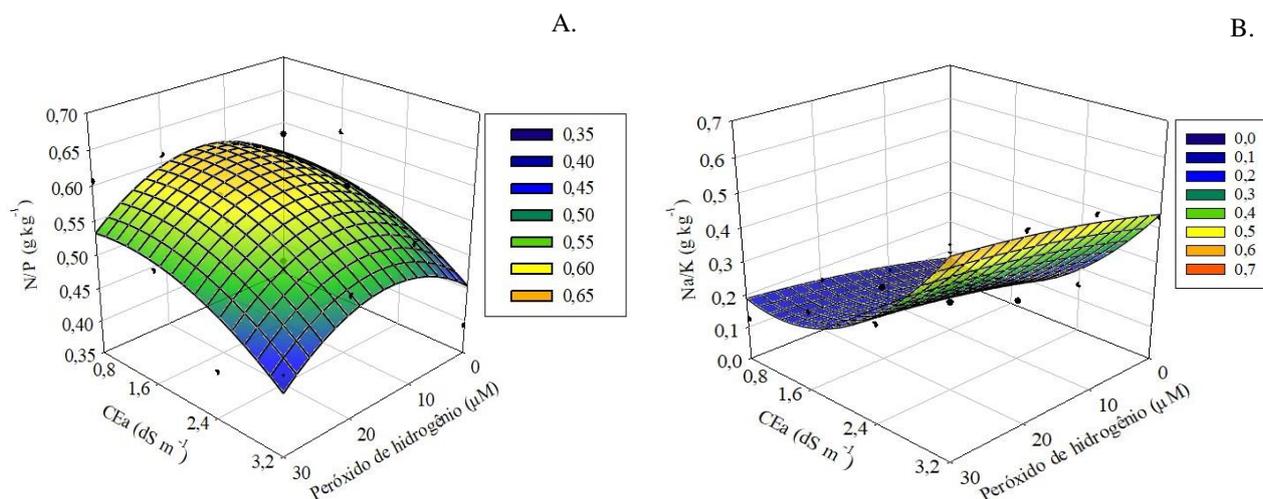
O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação promoveu um efeito linear decrescente no teor de enxofre (S) (Figura 4D), com incremento de  $6,99\%$  por acréscimo unitário da CEa. As plantas irrigadas com água de maior salinidade ( $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ ) tiveram uma redução de  $17,7\%$  ( $0,34 \text{ g kg}^{-1}$ ), em relação as irrigadas com água de CEa de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ . Este valor está a baixo da faixa considerada adequada para a gravioleira, visto que,

segundo Viegas e Frazão (2004), o valor adequado está entre 3,88 a 5,96 g kg<sup>-1</sup> e para plantas com deficiência os valores são menores que 1,99 g kg<sup>-1</sup>. O enxofre (S) desempenha um papel muito importante no metabolismo da planta, fazendo parte de aminoácidos, proteínas, moléculas de cloroplasto, coenzimas, sulfolipídeos, flavonóides, lipídeos, glucosinolatos, polissacarídeos, compostos não saturados, compostos reduzidos entre outras funções metabólicas, além do mais, participa desde a constituição fisiológica, controle hormonal, fotossíntese até os mecanismos de defesa da planta, contribuindo na proteção contra pragas e doenças (Stipp & Casarin, 2010; Oliveira et al., 2020).

Houve aumento nos teores foliares de sódio (Na) (Figura 4E) e cloreto (Cl) (Figura 4F) da gravioleira cv. Morada Nova em função da irrigação com água salina, cujos dados obtiveram comportamento linear crescente, observando-se aumento de 147,67% (241,17 mg kg<sup>-1</sup>) para Na e 17,08% (322,32 mg kg<sup>-1</sup>) para Cl, com o incremento unitário da CEa. Ao comparar os teores foliares de Na e Cl das plantas irrigadas com água de 0,8 dS m<sup>-1</sup> com as cultivadas sob salinidade da água de 3,2 dS m<sup>-1</sup>, verificou-se aumento de 162,47 e 36,06%, respectivamente.

Alvarenga et al. (2019), relatam que altas concentrações de Cl<sup>-</sup> e Na<sup>+</sup> podem causar toxicidade iônica nas plantas, provocando a degradação das clorofilas, pigmentos responsáveis pelo processo de fotossíntese e que podem afetar negativamente o crescimento das plantas. A elevada concentração de sais nas plantas causa desequilíbrio iônico ao acumular Na e Cl nos tecidos, inibindo a absorção de nutrientes minerais.

A aplicação foliar de peróxido de hidrogênio e a irrigação com água influenciaram a relação N/P das plantas de gravioleira (Figura 5A), sendo o maior valor (0,6070) obtido nas plantas irrigadas com CEa de 1,2 dS m<sup>-1</sup> e submetidas a concentração estimada de 14 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Já o menor valor para N/P foi alcançado nas plantas cultivadas com o maior nível salino (3,2 dS m<sup>-1</sup>) e que receberam a concentração de 30 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. O nitrogênio e o fósforo são componentes que integram proteínas que constroem materiais celulares, tecidos vegetais e, portanto, vital para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Ashraf et al., 2018). A relação N/P é um indicador crítico da limitação de nutrientes no ecossistema terrestre, dessa forma é importante que a relação N/P esteja em equilíbrio e a absorção desses nutrientes é severamente comprometida pela salinidade da água de irrigação e do solo (Huang et al., 2018).



ns, \*, não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  pelo teste F, respectivamente. X e Y correspondem as concentrações de peróxido de hidrogênio e CEA, respectivamente.

**Figura 5.** Relação N/P (A) e Na/K (B), nas folhas da gravioleira cv. Morada Nova em função dos níveis de – CEA e das concentrações de peróxido de hidrogênio –  $H_2O_2$ , aos 780 dias após o transplantio.

Para as plantas que receberam o peróxido de hidrogênio na concentração de  $30 \mu M$  e irrigadas com salinidade da água de irrigação de  $3,2 dS m^{-1}$ , verifica-se uma relação Na/K de 0,5546 (Figura 5B). Observa-se ainda que, independentemente da concentração de  $H_2O_2$ , o aumento da CEA promoveu incremento na relação Na/K. O aumento da relação Na/K nas folhas das plantas de gravioleira, com o incremento dos níveis de salinidade da água de irrigação, é um indicativo de maior absorção de sódio em detrimento da absorção de potássio, o que pode ser considerado como um mecanismo de tolerância ao estresse salino. Segundo Azevedo Neto et al. (2004), o desequilíbrio iônico, observado pelos valores da relação Na/K, prejudica a seletividade dos íons de K nas raízes, devido a perda da integridade das membranas sob condições de salinidade.

#### 4 CONCLUSÕES

1. A aplicação foliar de peróxido de hidrogênio nas concentrações variando de 10 e  $16 \mu M$  atenuam os efeitos do estresse salino até a CEA de 2,0 e  $1,6 dS m^{-1}$ , respectivamente sobre os teores de carotenóides e clorofila total das plantas de graviola cv. Morada Nova aos 370 dias após o transplantio.
2. A irrigação com águas salinas apartir de  $0,8 dSm^{-1}$  afeta negativamente a biossíntese de clorofila *b*, a fluorescência inicial e a eficiência quântica do fotossistema II da gravioleira cv. Morada Nova, aos 370 dias após o transplantio.
3. O peróxido de hidrogênio nas concentrações estimadas de 12 e  $9 \mu M$  aumentam os teores foliares de fósforo e potássio até a CEA de 2,5 e  $1,8 dS m^{-1}$ ,

respectivamente, e na concentração de 15  $\mu\text{M}$ , alivia o efeito da salinidade da água nos teores de nitrogênio de plantas de graviola cv. Morada Nova, aos 780 dias após o transplântio.

4. Os teores de sódio e de cloreto nas folhas da gravioleira cv. Morada Nova aumentam em função da salinidade da água de irrigação.
5. A concentração de peróxido de hidrogênio de 30  $\mu\text{M}$  intensifica o estresse salino sobre os teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássiomacronutrientes de folhas de gravioleira cv. Morada Nova, aos 780 dias após o transplântio.
6. O acúmulo de nutrientes nas folhas de gravioleira cv. Morada Nova na fase de pré-floração segue a seguinte ordem decrescente:  $\text{P} > \text{N} > \text{K} > \text{S} > \text{Cl} > \text{Na}$ .

## 5 REFERÊNCIAS

- Alvarenga, C. F de S.; Silva, E. M da; Nobre, R. N.; Gheyi, H. R.; Lima, G. S de; Silva, L de A. Morphophysiology of West Indian cherry irrigated with salt water under combination of doses of nitrogen and potassium. *Revista de Ciências Agrárias*, v.42, p.194-205, 2019.
- Andrade, E. M. G.; Lima, G. S de; Lima, V. L. A.; Silva, S. S.; Dias, A. S.; Gheyi, H. R. Hydrogen peroxide as attenuator of salt stress effects on the physiology and biomass of yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.571-578, 2022.
- Arnon, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, v.24, p.1-15, 1949.
- Ashraf, M.; Shahzad, S. M.; Imtiaz, M.; Rizwan, M. S.; Arif, M. S.; Kausar, R. Nitrogen nutrition and adaptation of glycophytes to saline environment: a review. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v.64, p.1181-1206, 2018.
- Asghar, N.; Aisha, N.; Ameer, A.; Shahid, H.; Kausar, S.; Asghar, A.; Idrees, T.; Mumtaz, S.; Asfahan, H.; Sultan, M.; Istakhar, J. Foliar-Applied Hydrogen Peroxide and Proline Modulates Growth, Yield and Biochemical Attributes of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Under Varied N and P Levels. *Fresenius Environmental Bulletin*. v.30, p.5445-5465, 2021.
- Akhter, M. S.; Noreen, S.; Mahmood, S.; Ashraf, M.; Alsahli, A. A.; Ahmad, P. Influence of salinity stress on PSII in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes, probed by

- chlorophyll-a fluorescence. *Journal of King Saud University Science*, v.33, p.101239, 2021.
- Avilán, L. A. Efecto de la omisión de los macronutrientes em el desarrollo y composición química de la guanábana (*Annona muricata* L.) cultivada em soluciones nutritivas. *Agronomia Tropical*, v.25, p.73-79, 1975.
- Azevedo Neto, A. D.; Pereira, P. P. A.; Costa, D.P.; Santos, A. C. C. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, p.893-897, 2011.
- Azevedo Neto, A. D.; Tabosa, J. N.; Enéas-Filho, J.; Lacerda, C. F.; Silva, J. V.; Costa, A. P. S.; Gomes Filho, E. Efeitos do estresse salino no crescimento das plantas, na resposta estomática e no acúmulo de solutos de diferentes genótipos de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.16, p.31-38, 2004.
- Batista, M. M. F.; Viégas, I. de J. M.; Frazão, D. A. C.; Thomaz, M. A. A.; Silva, R. de C. da. Efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral em gravioleiras (*Annona muricata*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.25, p.315-318, 2003.
- Carmo, C. D. S.; De Araujo, W. S.; Bernardi, A. D. C.; Saldanha, M. F. C. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos, 2000.
- Carneiro, M. A.; Lima, A. M. N.; Cavalcante, I. H. L.; Cunha, J. C.; Rodrigues, M. S.; Lessa, T. B. da S. Soil salinity and yield of mango fertigated with potassium sources. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, p.310-316, 2017.
- Carvalho, F. E. L.; Lobo, A. K. M.; Bonifacio, A.; Martins, M. O.; Lima Neto, M. C.; Silveira, J. A. G. Aclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.416-423, 2011.
- Cavalcante, L. F.; Dias, T. J.; Nascimento, R.; Freire, J. L de O. Clorofila e carotenoides em maracujazeiro-amarelo irrigado com águas salinas no solo com biofertilizante bovino. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.33, p.699-705, 2011.
- Cavalcanti, F. J. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2a Aproximação. 3. ed. Recife: IPA, 2008. 212 p.
- Cruz, J. L.; Coelho, E. F.; Coelho, M. A., F.; Santos, A. A dos. Salinity reduces nutrients absorption and efficiency of their utilization in cassava plants. *Ciência Rural*, v.48, e20180351, 2018.

- Dias, A. S.; Lima, G. S. de; Sá, F. V da S.; Gheyi, R. H.; Soares, L. A dos A.; Fernandes, P. D. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica da aceroleira cultivada com água salina e adubação potássica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.628-633, 2018.
- Dias, A. S.; Lima, G. S de; Pinheiro, F. W. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A. Gas exchanges, quantum yield and photosynthetic pigments of West Indian cherry under salt stress and potassium fertilization. *Revista Caatinga*, v.32, p.429-439, 2019.
- Dito, S & Gadallah, M. A. suplementação com peróxido de hidrogênio alivia os efeitos deletérios do cádmio nos pigmentos fotossintéticos e no estresse oxidativo e melhora o crescimento, o rendimento e a qualidade dos frutos em plantas de ervilha (*Pisum sativum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, v.41, p.2-12, 2019.
- EMBRAPA. Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009, 627p
- EMBRAPA. A cultura da gravioleira. 1.ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1999. 19p
- Fernandes, E. A.; Soares, L. A. A; Lima, G. S de; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Fernandes, P. D. Photosynthetic pigments, photochemical efficiency and growth of custard-apple under salt stress and potassium fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.365-373, 2022.
- Ferreira, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v.37, p.529-535, 2019.
- Ferreira, J. T. A.; Lima, G. S de; Silva, S. S. da; Soares, L. A. S dos; Fátima, R. T de; Nóbrega, J. S.; Gheyi, H. R; Fernandes Antônio de Almeida, F. A de; Mendonça, A. J. T. Hydrogen peroxide in the induction of tolerance of guava seedlings to salt stress. *Semina: Ciências Agrárias*, v.44, p.739-754, 2023.
- Freire, J. L. O.; Dias, T. J.; Cavalcante, L. F.; Fernandes, P. D.; Lima Neto, A. J de. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. *Revista Ciência Agronômica*, v.45, p.82-91, 2014.
- Gajalakshmi, S.; Vijayalakshmi, S.; Devi Rajaeswari, V. Phytochemical and pharmacological properties of *Annona muricata*: a review. *International Journal Pharmaceutical Science*, v.4, 2012.

- Geng, L.; Tong, G.; Jiang, H.; XU, W. Effect of salinity and alkalinity on *Luciobarbus capito* gill Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATPase enzyme activity, plasma ion concentration, and osmotic pressure. *BioMed Research International*, v.3, p.1-7, 2016.
- Hasanuzzaman, M.; Rainan, M. D. U. R.; Masud, A. A. C.; Rahman, K.; Nowroz, F.; Nahar, K. Regulação de espécies reativas de oxigênio e defesa antioxidante em plantas sob salinidade. *Revista Internacional de Ciências Moleculares*, v.17, p.9326, 2021.
- Huang, G.; Y, G. Su.; X, H. UM.; Y. Li. Foliar nutrient resorption responses of three life-form plants to water and nitrogen additions in a temperate desert. *Plant Soil*, v.424, p.479-489, 2018.
- Javed, R.; Yücesan, B.; Gurel, E. Hydrogen peroxide-induced steviol glycosides accumulation and enhancement of antioxidant activities in leaf tissues of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Sugar Tech*, v.20, p.100-104, 2018.
- Kaya, C.; Ugurlar, F.; Ashraf, M.; Alam, P.; Ahmad, P. Nitric oxide and hydrogen sulfide work together to improve tolerance to salinity stress in wheat plants by upraising the AsA-GSH cycle. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.194, p.651-663, 2023.
- Lima, G. S de; Nobre, R. G.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Pinheiro, F. W. A.; Dias, A. S. Crescimento, teor de sódio, cloro e relação iônica na mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. *Comunicata Scientiae*, v.6, p.212-223, 2015.
- Liu, L.; Huang, L.; Lin, X.; Sun, C. O. Hydrogen peroxide alleviates salinity-induced damage by increasing proline buildup in wheat seedlings. *Plant Cell Reports*, v.39, p.567-575, 2020.
- Medeiros, J. F de. Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE. Campina Grande: UFPB, 1992.173p. Dissertação Mestrado.
- Nazir, F.; Fariduddin, Q. T.; Khan, A. Hydrogen peroxide as a signaling molecule in plants and its crosstalk with other plant growth regulators under heavy metal stress. *Chemosphere*, v.252, p.1-19, 2020.
- Oliveira, S. A. de. Análise foliar. In: Sousa, D. M. G. de; Lobato, E. (Ed.). *Cerrado: Correção do solo e adubação*. Brasília: Embrapa Informação e Tecnologia, p.245-282, 2004.
- Oliveira, R. J.; Silva, R. C. D da; Júnior, G. S da S.; Muniz, P. H. P. C.; Pelá, A. Oxidação de enxofre elementar em diferentes fontes e doses de fertilizantes/ Oxidação de enxofre elementar em diferentes fontes e doses de fertilizantes. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, v.6, p.27735-27745, 2020.

- Reis, F. O & Campostrini, E. Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.17, p.284-295, 2011.
- Richards, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. Washington: United States Salinity Laboratory Staff, 1954. 160p. Handbook 60.
- Sá, F. V. da S.; Brito, M. E. B.; Silva, L. A.; Moreira, R. C. L.; Fernandes, P. D.; Figueiredo, L. C. de. Fisiologia da percepção do estresse salino em híbridos de tangerineira - Sunki Comum sob solução hidropônica salinizada. *Comunicata Scientiae*, v.6, p.463-470, 2015.
- Sá, F. V. S.; Gheyi, H. R.; Lima, G. S de; Paiva, E. P.; Silva, L. 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*, v.35, p.211-221, 2019.
- São José, A. R.; Pires, M. M.; Freitas, A. L. G. E.; Ribeiro, D. P.; Perez, L. A. A. Atualidades e perspectivas das Anonáceas no mundo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.36, p.86-93, 2014.
- Sandoval Paixão, M. V.; Ferrari Mônico, A.; Cazaroto Grobério, R. B.; Cremonini, G. M.; Faria Junior, H. P. de; Cordeiro, A. J. C. de. Tratamentos Pré-Germinativos na Emergência e Desenvolvimento Inicial de Plântulas de Graviola. *Ensaio e Ciência Biológicas Agrárias e da Saúde*, v.25, p.72-76, 2021.
- Santos, L. F. S.; Lima, G. S de; Lima, V. L. A.; Silva, A. A. R.; Soares, L. A. A.; Nobrega, J. S.; Capitulino, J. D.; Borborema, L. D. A.; Souza, A. R.; Caetano, E. J. M. Foliar application of proline on the mitigation of salt stress in the physiological indices of sour passion fruit. *Semina. Ciências Agrárias (Online)*, v.44, p.1637-1660, 2023.
- Sayyad-Amin, P.; JAhansooz, M. R.; Borzouei, A.; Ajili, F. Mudanças nos pigmentos fotossintéticos e atributos de fluorescência da clorofila-a de cultivares de forragem doce e sorgo granífero sob estresse salino. *Revista de Física Biológica*, v.42, p.601-620, 2016.
- Shalaby, T. A.; Abd-Alkarim, E.; El-Aidy, F.; Hamed, E. S.; Sharaf-Eldin, M.; Taha, N.; El-Ramady, H.; Bayoumi, Y.; Reis, A. R. Nano-selênio, silício e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> aumentam o crescimento e a produtividade do pepino sob salinidade combinada e estresse térmico. *Ecotoxicologia e Segurança Ambiental*, v.212, p.1-11, 2021.

- Shalaby, O. A. E.; Farag, R.; Mohamed, F. M. I. Effect of hydrogen sulfide and hydrogen peroxide on growth, yield and nutrient content of broccoli plants grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, v.316, p.112035, 2023.
- Silva, H & Silva, A. Q. da. Nutrição mineral e adubação de anonas. In: Hagg, H. P. ed., Nutrição mineral e adubação de fruteiras tropicais. Campinas: Fundação Cargill, p.285-342, 1986.
- Silva, A. A. R.; Lima, G. S. de; Azevedo, C. V. de; Veloso, L. L. S.; Capitulino, J. D.; Gheyi, H. R. Induction of tolerance to salt stress in soursop seedlings using hydrogen peroxide. *Comunicata Scientiae*, v.10, p.484-490, 2019a.
- Silva, S. S.; Lima, G. S de; Lima, V. L. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Lucena, R. C. M. Trocas gasosas e produção de melancia sob manejo de salinidade e adubação nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.49, e54822, 2019b.
- Silva, A. A. R. da; Capitulino, J. D.; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Veloso, L. L. de S. A. Tolerance to salt stress in soursop seedlings under different methods of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> application. *Revista Ciência Agronômica*, v.52, e20207107, 2021.
- Stipp, S. R & Casarin, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n.129, p.14-20, 2010
- Taibi, K.; Taibia, F.; Abderrahim, L. A.; Ennajah, A.; Belkhodja, M.; Mulet, J. M. Efeito do estresse salino no crescimento, conteúdo de clorofila, peroxidação lipídica e sistemas de defesa antioxidante em *Phaseolus vulgaris* L. *South African Journal of Botany*, v.105. p.306-312, 2016.
- Tedesco, M. J.; Volkweiss, S. J.; Bohnen, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1985. Paginação irregular. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. (Org.), Manual de métodos de análise de solo. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2017, 573p.
- Veloso, L. L. S.; Lima, G. S. de; Azevedo, C. V. de; Gomes, R. N.; Silva, A. A. R.; Capitulino, J. D.; Gheyi, H. R.; Bonifácio, B. F. Physiological changes and growth of soursop plants under irrigation with saline water and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in post-grafting phase. *Semina: Ciências Agrárias*, v.41, p.3023-3038, 2020.
- Veloso, L. L. S. A.; Azevedo, C. A. V. de; Nobre, R. G.; Lima, G. S de; Capitulino, J. D.; Silva, F. A. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> alleviates salt stress effects on photochemical efficiency and photosynthetic pigments of cotton genotypes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.27, p.34-41, 2023.

- Viégas, I. de J. M & Frazão, D. A. C. Graviola: nutrição, calagem e adubação. Belém: EMBRAPA. Amazônia Oriental, 2004. 6p. (Circular Técnica, 36).
- Watanabe, H. S.; Oliveira, S. L de; Câmara, F. M da; Almeida, G. V. B de; Alves, A. A. Perfil de comercialização das anonáceas nas ceasas brasileiras. Revista Brasileira de Fruticultura, v.36, p.65-70, 2014.
- Zheng, C.; Jiang, D.; Liu, F.; Dai, T.; Liu, W.; Jing, Q.; Cao, W. Exogenous nitric oxide improves seed germination in wheat against mitochondrial oxidative damage induced by high salinity. Environmental and Experimental Botany, v.67, p.222-227, 2009.

## **CAPÍTULO VII**

---

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em regiões áridas e semiáridas, é comum a ocorrência de fontes de água com elevada concentração de sais, limitando o uso na agricultura. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de estratégias de manejo que viabilize o uso de águas salinas na irrigação. Diante deste quadro, esta pesquisa tratou de avaliar o crescimento, a fisiologia e a composição mineral da gravioleira cv. Morada Nova, em função da irrigação com águas salinas e aplicação foliar de peróxido de hidrogênio.

A gravioleira é uma espécie adaptada às condições edafoclimáticas da região Nordeste, é considerada moderadamente tolerante ao estresse salino, no entanto seu rendimento pode ser comprometido pela irrigação com água salinas.

Por sua vez, o peróxido de hidrogênio é uma substância de fácil acesso e manipulação, dessa forma, em baixas concentrações, pode ser visto como uma promissora estratégia de manejo como ativador de enzimas antioxidativas promovendo o desenvolvimento das culturas sob condição de estresse.

De forma geral, de acordo com os resultados obtidos no presente estudo, pôde-se perceber que a salinidade da água de irrigação afeta negativamente as trocas gasosas, os pigmentos fotossintéticos, o crescimento e a eficiência quântica do fotossistema II das plantas de gravioleira. Além disso, aumenta a porcentagem de extravasamento de eletrólitos do limbo foliar.

Ainda, pôde-se observar que as plantas de gravioleira quando pulverizadas com peróxido de hidrogênio entre as concentrações estimadas de 10 a 15  $\mu\text{M}$ , alcançaram efeitos positivos na atividade fotossintética, no crescimento e na composição mineral das plantas mesmo quando expostas ao estresse salino.

Verificou-se também, que a aplicação de peróxido de hidrogênio acima de 15  $\mu\text{M}$  não é recomendado, visto que intensificou os efeitos negativos do sobretudo na concentração de 30  $\mu\text{M}$ .

Por fim, deve-se ressaltar que apesar dos efeitos benéficos do peróxido de hidrogênio em baixas concentrações alcançados no presente estudo, observado nas variáveis de crescimento, de fisiologia e nutrição, há necessidade da realização de pesquisas futuras para avaliar os efeitos na atividade enzimática, na produção e na pós-colheita de gravioleira cv. Morada Nova.