



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**

**ÁCIDO SALICÍLICO NA INDUÇÃO À TOLERÂNCIA DA GRAVIOLEIRA AO  
ESTRESSE SALINO**

ANDRÉ ALISSON RODRIGUES DA SILVA

Campina Grande, PB

Junho de 2022

ANDRÉ ALISSON RODRIGUES DA SILVA

Engenheiro Agrícola

**ÁCIDO SALICÍLICO NA INDUÇÃO À TOLERÂNCIA DA GRAVIOLEIRA AO  
ESTRESSE SALINO**

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 Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientadores: Prof. DSc. Carlos Alberto Vieira de Azevedo

Prof. DSc. Geovani Soares de Lima

S586a

Silva, André Alisson Rodrigues da.

Ácido salicílico na indução à tolerância da gravioleira ao estresse salino / André Alisson Rodrigues da Silva. – Campina Grande, 2022.

116 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

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

Referências.

1. Graviola (*Annona muricata L.*). 2. Salinidade. 3. Estresse Abiótico. 4. Aclimação. 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-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA  
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

## FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

**ANDRÉ ALISSON RODRIGUES DA SILVA**

**ÁCIDO SALICÍLICO NA INDUÇÃO À  
TOLERÂNCIA DA GRAVIOLEIRA AO ESTRESSE  
SALINO**

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

Aprovada em: 17/06/2022

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

Hans Raj Gheyi - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

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

Leandro de Pádua Souza - Examinador(a) Externo(a) - UAST/UFRPE



Documento assinado eletronicamente por **Leandro Pádua Souza, Usuário Externo**, em 23/06/2022, às 12:29, 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 DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/06/2022, às 17:19, 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 26/06/2022, às 12:37, 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 **Geovani Soares de Lima, Usuário Externo**, em 18/07/2022, às 10:17, 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 **Hans Raj Gheyi, Usuário Externo**, em 18/07/2022, às 11:06, 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 DOMAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/07/2022, às 14:33, 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 **2499520** e o código CRC **1F1285B6**.

---

Referência: Processo nº 23096.028240/2022-76

SEI nº 2499520

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela saúde, força, proteção, oportunidades, e por ter me guiado em todas as minhas decisões.

Aos meus orientadores Carlos Alberto Vieira de Azevedo e Geovani Soares de Lima pelas suas orientações, conselhos, paciência e pelo tempo dedicado a este trabalho.

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;

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 Luana Lucas, Jessica Capitulino, Cassiano, Leandro, Jean, Allesson e Anthony pela dedicação e esforço no desenvolvimento da pesquisa.

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

Aos amigos da turma de sala por lutarem junto comigo, para superar as adversidades encontradas e por sempre terem uma palavra de carinho e confiança durante todo o percurso.

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 obrigado.

A minha avó Josefa Quirino de Jesus (*In memorian*) e meu avô Pedro Rodrigues da Silva (*In memorian*), por todo amor, carinho, dedicação e ensinamentos que guardarei para sempre, suas memórias viverão continuamente através de mim, do meu amor e da minha eterna saudade.

### **MINHA HOMENAGEM**

Aos meus pais, Ednaldo José da Silva e Valquíria Rodrigues da Silva e ao meu tio Vanildo Rodrigues da Silva como reconhecimento de todo amor, dedicação e incentivo.

**OFEREÇO**

A minha esposa, Lidiane Conrado pelo carinho, compreensão e companheirismo; as minhas filhas Victória e Valentina, presentes que Deus colocou em minha vida, minha continuidade.

**DEDICO**

# Sumário

	Pág.
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO I - CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA</b> .....	<b>14</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1 Geral.....	17
2.2 Específicos .....	17
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
3.1. Origem, aspectos botânicos e morfológicos da gravioleira.....	18
3.2. Aspectos econômicos .....	19
3.3. Disponibilidade e qualidade de água no semiárido do Nordeste brasileiro.....	20
3.4. Tolerância das plantas à salinidade .....	21
3.5. Efeito da salinidade nas plantas .....	23
3.6. Ácido Salicílico como elicitador de estresse salino .....	25
<b>4. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>27</b>
<b>CAPÍTULO II - MATERIAL E MÉTODOS GERAL</b>	
<b>1. MATERIAL E MÉTODOS GERAL</b> .....	<b>37</b>
1.1. Local do experimento.....	37
1.2. Delineamento experimental e tratamentos .....	37
1.3. Material genético e formação das mudas .....	37
1.4. Implantação e condução do experimento .....	39
1.4.1. Preparação das águas e manejo de irrigação .....	40
1.4.2. Preparo e aplicação das concentrações de ácido salicílico .....	41
1.4.3. Manejo de adubação.....	42
1.4.4. Manejo de poda e fitossanitário .....	43
1.5. Variáveis analisadas .....	44
1.5.1. Avaliações de crescimento .....	44
1.5.2. Avaliações fisiológicas.....	45
1.6. Análise estatística.....	47
<b>2.REFERÊNCIAS</b> .....	<b>48</b>



### **CAPÍTULO III - ÁCIDO SALICÍLICO COMO ATENUADOR DO ESTRESSE SALINO DE GRAVIOLEIRA**

<b>RESUMO .....</b>	<b>51</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>51</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>53</b>
<b>3. RESULTADO E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>65</b>
<b>5. AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>65</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>

### **CAPÍTULO IV - ÁCIDO SALICÍLICO ALIVIA O EFEITO DO ESTRESSE SALINO NA MORFOFISIOLOGIA DA GRAVIOLEIRA**

<b>RESUMO .....</b>	<b>71</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>71</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>73</b>
<b>3. RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>78</b>
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>88</b>
<b>5. AGRADECIMENTO .....</b>	<b>88</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>88</b>

### **CAPÍTULO V - ÁCIDO SALICÍLICO MELHORA OS INDICADORES FISIOLÓGICOS DE GRAVIOLEIRA SOB ESTRESSE SALINO**

<b>RESUMO .....</b>	<b>95</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>95</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>96</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>97</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>102</b>
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>108</b>
<b>5. AGRADECIMENTO .....</b>	<b>108</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>109</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>115</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.....	39
<b>Tabela 2.</b> Consumo hídrico da gravioleira e condutividade elétrica média da água drenada por planta durante a condução do experimento (480 dias após transplântio).	41
<b>Tabela 3.</b> Recomendação de adubação mineral para gravioleira.....	43

### Capítulo III - Ácido salicílico como atenuador do estresse salino de gravioleira

---

<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	54
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância referente à taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> ( <i>A</i> ), condutância estomática ( <i>g<sub>s</sub></i> ), transpiração ( <i>E</i> ), concentração interna de CO <sub>2</sub> ( <i>C<sub>i</sub></i> ), eficiência instantânea da carboxilação ( <i>EiCi</i> ) e eficiência instantânea no uso da água ( <i>EiUA</i> ) de plantas de gravioleira irrigadas com águas salinas e submetidas a aplicação foliar de ácido salicílico, aos 180 dias após o transplântio.....	58
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância referente à altura de copa ( <i>AC</i> ), diâmetro de caule ( <i>DC</i> ) aos 210 e 270 dias após o transplântio ( <i>DAT</i> ) e taxa de crescimento relativo em altura de copa ( <i>TCR<sub>AC</sub></i> ) e do diâmetro de caule ( <i>TCR<sub>DC</sub></i> ) no período de 210 a 270 <i>DAT</i> , de plantas de gravioleira irrigadas com águas salinas e submetida à aplicação foliar de ácido salicílico.....	61

### Capítulo IV - Ácido salicílico alivia o efeito do estresse salino na morfofisiologia da gravioleira

---

<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	75
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância referente ao teor relativo de água ( <i>TRA</i> ) e a porcentagem de extravasamento de eletrólitos (% <i>EE</i> ) das células de gravioleira cv. Morada Nova cultivadas com águas salinas e aplicação foliar de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplântio.....	79

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância referente à concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*), transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), eficiência instantânea da carboxilação (*E<sub>i</sub>C<sub>i</sub>*) e eficiência instantânea do uso da água (*E<sub>i</sub>UA*) de gravioleira cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas e aplicação foliar de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplântio..... 82

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância referente ao diâmetro de caule (DC), altura de copa (AC), diâmetro de copa (D<sub>Copa</sub>), volume de copa (V<sub>copa</sub>) e índice de vigor vegetativo (IVV) de gravioleira irrigadas com águas salinas e aplicação foliar de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplântio..... 86

## **Capítulo V - Ácido salicílico melhora os indicadores fisiológicos de gravioleira sob estresse salino**

---

**Tabela 1.** Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos..... 99

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância referente à clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), clorofila total (Cl *t*) e carotenoides (Car) de gravioleira irrigadas com águas salinas e submetida à aplicação foliar de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplântio..... 102

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância referente a fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), fluorescência máxima (F<sub>m</sub>), fluorescência variável (F<sub>v</sub>) e eficiência quântica do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) de gravioleira irrigadas com águas salinas e submetida a aplicação foliar de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplântio..... 106

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo II - Metodologia e métodos gerais

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Quebra de dormência através do corte distal ao embrião.....	38
<b>Figura 2.</b> Emergência das plântulas e poda de formação realizada nas mudas de gravioleira. ....	39
<b>Figura 3.</b> Transplântio das mudas de gravioleira para os vasos adaptados como lisímetros de drenagem.....	40
<b>Figura 4.</b> Disposição das plantas no momento do início das aplicações foliares de ácido salicílico, aos 60 dias após o transplântio.....	42
<b>Figura 5.</b> Estrutura de metalon utilizado para evitar deriva do ácido salicílico.....	42

### Capítulo III - Ácido salicílico como atenuador do estresse salino de gravioleira

<b>Figura 1.</b> Temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental.....	53
<b>Figura 2.</b> Taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> – A (A), condutância estomática – <i>g<sub>s</sub></i> (B) e transpiração – <i>E</i> (C) de plantas de gravioleira, em função da interação entre salinidade da água - CEa e das concentrações de ácido salicílico; e concentração interna de CO <sub>2</sub> – <i>C<sub>i</sub></i> (D) em função da condutividade elétrica da água – CEa, aos 180 dias após o transplântio.....	58
<b>Figura 3.</b> Eficiência instantânea de carboxilação – <i>EiCi</i> de plantas de gravioleira, em função da interação entre salinidade da água - CEa e das concentrações de ácido salicílico, aos 180 dias após o transplântio.....	61
<b>Figura 4.</b> Altura de copa - AC (A) de gravioleira, em função da interação entre a condutividade elétrica da água - CEa e das concentrações de ácido salicílico, aos 210 e 270 dias após o transplântio - DAT; diâmetro de caule, aos 210 e 270 DAT - (C) e diâmetro de caule, aos 210 DAT (D), respectivamente em função da CEa e das concentrações do ácido salicílico.....	63

**Figura 5.** Taxa de crescimento relativo da altura de copa -  $TCR_{AC}$  (A) de gravioleira, em função da condutividade elétrica da água e em função das concentrações do ácido salicílico (B), no período de 210 a 270 dias após o transplântio..... 64

**Capítulo IV - Ácido salicílico alivia o efeito do estresse salino na morfofisiologia da gravioleira**

**Figura 1.** Temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental..... 74

**Figura 2.** Teor relativo de água – TRA de gravioleira cv. Morada Nova em função da condutividade elétrica da água - CEa (A) e das concentrações de ácido salicílico - AS (B); e superfície de resposta para a porcentagem de extravasamento de eletrólitos - % EE (C) em função da interação entre a CEa e as concentrações de AS, aos 480 dias após transplântio..... 80

**Figura 3.** Concentração interna de  $CO_2$  -  $C_i$  de gravioleira cv. Morada Nova em função da condutividade elétrica da água – CEa, aos 480 dias após transplântio..... 82

**Figura 4.** Superfície de resposta para condutância estomática -  $g_s$  (A), transpiração -  $E$  (B), taxa de assimilação de  $CO_2$  -  $A$  (C) e eficiência instantânea da carboxilação -  $EiC_i$  (D) de gravioleira cv. Morada Nova em função da interação entre a condutividade elétrica da água - CEa e as concentrações de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplântio..... 84

**Figura 5.** Eficiência instantânea do uso da água -  $EiUA$  de gravioleira cv. Morada Nova em função das concentrações de ácido salicílico – CEa, aos 480 dias após transplântio..... 85

**Figura 6.** Superfície de resposta para o diâmetro de caule (A), altura de copa (B), volume de copa (C) e índice de vigor vegetativo (D) de gravioleira cv. Morada Nova em função da interação entre a condutividade elétrica da água e as concentrações de ácido salicílico..... 87

## Capítulo V - Ácido salicílico melhora os indicadores fisiológicos de gravioleira sob estresse salino

---

- Figura 1.** Temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental. 98
- Figura 2.** Superfície de resposta para clorofila *a* – Cl *a* (A), clorofila *b* – Cl *b* (B), clorofila total – Cl *t* (C) e carotenoides - Car (D) de gravioleira cv. Morada Nova em função da interação entre a condutividade elétrica da água - CEa e as concentrações de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplântio..... 104
- Figura 3.** Fluorescência inicial – F<sub>0</sub> (A), fluorescência máxima – F<sub>m</sub> (B), fluorescência variável – F<sub>v</sub> (C) e eficiência quântica do fotossistema II - F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> (D) de gravioleira em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa, aos 480 dias após o transplântio..... 107

SILVA, A. A. R. Ácido salicílico na indução à tolerância da gravioleira ao estresse salino. 2022. 116p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem). Universidade Federal de Campina Grande. Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola. Campina Grande, PB.

## RESUMO

O uso de águas salinas no cultivo de gravioleira, na região semiárida do Nordeste brasileiro, pode ser viabilizado através da utilização de substâncias que possam atenuar os efeitos deletérios do estresse salino, como o ácido salicílico. Nesse contexto, objetivou-se com o presente estudo, avaliar o efeito da aplicação foliar de concentrações de ácido salicílico no crescimento e na fisiologia da gravioleira irrigada com águas salinas. O estudo conduzido em casa de vegetação em lisímetros de drenagem; através do delineamento de blocos casualizados e arranjo fatorial  $5 \times 4$ , com cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8-controle; 1,6; 2,4; 3,2 e 4,0  $\text{dS m}^{-1}$ ) e quatro concentrações de ácido salicílico - AS (0 -controle; 1,2; 2,4 e 3,6 mM), com três repetições e uma planta por parcela. As variáveis de crescimento e pigmentos fotossintéticos foram influenciadas de forma positiva, pela interação da condutividade elétrica da água de irrigação e das concentrações de ácido salicílico entre 1,0 e 2,0 mM. A aplicação foliar de ácido salicílico entre as concentrações de 1,4 e 1,6 mM amenizou os efeitos do estresse salino nas trocas gasosas da gravioleira. A aplicação foliar de ácido salicílico na concentração de 1,4 mM promoveu aumento nos teores de pigmentos fotossintéticos da gravioleira, quando irrigada com condutividades elétricas de até 1,5  $\text{dS m}^{-1}$ . Não houve interação significativa dos fatores em estudo sobre a fluorescência da clorofila *a* da gravioleira, contudo, a irrigação com água de condutividade elétrica de até 1,8  $\text{dS m}^{-1}$  não comprometeu a eficiência quântica do fotossistema II. A porcentagem de extravasamento de eletrólitos reduziu com a aplicação foliar de ácido salicílico até a concentração de 1,3 mM. A aplicação foliar de ácido de salicílico em concentrações maiores que 2,0 mM não é recomendada, tendo em vista que, intensifica os efeitos deletérios da salinidade da água de irrigação sobre o crescimento, as trocas gasosas, os pigmentos fotossintéticos e a porcentagem de extravasamento de eletrólitos.

**Palavras-chave:** *Annona muricata* L., estresse abiótico, salinidade, aclimação.

SILVA, A. A. R. Salicylic acid in the induction of soursop tolerance to salt stress. 2022. 116p. Thesis (Doctoral in Agricultural Engineering). Federal University of Campina Grande, Academic Unit of Agricultural Engineering. Campina Grande, PB.

### ABSTRACT

The use of saline water in soursop cultivation in the semi-arid region of Northeast Brazil can be made possible through the use of substances that can attenuate the deleterious effects of saline stress, such as salicylic acid. In this context, the objective of the present study was to evaluate the effect of foliar application of salicylic acid concentrations on the growth and physiology of soursop irrigated with saline water. The study was carried out in a greenhouse using drainage lysimeters; a randomized block design and a  $5 \times 4$  factorial arrangement were used, with five levels of electrical conductivity of the irrigation water - EC<sub>w</sub> (0.8-control; 1.6; 2.4; 3.2 and 4.0 dS m<sup>-1</sup>) and four concentrations of salicylic acid - AS (0 -control; 1.2; 2.4 and 3.6 mM), with three replications and one plant per plot. The growth variables and photosynthetic pigments were positively influenced by the interaction of the electrical conductivity of irrigation water and salicylic acid concentrations between 1.0 and 2.0 mM. The foliar application of salicylic acid between concentrations of 1.4 and 1.6 mM attenuated the effects of saline stress on the gas exchange of soursop. Foliar application of salicylic acid at a concentration of 1.4 mM increased the levels of photosynthetic pigments in soursop when irrigated with electrical conductivities of up to 1.5 dS m<sup>-1</sup>. There was no significant interaction of the factors under study on the fluorescence of chlorophyll a in soursop, however, irrigation with water of electrical conductivity up to 1.8 dS m<sup>-1</sup> did not compromise the quantum efficiency of photosystem II. The percentage of electrolyte leakage was reduced with foliar application of salicylic acid to a concentration of 1.3 mM. Foliar application of salicylic acid in concentrations greater than 2.0 mM is not recommended, as it intensifies the deleterious effects of irrigation water salinity on growth, gas exchange, photosynthetic pigments and the percentage of water extravasation. electrolytes.

**Key words:** *Annona muricata* L., abiotic stress, salinity, acclimatization.



## **CAPÍTULO I**

---

### **CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA**

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil tem se destacado como um dos maiores produtores de frutas no mundo, ocupando o terceiro lugar em produção, atrás apenas da China e Índia (Silva et al., 2019a). A região Nordeste possui condições edáficas, temperatura e luminosidade ideais para o cultivo de frutíferas de clima tropical, dentre elas, a gravioleira (*Annona muricata* L.) que tem ganhado espaço, principalmente, no Estado da Bahia, se sobressaindo por ser uma alternativa na geração de renda, em substituição das lavouras de cacau prejudicadas pela Vassoura de Bruxa do Cacaueiro (Lemos, 2014; Caliman et al., 2021).

Apesar de ser considerada uma cultura moderadamente tolerante à salinidade da água de irrigação e com produção considerável nos Estados do Nordeste do Brasil, a produtividade da gravioleira ainda é limitada pelo alto teor de sais presente na água de irrigação (Cavalcante et al., 2001; Veloso et al., 2022).

A região semiárida do Nordeste apresenta baixa pluviosidade anual e irregular, além da alta evapotranspiração, o que favorece o aumento nas concentrações de sais dissolvidos nos mananciais (Lima et al., 2022). Comumente, plantas cultivadas com água salina são induzidas a tensões osmóticas severas, podendo fazer com que, as raízes das plantas absorvam mais  $\text{Na}^+$ , provocando alteração na homeostase osmótica, toxicidade iônica e estresse oxidativo, causado pelo acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Sun et al., 2020).

A irrigação com águas salinas pode comprometer as atividades metabólicas e bioquímicas das plantas, inibindo seu potencial produtivo por meio da diminuição da condutância estomática, fotossíntese, síntese de proteínas, atividades enzimáticas e degradação de clorofila (Liang et al., 2018). A salinidade também pode modificar o transporte de elétrons, alterando a atividade do Fotossistema II, que é responsável pela oxidação das moléculas de água para produzir elétrons (Najar et al., 2019).

Em pesquisa desenvolvida por Veloso et al. (2022), a irrigação com condutividade elétrica acima de  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$  afetou negativamente as trocas gasosas e o crescimento da gravioleira. Já Capitulino (2020) verificou que, o incremento da condutividade elétrica da água de irrigação acima de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$  reduziu a síntese de clorofila da gravioleira. Contudo, as pesquisas se limitam aos efeitos do estresse salino na fase de mudas, sendo escassas informações sobre os efeitos na fase adulta da gravioleira.

Com a crescente necessidade de utilização de águas salinas na agricultura irrigada, são imprescindíveis estudos que viabilizem o emprego destas fontes hídricas. Neste contexto, a utilização do ácido salicílico surge como alternativa promissora para minimizar os

efeitos danosos causados pelos estresses abióticos, a exemplo da salinidade (Nazar et al., 2015).

O ácido salicílico é um composto fenólico natural, envolvido no crescimento da planta e em processos fisiológicos, como indução floral, abertura e fechamento estomático, absorção de íons, fotossíntese e transpiração (Zrig et al., 2021). O efeito benéfico do ácido salicílico, em diferentes espécies de plantas sob estresse salino pode surgir do seu papel na intensificação da atividade de enzimas antioxidantes e na proteção de danos às membranas (Esan et al., 2017).

Nos últimos anos, estudos relataram que, a pulverização foliar com ácido salicílico pode atenuar os efeitos deletérios causados pelo estresse salino em morango (Samadi et al., 2019), amêndoa (Mohammadi et al., 2020), uva (Ekbic et al., 2020), tâmara (Jasim & Ati, 2020) e laranja (Mahmoud et al., 2021). Todavia, ainda não existem informações sobre sua utilização na cultura da gravioleira cultivada sob irrigação com águas salinas

Entretanto, de acordo com Poór et al. (2019), o efeito benéfico da aplicação do ácido salicílico pode depender de vários fatores, incluindo a concentração, espécies vegetais analisadas, estágio de desenvolvimento da cultura e o método de aplicação. A julgar pela importância da gravioleira, é importante o estudo de estratégias que viabilizem a utilização de água salina em seu cultivo na região semiárida do Nordeste brasileiro.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar o efeito das concentrações de ácido salicílico na indução à tolerância da gravioleira cv. Morada Nova ao estresse salino sobre o crescimento e os índices fisiológicos.

### **2.2 Específicos**

- Avaliar o crescimento das plantas de graviola irrigadas com águas salinas e submetidas a concentrações de ácido salicílico, aplicadas via foliar;
- Analisar as alterações nas trocas gasosas e na fluorescência da clorofila *a* das gravioleira cv. Morada Nova, irrigadas com águas salinas e concentrações de ácido salicílico via pulverização foliar;
- Determinar os teores de pigmentos fotossintéticos, a porcentagem de extravasamento de eletrólitos e o teor relativo de água da gravioleira cv. Morada Nova cultivada sob diferentes condutividades elétricas da água de irrigação e concentrações de ácido salicílico.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Origem, aspectos botânicos e morfológicos da gravioleira

A gravioleira (*Annona muricata* L.) é uma cultura pertencente ao gênero *Annona*, da família Annonaceae, ordem Magnoliales e divisão Magnoliophyta, nativa das áreas tropicais da América Central, introduzida no Brasil pelos espanhóis e portugueses no Século XVI (Sánchez et. al., 2018).

Considerada um arbusto, a gravioleira em condições naturais, apresenta hábito de crescimento ereto, com altura média de 4 a 8 m na fase adulta, caule único e com ramificação assimétrica. A frutificação se inicia entre o terceiro e o quinto ano, e alcança o seu pleno desenvolvimento entre o sexto e o oitavo ano (Freitas, 1997). Já em condições de cultivo, a gravioleira é mantida com altura de 2,0 a 2,5 m, devido ao manejo de podas, o que possibilita proporcionar maior arejamento, luminosidade, reduzir problemas fitossanitários e facilitar as práticas culturais (Freitas, 2012).

As folhas de gravioleira apresentam pecíolo curto, oblongo-lanceoladas ou elípticas, medem 14 a 16 cm de comprimento e 5 a 7 cm na maior largura; as nervuras são pouco perceptíveis (Manica, 1997). As flores são hermafroditas e agrupadas de duas a quatro flores que emergem dos ramos e do tronco, com três sépalas verdes e seis pétalas arranjadas em dois verticilos (León, 2000).

O fruto é uma baga tipo sincarpo, pode apresentar formas variadas, ovoides, condiformes ou irregulares, com inúmeros carpelos verdes, vulgarmente denominados de “acúleos” ou “espinhos”. O peso dos frutos pode variar de 0,9 a 10 kg, possuem poupa branca, de cheiro forte e acre, quando verde se torna suave, agradável, sucosa, refrigerante, doce, ligeiramente ácida e um tanto cotonosa ao amadurecer (Jiménez-Zurita et al., 2016).

O sistema radicular possui abundantes raízes laterais e a pivotante com comprimento variando de 1,5 a 1,8 m (Pinto & Silva, 1994). No entanto, a raiz pivotante não é tão vigorosa e profunda quanto a de outras fruteiras tropicais, como a da mangueira (*Mangifera indica* L.). As sementes apresentam dormência exógena, provocada pela dureza de sua película externa, sendo necessária escarificação e/ou imersão em água fria durante 24 h para perfeita germinação. O espaçamento no plantio pode ser de 4,0 x 4,5 m até 8,0 x 8,0 m (Ramos, 1992). Estima-se que, o consumo hídrico da gravioleira esteja entre 1.000 e 1.200 mm por ano. Os conhecimentos dessas características são muito importantes para planejar as tomadas de decisão, quanto a adubação e ao manejo da cultura.

As três cultivares que dominam o mercado brasileiro são ‘Morada Nova’, ‘Lisa’ e ‘Blanca’, todas de origem colombiana. A preferida dos produtores é a cultivar Morada Nova, pois possui rendimento de polpa de até 40 kg por planta/ano, com frutos de forma redonda a cordiforme, polpa firme e sabor subácido a ácido. Outra característica muito importante é a maior tolerância ao ataque das brocas do fruto e do tronco (Pereira et al., 2011).

### **3.2. Aspectos econômicos**

A gravioleira é uma frutífera tropical que se destaca pelo potencial de comercialização no mercado interno, com relevante importância econômica e perspectivas para exportação, pela elevada aceitação dos frutos e polpa, resultando em crescente demanda para o consumo in natura e para o processamento agroindustrial (Cavalcante et al., 2016).

A importância econômica se espalha por diversos países, como Venezuela, Colômbia, Porto Rico, Costa Rica, México, Panamá, Jamaica, Cuba, Espanha, Índia, Honduras, Guiana, Suriname, Brasil, Peru, Senegal e Cingapura (Pereira et al. 2011). No ano de 2011, as maiores áreas plantadas no mundo encontraram-se, por ordem de relevância, no México, Brasil, Venezuela e Costa Rica. 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, e produtividade média de 10,39 t ha<sup>-1</sup> (SIAP-SAGARPA, 2018).

Nos últimos anos, o Brasil tem ocupado a segunda posição no ranking dos maiores produtores mundial de gravioleira, tornando-se uma das frutíferas de maior importância econômica brasileira, especialmente nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, com destaque para os Estados da Bahia, Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Pará. Apesar da escassez de informações sobre área plantada e comercialização da graviola, sabe-se que há expansão dos plantios no Brasil nos últimos anos, sobretudo, no Estado da Bahia, que detém 58,7% da área cultivada de gravioleira do país, com ênfase para as regiões do litoral sul e extremo sul do Estado, se tornando o maior produtor nacional, cuja área plantada georreferenciada é de 1.531 ha (IBGE, 2017).

A gravioleira é o 103º produto mais comercializado na CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo). No ano de 2017 chegou a 913,27 t de graviola. O fruto é ofertado durante todo ano, no entanto, a maior oferta ocorre no período de maio a outubro. Os frutos de graviola comercializadas no Entrepósito Terminal de São

Paulo são em grande parte dos municípios Guandú, e Teolândia, BA, responsáveis, respectivamente, por 67,22% e 10,40% do abastecimento de graviola da CEAGESP (CEAGESP, 2018).

O cultivo comercial da gravioleira se reveste de notável importância socioeconômica, em razão da geração de empregos e fixação de mão de obra, pois a produção além de destinada para a agroindústria, tem um volume expressivo comercializado como fruta fresca (Oliveira Neto et al., 2014).

No mercado nacional sua utilização para o consumo *in natura* e obtenção de polpa, suco, néctar e conservas acabam por aumentar o interesse comercial desta fruteira. O crescente interesse por parte da indústria de suco faz com que a graviola se torne promissora para exportação (Samarão et al., 2011), no entanto, a alta perecibilidade da graviola é um dos maiores entraves à comercialização da fruta fresca, visto que, a distância dos mercados consumidores e o reduzido tempo de prateleira podem ocasionar perdas econômicas elevadas. A grande maioria dos frutos é destinada ao processamento em agroindústrias (Campos et al., 2022).

Além da importância no mercado alimentício a gravioleira tem se sobressaído na indústria farmacêutica. Por ser uma fruteira rica em vitamina C, cálcio, carboidratos, água e substâncias com atividade antioxidante, as quais têm recebido grande atenção, pois auxiliam a proteger o organismo humano contra o estresse oxidativo, evitando e prevenindo uma série de distúrbios crônico-degenerativos (Yahia, 2010).

Ademais, nos últimos anos estudos fitoquímicos e farmacológicos das espécies de anonáceas têm se intensificado, o que está associado à descoberta das acetogeninas anonáceas (ACGs), uma classe de compostos naturais com ampla atividade biológica. A gravioleira produz esses compostos naturais em sua folha, caule, casca e semente das frutas (Moghadamtousi et al., 2015).

### **3.3. Disponibilidade e qualidade de água no semiárido do Nordeste brasileiro**

A região Nordeste abrange 18,27% do território brasileiro, ocupando uma área de 1.561,177,8 km<sup>2</sup>, dos quais 841.260,9 km<sup>2</sup> (53,9%) são caracterizados como semiárido nordestino, que sempre apresentou problemas socioeconômicos decorrentes da má distribuição temporal e espacial das precipitações (Barroso et al., 2011).

Uma característica marcante da região é que 85% da área está sobre rochas cristalinas impermeáveis, onde a água subterrânea se encontra nas fraturas das rochas, muitas vezes em pequenas quantidades e com qualidade inadequada para uso na irrigação. A escassez

de água gera o problema da falta de garantia de oferta hídrica, dado que, no semiárido ocorrem os fenômenos das secas e, em sua grande maioria, os rios não são perenes (Palácio et al., 2009).

As baixas precipitações pluviométricas e altas taxas de evaporação são comuns na região semiárida do Nordeste, contribuindo para o déficit hídrico e incremento nas concentrações salinas dos mananciais (Veloso et al., 2018), que na maioria das vezes, são as únicas fontes de águas utilizadas para irrigação. Desta forma, um dos grandes gargalos para a produção agrícola na região semiárida, é a baixa qualidade das águas utilizadas na irrigação, que via de regra possuem altas concentrações de sais (Sekhon et., 2020).

No estudo realizado por Medeiros (1992), avaliando a concentração dos principais sais nas fontes de água disponíveis para irrigação no Nordeste brasileiro, se constatou predominância de águas cloretadas, em especial, Na, Ca e Mg, na proporção de 7:2:1 em  $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ .

De acordo com Costa et al. (2005), as águas destinadas para irrigação devem ser avaliadas sob três aspectos, considerados importantes na determinação da qualidade agrônômica, são eles: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons.

A salinidade é o resultado da acumulação de sais na dissolução do solo, aumentando o potencial osmótico do solo, o que impede ou dificulta a absorção de água por parte da planta e ainda origina alterações na absorção seletiva de nutrientes (Lima et al., 2017). A sodicidade se refere ao acúmulo de íons de sódio (Na) presentes na água de irrigação e que eleva a percentagem de sódio trocável no solo; 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).

No que se refere à toxicidade, de acordo com Silva (2013), corresponde ao efeito de alguns íons (cloreto, sódio e boro) sobre as plantas, que quando encontrados em concentrações elevadas podem causar danos às culturas, reduzindo sua produção.

Deste modo, deve-se dar ênfase aos estudos que buscam alternativas viáveis para o uso de águas salinas na irrigação na região semiárida do Nordeste brasileiro, sobretudo, no cultivo da gravioleira.

### **3.4. Tolerância das plantas à salinidade**

Apesar da salinidade afetar negativamente as plantas, em virtude dos efeitos osmóticos e iônicos, as diversas espécies ou cultivares respondem de forma diferente quando expostas a essas condições. Para minimizar os efeitos deletérios do estresse salino, as



plantas desenvolvem estratégias fisiológicas, bioquímicas e morfológicas de aclimação e adaptação aos ambientes salinos. 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 que 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., 2018a).

Em plantas sensíveis, a salinidade manifesta-se por severas reduções no crescimento e distúrbios na permeabilidade da membrana, diminuição na absorção de água e nutrientes, redução da condutância estomática, fotossíntese e alterações na homeostase osmótica e iônica que podem reduzir em grande escala os rendimentos das culturas (Silva et al., 2019b).

A capacidade de sobrevivência das plantas sensíveis em condições de estresse salino é regida por mecanismos que conferem resistência ao estresse, eles são aspectos fundamentais para o crescimento das culturas, pois permitem que a planta possa suportar o estresse, envolvendo alta atividade metabólica sob estresse moderado e baixa com estresse severo (Willadino & Camara, 2010).

A tolerância das plantas à salinidade depende da habilidade delas em controlar o transporte de sais em cinco pontos específicos: 1- Seletividade no processo de absorção pelas células das raízes; 2- Carregamento do xilema preferencialmente com  $K^+$ , mais do que com  $Na^+$ ; 3- Remoção dos sais do xilema na parte superior das raízes, caule pecíolo ou bainhas foliares; 4- Retranslocação de  $Na^+ Cl^-$  no floema, garantindo a ausência de translocação para tecidos da parte aérea em processo de crescimento, e 5- Excreção de sais através de glândulas ou pelos vesiculares, presentes apenas na halófitas. A tolerância em glicófitas depende dos três primeiros mecanismos, sendo que eles ocorrem em diferentes graus, em função da espécie e/ou cultivar (Alvarenga et al., 2019).

Além disto, existem plantas que apresentam capacidade de acumular íons no vacúolo e solutos orgânicos de baixo peso molecular no citoplasma, a fim de baixar seu potencial hídrico a um patamar inferior ao do solo, permitindo um ajustamento osmótico a esse tipo de condição (Willadino & Camara, 2010).

Os solutos compatíveis constituem um pequeno grupo de substâncias de natureza química distinta, destacando-se: aminoácidos (prolina), compostos amônio-quaternários (glicina betaína), compostos sulfonium-terciário (DMSP – dimetilsulfoniopropionato), polióis (pinitol e manitol), açúcares solúveis (frutose e sacarose) ou poliméricos

(frutanas), além de poliaminas (putrescina, espermidina e espermina). Devem ser incluídas algumas enzimas que eliminam os radicais livres e proteínas que protegem a formação ou estabilidade de outras proteínas (Abdelrahman et al., 2018).

Outro fator que pode ser levado em consideração para caracterizar a tolerância das plantas à salinidade é o estado nutricional, visto que, incrementos na concentração NaCl na solução do solo prejudicam a absorção radicular de nutrientes, principalmente, de K e Ca, e interferem nas funções fisiológicas. A habilidade dos genótipos das plantas em manter altos teores de K e Ca e baixos níveis de Na dentro do tecido é um dos mecanismos-chaves que contribui para expressar a maior tolerância à salinidade. Na maioria dos casos, são capazes de manter altas relações  $K^+/Na^+$  nos tecidos (Dias & Blanco, 2016).

### **3.5.Efeito da salinidade nas plantas**

Quando expostas a um ambiente de estresse salino, as plantas têm seu metabolismo e atividades fisiológicas afetados negativamente, provocando uma série de alterações no crescimento e desenvolvimento das plantas, por causa do excesso de íons (especialmente os tóxicos,  $Na^+$  e  $Cl^-$ ) e déficit hídrico (Seido et al., 2019). Ademais, as plantas são atingidas pela salinidade em todos os níveis de organização: órgão, tecido e célula; por isso, a resposta à salinidade é complexa, envolvendo especificidades nos níveis de órgãos e células e variabilidade com estágio de desenvolvimento e idade (Kravchik & Bernstein, 2013).

Esses distúrbios são gerados devido aos efeitos osmóticos, iônicos e oxidativos. No entanto, eles comprometem as plantas em distintos graus de intensidade e depende de alguns fatores, como espécie, cultivar, estágio fenológico, tipos de sais, intensidade e duração do estresse salino, manejo cultural e irrigação, além das condições edafoclimáticas (Lima et al., 2017).

Em estudo desenvolvido por Veloso et al. (2018), com a gravioleira sob estresse salino e adubação nitrogenada, foi verificado que a irrigação com água de condutividade elétrica de até  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$  pode ser utilizada na fase de produção de mudas, pois não houve danos à qualidade das mudas da gravioleira cv. Morada Nova.

Silva et al. (2018b) estudando o crescimento e as trocas gasosas de mudas de gravioleira sob irrigação com água salina, constataram que, a salinidade da água a partir de  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  afetou as trocas gasosas e o crescimento das plantas de maneira negativa. Também foram percebidas reduções no crescimento da gravioleira em função do aumento no nível salino da água de irrigação por Veloso et al. (2019).

### **3.5.1 Efeito osmótico**

Quando se refere aos efeitos causados às plantas pela alta concentração de sais solúveis tanto no solo quanto na água de irrigação, é necessário voltar-se aos estudos para o componente osmótico, pois ele é de grande importância para absorção de água pela planta (Willadino & Camara, 2010).

A redução do potencial osmótico causado pela salinidade limita a disponibilidade de água para as plantas, resultando no fechamento estomático e, conseqüentemente, na redução na entrada de dióxido de carbono na câmara subestomática, que pode resultar em diminuição na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> pelos fatores estomáticos e não estomáticos, na homeostase iônica e, por conseguinte, na inibição do crescimento das plantas (Martins et al., 2019). Para que ocorra a absorção de água, as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores às forças com que a água é retida no solo, no entanto, a presença de sais na solução do solo aumenta as forças de retenção por causa do efeito osmótico, dando origem ao estresse hídrico (Dias & Blanco, 2016).

### **3.5.2 Efeito tóxico**

Quando certos íons do solo ou da água são absorvidos pelas plantas e acumulados em seus tecidos em altas concentrações a um ponto que possa provocar danos à cultura e reduzir seu rendimento, essas plantas sofrem por toxicidade (Silva, 2011). Geralmente, a maioria das culturas evolui em baixa salinidade do solo; assim, os mecanismos desenvolvidos para absorver, transportar e utilizar os nutrientes presentes em substratos não salinos podem não ser eficazes em condições salinas (Garcia et al., 2007).

A toxicidade nas plantas pode ser provocada por sódio, boro, bicarbonatos e cloretos que, em altas concentrações, favorecem distúrbios fisiológicos (Batista et al., 2002). Nestas condições de toxidez, a concentração dos íons de Na<sup>+</sup> e/ou de Cl<sup>-</sup> excedem com frequência as concentrações de macro e micronutrientes, reduzindo a absorção destes nutrientes minerais, especialmente o NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup> (Larcher, 2000).

Nos ambientes salinos o NaCl é, em geral, o sal que predomina e aquele que causa maiores danos às plantas. Em vista disto, o excesso de Na<sup>+</sup>, em especial, de Cl<sup>-</sup> no protoplasma, ocasiona distúrbios em relação ao balanço iônico, além dos efeitos específicos destes íons sobre as enzimas e membranas celulares (Flores, 1990).

Logo, os efeitos deletérios causados pela toxicidade nas plantas podem se expressar fisiologicamente propiciando reflexos morfológicos, dado que, a elevada concentração de íons no fluxo transpiratório provoca injúrias nas folhas, além da senescência precoce (Silva et al., 2008).

Os sintomas de toxidez por íons específicos nas folhas são relatados por Dias & Blanco (2016): a) o sintoma do cloreto é evidenciado pela queimadura do ápice das folhas atingindo as bordas em estágios mais avançados, promovendo queda prematura; b) os sintomas típicos do sódio surgem em forma de queimaduras ou necrose ao longo das bordas nas folhas mais velhas, progredindo na área internerval até o centro da folha, à medida que se intensifica; c) os sintomas causados pelo boro na folha se resumem em manchas amarelas ou secas nas bordas e no ápice das folhas velhas, estendendo-se pelas áreas internevais até o centro das folhas.

### **3.5.3 Efeito nutricional**

O desequilíbrio nutricional ocorre pela expressiva alteração nos processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta; por exemplo, o excesso de  $\text{Na}^+$  inibe a absorção de nutrientes, como o  $\text{K}^+$  e o  $\text{Ca}^{2+}$ . Além disso, o elevado pH encontrado em solo salino promove uma redução na disponibilidade de muitos micronutrientes, como cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (Farias et al., 2009).

A planta, ao ser exposta a um solo salino por muito tempo, expressa sintomas de fitotoxicidade iônica devido ao excesso na absorção de  $\text{Na}^+$  ou  $\text{Cl}^-$ , ocasionando desbalanço iônico, interferindo na condutância estomática, e também distúrbios nas atividades metabólicas em geral (Mansour & Salama, 2004).

Bosco et al. (2009) em pesquisa com a cultura da berinjela sob irrigação com águas salinas, notaram que, o estresse salino aumentou os teores dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas folhas, seguido da redução dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , refletindo o desequilíbrio nutricional como consequência do estresse salino progressivo, o qual também diminui a concentração de  $\text{K}^+$  e aumenta os teores de N,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  no caule.

### **3.6. Ácido Salicílico como elicitador de estresse salino**

O elicitador pode ser definido como uma substância que, quando aplicada em concentrações adequadas a um sistema vivo, induz ou melhora a biossíntese de compostos

que desempenham um papel importante na aclimação e/ou adaptação das plantas a condições estressantes. A elicitação consiste na síntese de metabólitos secundários pelas plantas, para garantir sua sobrevivência em condições adversas (Thakur et al., 2019).

Eles podem ser de origem biótica e abiótica. Os elicitores bióticos são substâncias de origem biológica geradas nos organismos vivos, a partir de patógenos ou pela própria planta (Patel & Krishnamurthy, 2013). Já os abióticos desencadeiam a síntese de fitoquímicos em plantas usando estímulos químicos ou físicos (Owolabi et al., 2018). Os elicitores abióticos são substâncias de origem não biológica, em especial, sais inorgânicos como Cu, Ca, íons Cd e fatores físicos como pH, metais pesados, estresse salino, estresse hídrico, luz, temperatura, frio e calor (Veersham, 2004).

A indução de mecanismos de defesa, que fortalece a tolerância ao estresse, pode ser desencadeada, não apenas de forma endógena, mas também exógena. Alguns compostos (naturais ou sintéticos) aplicados previamente em baixas concentrações podem levar a uma maior tolerância ao estresse e usados como agentes elicitores (Antonioni et al., 2016); dentre esses compostos destaca-se o ácido salicílico.

O ácido salicílico é um dos elicitores bióticos que tem se destacado na indução a tolerância ao estresse salino em diversas culturas, por exemplo, girassol (Noreen et al., 2017), cevada (Pirasteh-Anosheh et al., 2017), oliveira (Methenni et al. 2018) e tomate (Gharbi et al., 2018). O ácido salicílico pode aumentar a atividade da Rubisco e, absorção de potássio, aumentando o conteúdo de ATP e mantendo a ótima relação  $K^+/Na^+$  nas plantas, favorecendo uma melhor tolerância ao estresse salino (Lee et al., 2014). Ele reduz os danos oxidativos causados pelo estresse salino, por meio de atividades moduladoras das principais enzimas desintoxicantes de ERO (Horváth et al., 2015; Tari et al., 2015). Além disto, pode influenciar uma variedade de processos de desenvolvimento e fisiológicos como: crescimento, indução de flores, absorção de nutrientes, biossíntese de etileno, fechamento estomático, transpiração e fotossíntese (Methenni et al., 2018).

O efeito benéfico da aplicação do ácido salicílico pode depender de vários fatores, incluindo a concentração, espécies vegetais analisadas, estágio de desenvolvimento da cultura e o modo de aplicação (Poór et al., 2019). Em estudo desenvolvido por Lotfi et al. (2020) com a cultura do feijão mungo (*Vigna radiata* L.) sob estresse salino e aplicação de ácido salicílico, a concentração de 1 mM de ácido salicílico regulou a condutância estomática, o índice de clorofila e a fluorescência da clorofila *a* e, conseqüentemente, a

atividade do PSII das plantas, melhorando o acúmulo de  $K^+$  e diminuindo o  $Na^+$  nas folhas.

Também reduziu a absorção do  $Na^+$  e aumentou a captação de N, P, K, Ca e Mg, bem como, diminuiu os danos oxidativo e osmótico, aumentou as atividades das enzimas antioxidantes e os açúcares solúveis, proteínas e betaína glicina em plantas de soja (*Glycine max* L.) sob estresse salino (Farhangi-Abriz et al., 2018). De acordo com Samadi et al. (2019), a aplicação foliar do ácido salicílico na concentração de 100  $\mu$ M foi eficaz no alívio do estresse salino em morango, melhorando o funcionamento do PSII, a indução de osmólitos compatíveis e mitigando danos à membrana.

Pelo exposto, percebe-se que a pulverização foliar de ácido salicílico se mostra eficiente no processo de aclimatação de plantas em estresses ocasionados pela salinidade. Todavia, não há relatos na literatura sobre a utilização do ácido salicílico na cultura da gravioleira, por isso é muito importante a realização de estudos, no intuito de viabilizar alternativas que contribuam para a mitigação dos problemas advindos pela salinidade na cultura.

#### **4. REFERÊNCIAS**

- Abdelrahman, M.; Burritt, D. J.; Tran, L. S. P. The use of metabolomic quantitative trait locus mapping and osmotic adjustment traits for the improvement of crop yields under environmental stresses. *Seminars in Cell & Development Biology*, v. 83, n. 1 p. 86-94, 2018.
- Almeida, O. A. Qualidade de água de irrigação. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2010, 234p.
- Alvarenga, C. F.; Silva, E. M. D.; Nobre, R. G.; Gheyi, H. R.; Lima, G. S. de; Silva, L. A. Morfofisiologia de aceroleira irrigada com águas salinas sob combinações de doses de nitrogênio e potássio. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 1, p. 191-200, 2019.
- Antoniou, C.; Savvides, A.; Christou, A.; Fotopoulos, V. Unravelling chemical priming machinery in plants: the role of reactive oxygen–nitrogen–sulfur species in abiotic stress tolerance enhancement. *Current opinion in plant biology*, v. 33, n. 1, p. 101-107, 2016.
- Barroso, A. D. A.; Gomes, G. E.; Lima, A. E. O.; Palácio, H. A. Q.; Lima, C. A. D. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 6, p. 588-593, 2011.

- Batista, M. J.; Novaes, F.; Santos, D. G.; Suguino, H. H. Drenagem como Instrumento de Dessalinização e Prevenção da Salinização de Solos. 2.ed., rev. e ampliada. Brasília: CODEVASF, 216p, 2002.
- Bosco, M. R. O.; Oliveira, A. B.; Hernandez, F. F. F. Influência do estresse salino na composição mineral da berinjela. *Revista Ciência Agronômica*, v. 40, n. 2, p. 157-164, 2009.
- Caliman, M. E.; Silva, D. de C.; Pereira, J.; Bezerra, J. L. Biology and pathogenicity of *Prillieuxina winteriana* in soursop orchards in Bahia State, Brazil. *Summa Phytopathologica*, v. 47, n. 1, p. 27-33, 2021.
- Campos, C. de M. F.; Soares, A. K. de O.; Abreu, B. B. de; Morgano, M. A.; Moreira-Araújo, R. S. dos R. Development of functional cookies with Cerrado fruits and residues: sensory analysis, nutrients, and bioactive compounds. *Food Science and Technology*, v. 42, n. 1, e17621, 2022.
- Capitulino, J. D. Métodos de aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como atenuantes do estresse salino na produção de mudas de gravioleira. (Dissertação Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2020, 82p.
- Cavalcante, L. F.; Carvalho, S. S. de; Lima, E. M. de; Feitosa Filho, J. C.; Silva, D. A. Desenvolvimento inicial de graviola sob níveis de salinidade da fonte e da água. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 23, n. 2, p. 455-459, 2001.
- Cavalcante, L. F.; Rocha, L. F.; Silva, R. A. R.; Souto, A. G. L.; Nunes, J. C.; Cavalcante, Í. H. L. Produção e qualidade da graviola sob irrigação e cobertura do solo com resíduo de sisal. *Magistra*, v. 28, n. 1, p. 91-101, 2016.
- CEAGESP- Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. 2012. Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/produtos/graviola/>. Acesso em: 24 de jul. de 2021.
- 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, p. 151-161, 2016.
- Ekbic, H. B.; Ozcan, N.; Erdem, H. Impacts of salicylic acid treatments on salt resistance of some American grapevine rootstocks. *Fresenius Environmental Bulletin*, v. 29, n. 2, p. 685-692, 2020.
- Esan, A. M.; Masisi, K.; Dada, F. A.; Olaiya, C. O. Comparative effects of indole acetic acid and salicylic acid on oxidative stress marker and antioxidant potential of okra (*Abelmoschus esculentus*) fruit under salinity stress. *Scientia Horticulturae*, v. 216, n.

- 1, p. 278-283, 2017.
- Farhangi-Abriz, S.; Ghassemi-Golezani, K. How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants? *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 147, n. 1, p. 1010-1016, 2018.
- Farias, S. G. G. D.; Santos, D. R. D. U.; Freire, A. L. D. O. U. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de Gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt ex Steud) em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 5, p. 1499-1505, 2009.
- Flores, H. E.: Polyamines and plant stress. In: Alscher, R.G., Cumming, J.R. (ed.): *Responses in Plants: Adaptation and Acclimation Mechanism*. p. 217-239, 1990.
- Freitas, A. L. G. E. Caracterização da produção e do mercado da graviola (*Annona muricata* L.) no estado da Bahia. (Dissertação Mestrado). Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia, 2012, 173p.
- Freitas, G. B. Propagação, florescimento, frutificação e produção da gravioleira (*Annona muricata* L.). Viçosa: UFV, 1987. 87p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade federal de Viçosa, 1997.
- Garcia, G. O.; Ferreira, P. A.; Miranda, G. V. Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino. *IDESIA*. v. 25, n. 3, p. 93-106, 2007.
- Gharbi, E.; Lutts, S.; Dailly, H.; Quinet, M. Comparison between the impacts of two different modes of salicylic acid application on tomato (*Solanum lycopersicum*) responses to salinity. *Plant signaling & behavior*, v. 13, n. 1, e1469361, 2018.
- Horváth, E.; Brunner, S. Z.; Bela, K.; Papdi, C. S.; Szabados, L.; Tari, I.; Csiszár, J. Exogenous salicylic acid-triggered changes in the glutathione transferases and peroxidases are key factors in the successful salt stress acclimation of *Arabidopsis thaliana*. *Functional Plant Biology*, v. 42, n. 1, p. 1129-1140, 2015.
- Jasim, N. S.; Ati, M. A. A. Effect of salicylic acid on antioxidant enzymes and biochemical contents of date palm plantlets (*Phoenix dactylifera* L.) under salt stress conditions. *Indian Journal of Ecology*, v. 47, n. 2, p. 378-382, 2020.
- 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, n. 6, p. 1261-1270, 2016.



- Kravchik, M.; Bernstein, N. Effects of salinity on the transcriptome of growing maize leaf cells point at cell-age specificity in the involvement of the antioxidative response in cell growth restriction. *Kravchik and Bernstein BMC Genomics*, v. 14, n. 1, p. 24-36, 2013.
- Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*, Ed. RiMa Artes e Textos, São Carlos, 2000, p.531
- Lee, S. Y.; Damodaran, P. N.; Roh, K. S. Influence of salicylic acid on rubisco and rubisco activase in tobacco plant grown under sodium chloride in vitro. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 21, n. 5, p. 417-426, 2014.
- Lemos, E. E. P. A produção de anonáceas no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 36, n. 1, p. 77-85, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500009>.
- León, J. *Botánica de los cultivos tropicales*, 3ª. edición revisada y aumentada. San José, Costa Rica, IICA, p. 84-93, 2000.
- Liang, W.; Ma, X.; Wan, P.; Liu, L. Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and biophysical research communications*, v. 495, n. 1, p. 286-291, 2018.
- 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, n. 4, p. 757-774, 2017.
- 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, n. 4, p. 180-189, 2022.
- Lotfi, R.; Ghassemi-Golezani, K.; Pessarakli, M. Salicylic acid regulates photosynthetic electron transfer and stomatal conductance of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salinity stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 1, n. 1, e101635, 2020.
- Mahmoud, L. M.; Vincent, C. I.; Grosser, J. W.; Dutt, M. The response of salt-stressed Valencia sweet orange (*Citrus sinensis*) to salicylic acid and methyl jasmonate treatments. *Plant Physiology Reports*, v. 26, n. 1, p. 137-151, 2021.
- Manica, I. Taxonomia, morfologia e anatomia. In: SÃO JOSÉ, A. R. et al. (eds.). *Anonáceas, produção e mercado (pinha, graviola, atemóia e cherimólia)*. Vitória da Conquista: UESB. p. 20- 3, 1997.
- Mansour, M. M. F.; Salama, K. H. A. Cellular basis of salinity tolerance in plants. *Environmental and Experimental Botany*, v. 52, n. 2, p. 113-122, 2004.
- 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, n. 9, p. 662-668, 2019.
- 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 Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1992, 173p.
- Methenni, K.; Abdallah, M. B.; Nouairi, I.; Smaoui, A.; Zarrouk, M.; Youssef, N. B. Salicylic acid and calcium pretreatments alleviate the toxic effect of salinity in the Oueslati olive variety. *Scientia Horticulturae*, v. 233, n. 1, p. 349-358, 2018.
- 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, n. 7, p. 15625-15658, 2015.
- Mohammadi, H.; Imani, A.; Asghari, M. R.; Talaie, A. R. Exogenous Salicylic Acid Mitigates Adverse Effects of Salinity on some Photosynthesis-Related Parameters of Almond. *Journal of Agricultural Science and Technology*, v. 22, n. 2, p. 519-534, 2020.
- 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, n. 1, p. 88-97. 2019.
- Nazar, R.; Umar, S.; Khan, N. A.; Sareer, O. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. *South African Journal of Botany*, v. 98, n. 1, p. 84-94, 2015.
- Noreen, S.; Siddiq, A.; Hussain, K.; Ahmad, S.; Hasanuzzaman, M. Foliar application of salicylic acid with salinity stress on physiological and biochemical attributes of sunflower (*Helianthus annuus* L.) crop. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, v. 16, n. 1, p. 57-74, 2017.
- Oliveira Neto, E. A.; Santos, D. C.; Santos, Y. M. G. Agroindustrial utilization of soursop (*Annona muricata* L.) for production of liqueurs: Sensory evaluation. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 5, n. 1, p. 33-42, 2014.
- Owolabi, L. O.; Yupanqui, C. T.; Siripongvutikorn, S. Enhancing secondary metabolites (emphasis on phenolics and antioxidants) in plants through elicitation and metabolomics. *Pakistan Journal of Nutrition*, v. 17, n. 1, p. 411-420, 2018.

- Palácio, H. A. Q.; Neto, J. A. C.; Teixeira, A. dos S.; Andrade, E. M. Caracterização da potencialidade de uso das águas subterrâneas no vale do Trussu-CE. *Revista Ciência Agronômica*, v. 35, n. 1, p. 316–324, 2009.
- Patel, H.; Krishnamurthy, R. Elicitors in plant tissue culture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 2, n. 2, p. 60-65, 2013.
- Pereira, M. C. T.; Nietsche, S.; Costa, M. R.; Crane, J. H.; Corsato, C. D. A.; Mizobutsi, E. H. Anonáceas: pinha, atemoia e graviola. *Informe Agropecuário*, v. 32, n. 264, p. 26-34, 2011.
- Pinto, A. C. Q.; Silva, E. M. Graviola para exportação: aspectos técnicos da produção. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 41 p. (Série Publicações Técnicas FRUPEX; 7).
- Pirasteh-Anosheh, H.; Emam, Y.; Rousta, M. J.; Ashraf, M. Salicylic acid induced salinity tolerance through manipulation of ion distribution rather than ion accumulation. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 36, n. 1, p. 227-239, 2017.
- Poór, P.; Borbély, P. G.; Bódi, N.; Bagyánszki, M.; Görgényi, M. T. I. Effects of salicylic acid on photosynthetic activity and chloroplast morphology under light and prolonged darkness. *Photosynthetica*, v. 57, n. 1, p. 367-376, 2019.
- Ramos, V. H. V. Cultura da gravioleira (*Annona muricata* L.). In: *Fruticultura Tropical*. DONADIO, L. C.; MARTINS, A. B. G.; VALENTE, J. P. Jaboticabal: Funep, 1992. p. 127-157
- Samadi, S.; Habibi, G.; Vaziri, A. Effects of exogenous salicylic acid on antioxidative responses, phenolic metabolism and photochemical activity of strawberry under salt stress. *Plant Physiology*, v. 9, n. 2, p. 2685-2694, 2019.
- Samarão, S. S.; Rodrigues, L. A.; Martins, M. A.; Manhães, T. N.; Alvim, L. A. da M. Desempenho de mudas de gravioleira inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo não-esterilizado, com diferentes doses de fósforo. *Revista Acta Scientiarum Agronomy*, v. 33, n. 1, p. 81-88, 2011.
- Sánchez, C. F. B.; Lopes, B. E.; Teodoro, P. E.; Garcia, A. D. P.; Azevedo, L. P.; Silva, L. A.; Bhering, L. L. Genetic diversity among soursop genotypes based on fruit production. *Bioscience Journal*, v. 34, n. 1, p. 122-128, 2018.
- Seido, S. L.; Sousa, L. P.; Silva, M. J.; Donzeli, V. P.; Queiroz, S. O. P. Rizobactérias promotoras de crescimento em melão sob estresse salino. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 14, n. 1, e5623, 2019.
- Sekhon, K. S.; Kaur, A.; Thaman, S.; Sidhu, A. S.; Garg, N.; Choudhary, O. P.; Chawla, N. Irrigation water quality and mulching effects on tuber yield and soil properties in

- potato (*Solanum tuberosum* L.) under semi-arid conditions of Indian Punjab. *Field Crops Research*, v. 247, n. 1, e107544, 2020.
- 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. 2020.
- Silva, A. A. R. de; Lima, G. S. de; Veloso, L. L. de S. A.; Azevedo, C. A. V. de; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D.; Silva, L. de A. Hydrogen peroxide on acclimation of soursop seedlings under irrigation water salinity. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40 n. 4, p. 1441-1454, 2019a.
- Silva, A. A. R. da; Veloso, L. L. S. A.; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Capitulino, J. D. Growth and quality of soursop (*Annona muricata* L.) seedlings under saline stress and hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). *Australian Journal of Crop Science*, v. 13, n. 10, p. 1643-1649, 2019d.
- Silva, E. C.; Nogueira, R. J. M. C.; Araújo, F. P.; Melo N. F.; Azevedo Neto. Physiological responses to salt stress in Young umbu plants. *Environmental and Experimental botany*, v. 63, n. 1, p. 147-157, 2008.
- Silva, E. M.; 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, n. 11, p. 776-781, 2018b.
- Silva, I. N. Qualidade de água na irrigação. *Agricultura Científica no Semi Árido*, v. 7, n. 3, p. 1-15, 2011.
- Silva, J. E.; Paiva, E. P. D.; Leite, M. D. S.; Torres, S. B.; Souza Neta, M. L. D.; Guirra, K. S. Salicylic acid in the physiological priming of onion seeds subjected to water and salt stresses. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, n. 12, p. 919-924, 2019b.
- Silva, J. R. I.; Jardim, A. L. R. F.; Neto, J. B.; Leite, M. L. M. V.; Teixeira, V. I. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v. 11, n. 13, p. 127-139, 2018a.
- Silva, S. S. da; Lima, G. S. de; LIMA, V. L. A. de; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Lucena, R. C. M. Gas exchanges and production of watermelon plant under salinity management and nitrogen fertilization. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 49, e54822, 2019c.

- Silva, V. F. Avaliação da qualidade da água em barragem subterrânea no semiárido. (Dissertação Mestrado). Universidade Federal da Pernambuco, Caruaru. 2013, 85p.
- Sun, Y. L.; Wang, Y. H.; Deng, L. F.; Shi, X.; Bai, X. F. Moderate soil salinity alleviates the impacts of drought on growth and water status of plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, v. 67, n. 1, p. 153-161, 2020.
- Tari, I.; Csiszár, J.; Horváth, E.; Poór, P.; Takács, Z.; Szepesi, Á. The alleviation of the adverse effects of salt stress in the tomato plant by salicylic acid shows a time-and organ-specific antioxidant response. *Acta Biologica Cracoviensia s. Botanica*, v. 57, n. 1, p. 21-30, 2015.
- Thakur, M.; Bhattacharya, S.; Khosla, P. K.; Puri, S. Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, v. 12, n. 1, p. 1-12, 2019.
- Veersham, C. Elicitation: Medicinal Plant Biotechnology. CBS Publisher, v. 1, n. 1, p. 270-293, 2004.
- Veloso, L. L. de S. A.; Azevedo, C. A. V. de; Silva, A. A. R. da; Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Nóbrega, R. A.; Lucena, R. C. M. Effects of saline water and exogenous application of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) on Soursop (*Annona muricata* L.) at vegetative stage. *Australian Journal of Crop Science*, v. 13, n. 3, p. 472, 2019.
- Veloso, L. L. de S. A.; Nobre, R. G.; Lima, G. S. de; Barbosa, J. L.; Melo, E. M.; Gheyi, H. R.; Gonçalves, E. B.; Souza, C. M. A. Quality of soursop (*Annona muricata* L.) seedlings under different water salinity levels and nitrogen fertilization. *Australian Journal of Crop Science*, v. 12, n. 1, p. 306-310, 2018.
- 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, n. 2. p. 119-125, 2022.
- Willadino, L.; Camara, T. R. L; Tolerância das plantas à salinidade: Aspectos Fisiológicos e Bioquímicos. *Enciclopédia Biosfera*, v. 6, n. 11; p.21, 2010.
- Yahia, E. M. The contribution of fruit and vegetable consumption to human health. In L. A. Rosa, E. Alvarez-Parrilla, & G. A. Gonzalez-Aguilara (Eds.), *Fruit and vegetable phytochemicals chemistry nutritional value and stability*. Wiley- Blackwell: Hoboken, 2010.

Zrig, A.; AbdElgawad, H.; Touneckti, T.; Mohamed, H. B.; Hamouda, F.; Khemira, H.  
Potassium and calcium improve salt tolerance of *Thymus vulgaris* by activating the  
antioxidant systems. *Scientia Horticulturae*, v. 277, n. 1, e109812, 2021.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109812>.

## **CAPÍTULO II**

---

### **MATERIAL E MÉTODOS GERAL**

## **1. MATERIAL E MÉTODOS GERAL**

### **1.1. Local do experimento**

O experimento foi desenvolvido no período de junho de 2018 a dezembro de 2020 em ambiente protegido (casa de vegetação), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UAEA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, localizada 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. De acordo com a classificação climática Köppen, a região 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).

### **1.2. Delineamento experimental e tratamentos**

Os tratamentos consistiram de cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8 - controle; 1,6; 2,4; 3,2 e 4,0 dS m<sup>-1</sup>) e quatro concentrações de ácido salicílico - AS (0 - controle; 1,2; 2,4 e 3,6 mM), no arranjo fatorial 5 × 4, distribuídos em blocos casualizados, com três repetições, perfazendo o total de 60 unidades experimentais. As concentrações de ácido salicílico (AS) foram estabelecidas de acordo com estudo desenvolvido por Abbaszadeh et al. (2020) e os níveis salinos da água baseados em Veloso et al. (2018). As concentrações de ácido salicílico foram aplicadas através de pulverizações foliares.

### **1.3. Material genético e formação das mudas**

A escolha da cultivar de gravioleira Morada Nova se deu por ser a mais apreciada pelos produtores, compondo a maioria das plantações comerciais no Brasil, além de possuir frutos maiores, que podem pesar até 15 kg, e maior produção em comparação às demais cultivares (São José et al. 2014).

As mudas formadas através de sementes adquiridas de um pomar comercial do município de Sousa, PB (coordenadas geográficas locais 06° 45' 33'' latitude S, 38° 13' 41'' de longitude W e altitude média de 220 m). As sementes foram extraídas manualmente; posteriormente, lavadas, secas ao ar e a quebra de dormência feita através do corte distal ao embrião (Figura 1), conforme metodologia proposta por Mendonça et al. (2007).





**Figura 1.** Quebra de dormência através do corte distal ao embrião

Para formação das mudas foram usadas sacolas plásticas com capacidade de 3 dm<sup>3</sup> de solo, perfuradas lateralmente para permitir a livre drenagem, dispostas em bancada de madeira, com 0,8 m de altura. As sacolas foram preenchidas com 2,6 kg de um substrato composto por solo (84%), areia (15%) e húmus (1%).

Antes da sementeira, o substrato foi colocado em capacidade de campo com água de abastecimento local (CEa = 0,38 dS m<sup>-1</sup>). O semeio ocorreu colocando-se duas sementes por sacola plástica, na profundidade de 1,5 cm; após a emergência das plantas, foi realizado o desbaste aos 45 dias após o semeio, deixando apenas a planta mais vigorosa. No decorrer da emergência das plântulas, o substrato se manteve com a umidade próximo à capacidade máxima de retenção de água.

A etapa de formação das mudas teve uma duração de 330 dias, em seguida feita uma poda de formação com 50 cm de altura (Figura 2), com o objetivo de determinar a arquitetura da copa. Logo após, as mudas foram transplantadas para os lisímetros.



**Figura 2.** Emergência das plântulas e poda de formação realizada nas mudas de gravioleira

#### 1.4. Implantação e condução do experimento

As gravioleiras foram cultivadas em vasos adaptados como lisímetros de drenagem de 120 L de capacidade; 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.

O material de solo utilizado no preenchimento dos lisímetros foi um Neossolo Regolítico de textura franco-arenosa (profundidade de 0-30 cm), procedente do município de Lagoa Seca - PB. Os atributos químicos e físicos do solo (Tabela 1) foram determinados conforme metodologia proposta por Teixeira et al. (2017).

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

Características químicas									
pH (H <sub>2</sub> O) (1:2,5)	M.O (dag kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	PST (%)	CEes (dS m <sup>-1</sup> )
.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) .....									
5,90	1,36	6,80	0,22	0,16	2,60	3,66	1,93	1,87	1,0
Características físico-hídricas									
Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Classe textural	Umidade (kPa)		AD	Porosidade total %	DA	DP
Areia	Silte	Argila		33,42*	1519,5**				
732,9	142,1	125,0	FA	11,98	4,32	7,66	47,74	1,39	2,66

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; CEes – Condutividade elétrica do extrato de saturação; FA – Franco Arenoso; AD – Água disponível; DA- Densidade aparente; DP- Densidade de partículas; \* - Capacidade de campo; \*\* - Ponto de murchamento

O transplântio das mudas para os lisímetros (Figura 3) transcorreu em junho de 2019; durante o período de aclimação das mudas na casa de vegetação (60 dias), as plantas foram irrigadas com água de baixa salinidade (0,4 dS m<sup>-1</sup>) e em seguida, iniciou-se a aplicação dos tratamentos.



**Figura 3.** Transplântio das mudas de gravioleira para os vasos adaptados como lisímetros de drenagem

#### 1.4.1. 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 e 4,0  $\text{dS m}^{-1}$ ) passaram por preparação dissolvendo os sais NaCl,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , na proporção equivalente a 7:2:1, entre Na:Ca:Mg, respectivamente, em água de abastecimento local (CEa = 0,38  $\text{dS m}^{-1}$ ). 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, extraída de Richards (1954), conforme a Eq. 1:

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

Onde:

Q - quantidade de sais ( $\text{mmolc L}^{-1}$ ); e,

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

Aos 75 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 e evitar o acúmulo excessivo de sais no solo, sendo a quantidade a ser aplicada de acordo com a necessidade hídrica das plantas, estimada pelo balanço de água, cujo volume foi estipulado pela Eq. 2:

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

Onde:

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 0,15, aplicada a cada 30 dias.

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 da gravioleira e condutividade elétrica média da água drenada (CEad) por planta durante a condução do experimento (480 dias após transplântio), para os diferentes tratamentos de salinidade da água de irrigação (CEa).

CEa (dS m <sup>-1</sup> )	Consumo hídrico (L por planta)	Consumo hídrico* (mm por planta)	CEad (dS m <sup>-1</sup> )
0,8	245,9	1546,2	7,61
1,6	223,9	1407,8	9,54
2,4	201,2	1265,1	11,58
3,2	175,3	1102,2	14,07
4,0	160,0	1006,0	17,18

\* Lâmina calculada levando em consideração a área do lisímetro (0,15904 m<sup>2</sup>)

#### 1.4.2. Preparo e aplicação das concentrações de ácido salicílico

As concentrações de ácido salicílico foram obtidas mediante diluição do produto em 30% de álcool etílico (95,5%), por se tratar de uma substância de baixa solubilidade em água à temperatura ambiente. Para diminuir a tensão superficial das gotas na superfície foliar foi inserido no preparo da solução, o adjuvante Wil fix na concentração de 0,5 mL L<sup>-1</sup> de solução.

As aplicações foliares de ácido salicílico tiveram início aos 60 dias após o transplântio (Figura 4), com pulverizações nas faces abaxial e adaxial das folhas, em intervalos de 30 dias, entre às 17:00 e 17:45 horas por meio de um pulverizador costal da Jacto, modelo Jacto XP, com capacidade de 12 L, possuindo pressão de trabalho (máxima) de 88 psi (6



bar) e Bico JD 12P; o volume médio aplicado por planta foi de 400 mL. Durante a condução do experimento foram realizadas quinze aplicações.



**Figura 4.** Disposição das plantas no momento do início das aplicações foliares de ácido salicílico, aos 60 dias após o transplântio

Para evitar a deriva do ácido salicílico durante a aplicação foliar nas plantas, foi confeccionada uma estrutura de metalon galvanizado e colocada uma cortina plástica, conforme a Figura 5.



**Figura 5.** Estrutura de metalon utilizada para evitar deriva do ácido salicílico

### 1.4.3. Manejo de adubação

As adubações com nitrogênio, fósforo e potássio tiveram como base a metodologia proposta por Cavalcante (2008) para a cultura da gravioleira (Tabela 3). 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.

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

ADUBAÇÃO	N (g por planta)	P resina (mg dm <sup>-3</sup> )			K solo (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		
		< 9	9 a 15	> 15	<0,08	0,08 a 0,15	> 0,15
		(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - g por planta)			(K <sub>2</sub> O - g por planta)		
Plantio	-	80	60	40	60	40	20
1 ano	50	-	-	-	70	40	20
2 ano	100	80	60	40	60	40	20

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: N (15%); P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (15%); K<sub>2</sub>O (15%); 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.

#### 1.4.4. Manejo de poda e fitossanitário

Antes do transplântio decorreu a primeira poda de formação, que consistiu na condução em haste única da planta, deixando a primeira ramificação a 50 cm da superfície do solo, em seguida, foram deixados três ramos bem localizados em diferentes alturas, distribuídos simetricamente em espiral. Estes, denominados ramos primários, formaram a estrutura base da copa e foram podados quando atingiram 50 cm de comprimento, de modo a estimular a brotação de ramos secundários e controlar o crescimento lateral. Através da poda de limpeza retirou-se os ramos emitidos próximos ao solo e aqueles com crescimento lateral anormal, evitando problemas de entrelaçamento de galhos, além de manter uma copa bem arejada, que possibilitasse a penetração da luz solar, do mesmo modo foram retirados os galhos secos e praguejados.

Durante a condução do experimento, foram realizados tratos culturais como capina, escarificação do solo e controle fitossanitários preconizados para a cultura, monitorando o surgimento de pragas e doenças, adotando-se medidas de controle quando necessário.

## 1.5. Variáveis analisadas

### 1.5.1. Avaliações de crescimento

Aos 210, 270 e 480 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 medido a 3 cm do colo da planta, com auxílio de um paquímetro digital; o DCopa indicado pela média do diâmetro da copa na direção da linha (DL) e na direção da entrelinha (DE); o volume da copa (VCopa) e o índice de vigor vegetativo (IVV) foram calculados a partir da metodologia descrita por Portella et al. (2016), conforme as equações 3 e 4, respectivamente.

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

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

Onde:

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

IVV - índice de vigor vegetativo;

AC - altura da copa;

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 270 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.

$$TCR = \frac{(\text{Ln}A_2 - \text{Ln}A_1)}{(T2 - T1)} \quad (5)$$

Onde:

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.

## **1.5.2. Avaliações fisiológicas**

### **1.5.2.1. Trocas gasosas**

As trocas gasosas foram avaliadas aos 180 e 480 DAT através do equipamento portátil de medição de fotossíntese “LCPro+” da ADC Bio Scientific Ltda, operando com controle de temperatura a 25 °C, irradiação de 1200  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , estabelecidas por meio da curva de resposta fotossint\u00e9tica \u00e0 luz e determina\u00e7\u00e3o do ponto de satura\u00e7\u00e3o fotossint\u00e9tica por luz e fluxo de ar de 200  $\text{mL min}^{-1}$  e em n\u00edvel de  $\text{CO}_2$  do ambiente, avaliadas na terceira folha, contadas a partir do \u00e1pice, obtendo-se as seguintes vari\u00e1veis: Taxa de assimila\u00e7\u00e3o de  $\text{CO}_2$  -  $A$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpira\u00e7\u00e3o -  $E$  ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condut\u00e2ncia estom\u00e1tica -  $g_s$  ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e concentra\u00e7\u00e3o 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 efici\u00eancia instant\u00e2nea no uso da \u00e1gua -  $EiUA$  ( $A/E$ ) [ $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ ] e a efici\u00eancia instant\u00e2nea da carboxila\u00e7\u00e3o -  $A/C_i$  ( $EiC_i$ ).

### **1.5.2.2. Fluoresc\u00eancia da clorofila *a***

A fluoresc\u00eancia da clorofila *a* foi determinada aos 480 DAT na mesma folha em que foram identificadas as trocas gasosas, utilizando-se um Fluor\u00f4metro de pulso modulado, modelo OS5p da Opti Science; com o protocolo  $F_v/F_m$ , para se chegar as vari\u00e1veis de indu\u00e7\u00e3o de fluoresc\u00eancia: fluoresc\u00eancia inicial ( $F_o$ ), m\u00e1xima ( $F_m$ ) e vari\u00e1vel ( $F_v = F_m - F_o$ ) e efici\u00eancia qu\u00e2ntica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) (S\u00e1 et al., 2015). Tal protocolo foi realizado ap\u00f3s adapta\u00e7\u00e3o das folhas ao escuro por um per\u00edodo de 30 min, com um clipe do equipamento, de modo a garantir que todos os aceptores estivessem oxidados, ou seja, com os centros de rea\u00e7\u00e3o abertos.

### **1.5.2.3. Pigmentos fotossint\u00e9ticos**

Os pigmentos fotossint\u00e9ticos (clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides) foram quantificados seguindo o m\u00e9todo laboratorial desenvolvido por Arnon (1949), em que foram feitos extratos vegetais a partir de amostras de discos do limbo da terceira folha madura a partir do \u00e1pice. A partir deles foram determinadas as concentra\u00e7\u00f5es de clorofila



e carotenoides nas soluções por meio de espectrofotômetro no comprimento de onda de absorvância (ABS) (470, 647 e 663), por meio das seguintes equações:

$$Cl\ a = (12,25 \times ABS_{663}) - (2,79 \times ABS_{647}) \quad (6)$$

$$Cl\ b = (21,5 \times ABS_{647}) - (5,10 \times ABS_{663}) \quad (7)$$

$$Cl\ t = (7,15 \times ABS_{663}) + (18,71 \times ABS_{647}) \quad (8)$$

$$Car = \frac{|(1000 \times ABS_{470}) - (1,82 \times Cl\ a) - (85,02 \times Cl\ b)|}{198} \quad (9)$$

Onde:

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).

#### 1.5.2.4 Porcentagem de extravasamento de eletrólitos

Para porcentagem de extravasamento de eletrólitos (% EE) utilizou-se um perfurador de cobre para obter cinco discos foliares com área de 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 90 min, em seguida, aferida a condutividade elétrica inicial do meio (Xi) usando condutivímetro de bancada (MB11, MS Techonopon®). Logo depois, os erlenmeyers® foram submetidos à temperatura de 90 °C, por 90 min, em estufa de secagem (SL100/336, SOLAB®) e, após resfriamento do conteúdo, aferiu-se a condutividade elétrica 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 min a 90° C, conforme metodologia proposta por Scotti-Campos et al. (2013), considerando-se a Eq. 10:

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

Onde:

% EE - porcentagem de extravasamento de eletrólitos;

X<sub>i</sub> - condutividade elétrica inicial; e,

X<sub>f</sub> - condutividade elétrica final.

#### 1.5.2.5. Teor relativo de água

O teor relativo de água (TRA) foi determinado aos 480 dias após o semeio, para tanto, 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 e acondicionadas por 90 min. 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 à temperatura de  $65 \pm 3$  °C, até peso constante para obtenção da massa seca (MS) das amostras. Já para o TRA utilizou-se os parâmetros de Lima et al. (2015), considerando-se a Eq. 11:

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

Onde:

TRA - teor relativo de água (%);

MF - massa fresca de folha (g);

MT - massa túrgida (g); e,

MS - massa seca (g).

#### 1.6. Análise estatística

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 (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 TableCurve 3D para a obtenção das superfícies de resposta.

## 2. REFERÊNCIAS

- Abbaszadeh, B.; Layeghhaghighi, M.; Azimi, R.; Hadi, N. Improving water use efficiency through drought stress and using salicylic acid for proper production of *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, v. 144, n. 1, e111893, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111893>.
- Arnon, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, v.24, p.1-15, 1949. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>.
- Benincasa, M. M. P. Análise de crescimento de plantas, noções básicas. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.
- Cavalcante, F. J. A. Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3.ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008.
- Ferreira, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.
- 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, n. 13, p. 1581-1594, 2015. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9606>.
- 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 Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1992, 173p.
- Mendonça, V.; Ramos, J. D.; Pio, R.; Gontijo, T. C. A.; Tosta, M. S. Superação de dormência e profundidade de semeadura de sementes de gravioleira. *Revista Caatinga*, v. 20, n. 2, p.73-78, 2007.
- Richards, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: U.S, Department of Agriculture. 1954. 160 p.
- 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. <https://doi.org/10.14295/CS.v6i4.1121>.

- 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, n. 1, p. 1002-1013, 2013. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i12.16733>.
- 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. S. A.; Nobre, R. G.; Lima, G. S.; Barbosa, J. L.; Melo, E. N.; Gheyi, H. R.; Goncalves, E. B.; Souza, C. M. A. Quality of soursop (*Annona muricata* L.) seedlings under different water salinity levels and nitrogen fertilization. *Australian Journal of Crop Science*, v. 12, n. 2, p. 306-310, 2018. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.02.pne892>.
- 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 trifoliateiro 'Flying Dragon' e limoeiro 'Cravo' em fase de formação do pomar. *Bragantia*, v. 75, n. 1, p. 70-75, 2016. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.267>.

### **CAPÍTULO III**

---

## **ÁCIDO SALICÍLICO COMO ATENUADOR DO ESTRESSE SALINO NA GRAVIOLEIRA**

*Artigo publicado na Revista Caatinga, v. 33, n. 4, p. 1092-1101, 2020*

## ÁCIDO SALICÍLICO COMO ATENUADOR DO ESTRESSE SALINO DE GRAVIOLEIRA

**RESUMO:** A busca por alternativas que possibilitem o uso de águas salinas na agricultura tem se tornado constante. Neste contexto, objetivou-se avaliar os efeitos do ácido salicílico na mitigação do estresse salino no crescimento e nas trocas gasosas da gravioleira cv. Morada Nova. O estudo foi conduzido em casa de vegetação, no município de Campina Grande - PB. Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, em arranjo fatorial  $5 \times 4$ , sendo cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,8; 1,6; 2,4; 3,2 e 4,0  $\text{dS m}^{-1}$ ) e quatro concentrações de ácido salicílico – AS (0; 1,2; 2,4 e 3,6 mM), com três repetições e uma planta por parcela. A aplicação foliar de ácido salicílico entre as concentrações de 1,0 e 2,0 mM induziu a tolerância ao estresse salino da gravioleira quando irrigadas com CEa até 1,6  $\text{dS m}^{-1}$ , visto que, as plantas tiveram seu crescimento, transpiração, condutância estomática, fotossíntese e eficiência instantânea da carboxilação beneficiadas pela aplicação do ácido salicílico.

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

## SALICYLIC ACID INDUCES TOLERANCE TO SALT STRESS IN SOURSOP

**ABSTRACT:** The search for alternatives that enable the use of saline waters in agriculture has become constant. In this context, the aim of this study was to evaluate the effects of salicylic acid concentrations on inducing tolerance to salt stress on growth and gas exchange in the soursop cv. 'Morada Nova'. The study was conducted in a greenhouse, in the municipality of Campina Grande - PB. The treatments were distributed in a randomized block design, in a  $5 \times 4$  factorial arrangement, with five levels of electrical conductivity of the irrigation water - ECw (0.8; 1.6; 2.4; 3.2 and 4.0  $\text{dS m}^{-1}$ ) and four concentrations of salicylic acid - AS (0; 1.2; 2.4 and 3.6 mM), with three replications. Foliar application of salicylic acid between concentrations of 1.0 and 2.0 mM induced salt stress tolerance in soursop when irrigated with ECw up to 1.6  $\text{dS m}^{-1}$ , since the plants had their growth, transpiration, stomatal conductance, photosynthesis and instantaneous efficiency of carboxylation benefited by the application of salicylic acid.

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

## 1. INTRODUÇÃO

A gravioleira (*Annona muricata* L.) é uma frutífera pertencente à família Annonaceae, nativa das áreas tropicais da América Central, introduzida no Brasil pelos espanhóis e portugueses no Século XVI (Sánchez et al., 2018). O seu cultivo comercial é recente, entretanto, a sua produção aumentou nos últimos anos, em função do avanço da agroindústria e pela utilização na indústria farmacêutica (São José et al., 2014; Bento et al., 2016). Como é fonte de vitamina C, cálcio, carboidratos e de substâncias antioxidantes como acetogeninas, alcaloides e flavonóides, a graviola auxilia na proteção do organismo humano contra o estresse oxidativo, atuando na prevenção de uma série de distúrbios crônicos degenerativos (Dauda et al., 2018).

Por causa do crescimento populacional e o aumento na demanda por alimentos, ocorre redução na disponibilidade de água tanto em termos quantitativos como qualitativos, fazendo-se necessário o uso de águas de qualidade inferior, como águas com elevadas concentrações de sais (Rodrigues et al., 2020). Contudo, a salinidade é uma das ameaças potenciais para agricultura, principalmente, em regiões semiáridas (Khan et al., 2019).

O excesso de sais na água inibe o crescimento das plantas em razão de fatores como estresse osmótico, toxicidade de íons ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ), e oxidativo, ocasionando degradação de pigmentos, alteração de vias metabólicas, inibição da fotossíntese e da absorção de nutrientes (Bistgani et al., 2019; Magalhães et al., 2020). Silva et al. (2018) avaliando o crescimento e as trocas gasosas de mudas de gravioleira sob irrigação com água salina, constataram que, a salinidade da água a partir de  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  afetou negativamente as trocas gasosas e o crescimento das plantas. Reduções no crescimento da gravioleira em função do aumento no nível salino da água de irrigação também foram identificados por Veloso et al. (2019).

Desta forma, se faz necessário buscar estratégias que possibilitem o cultivo de gravioleira, dentre essas alternativas destaca-se a utilização de substâncias elicitoras, como ácido salicílico, que atua na melhoria da eficiência dos processos metabólicos, resultando na aclimatação aos estresses abióticos, incluindo o estresse salino e hídrico (Silva et al., 2019a; Andrade et al., 2020).

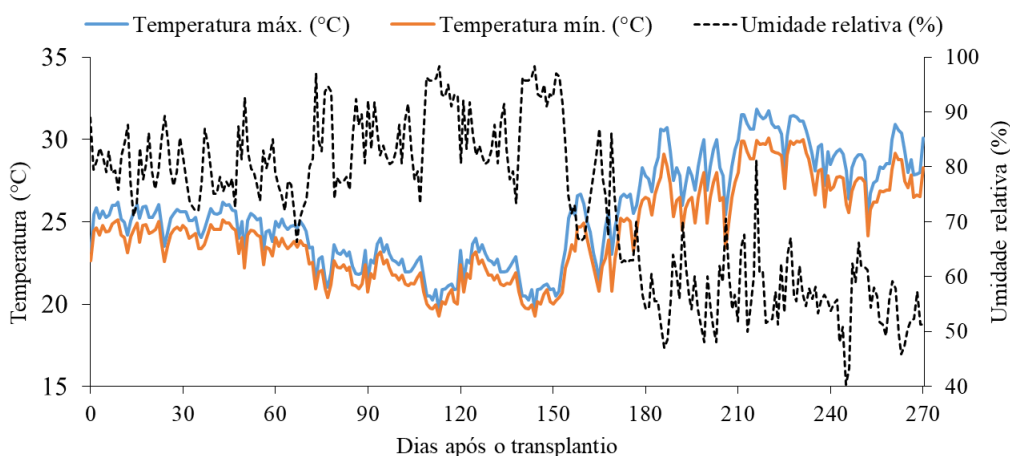
O ácido salicílico é um hormônio vegetal que desempenha diversos papéis fisiológicos nas plantas, incluindo crescimento, indução de flores, absorção de nutrientes, biossíntese de etileno, fechamento estomático e fotossíntese. Além disso, aumenta a atividade de enzimas antioxidantes como peroxidases, superóxido dismutases e catalases (Szepesi, 2008). Alguns estudos relatam que, a aplicação exógena de ácido salicílico pode aumentar

a tolerância ao estresse salino em girassol (Noreen et al., 2017), cevada (Pirasteh-Anosheh et al., 2017) e tomate (Gharbi et al., 2018). Entretanto, não há informações sobre sua utilização na cultura da gravioleira cultivada sob irrigação com águas salinas.

É preciso considerar também que, o efeito do ácido salicílico depende de vários fatores, como por exemplo, a concentração, espécie vegetal, estágio de desenvolvimento e o modo de aplicação (Poór et al., 2019). Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo, avaliar o efeito de concentrações de ácido salicílico na mitigação do estresse salino no crescimento e nas trocas gasosas da gravioleira cv. Morada Nova.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em ambiente protegido (casa de vegetação) pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UAEEA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, localizado 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 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.

Os tratamentos consistiram de cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8; 1,6; 2,4; 3,2 e 4,0 dS m<sup>-1</sup>) e quatro concentrações de ácido salicílico - AS (0; 1,2; 2,4 e 3,6 mM), no arranjo fatorial 5 × 4, distribuídos em blocos casualizados, com três repetições, perfazendo o total de 60 unidades experimentais. As concentrações



de ácido salicílico (AS) foram estabelecidas de acordo com estudo desenvolvido por Abbaszadeh et al. (2020).

A cultivar de gravioleira Morada Nova, foi escolhida por ser a mais apreciada pelos produtores, compondo a maioria das plantações comerciais no Brasil, além de possuir frutos maiores, que podem pesar até 15 kg, e maior produção em comparação aos demais cultivares (São José et al. 2014). As mudas foram produzidas de forma sexuada durante um período de 330 dias antes do transplântio. Após esse período, decorreu o transplântio para vasos plásticos.

Para condução do experimento foram usados vasos plásticos adaptados como lisímetros de drenagem, com capacidade de 120 L, preenchidos com uma camada de 1,0 kg de brita seguido de 160 kg de solo classificado como Neossolo Regolítico (*Entisol* - United States, 2014), coletado na profundidade de 0-30 cm, procedente do município de Lagoa Seca-PB, cujas as características físico-químicas (Tabela 1) foram determinadas conforme Teixeira et al. (2017).

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

Características químicas									
pH (H <sub>2</sub> O) (1:2,5)	M.O (dag kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	PST (%)	CEes (dS m <sup>-1</sup> )
.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) .....									
5,90	1,36	6,80	0,22	0,16	2,60	3,66	1,93	1,87	1,0
Características físico-hídricas									
Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Classe textural	Umidade (kPa)		AD	Porosidade total (%)	DA	DP
Areia	Silte	Argila		33,42*	1519,5**				
732,9	142,1	125,0	FA	11,98	4,32	7,66	47,74	1,39	2,66

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; CEes – 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 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>), 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 CEa e concentração de sais, extraída de Richards (1954), conforme a Eq. 1:

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

Onde:

Q = quantidade de sais a ser aplicado ( $\text{mmolc L}^{-1}$ )

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

Durante o período de aclimação na casa de vegetação (60 dias), as plantas foram irrigadas com água de baixa salinidade ( $0,38 \text{ dS m}^{-1}$ ) 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:

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

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 0,15, aplicado a cada 30 dias.

As concentrações de ácido salicílico foram obtidas a partir da diluição em 30% de álcool etílico (95,5%) e 70% de água destilada, por se tratar de uma substância de baixa solubilidade em água à temperatura ambiente. Para a tensão superficial das gotas na superfície foliar utilizou-se o adjuvante Wil fix na concentração de  $0,5 \text{ mL L}^{-1}$  de solução.

As aplicações foliares foram iniciadas aos 60 dias após o transplântio (DAT), com pulverizações nas faces abaxial e adaxial das folhas, em intervalos de 30 dias, com um pulverizador costal entre às 17:00 e 17:45 horas. O pulverizador utilizado é um modelo da Jacto - Jacto XP 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 400 mL.

As adubações com nitrogênio, fósforo e potássio basearam-se na metodologia proposta por Cavalcante et al. (2008) para a cultura da gravioleira. Com aplicação de 100 g de

nitrogênio, 60 g de fósforo e 40 g de potássio por planta ano, divididos em 24 parcelas com intervalos de 15 dias. Utilizou-se como fonte de nitrogênio a ureia, de fósforo o fosfato monoamônio, e de potássio o cloreto de potássio. Foi aplicado quinzenalmente uma solução Dripsol micro para suprir a exigência de micronutrientes na concentração de 1,0 g L<sup>-1</sup> contendo: N (15%); P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (15%); K<sub>2</sub>O (15%); 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%), aplicados via foliar, nas faces adaxial e abaxial, com o uso de um pulverizador costal.

Durante a condução do experimento foram realizados tratamentos culturais como poda de formação e de limpeza, capina, escarificação do solo e controle fitossanitário preconizados para a cultura, por meio dos produtos Vertimec<sup>®</sup> na concentração de 0,3 mL L<sup>-1</sup> de solução e Evidence<sup>®</sup> na concentração de 0,1 g L<sup>-1</sup>.

Os efeitos dos tratamentos foram avaliados com base nas trocas gasosas: condutância estomática (*g<sub>s</sub>*), transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*), eficiência instantânea no uso da água (*EiUA*) e eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*); e nas variáveis de crescimento: altura de copa (*AC*), diâmetro de caule (*DC*), taxa de crescimento relativo da altura de copa (*TCR<sub>AC</sub>*) e do diâmetro de caule (*TCR<sub>DC</sub>*) de planta.

As trocas gasosas foram determinadas aos 180 DAT, na terceira folha, contada a partir do ápice do ramo principal da planta, às 8:00 horas, com irradiação de 1200 μmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e fluxo de ar de 200 mL min<sup>-1</sup>, usando-se o equipamento portátil de medição de fotossíntese “LCPro+” da ADC BioScientific Ltda.

O crescimento foi mensurado aos 210 e 270 DAT. A *AC* medida tomando-se como referência a distância do colo da planta à inserção do meristema apical e o *DC* (mm) medido com três centímetros em relação ao solo. A partir dos dados de altura de copa e diâmetro de caule dos 210 e 270 DAT chegou-se a taxa de crescimento relativo, variável que verifica a rapidez no crescimento das plantas quando comparadas com seu tamanho inicial, conforme a metodologia descrita por Benincasa (2003), Eq. 3.

$$TCR = \frac{(\ln A_2 - \ln A_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (3)$$

Onde:

TCR – taxa de crescimento relativo;

A1 – variável no tempo t1;

A2 – variável no tempo t2;

T1 – tempo 1 em dias;

T2 – tempo 2 em dias;

Os dados foram avaliados mediante análise de variância ao nível de 0,05 de probabilidade, e nos casos de significância, realizou-se análise de regressão linear e quadrática, pelo software estatístico SISVAR (Ferreira, 2019). Para a escolha de modelo utilizou-se além de  $R^2$ , o significado biológico do fenômeno. Em caso de significância da interação entre fatores, foi usado o software TableCurve 3D para a elaboração das superfícies de resposta.

### 3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Constata-se, de acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 2), que a interação entre os níveis salinos (NS) e as concentrações de ácido salicílico (AS) influenciou de forma significativa ( $p \leq 0,01$ ) todas as variáveis analisadas, exceto a concentração interna de  $CO_2$  ( $Ci$ ) e eficiência instantânea no uso da água ( $EiUA$ ). Já os níveis salinos, afetaram significativamente a  $Ci$ , a transpiração ( $E$ ), a condutância estomática ( $gs$ ), a taxa de assimilação de  $CO_2$  ( $A$ ) e a  $EiCi$  das plantas de gravioleira cv. Morada Nova, aos 180 dias após o transplântio. As concentrações de ácido salicílico proporcionaram efeito significativo para  $gs$ ,  $A$  e  $EiCi$ . A eficiência instantânea no uso da água não teve significância entre os fatores analisados.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância referente à taxa de assimilação de  $CO_2$  ( $A$ ), condutância estomática ( $gs$ ), transpiração ( $E$ ), concentração interna de  $CO_2$  ( $Ci$ ), eficiência instantânea da carboxilação ( $EiCi$ ) e eficiência instantânea no uso da água ( $EiUA$ ) de plantas de gravioleira irrigadas com águas salinas e submetidas a aplicação foliar de ácido salicílico, aos 180 dias após o transplântio.

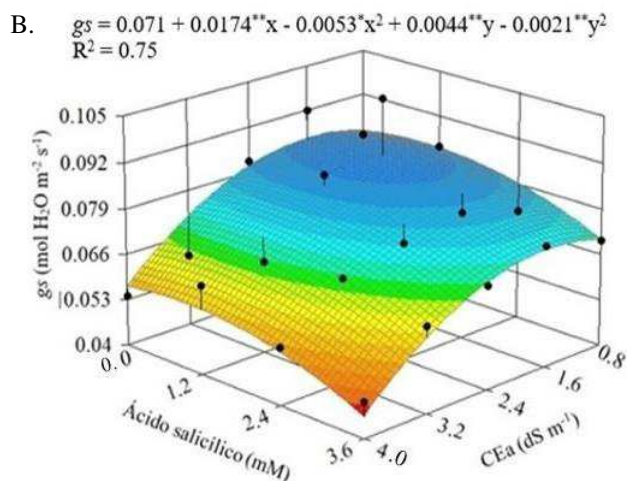
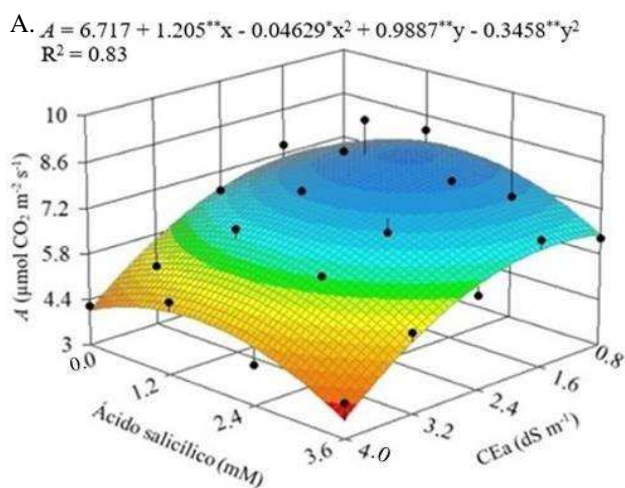
Fonte de variação	GL	Quadrados médios					
		$A$	$gs$	$E$	$Ci$	$EiCi$	$EiUA$
Níveis Salinos (NS)	4	17,32**	0,0024**	1,04**	1909,72*	0,0004**	0,88 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	61,02**	0,0047**	3,20**	6795,07**	0,0016**	3,14 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	1,24 <sup>ns</sup>	0,0036*	0,40 <sup>ns</sup>	7,29 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
Ácido Salicílico (AS)	3	5,40**	0,0005*	0,23 <sup>ns</sup>	1239,93 <sup>ns</sup>	0,0002**	0,82 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	3,54 <sup>ns</sup>	0,0010*	0,58 <sup>ns</sup>	92,96 <sup>ns</sup>	$3,2 \times 10^{-5}$ <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	11,67**	0,0006 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	3420,15 <sup>ns</sup>	$3,5 \times 10^{-4}$ **	0,74 <sup>ns</sup>
Interação (NS $\times$ AS)	12	3,58**	0,0019**	0,43**	1136,19 <sup>ns</sup>	0,0002**	0,64 <sup>ns</sup>
Blocos	2	14,58**	0,0013**	0,26 <sup>ns</sup>	5941,55**	0,0002**	6,48**
Resíduo	32	1,25	0,0002	0,11	728,25	0,00001	0,57

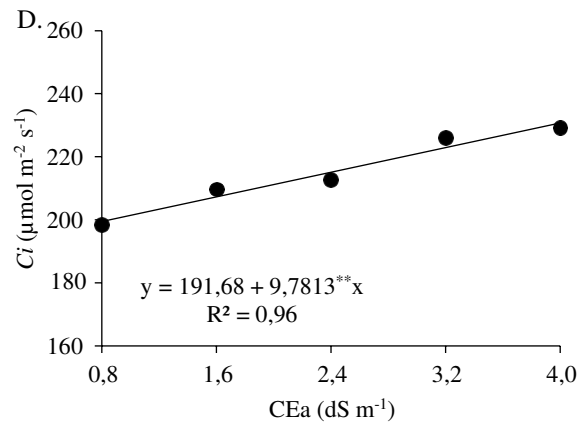
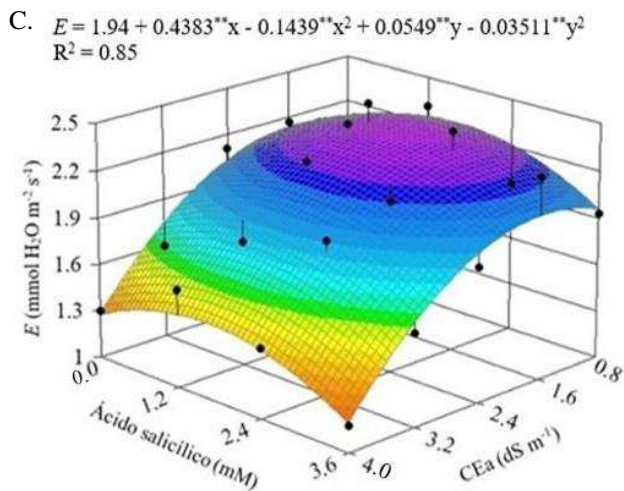
CV (%)	17,45	18,06	17,30	12,54	20,42	21,82
--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

ns, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . CV: Coeficiente de variação

A taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> das plantas de graviola (Figura 2A) foi reduzida quando irrigadas com CEa acima de 1,4 dS m<sup>-1</sup>, independente da concentração de ácido salicílico. Verifica-se ainda, que as plantas pulverizadas com a concentração de 1,4 mM de AS e irrigadas com CEa de 1,3 dS m<sup>-1</sup> registraram o maior valor de A (8,21 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), correspondendo a um aumento de 8,65% (0,71 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) em relação as com o mesmo nível salino (1,3 dS m<sup>-1</sup>) e sem aplicação do AS (0 mM).

O efeito benéfico do ácido salicílico na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, notado em plantas submetidas em concentrações de até 1,4 mM e irrigadas com CEa até 1,3 dS m<sup>-1</sup>, pode estar relacionado à capacidade do ácido salicílico de melhorar as atividades enzimáticas e fotossintéticas, além de manter o equilíbrio entre a produção e eliminação de espécies reativas de oxigênio (Batista et al., 2019).





X e Y - CEa e Concentração de AS, respectivamente; \*\*\* Significativo a  $p \leq 0,05$  e  $0,01$  respectivamente.

**Figura 2.** Taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  – A (A), condutância estomática –  $g_s$  (B) e transpiração –  $E$  (C) de plantas de gravioleira, em função da interação entre salinidade da água - CEa e das concentrações de ácido salicílico; e concentração interna de  $\text{CO}_2$  –  $C_i$  (D) em função da condutividade elétrica da água – CEa, aos 180 dias após o transplantio.

Para condutância estomática (Figura 2B), as plantas submetidas em concentrações de ácido salicílico de até 1,05 mM tiveram um aumento em  $g_s$ , independente da condutividade elétrica da água de irrigação, e a maior condutância estomática ( $0,088 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) obtida em plantas submetidas à concentração de ácido salicílico de 1,05 mM e irrigadas com água de  $1,64 \text{ dS m}^{-1}$ . No entanto, o aumento das concentrações de ácido salicílico acima de 1,05 mM causou reduções na condutância estomática, com menor valor de  $g_s$  ( $0,044 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) de plantas submetidas à concentração de 3,6 mM e irrigadas com água de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , correspondendo a uma redução de 50% ( $0,044 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) em relação às plantas com maior  $g_s$ .

O incremento na condutância estomática (Figura 2B) nas plantas submetidas à concentração estimada de 1,4 mM refletiu em maior taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  (Figura 2A). Tal resposta pode ser atribuída ao papel do ácido salicílico na indução a tolerância das plantas ao estresse salino, atuando no aumento da atividade de enzimas antioxidantes. Além disso, o ácido salicílico induz a alteração do metabolismo dos carboidratos nas plantas, e assim os açúcares solúveis, especialmente, os açúcares não redutores, se acumulam para funcionar como reguladores osmóticos (Dong et al., 2011). Methenni et al. (2018), analisando o efeito do ácido salicílico (0; 0,5 e 1,0 mM) em plantas de oliveira (*Olea europaea* L.) sob estresse salino (0 e 200 mM de NaCl), notaram que, a aplicação

do ácido salicílico na concentração de 1,0 mM promoveu aumento da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e na condutância estomática, quando comparadas ao tratamento controle (0 mM).

Com relação à transpiração da gravioleira (Figura 2C), nas plantas que não receberam aplicação de ácido salicílico (0 mM) e irrigadas com água de condutividade elétrica superior a 1,5 dS m<sup>-1</sup> redução na *E*, obtendo-se o menor valor (1,39 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) nas plantas cultivadas com água de 4,0 dS m<sup>-1</sup>. No entanto, as plantas submetidas à concentração de 0,8 mM de AS e CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup> tiveram a maior transpiração (2,30 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). A redução da transpiração foliar, ocorre, sobretudo, devido à redução do potencial total da água provocada pelo aumento da concentração salina, tal resposta, destaca-se como uma estratégia de economia de água durante o período crítico (Sousa et al., 2014).

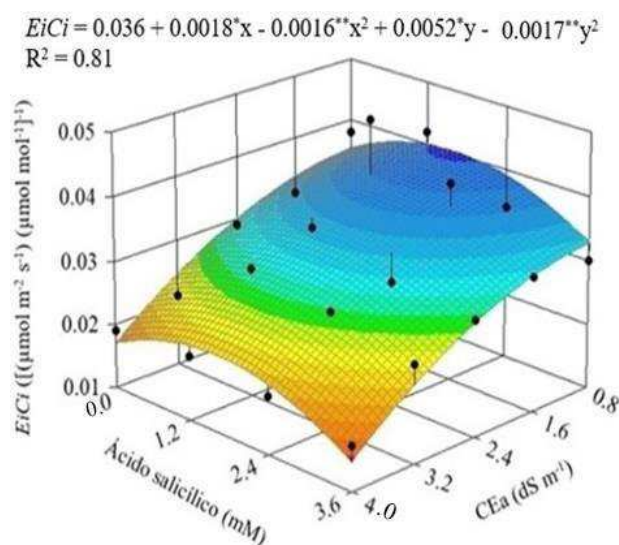
O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação proporcionou uma elevação na concentração interna de CO<sub>2</sub> (Figura 2D), cujo aumento foi de 5,10% por incremento unitário da CEa. Ao comparar em termos relativos à *Ci* das plantas irrigadas com água de maior salinidade (4,0 dS m<sup>-1</sup>) em relação às submetidas ao menor nível salino (0,8 dS m<sup>-1</sup>) se tem aumento de 15,69% (31,2 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

O aumento da *Ci* pode estar relacionado à degradação do aparato fotossintético em resposta à senescência dos tecidos foliares, resultante do estresse causado pelo excesso de sais (Silva et al., 2013). Resultados semelhantes aos de Lima et al. (2020) em plantas de aceroleira (*Malpighia emarginata*) sob estresse salino (0,8 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>), em que o aumento da concentração interna de CO<sub>2</sub> nas plantas irrigadas com água de maior salinidade (4,5 dS m<sup>-1</sup>) foi atribuído à baixa atividade da enzima ribulose-1,5-bifosfato carboxilase oxigenase (Rubisco).

A eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*) também foi afetada pela interação entre os fatores (NS × AS) e, de acordo com a equação de regressão (Figura 3), as plantas tiveram sua *EiCi* reduzida quando irrigadas com água de CEa superior a 0,8 dS m<sup>-1</sup>, independente das concentrações de ácido salicílico. Entretanto, nota-se que, a maior *EiCi* (0,0404 (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol mol<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>) foi das plantas com concentração de 1,4 mM e irrigadas com água de 0,8 dS m<sup>-1</sup>, correspondendo a um aumento de 10,99% (0,004 (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol mol<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>) na *EiCi* quando comparadas as plantas testemunha (0 mM) irrigadas com 0,8 dS m<sup>-1</sup>.

O efeito benéfico do ácido salicílico sobre a eficiência instantânea da carboxilação, verificado nas plantas submetidas à concentração de 1,2 mM, pode estar relacionado à capacidade do ácido salicílico em aumentar a atividade da Rubisco e estimular a absorção

de potássio, mantendo-se elevada relação  $K^+/Na^+$ , conseqüentemente, aumentando o conteúdo de ATP nas plantas (Lee et al., 2014).



X e Y - CEa e Concentração de AS, respectivamente; \* e \*\* Significativo a  $p \leq 0,05$  e  $0,01$  respectivamente.

**Figura 3.** Eficiência instantânea de carboxilação –  $EiCi$  de plantas de gravioleira, em função da interação entre salinidade da água - CEa e das concentrações de ácido salicílico, aos 180 dias após o transplantio.

Houve interação entre os níveis salinos e as concentrações de ácido salicílico apenas na altura de copa aos 210 e 270 DAT (Tabela 3). Os níveis salinos da água de irrigação afetaram significativamente ( $p \leq 0,01$ ) todas as variáveis analisadas, exceto, a taxa de crescimento relativo em diâmetro de caule ( $TCR_{DC}$ ). As concentrações de ácido salicílico influenciaram significativamente a altura de copa aos 210 e 270 DAT, o diâmetro de caule, aos 210 DAT e taxa de crescimento relativo em diâmetro de caule ( $TCR_{DC}$ ).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância referente à altura de copa (AC), diâmetro de caule (DC) aos 210 e 270 dias após o transplantio (DAT) e taxa de crescimento relativo em altura de copa ( $TCR_{AC}$ ) e do diâmetro de caule ( $TCR_{DC}$ ) no período de 210 a 270 DAT, de plantas de gravioleira irrigadas com águas salinas e submetida a concentrações de ácido salicílico.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				$TCR_{AC}$	$TCR_{DC}$
		AC		DC			
		Dias após o transplantio					
	210	270	210	270			
Níveis Salinos (NS)	4	1795,39**	3266,21**	54,46**	73,97**	$6 \times 10^{-6}$ **	$3 \times 10^{-6}$ ns



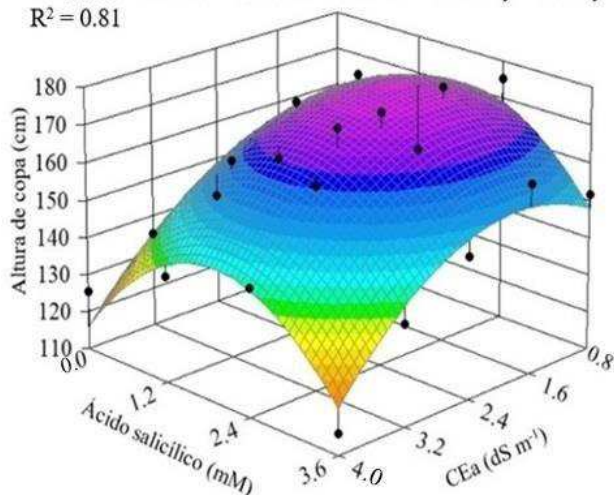
Regressão linear	1	3685,21**	8789,40**	145,81**	234,41**	$12 \times 10^{-6}$ **	$4 \times 10^{-6}$ ns
Regressão quadrática	1	2295,48*	1768,01*	51,23*	52,46 <sup>ns</sup>	$4 \times 10^{-7}$ ns	$5 \times 10^{-6}$ ns
Ácido Salicílico (AS)	3	2689,12**	1219,84**	23,41*	8,46 <sup>ns</sup>	$3 \times 10^{-7}$ ns	$9 \times 10^{-6}$ **
Regressão linear	1	206,67 <sup>ns</sup>	590,80 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	$2 \times 10^{-6}$ ns	$5 \times 10^{-6}$ ns
Regressão quadrática	1	7459,35**	2653,35**	42,21*	0,74 <sup>ns</sup>	$2 \times 10^{-6}$ ns	$56 \times 10^{-5}$ **
Interação (NS × AS)	12	311,11*	347,79**	10,22 <sup>ns</sup>	8,69 <sup>ns</sup>	$2 \times 10^{-7}$ ns	$8 \times 10^{-6}$ ns
Blocos	2	108,05 <sup>ns</sup>	83,75 <sup>ns</sup>	17,21 <sup>ns</sup>	222,10**	$3 \times 10^{-7}$ ns	$7 \times 10^{-6}$ ns
Resíduo	32	140,61	103,36	7,77	8,39	$8 \times 10^{-7}$	$3 \times 10^{-3}$
CV (%)		7,79	5,66	12,17	10,39	29,74	29,58

ns, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . CV: Coeficiente de variação

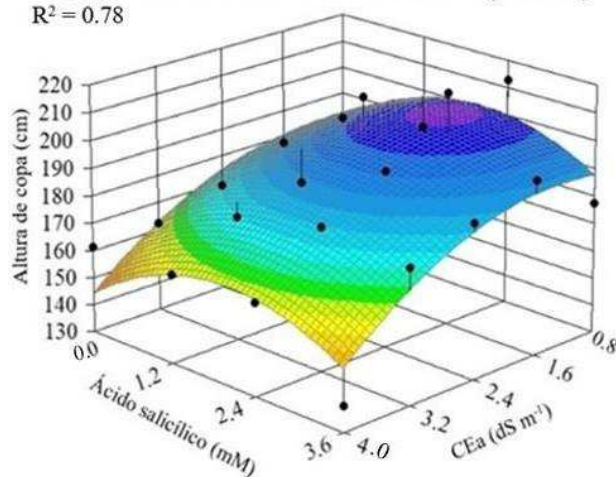
As plantas irrigadas com água de  $1,9 \text{ dS m}^{-1}$  e submetidas a concentração de  $2,0 \text{ mM}$  de ácido salicílico, chegaram ao maior crescimento em altura de copa (Figura 4A e 4B), sendo de  $179$  e  $217 \text{ cm}$ , aos  $210$  e  $270 \text{ DAT}$ , respectivamente. Já as plantas irrigadas com água de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  e sob o tratamento controle ( $0 \text{ mM}$ ) ficaram com a menor AC, equivalente a  $115,9$  e  $144,6 \text{ cm}$ , aos  $210$  e  $270 \text{ DAT}$ , respectivamente.

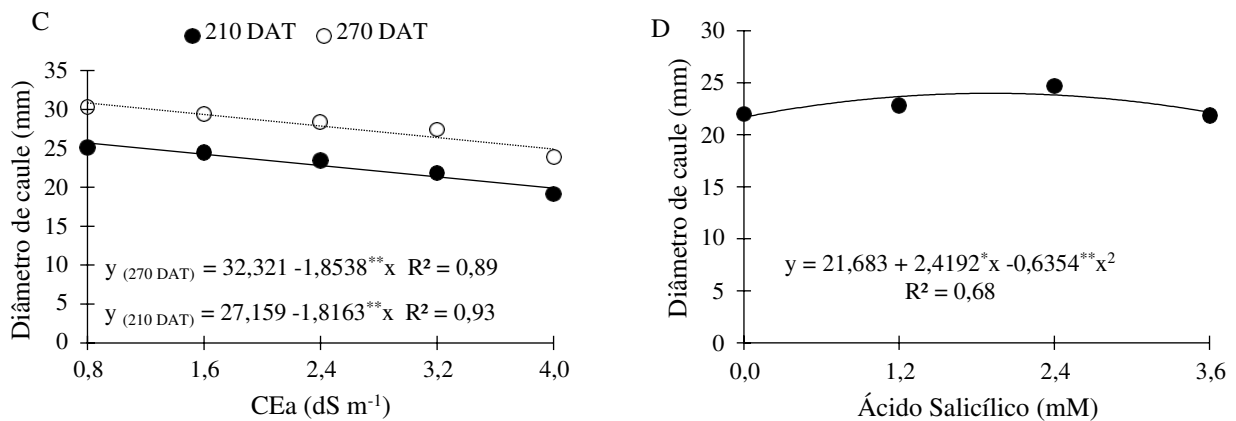
O efeito benéfico do ácido salicílico na concentração de  $2,0 \text{ mM}$  observado na altura de copa aos  $210$  e  $270 \text{ DAT}$  pode estar relacionado à maior eficiência fotossintética, juntamente com a melhor capacidade de fixação de nitrogênio induzida pelo ácido salicílico (Farhangi-Abriz et al., 2018). Por outro lado, a redução na AC em função da salinidade ocorre devido à deficiência hídrica e diminuição na absorção de nutrientes, induzida pelo efeito osmótico e, por conseguinte, restringindo as trocas gasosas, como no presente estudo (Figura 3A, 3B, 3C e 3D).

A  $AC_{210\text{DAT}} = 127.16 + 23.63*x - 6.61**x^2 + 30.53**y - 8.01**y^2$   
 $R^2 = 0.81$



B  $AC_{270\text{DAT}} = 172.64 + 13.11*x - 5.03*x^2 + 28.81*y - 5.18**y^2$   
 $R^2 = 0.78$





X e Y - Condutividade elétrica da água e Concentração de AS, respectivamente; \* e \*\* Significativo a  $p \leq 0,05$  e  $0,01$  respectivamente.

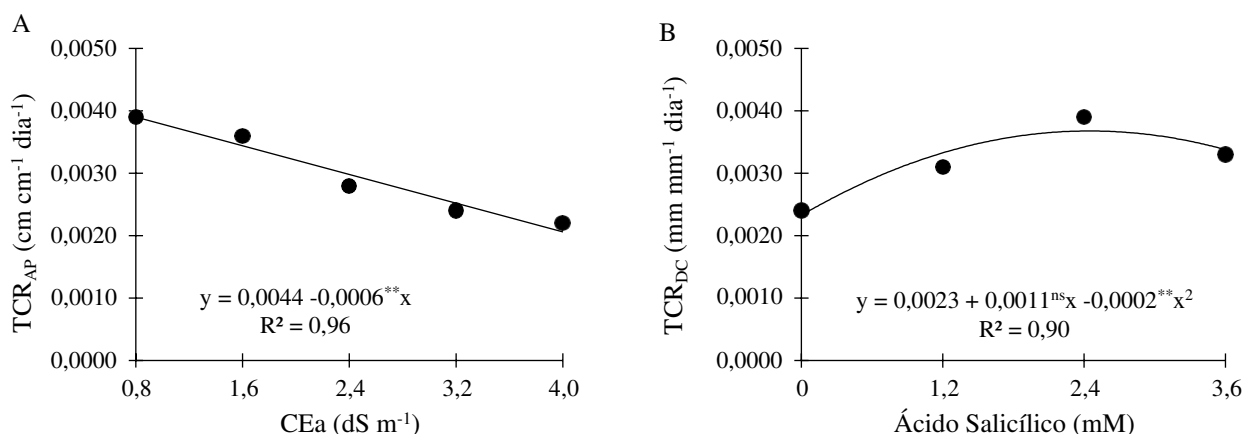
**Figura 4.** Altura de copa - AC da gravioleira, em função da interação entre a condutividade elétrica da água - CEa e das concentrações de ácido salicílico, aos 210 (A) e 270 (B) dias após o transplântio - DAT; diâmetro de caule, aos 210 e 270 DAT em função da CEa (C) e diâmetro de caule, aos 210 DAT (D), em função das concentrações do ácido salicílico.

O aumento dos níveis salinos da água de irrigação afetou de forma negativa o diâmetro de caule - DC (Figura 4C) da gravioleira cv. Morada Nova, aos 210 e 270 DAT, com declínios de 6,69 e 5,74% por aumento unitário da CEa, respectivamente. A diminuição no crescimento em DC pode ser explicada pelo aumento da pressão osmótica e consequente, redução da disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, o que resulta em menor crescimento (Lima et al., 2015).

O diâmetro de caule da gravioleira foi influenciado pelas concentrações de ácido salicílico aos 210 DAT e, nota-se através da equação de regressão (Figura 4D) que as plantas submetidas à concentração de 1,9 mM se destacaram com o maior DC (23,99 mm), com aumento no DC de 9,63% (2,31 mm) em relação às plantas cultivadas sob a concentração de 0 mM.

O maior crescimento em DC, aos 210 DAT até a concentração de 1,9 mM (Figura 4D) está relacionado aos efeitos reguladores nos processos fisiológicos e bioquímicos nas plantas, como sua capacidade de impedir o declínio nos níveis de auxina e citocinina, levando a uma melhor divisão celular do meristema apical da raiz, promovendo o crescimento das plantas (Shakirova et al., 2003).

O aumento da salinidade da água de irrigação reduziu a taxa de crescimento relativo em altura de copa no período de 210 a 270 DAT e, de acordo com a equação de regressão (Figura 5A), teve-se redução de 13,64% por aumento unitário da CEa. Ao comparar em termos relativos à  $TCR_{AC}$  das plantas irrigadas com água de maior salinidade ( $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) em relação as cultivadas com o menor nível salino ( $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ ), uma redução de 48,98% ( $0,0019 \text{ cm cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ).



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

**Figura 5.** Taxa de crescimento relativo da altura de copa -  $TCR_{AC}$  de gravioleira, em função da condutividade elétrica da água (A) e em função das concentrações do ácido salicílico (B), no período de 210 a 270 dias após o transplante.

As concentrações de ácido salicílico promoveram aumento na taxa de crescimento relativo do diâmetro de caule ( $TCR_{DC}$ ) da gravioleira cv. Morada Nova, e de acordo com a equação de regressão (Figura 5B) é possível observar que, as plantas submetidas a concentração de 2,75 mM se destacaram com o maior valor da  $TCR_{DC}$  ( $0,0038 \text{ mm mm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ). Ao comparar a  $TCR_{DC}$  das plantas submetidas à concentração de ácido salicílico 2,75 mM em relação às plantas submetidas a concentração 0 mM de AS, nota-se um aumento de 39,47% ( $0,0015 \text{ mm mm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ).

O aumento da taxa de crescimento relativo em diâmetro de caule, verificado nas plantas submetidas em concentrações de até 2,75 mM (Figura 4B) reflete à capacidade do ácido salicílico em impedir a redução de citocinina e auxina, o que motiva a divisão celular e com isso, o crescimento de plantas (Estaji & Ninam, 2020).

#### 4. CONCLUSÕES

A aplicação foliar de ácido salicílico entre as concentrações de 1,0 e 2,0 mM induz a tolerância ao estresse salino da gravioleira quando irrigadas com CEa até 1,6 dS m<sup>-1</sup>, visto que, as plantas tiveram seu crescimento, transpiração, condutância estomática, fotossíntese e eficiência instantânea da carboxilação beneficiadas pela aplicação do ácido salicílico.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão de auxílio financeiro (Proc. CNPq 430525/2018-4) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa concedida ao primeiro autor.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Abbaszadeh, B.; Layeghhaghighi, M.; Azimi, R.; Hadi, N. Improving water use efficiency through drought stress and using salicylic acid for proper production of *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, v. 144, n. 1, e111893, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111893>.
- Andrade, W. L.; Melo, A. S. de; Melo, Y. L.; Sá, F. V. S.; Rocha, M. M.; Oliveira, A. P. S.; Fernandes Júnior, P. I. Bradyrhizobium inoculation plus foliar application of salicylic acid mitigates water deficit effects on cowpea. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10130-3>.
- Batista, V. C. V.; Pereira, I. M. C.; Paula-Marinho, S. O.; Canuto, K. M.; Pereira, R. D. C. A.; Rodrigues, T. H. S.; Carvalho, H. H. Salicylic acid modulates primary and volatile metabolites to alleviate salt stress-induced photosynthesis impairment on medicinal plant *Egletes viscosa*. *Environmental and Experimental Botany*, v. 167, n. 1, e103870, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103870>.
- Benincasa, M. M. P. Análise de crescimento de plantas, noções básicas. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.
- 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, n. 1, p. 9-19, 2016.

- Cavalcante, F. J. A. Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3.ed. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2008.
- Dauda, A. O.; Salami, K. O.; Oyeyinka, S. A.; Esan, O. T.; Arise, A. K.; Asije, A. R. An assessment of the preservative potentials of soursop (*Annona muricata*) seed oil on plantain and orange juice. *Global Advanced Research Journal of Microbiology*, v. 7, n. 1, p. 113-120, 2018.
- Dong, C. J.; Wang, X. L.; Shang, Q. M. Salicylic acid regulates sugar metabolism that confers tolerance to salinity stress in cucumber seedlings. *Scientia Horticulturae*, v. 129, n. 1, p. 629-636, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.05.005>.
- Estaji, A.; Niknam, F. Foliar salicylic acid spraying effects' on growth, seed oil content, and physiology of drought-stressed *Silybum marianum* L. plant. *Agricultural Water Management*, v. 234, n. 1, e106116, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106116>.
- Farhangi-Abriz, S.; Ghassemi-Golezani, K. How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.147, n. 1, p.1010-1016, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.070>.
- Ferreira, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.
- Gharbi, E.; Lutts, S.; Dailly, H.; Quinet, M. Comparison between the impacts of two different modes of salicylic acid application on tomato (*Solanum lycopersicum*) responses to salinity. *Plant Signaling & Behavior*, v. 13, n. 5, e1469361, 2018. <https://doi.org/10.1080/15592324.2018.1469361>.
- 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, n. 1, e101027, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101027>.
- Lee, S. Y.; Damodaran, P. N.; Roh, K. S. Influence of salicylic acid on rubisco and rubisco activase in tobacco plant grown under sodium chloride in vitro. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 21, n. 5, p. 417-426, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.04.002>.
- Lima, G. S. de; Pinheiro, F. W. A.; Dias, A. S.; Gheyi, H. R.; Silva, S. S.; Soares, L. A. A.; Silva, J. D. Water status, cell damage and gas exchanges in West Indian cherry (*Malpighia emarginata*) under salt stress and nitrogen fertilization. *Australian Journal*

- of Crop Science, v. 14, n. 2, p. 319-324, 2020.  
<https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.02.p2320>.
- Lima, L. A.; Oliveira, F. D. A.; Alves, R. C.; Linhares, P. S. F.; Medeiros, A. M. A.; Bezerra, F. M. S. Tolerância da berinjela à salinidade da água de irrigação. *Revista Agroambiente*, v. 9, n. 1, p. 27-34, 2015. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v9i1.2202>.
- United States -Department of Agriculture, keys to soil taxonomy. (2014). Natural Resources Conservation Service. 372p.
- Magalhaes, I. D.; Melo, A. S.; Fernandes, P. D.; Queiroz, M. F.; Arriel, N. H. C.; Ferraz, R. L. S.; Costa, P. S. Gas exchange, photochemical efficiency, and yield of 'Jatropha curcas' irrigated with saline water. *Australian Journal of Crop Science*, v. 14, n. 5, p. 802-809, 2020. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.20.14.05.p2247>.
- 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. (Dissertação Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1992, 173p.
- Methenni, K.; Abdallah, M. B.; Nouairi, I.; Smaoui, A.; Zarrouk, M.; Youssef, N. B. Salicylic acid and calcium pretreatments alleviate the toxic effect of salinity in the Oueslati olive variety. *Scientia Horticulturae*, v. 233, n. 1, p. 349-358, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.060>.
- Noreen, S.; Siddiq, A.; Hussain, K.; Ahmad, S.; Hasanuzzaman, M. Foliar application of salicylic acid with salinity stress on physiological and biochemical attributes of sunflower (*Helianthus annuus* L.) crop. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, v. 16, n. 2, p. 57-74, 2017.
- Pirasteh-Anosheh, H.; Emam, Y.; Rousta, M. J.; Ashraf, M. Salicylic acid induced salinity tolerance through manipulation of ion distribution rather than ion accumulation. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 36, n. 1, p. 227-239, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9633-y>.
- Poór, P.; Borbély, P. G.; Bódi, N.; Bagyánszki, M.; Görgényi, M. T. I. Effects of salicylic acid on photosynthetic activity and chloroplast morphology under light and prolonged darkness. *Photosynthetica*, v. 57, n. 2, p. 367-376, 2019. <https://doi.org/10.32615/ps.2019.040>.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U.S, Department of Agriculture. 1954. 160 p.

- Rodrigues, V. D. S.; Bezerra, F. M.; Sousa, G. G.; Fiusa, J. N.; Leite, K. N.; Viana, T. V. A. Yield of maize crop irrigated with saline waters. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 2, p. 101-105, 2020. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n2p101-105>.
- Sánchez, C. F. B.; Lopes, B. E.; Teodoro, P. E.; Garcia, A. P.; de Azevedo, L. P.; Silva, L. A.; Bhering, L. L. Genetic diversity among soursop genotypes based on fruit production. *Bioscience Journal*, v. 34, n. 1, p. 122-128, 2017. <https://doi.org/10.14393/BJ-v34n1a2018-37421>.
- 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, n. 1, p. 86-93, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500010>.
- Shakirova, F. M.; Sakhabutdinova, A. R.; Bezrukova, M. V.; Fatkhutdinova, R. A.; Fatkhutdinova, D. R. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*, v. 164, n. 3, p. 317-322, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00415-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6).
- Silva, A. R. A.; Bezerra, F. M. L.; Lacerda Filho, C. F.; Pereira Filho, J. V.; Freitas, C. A. S. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 1, p. 86-93, 2013.
- Silva, E. M.; 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, n. 11, p. 776-781, 2018. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n11p776-781>.
- Silva, J. E.; Paiva, E. P.; Leite, M. S.; Torres, S. B.; Souza Neta, M. L.; Guirra, K. S. Salicylic acid in the physiological priming of onion seeds subjected to water and salt stresses. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, n. 12, p. 919-924, 2019a. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n12p919-924>.
- Silva, A. A. R. da; Veloso, L. L. S. A.; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Capitulino, J. D. Growth and quality of soursop (*Annona muricata* L.) seedlings under saline stress and hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). *Australian Journal of Crop Science*, v. 13, n. 10, p. 1643-1649, 2019b. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.10.p1857>.

- Szepesi, Á. Influence of exogenous salicylic acid on antioxidant enzyme activities in the roots of salt stressed tomato plants. *Acta Biologica Szegediensis*, v. 52, n. 1, p.199-200, 2008.
- 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. S. A.; Nobre, R. G.; Lima, G. S.; Barbosa, J. L.; Melo, E. N.; Gheyi, H. R.; Goncalves, E. B.; Souza, C. M. A. Quality of soursop (*Annona muricata* L.) seedlings under different water salinity levels and nitrogen fertilization. *Australian Journal of Crop Science*, v. 12, n. 2, p. 306-310, 2018. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.02.pne892>.
- Veloso, L. L. S. A.; Azevedo, C. A. V.; Silva, A. A. R.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Nóbrega, R. A.; Lucena, R. C. M. Effects of saline water and exogenous application of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) on soursop (*Annona muricata* L.) at vegetative stage. *Australian Journal of Crop Science*, v. 13, n. 3, p. 472-479, 2019. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.03.p1583>.



## CAPÍTULO IV

---

### **ÁCIDO SALICÍLICO ALIVIA O EFEITO DO ESTRESSE SALINO NA MORFOFISIOLOGIA DA GRAVIOLEIRA**

*Artigo publicado na Ciência e Agrotecnologia, v. 33, e007021, 2021.*

## ÁCIDO SALICÍLICO ALIVIA O EFEITO DO ESTRESSE SALINO NA MORFOFISIOLOGIA DA GRAVIOLEIRA

**RESUMO:** O cultivo da graviola tem aumentado nos últimos anos, em função do avanço da agroindústria e a sua utilização pela indústria farmacêutica; por ser fonte de vitamina C, cálcio, carboidratos e substâncias antioxidantes, a gravioleira auxilia na proteção do organismo humano contra o estresse oxidativo, atuando na prevenção de uma série de distúrbios crônico degenerativos. Neste contexto, objetivou-se avaliar os efeitos das concentrações de ácido salicílico na mitigação dos efeitos do estresse salino na morfofisiologia de gravioleira. O estudo foi conduzido em casa de vegetação, no delineamento de blocos casualizados e arranjo fatorial 5×4, com cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8-controle; 1,6; 2,4; 3,2 e 4,0 dS m<sup>-1</sup>) e quatro concentrações de ácido salicílico - AS (0; 1,2; 2,4 e 3,6 mM), aplicadas via foliar, com três repetições e uma planta por parcela. A aplicação foliar do AS entre as concentrações de 1,2 e 1,6 mM amenizou os efeitos do estresse salino sobre a condutância estomática, taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, transpiração e eficiência instantânea da carboxilação da gravioleira, aos 480 dias após o transplante. A pulverização com AS com concentrações entre 1,3 e 1,6 mM induziu a aclimação ao estresse salino na gravioleira, visto que, as plantas tiveram a porcentagem de extravasamento de eletrólitos reduzidos e o crescimento beneficiado pela aplicação de AS, mesmo quando expostas a salinidade. A irrigação com CEa acima de 0,8 dS m<sup>-1</sup> reduziu o teor relativo de água nas folhas de gravioleira cv. Morada Nova.

**Palavras-chave:** *Annona muricata* L, salinidade, estresse abiótico, elicitor.

## SALICYLIC ACID RELIEVES THE EFFECT OF SALINE STRESS ON SOURSOP MORPHYSIOLOGY

**ABSTRACT:** The cultivation of soursop has increased in recent years due to the advancement of agribusiness and due to its use by the pharmaceutical industry; source of vitamin C, calcium, carbohydrates and antioxidant substances, soursop helps to protect the human body against oxidative stress, acting in the prevention of a series of chronic degenerative disorders. In this context, the objective of present study was to evaluate the effects of foliar sprays with salicylic acid to mitigate the effects of salt stress on the morphophysiology of soursop. The study was conducted in a greenhouse, in a randomized

block design and a 5×4 factorial arrangement, with five levels of electrical conductivity of irrigation water - EC<sub>w</sub> (0.8-control; 1.6; 2.4; 3.2 and 4.0 dS m<sup>-1</sup>) and four concentrations of salicylic acid - SA (0; 1.2; 2.4 and 3.6 mM), with three replicates. Foliar application of SA at concentrations between 1.2 and 1.6 mM mitigated the effects of salt stress on stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation rate, transpiration and instantaneous carboxylation efficiency of soursop at 480 days after transplanting. Spraying with SA at concentrations between 1.3 and 1.6 mM induced acclimatization to salt stress in soursop plants, since the percentage of intercellular electrolyte leakage was reduced and the growth was favored by the application of SA, even when exposed to salinity. Irrigation with EC<sub>w</sub> above 0.8 dS m<sup>-1</sup> reduced the relative water content in the leaves of soursop cv. Morada Nova.

**Key words:** *Annona muricata* L, salinity, abiotic stress, elicitor.

## 1. INTRODUÇÃO

A salinidade é um dos estresses abióticos que ameaça à produção agrícola no século XXI em todo o mundo, seus efeitos adversos devem aumentar devido às mudanças climáticas dos últimos anos, principalmente, nas regiões áridas e semiáridas (Souana et al., 2020).

A dificuldade de expansão dos cultivos irrigados com águas salinas está relacionada aos danos ocasionados pela combinação de estresses osmóticos e iônicos, que restringe a absorção de água e nutrientes e afeta os processos fisiológicos e o crescimento das plantas (Taïbi et al., 2016). O estresse salino também promove o estresse oxidativo, em decorrência do desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio e sua desintoxicação por reações enzimáticas e não enzimáticas (Mohamed et al., 2020).

Diante da necessidade de utilização de águas salinas na agricultura irrigada, estudos que viabilizem o emprego destas fontes hídricas são imprescindíveis. Neste contexto, a utilização do ácido salicílico surge como alternativa promissora para minimizar os efeitos danosos causados pelos estresses abióticos como a salinidade (Nazar et al., 2015).

O ácido salicílico é um composto fenólico natural, que está envolvido no crescimento da planta e em processos fisiológicos, como indução floral, abertura e fechamento estomático, absorção de íons, fotossíntese e transpiração (Silva et al., 2020). O efeito benéfico do ácido salicílico em diferentes espécies de plantas sob estresse salino, pode surgir do seu papel na intensificação da atividade de enzimas antioxidantes e na proteção de danos as membranas (Esan et al., 2017).

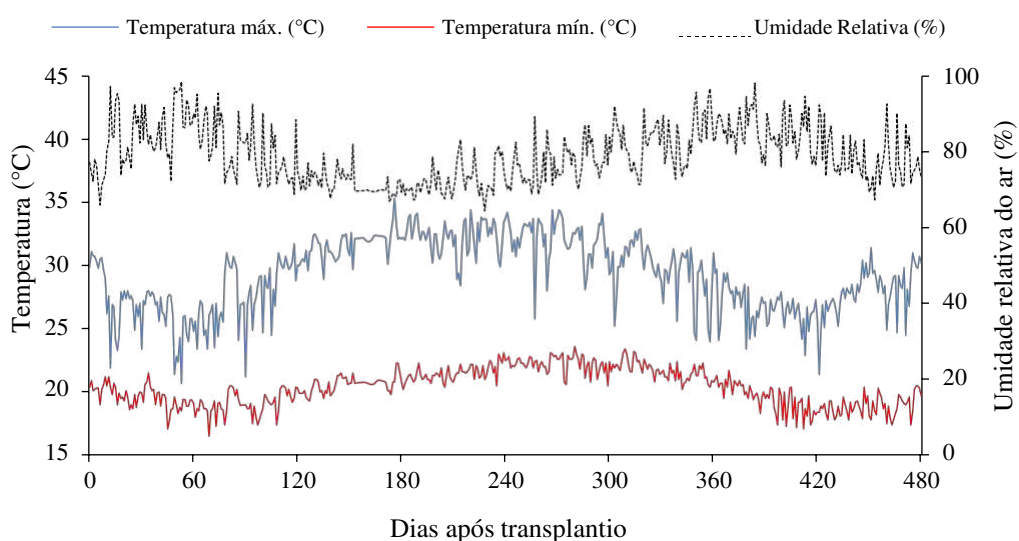
Nos últimos anos, estudos relataram que, a pulverização foliar com ácido salicílico pode atenuar os efeitos deletérios causados pelo estresse salino em morango (Samadi et al., 2019), amêndoa (Mohammadi et al., 2020), uva (Ekbic et al., 2020), tâmara (Jasim & Ati, 2020) e laranja (Mahmoud et al., 2021). Todavia, são escassas as informações sobre sua utilização na cultura da gravioleira cultivada sob irrigação com águas salinas.

A gravioleira (*Annona muricata* L.) é uma das espécies frutíferas mais importantes da família Annonaceae (Sánchez et. al., 2018). Seus frutos são apreciados pela suculência, sabor adocicado e subácido, aroma agradável e distinto; seu consumo *in natura* ou processada tem aumentado pelo seu valor nutricional e formas de utilização na alimentação humana, além das propriedades medicinais de suas folhas, frutos, sementes e raízes (Freitas et al., 2013; Jimenez et al., 2014; Leite Neta et al., 2019).

Ante o exposto, objetivou-se com o presente estudo, avaliar os efeitos das concentrações de ácido salicílico na mitigação dos efeitos do estresse salino na morfofisiologia de gravioleira cv. Morada Nova.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido durante o período de junho de 2019 a outubro de 2020, em ambiente protegido (casa de vegetação) pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UAEA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, localizado 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 média do ar do local do experimento 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 cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8; 1,6; 2,4; 3,2 e 4,0 dS m<sup>-1</sup>) e quatro concentrações de ácido salicílico - AS (0; 1,2; 2,4 e 3,6 mM), no arranjo fatorial 5×4, distribuídos em bloco casualizados, com três repetições, perfazendo o total de 60 unidades experimentais.

As concentrações de ácido salicílico (AS) foram estabelecidas de acordo com estudo desenvolvido por Abbaszadeh et al. (2020) e os níveis salinos da água de acordo com Veloso et al. (2019).

A cultivar de gravioleira Morada Nova, foi escolhida por ser a mais apreciada 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 Jose et al., 2014). As mudas foram propagadas de forma sexuada e período de formação foi de 330 dias. Após esse período foi realizado o transplântio para vasos plásticos.

Para condução do experimento foram usados vasos plásticos adaptados como lisímetros de drenagem, com capacidade de 120 L, preenchidos com uma camada de 1,0 kg de brita, seguido de 160 kg de solo classificado como *Entisol* (United States, 2014), coletado na profundidade de 0-30 cm, procedente do município de Lagoa Seca-PB, 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) (1:2,5)	M.O (dag kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	PST (%)	CEes (dS m <sup>-1</sup> )
.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) .....									
5,90	1,36	6,80	0,22	0,16	2,60	3,66	1,93	1,87	1,0
Características físico-hídricas									
Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Classe textural	Umidade (kPa)		AD	Porosidade total %	DA	DP
Areia	Silte	Argila		33,42*	1519,5**				
732,9	142,1	125,0	FA	11,98	4,32	7,66	47,74	1,39	2,66

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; CEes – 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>). 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 CEa e a concentração de sais (Richards, 1954), conforme a Eq. 1:

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

Onde:

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 75 dias após o transplântio, iniciou-se a irrigação com as águas salinas, adotando-se 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 é estimado 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 0,15, aplicado a cada 30 dias para evitar acumulação excessiva de sais.

As concentrações de ácido salicílico foram obtidas mediante dissolução do produto em 30% de álcool etílico (95,5%), por se tratar de uma substância de baixa solubilidade em água à temperatura ambiente. Para diminuir a tensão superficial das gotas na superfície foliar, na preparação da solução se inseriu o adjuvante Wil fix na concentração de 0,5 mL L<sup>-1</sup> de solução.

As aplicações foliares foram iniciadas aos 60 dias após o transplantio (DAT), nas faces abaxial e adaxial das folhas. Aplicações subsequentes se deram em intervalos de 30 dias utilizando-se um pulverizador costal entre às 17:00 e 17:45 horas. O pulverizador utilizado é um modelo da Jacto - Jacto XP com capacidade de 12 L, possui pressão de trabalho (máxima) 88 psi (6 bar) e Bico JD 12P, o volume médio aplicado por planta de 400 mL.

As adubações com nitrogênio, fósforo e potássio foram baseadas na metodologia proposta por Cavalcante et al. (2008), para a cultura da gravioleira, com 100 g de nitrogênio, 60 g de fósforo e 40 g de potássio por planta ano, divididos em 24 parcelas com intervalos de 15 dias. Foi utilizada como fonte de nitrogênio a ureia, de fósforo o fosfato monoamônio, e de potássio o cloreto de potássio.

Quinzenalmente foi aplicada uma solução Dripsol micro para suprir a exigência de micronutrientes na concentração de  $1,0 \text{ g L}^{-1}$  (com a seguinte composição 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 e de limpeza, capina, escarificação do solo e controle fitossanitários preconizados para a cultura, utilizando-se os produtos Vertimec® na concentração de  $0,3 \text{ mL L}^{-1}$  de solução e Evidence® na concentração de  $0,1 \text{ g L}^{-1}$ .

Aos 480 dias após o transplantio (DAT), avaliaram-se: o teor relativo de água (TRA), a porcentagem de extravasamento de eletrólitos (% EE), as trocas gasosas e as variáveis de crescimento: altura de copa (AC), diâmetro de caule (DC), diâmetro de copa (DCopa), volume de copa (Vcopa) e índice de vigor vegetativo.

Para a determinação do teor relativo de água (TRA), 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 a perda de umidade, e obtendo a massa fresca (MF); em seguida, essas amostras foram colocadas em béquer, imersas em 50 mL de água destilada e acondicionadas por 90 minutos. 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 em temperatura  $\approx 65 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ , até peso constante para alcançar a massa seca. (MS) das amostras. O TRA foi determinado de acordo com Lima et al. (2015), pela Eq. 3:

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

Onde:

TRA = teor relativo de água (%);

MF= massa fresca de folha (g);

MT= massa túrgida (g);

MS = massa seca (g).

A porcentagem de extravasamento de eletrólitos (% EE) foi determinada 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:

$$\%EE = \frac{X_i}{X_f} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

% EE - porcentagem de extravasamento de eletrólitos;

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

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

As trocas gasosas: condutância estomática (gs), transpiração (E), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), eficiência instantânea no uso da água (EiUA) (A/E) e eficiência instantânea da carboxilação (EiCi) (A/Ci) medidas na terceira folha, contadas a partir do ápice do ramo principal da planta, com irradiação de 1200 μmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e fluxo de ar de 200 mL min<sup>-1</sup>, usando o equipamento portátil de medição de fotossíntese “LCPro+” da ADC BioScientific Ltda.



A AC teve como referência a distância do colo da planta à inserção do meristema apical, o diâmetro do caule constituiu na medição a três cm do colo da planta com auxílio de um paquímetro digital; O DCopa obtido através da média do diâmetro da copa observado na direção da linha (DL) e da entrelinha (DE) de plantio. Já o volume da copa (VCopa), calculado a partir da altura da copa (AC), DL e DE, utilizando Eq. 5 e, o IVV de acordo com a Eq. 6, conforme 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 ( $m^3$ );

$D_{\text{Copa}}$  - 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. Subsequente 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). A escolha do modelo foi feita pela significância dos coeficientes. Em caso de significância da interação entre fatores, foi utilizado o software TableCurve 3D para a elaboração das superfícies de resposta.

### 3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Houve interação significativa ( $p \leq 0,01$ ) dos níveis salinos e das concentrações de ácido salicílico apenas sobre a porcentagem de extravasamento de eletrólitos (Tabela 2). O teor relativo de água (TRA) foi afetado de forma significativa pelos fatores isolados.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância referente ao teor relativo de água (TRA) e a porcentagem de extravasamento de eletrólitos (% EE) das células de gravioleira cv. Morada Nova cultivada com águas salinas e concentrações de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplântio.

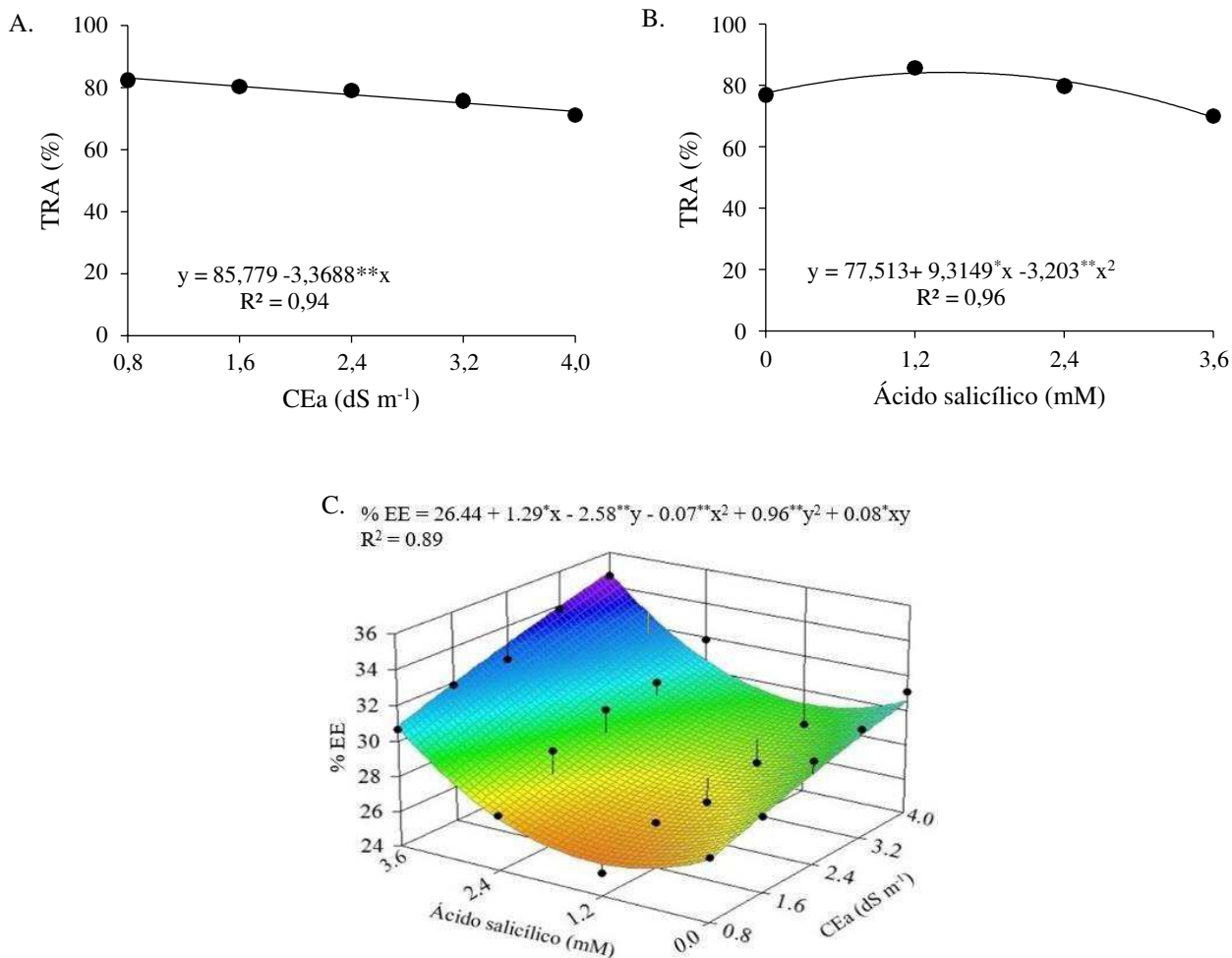
Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		TRA	% EE
Níveis Salinos (NS)	4	35,82**	22,48**
Regressão linear	1	39,31**	54,69**
Regressão quadrática	1	27,55 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>
Ácido Salicílico (AS)	3	90,54**	82,11**
Regressão linear	1	89,77*	28,88 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	137,87**	209,14**
Interação (NS × AS)	12	70,14 <sup>ns</sup>	23,84**
Blocos	2	3,91 <sup>ns</sup>	3,27 <sup>ns</sup>
Resíduo	32	10,31	6,35
CV (%)		6,99	8,54

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

O teor relativo de água foi reduzido de forma linear com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 2A), sendo a redução de 3,9% por aumento unitário da CEa, ao comparar o TRA das plantas irrigadas com água de maior salinidade (4,0 dS m<sup>-1</sup>) em relação as cultivadas sob o menor nível salino (0,8 dS m<sup>-1</sup>), nota-se redução de 13,0%. O TRA é uma variável indicativa do status hídrico da planta e, sua redução em função da salinidade, pode ocorrer devido aos efeitos osmóticos, que restringe a absorção de água pelas plantas (Lima et al., 2015; Morais et al., 2018).

Em pesquisa desenvolvida por Silva Neta et al. (2021), avaliando a morfofisiologia do maracujazeiro BRS Rubi do Cerrado irrigado com águas salinas (0,3 a 3,5 dS m<sup>-1</sup>), também teve redução (2,91%) no TRA com aumento unitário da condutividade elétrica.

As concentrações de ácido salicílico influenciaram o TRA de gravioleira (Figura 2B). Observa-se que, as plantas submetidas à concentração de 1,45 mM se destacaram com o maior valor em TRA (84,3%). As plantas em concentração de ácido salicílico 1,45 mM, tiveram um aumento no TRA de 8,8% em relação às cultivadas sob à concentração 0 mM de AS.



X e Y – CEa e Concentração de AS, respectivamente; \*e\*\* Significativo a  $p \leq 0,05$  e  $0,01$  respectivamente.

**Figura 2.** Teor relativo de água – TRA de gravioleira cv. Morada Nova em função da condutividade elétrica da água - CEa (A) e das concentrações de ácido salicílico - AS (B); e superfície de resposta para a porcentagem de extravasamento de eletrólitos - % EE (C) em função da interação entre a CEa e as concentrações de AS, aos 480 dias após transplântio.

Para a % EE (Figura 2C), verifica-se que, a concentração de 1,3 mM de ácido salicílico amenizou os efeitos adversos da salinidade, com menor valor de % EE (25,78%) das plantas irrigadas com de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$  e aplicação foliar de 1,3 mM de AS. Já as plantas do tratamento testemunha (0 mM), quando irrigadas com água de  $0,8 \text{ dS}^{-1}$  apresentaram uma % EE de 27,43%, ou seja, aumento de 6,4% em relação as plantas em concentração de 1,3 mM.

Os efeitos positivos do ácido salicílico na redução da porcentagem de extravasamento de eletrólitos das células da gravioleira, podem ser atribuídos à melhoria na absorção de

nutrientes, proteção da membrana e aumento da atividade fotossintética, além disso, o AS pode interagir com as vias de sinalização de espécies reativas de oxigênio (ERO) e reduzir o estresse oxidativo (Herrera-Vásquez et al., 2015; Batista et al., 2019).

Vale ressaltar, que o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação associado as concentrações de ácido salicílico maiores que 1,3 mM, intensificaram os efeitos deletérios da salinidade sobre a porcentagem de extravasamento de eletrólitos das células, com a maior % EE (34,79%) nas plantas irrigadas com água de 4,0 dS m<sup>-1</sup> e com a concentração de 3,6 mM.

Tal resposta pode ser explicada pelo fato do estresse salino induzir a produção de ERO, devido à redução da absorção de luz e da cadeia transportadora de elétrons, causando danos foto-oxidativos aos fotossistemas (Yudina et al., 2020), peroxidação da membrana celular e aumento da porcentagem de dano protoplasmático das células.

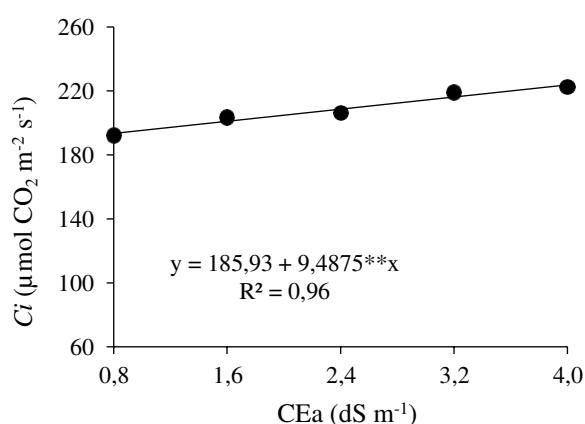
De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 3), a interação entre os níveis salinos (NS) e as concentrações de ácido salicílico (AS) interferiu de forma significativa todas as variáveis de trocas gasosas analisadas, exceto a concentração interna de CO<sub>2</sub> e a eficiência instantânea do uso da água. Já os níveis salinos, afetaram significativamente ( $p \leq 0,01$ ) as *Ci*, *gs*, *E*, *A* e *EiCi*. As concentrações de ácido salicílico proporcionaram efeito significativo para *gs*, *A*, *EiCi* e *EiUA*.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância referente à concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*) e eficiência instantânea do uso da água (*EiUA*) de gravioleira cv. Morada Nova irrigadas com águas salinas e concentrações de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplantio.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio					
		<i>Ci</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>EiCi</i>	<i>EiUA</i>
Níveis Salinos (NS)	4	1796,9*	2,4×10 <sup>-3**</sup>	0,98**	16,57**	5,9×10 <sup>-4**</sup>	0,54 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	6393,5**	4,8×10 <sup>-3**</sup>	3,02**	61,76**	2,2×10 <sup>-3**</sup>	1,81 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	6,86 <sup>ns</sup>	3,6×10 <sup>-3*</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	1,5×10 <sup>-5ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
Ácido Salicílico (AS)	3	1166,6 <sup>ns</sup>	5,9×10 <sup>-4*</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	3,71*	1,9×10 <sup>-4**</sup>	0,77**
Regressão linear	1	87,5 <sup>ns</sup>	1,0×10 <sup>-3*</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	4,76*	9,7×10 <sup>-5ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	194,5 <sup>ns</sup>	6,0×10 <sup>-4ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	6,29**	4,9×10 <sup>-4**</sup>	1,32*
Interação (NS × AS)	12	1069,1 <sup>ns</sup>	2,4×10 <sup>-3**</sup>	0,42**	3,22**	1,2×10 <sup>-4**</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
Blocos	2	5590,4*	1,5×10 <sup>-3**</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	9,14**	5,5×10 <sup>-5ns</sup>	3,08**
Resíduo	32	685,2	1,8×10 <sup>-4</sup>	0,11	1,08	3,8×10 <sup>-5</sup>	0,26
CV (%)		17,80	12,74	17,74	16,68	20,17	15,18

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

O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação promoveu um efeito linear crescente na concentração interna de CO<sub>2</sub> (Figura 3), com incremento de 5,10% por acréscimo unitário da CEa. As plantas irrigadas com água de maior salinidade (4,0 dS m<sup>-1</sup>) tiveram um aumento de 15,7% (30,4 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), em relação as cultivadas com CEa de 0,8 dS m<sup>-1</sup>. Tal resposta pode estar relacionada a redução da atividade da enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (Rubisco), resultante do estresse causado pelo excesso de sais (Dias et al., 2018). Corroborando com o presente estudo, Lima et al. (2020) em estudo com maracujazeiro, avaliando os efeitos da irrigação com águas salinas (CEa: 0,3 a 3,5 dS m<sup>-1</sup>) nas trocas gasosas, constataram aumento de 5,03% na *Ci* com incremento unitário da CEa.



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

**Figura 3.** Concentração interna de CO<sub>2</sub> - *Ci* de gravioleira cv. Morada Nova em função da condutividade elétrica da água – CEa, aos 480 dias após transplântio.

A *gs* das plantas de graviola (Figura 4A) irrigadas com água de 1,4 dS m<sup>-1</sup> e submetidas a concentração de 1,2 mM tiveram o maior valor (0,083 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), correspondendo um aumento de 5,2% (0,004 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) em relação as plantas do tratamento testemunha (0 mM) irrigadas com o mesmo nível salino. Entretanto, as concentrações de AS acima de 1,2 mM associadas ao aumento da CEa, promoveram redução da *gs*, com menor valor (0,031 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) das plantas em concentração de 3,6 mM de AS e irrigadas com água de 4,0 dS m<sup>-1</sup>.

Em condições de estresse salino, as plantas podem fechar seus estômatos em resposta à diminuição do teor relativo de água nas folhas (Figura 2A). Apesar da redução da condutância estomática nas plantas irrigadas com maior nível salino (4,0 dS m<sup>-1</sup>), não houve restrição na concentração interna de CO<sub>2</sub> (Figura 3).

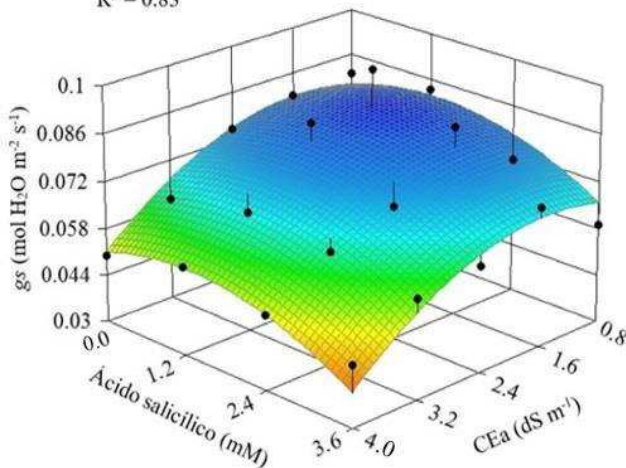
Em pesquisa desenvolvida por Khoshbakht & Asgharei (2015), avaliando a influência do ácido salicílico (0 a 1 mM) aplicado via foliar no crescimento, nas trocas gasosas e fluorescência da clorofila em citros sob condições salinas (0 a 75 mM de NaCl), verificaram que, a aplicação de ácido salicílico na concentração de 1,0 mM proporcionou maior grau de abertura estomática em relação ao tratamento controle.

O ácido salicílico até a concentração de 1,4 mM promoveu aumento da  $E$  e  $A$ , independente da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 4B e 4C). As plantas submetidas a concentração de 1,4 mM e irrigadas com água de 1,6 dS m<sup>-1</sup> tiveram maior valor de  $E$  (2,17 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e da  $A$  (7,7 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). As plantas de graviola irrigadas com água de 1,6 dS m<sup>-1</sup> e concentração de AS de 1,4 mM aumentaram em 7,8% (0,16 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e 6,8% (0,49 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) a  $E$  e  $A$ , respectivamente, em relação as cultivadas com CEa de 1,6 dS m<sup>-1</sup> e sem aplicação do AS (0 mM).

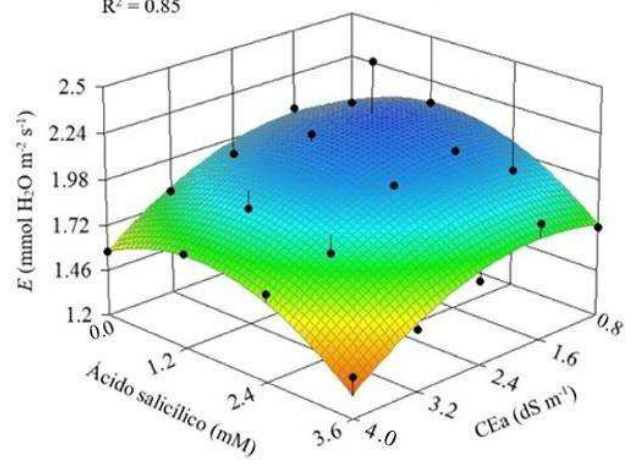
Resultados semelhantes foram obtidos por Mohammadi et al. (2020), avaliando o efeito da pulverização foliar de ácido salicílico (0 a 2 mM) em plantas de amêndoa (*Prunus amygdalus L.*) sobre estresse salino (0 a 8 dS m<sup>-1</sup>), notaram que, a aplicação de AS na concentração de 1 mM amenizou os efeitos deletérios da salinidade sobre a condutância estomática, transpiração e taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> das plantas.

O ácido salicílico auxilia na proteção e no aumento da atividade de enzimas antioxidantes em condições estressantes, tornando as plantas tolerantes ao estresse (Rajeshwari & Bhuvaneshwari, 2017). Em condições de estresse salino, o ácido salicílico pode agir na diminuição de íons de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> e aumentar a relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>, melhorando a atividade fotossintética (Gunes et al., 2007; Tufail et al., 2013). De acordo com Nahar et al. (2016), a substituição de Na<sup>+</sup> por K<sup>+</sup>, exclusão de Na<sup>+</sup> e retenção de K<sup>+</sup> intracelular são mecanismos importantes para tolerância das plantas ao estresse salino.

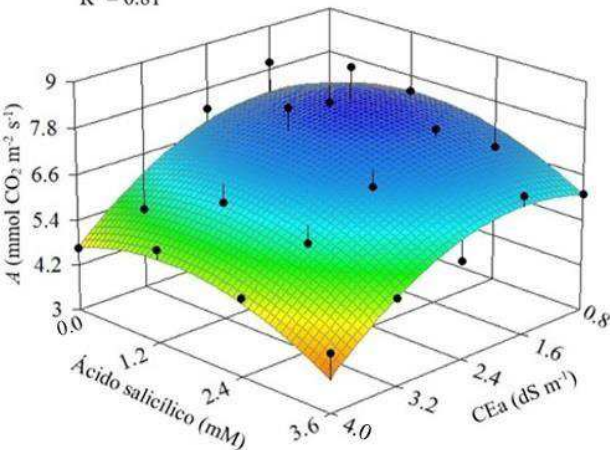
A.  $g_s = 0.069 + 0.014 \cdot x - 0.005 \cdot x^2 + 0.007 \cdot y - 0.003 \cdot y^2$   
 $R^2 = 0.83$



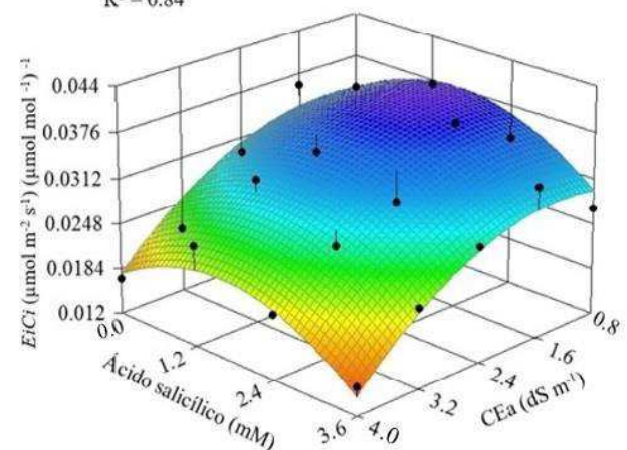
B.  $E = 1.813 + 0.250 \cdot x - 0.078 \cdot x^2 + 0.225 \cdot y - 0.081 \cdot y^2$   
 $R^2 = 0.85$



C.  $A = 6.059 + 1.413 \cdot x - 0.439 \cdot x^2 + 0.721 \cdot y - 0.265 \cdot y^2$   
 $R^2 = 0.81$



D.  $EiCi = 0.030 + 0.005 \cdot x - 0.002 \cdot x^2 + 0.007 \cdot y - 0.002 \cdot y^2$   
 $R^2 = 0.84$



X e Y – CEa e Concentração de AS, respectivamente; \*e\*\* Significativo a  $p \leq 0,05$  e  $0,01$  respectivamente.

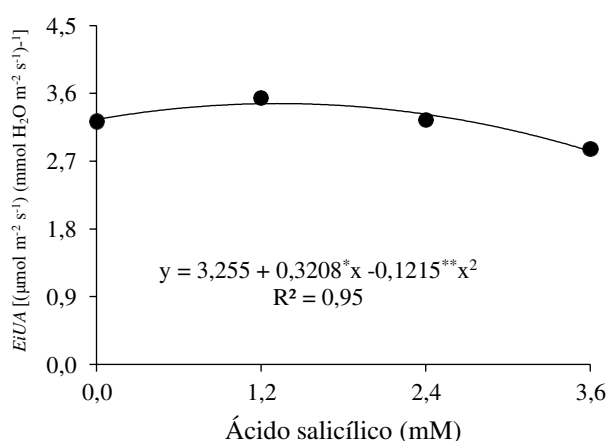
**Figura 4.** Superfície de resposta para condutância estomática -  $g_s$  (A), transpiração -  $E$  (B), taxa de assimilação de  $CO_2$  -  $A$  (C) e eficiência instantânea da carboxilação -  $EiCi$  (D) de gravioleira cv. Morada Nova em função da interação entre a condutividade elétrica da água - CEa e as concentrações de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplante.

Para a  $EiCi$  (Figura 4D), verifica-se que, concentrações de AS acima de 1,6 mM a e salinidade da água de irrigação a partir de 1,3  $dS\ m^{-1}$  induziram reações negativas na  $EiCi$ , obtendo-se o menor valor de  $EiCi$  ( $0,017\ (\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1})\ (\mu mol\ mol^{-1})^{-1}$ ) nas plantas irrigadas com água de 4,0  $dS\ m^{-1}$  e concentração de 3,6 mM.

As reduções na  $EiCi$  estão relacionadas as diminuições da taxa de assimilação de  $CO_2$  (Figura 4C) e do aumento da  $Ci$  (Figura 3), devido à baixa eficiência da enzima Ribulose-

1,5-bisfosfato caboxilase/oxigenase (RuBisCO) na carboxilação do CO<sub>2</sub> (Sousa et al. 2016). Indicando que fatores de ordem não estomática atuam sobre a atividade fotossintética de gravioleira.

As concentrações de ácido salicílico influenciaram significativamente a eficiência instantânea do uso da água (Figura 5). Pois, as plantas submetidas à concentração de 1,32 mM se destacaram com maior *EiUA* [3,47 (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol mol<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>], havendo redução da *EiUA* quando pulverizadas com concentrações acima de 1,32 mM de AS. Ao comparar o *EiUA* das plantas em concentração de ácido salicílico 1,32 mM em relação às tratadas com a concentração 0 mM de AS, o aumento é de 6,4% [0,21 (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol mol<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>].



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

**Figura 5.** Eficiência instantânea do uso da água - *EiUA* de gravioleira cv. Morada Nova em função das concentrações de ácido salicílico – CEa, aos 480 dias após transplântio.

O ácido salicílico promoveu aumento no TRA (Figura 1B) e na *EiUA* (Figura 5), amenizou os efeitos do estresse salino na porcentagem de extravasamento de eletrólitos das células (Figura 2C). As plantas pulverizadas com AS entre as concentrações de 1,2 e 1,6 mM e submetidas ao estresse salino apresentaram maiores valores de *gs*, *E*, *A* e *EiCi* (Figuras 4) em comparação com aquelas cultivadas sem aplicação do AS.

Houve efeito significativo da interação entre os níveis salinos e das concentrações de ácido salicílico sobre todas as variáveis de crescimento, exceto sobre o diâmetro de copa (Tabela 4). O diâmetro de caule, altura de copa, volume de copa e índice de vigor vegetativo foram afetados de forma significativa ( $p \leq 0,01$ ) pelos níveis salinos. Já as



concentrações de ácido salicílico afetaram de forma significativa apenas a altura e o volume de copa.

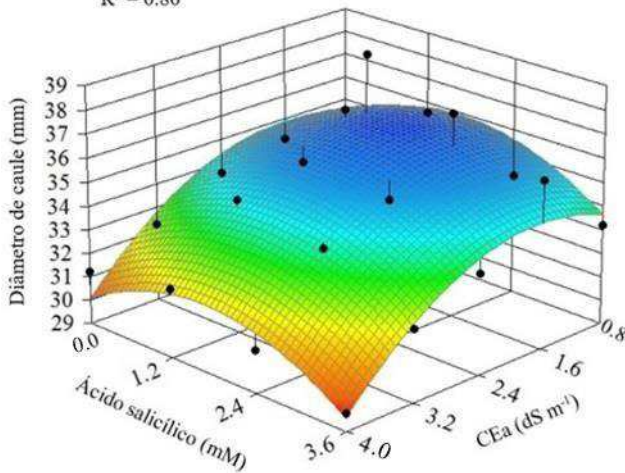
**Tabela 4.** Resumo da análise de variância referente ao diâmetro de caule (DC), altura de copa (AC), diâmetro de copa ( $D_{Copa}$ ), volume de copa ( $V_{Copa}$ ) e índice de vigor vegetativo (IVV) de gravioleira irrigadas com águas salinas e aplicação foliar de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplante.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio				
		DC	AC	DCopa	VCopa	IVV
Níveis Salinos (NS)	4	80,91**	0,087**	0,05 <sup>ns</sup>	0,23**	0,81**
Regressão linear	1	299,16**	0,15**	0,14 <sup>ns</sup>	0,51**	2,98**
Regressão quadrática	1	0,63 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>
Ácido Salicílico (AS)	3	5,88 <sup>ns</sup>	0,068**	0,01 <sup>ns</sup>	0,26**	0,06 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	2,67 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>	0,59**	0,03 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	1,15 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,024 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
Interação (NS×AS)	12	12,03**	0,021*	0,02 <sup>ns</sup>	0,19**	0,12**
Blocos	2	14,13**	0,005 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,14**
Resíduo	32	2,11	0,008	0,02	0,06	0,02
CV (%)		4,73	5,10	12,33	19,96	4,71

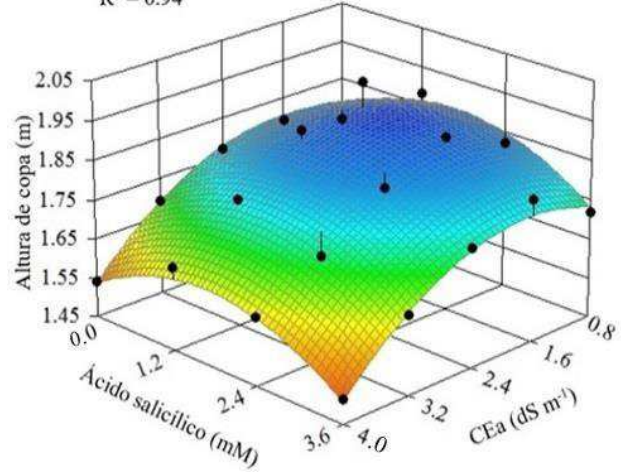
<sup>ns</sup>, \* e \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . CV: Coeficiente de variação

A pulverização com ácido salicílico até a concentração de 1,6 mM provocou aumento do DC, AC,  $V_{Copa}$  e IVV de gravioleira, independente da condutividade elétrica da água de irrigação (Figuras 6A, 6B, 6C e 6D). As plantas submetidas à concentração de 1,6 mM e irrigadas com água de 1,7 dS  $m^{-1}$  obtiveram os maiores valores de DC (36,54 mm), AC (1,89 m),  $V_{Copa}$  (1,25  $m^3$ ) e IVV (3,19). Ao comparar em termos relativos o DC, AC,  $V_{Copa}$  e IVV das plantas irrigadas com água de 1,7 dS  $m^{-1}$  e concentração de AS de 1,6 mM em relação as cultivadas com o mesmo nível salino, mas sem aplicação do AS (0 mM), nota-se um aumento de 4,84% (1,69 mm), 4,98% (0,09 m), 9,81% (0,11  $m^3$ ) e 7,27% (0,55) no DC, AC,  $V_{Copa}$  e IVV, respectivamente.

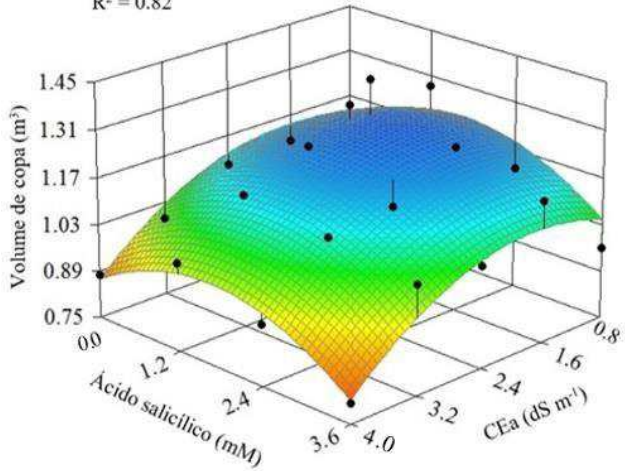
A.  $DC = 32.45 + 2.89^*x - 0.87^{**}x^2 + 2.03^*y - 0.61^{**}y^2$   
 $R^2 = 0.80$



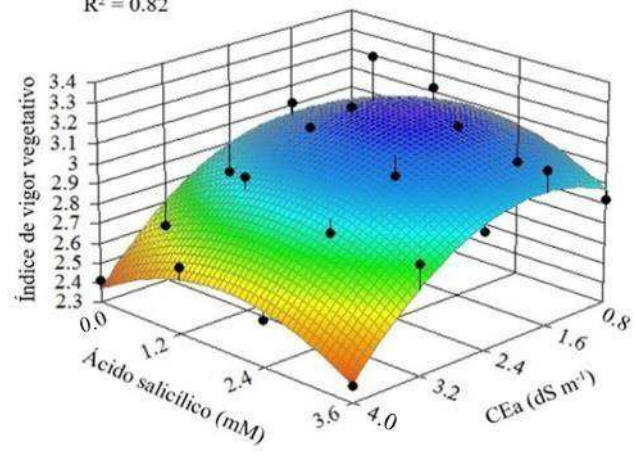
B.  $AC = 1.67 + 0.16^*x - 0.05^{**}x^2 + 0.12^*y - 0.04^{**}y^2$   
 $R^2 = 0.94$



C.  $V_{Copa} = 0.98 + 0.18^*x - 0.05^{**}x^2 + 0.15^*y - 0.05^{**}y^2$   
 $R^2 = 0.82$



D.  $IVV = 2.62 + 0.39^*x - 0.11^{**}x^2 + 0.25^*y - 0.07^{**}y^2$   
 $R^2 = 0.82$



X e Y – CEa e ácido salicílico, respectivamente; \*, \*\* Significativo a  $p \leq 0,05$  e  $0,01$  pelo teste F

**Figura 6.** Superfície de resposta para o diâmetro de caule (A), altura de copa (B), volume de copa (C) e índice de vigor vegetativo (D) de gravioleira cv. Morada Nova em função da interação entre a condutividade elétrica da água - CEa e as concentrações de ácido salicílico, aos 480 dias após transplantio.

O ácido salicílico desempenha papel importante na regulação de vários processos fisiológicos e de desenvolvimento de plantas, aumenta o crescimento de células radiculares pela divisão e expansão do meristema, contribuindo com o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Boukraâ et al., 2013; Souri & Tohidloo, 2019). Ademais, o efeito benéfico do AS nas variáveis de trocas gasosas resultam em melhoria nos parâmetros de crescimento, conforme observado em nosso estudo.

#### 4. CONCLUSÕES

A aplicação foliar do ácido salicílico entre as concentrações de 1,2 e 1,6 mM, ameniza os efeitos do estresse salino sobre a condutância estomática, taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, transpiração e eficiência instantânea da carboxilação da gravioleira, aos 480 dias após o transplântio.

A pulverização com ácido salicílico com concentrações entre 1,3 e 1,6 mM induz a aclimatação ao estresse salino da gravioleira, visto que, as plantas tiveram a porcentagem de extravasamento das células reduzidos e o crescimento beneficiado pela aplicação do ácido salicílico, mesmo quando expostas a salinidade.

A irrigação com água a partir de 0,8 dS m<sup>-1</sup> reduz o teor relativo de água nas folhas de gravioleira cv. Morada Nova.

#### 5. AGRADECIMENTO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão de auxílio financeiro (Proc. CNPq 430525/2018-4) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa concedida ao primeiro autor.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Abbaszadeh, B.; Layeghhighi, M.; Azimi, R.; Hadi, N. Improving water use efficiency through drought stress and using salicylic acid for proper production of *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, v. 144, n. 1, e111893, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111893>.
- Batista, V. C. V.; Pereira, I. M. C.; Paula-Marinho, S. O.; Canuto, K. M.; Pereira, R. D. C. A.; Rodrigues, T. H. S.; Carvalho, H. H. Salicylic acid modulates primary and volatile metabolites to alleviate salt stress-induced photosynthesis impairment on medicinal plant *Egletes viscosa*. *Environmental and Experimental Botany*, v. 167, n. 1, e103870, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103870>.
- Boukraâ, D.; Benabdelli, K.; Belabid, L.; Bennabi, F. Effect of salinity on chickpea seed germination pre-treated with salicylic acid. *Scientific Journal of Biological Sciences*, v. 2, n. 4, p. 86-93, 2013.
- Cavalcante, F. J. A. Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3.ed. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2008. 212p.

- Dias, A. S.; Lima, G. S. de; 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, n. 9, p. 628-633, 2018. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n9p628-633>.
- Ekbic, H. B.; Ozcan, N.; Erdem, H. Impacts of salicylic acid treatments on salt resistance of some American grapevine rootstocks. *Fresenius Environmental Bulletin*, v. 29, n. 2, p. 685-692, 2020.
- Esan, A. M.; Masisi, K.; Dada, F. A.; Olaiya, C. O. Comparative effects of indole acetic acid and salicylic acid on oxidative stress marker and antioxidant potential of okra (*Abelmoschus esculentus*) fruit under salinity stress. *Scientia Horticulturae*, v. 216, n. 1, p. 278-283, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.007>.
- Ferreira, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.
- Freitas, A. L. G. E. de; Vilasboas, F. S.; Pires, M. M.; São José, A. R. Caracterização da produção e do mercado da graviola (*Annona muricata* L.) no estado da Bahia. *Informações Econômicas*, v. 43, n. 1, p. 23-34, 2013.
- Gunes, A.; Inal, A.; Alpaslan, M.; Eraslan, F.; Bagci, E. G.; Cicek, N. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *Journal of Plant Physiology*, v. 164, n. 6, p. 728-736, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.12.009>.
- Herrera-Vásquez, A.; Salinas, P.; Holuigue, L. Salicylic acid and reactive oxygen species interplay in the transcriptional control of defense genes expression. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, n. 1, p. 171-179, 2015. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00171>.
- Jimenez, V. M.; Gruschwitz, M.; Schweiggert, R. M.; Carle, R.; Esquivel, P. Identification of phenolic compounds in soursop (*Annona muricata* L.) pulp by high-performance liquid chromatography with diode array and electrospray ionization mass spectrometric detection. *Food Research International*, v. 65, n. 1, p. 42-46, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.051>.
- Jasim, N. S.; Ati, M. A. A. Effect of salicylic acid on antioxidant enzymes and biochemical contents of date palm plantlets (*Phoenix dactylifera* L.) under salt stress conditions. *Indian Journal of Ecology*, v. 47, n. 2, p. 378-382, 2020.

- Lima, G. S. de; Fernandes, C. G. J.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D. Gas exchange, chloroplast pigments and growth of passion fruit cultivated with saline water and potassium fertilization. *Revista Caatinga*, v. 33, n. 1, p. 184-194, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n120rc>.
- 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, n. 13, p. 1581-1594, 2015.
- Khoshbakht, D.; Asgharei, M. R. Influence of foliar-applied salicylic acid on growth, gas-exchange characteristics, and chlorophyll fluorescence in citrus under saline conditions. *Photosynthetica*, v. 53, n. 3, p. 410-418, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0109-2>.
- Leite Neta, M. T. S.; Jesus, M. S. de; Silva, J. L. A.; Araujo, H. C. S.; Sandes, R. D.; Shanmugam, S.; Narain, N. Effect of spray drying on bioactive and volatile compounds in soursop (*Annona muricata* L.) fruit pulp. *Food Research International*, v. 124, n. 1, p. 70-77, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.039>.
- Mahmoud, L. M.; Vincent, C. I.; Grosser, J. W.; Dutt, M. The response of salt-stressed Valencia sweet orange (*Citrus sinensis*) to salicylic acid and methyl jasmonate treatments. *Plant Physiology Reports*, v. 26, n. 1, p. 1-15, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40502-020-00563-z>.
- 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. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1992, 173p.
- Mohamed, I. A. A.; Shalby, N.; Bai, C.; Qin, M.; Agami, R. A.; Jie, K.; Zhou, G. Stomatal and photosynthetic traits are associated with investigating sodium chloride tolerance of *Brassica napus* L. cultivars. *Plants-Basel*, v. 9, n. 1, p. 1-19, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9010062>.
- Mohammadi, H.; Imani, A.; Asghari, M. R.; Abdossi, V.; Talaie, A. R. Exogenous salicylic acid attenuates the adverse effects of salinity on some parameters related to photosynthesis of almond. *Journal of Agricultural Science and Technology*, v. 22, n. 2, p. 519-534, 2020.
- Morais, M. B. de; Camara, T. R.; Ulisses, C.; Carvalho Filho, J. L. S.; Willadino, L. Multiple stresses on the oxidative metabolism of sugarcane varieties. *Ciência Rural*, v. 48, n. 4, p. 1-8, 2018. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141487>.

- Nahar, K.; Hasanuzzaman, M.; Rahman, A.; Alam, M.; Mahmud, J. A.; Suzuki, T.; Fujita, M. Polyamines confer salt tolerance in mung bean (*Vigna radiata* L.) by reducing sodium uptake, improving nutrient homeostasis, antioxidant defense, and methylglyoxal detoxification systems. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, n. 1, p. 1104-1118, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01104>.
- Nazar, R.; Umar, S.; Khan, N. A.; Sareer, O. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. *South African Journal of Botany*, v. 98, n. 1, p. 84-94, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.02.005>.
- 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, n. 1, p. 70-75, 2016. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.267>.
- Rajeshwari, V.; Bhuvaneshwari, V. Salicylic acid induced salt stress tolerance in plants. *International Journal of Plant Biology and Research*, v. 5, n. 3, p. 1067-1073, 2017.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U.S. Department of Agriculture. 1954. 160 p. USDA Handbook 60.
- Samadi, S.; Habibi, G.; Vaziri, A. Effects of exogenous salicylic acid on antioxidative responses, phenolic metabolism and photochemical activity of strawberry under salt stress. *Iranian Journal of Plant Physiology*, v. 9, n. 2, p. 2685-2694, 2019. <https://doi.org/10.22034/IJPP.2019.545950>.
- Sánchez, C. F. B.; Lopes, B. E.; Teodoro, P. E.; Garcia, A. D. P.; Peixoto, L. A.; Silva, L. A.; Bhering, L. L. Genetic diversity among soursop genotypes based on fruit production. *Bioscience Journal*, v. 34, n. 1, p. 122-128, 2018.
- 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, n. 1, p. 86-93, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500010>.
- 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, n. 1, p. 1002-1013, 2013. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i12.16733>.

- Silva, A. A. R. da; Lima, G. S. de; Azevedo, C. A. V. de; Veloso, L. L. S. A.; Gheyi, H. R. Salicylic acid as an attenuator of salt stress in soursop. *Revista Caatinga*, v. 33, n. 4, p. 1092-1101, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n424rc>.
- Silva Neta, A. M. S.; Soares, L. A. A.; Lima, G. S. de; Silva, L. A.; Ferreira, F. N.; Fernandes, P. D. Morphophysiology of the passion fruit 'BRS Rubi do Cerrado' irrigated with saline waters and nitrogen fertilization. *Comunicata Scientiae*, v. 12, n. 1, e3456, 2021. <https://doi.org/10.14295/cs.v12.3456>.
- Souana, K.; Taïbi, K.; Abderrahim, L. A.; Amirat, M.; Achir, M.; Boussaid, M.; Mulet, J. M. Salt-tolerance in *Vicia faba* L. is mitigated by the capacity of salicylic acid to improve photosynthesis and antioxidant response. *Scientia Horticulturae*, v. 273, n. 1, e109641, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109641>.
- Souri, M. K.; Tohidloo, G. Effectiveness of different methods of salicylic acid application on growth characteristics of tomato seedlings under salinity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 6, n. 1, p. 26-32, 2019. <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0169-9>.
- Taïbi, K.; Taïbi, F.; Abderrahim, L. A.; Ennajah, A.; Belkhodja, M.; Mulet, J. M. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. *South African Journal of Botany*, v. 105, n. 1, p. 306-312, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.011>.
- 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.
- Tufail, A.; Arfan, M.; Gurmani, A. R.; Khan, A.; Bano, A. Salicylic acid induced salinity tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*, v. 45, n. 1, p. 75-82, 2013.
- Veloso, L. L. S. A.; Nobre, R. G.; Lima, G. S. de; Barbosa, J. L.; Melo, E. N.; Gheyi, H. R.; Gonçalves, E. B.; Souza, C. M. A. Quality of soursop (*Annona muricata* L.) seedlings under different water salinity levels and nitrogen fertilization. *Australian Journal of Crop Science*, v. 12, n. 2, p. 306-310, 2018. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.02.pne892>.
- Veloso, L. L. S. A.; Azevedo, C. A. V.; Silva, A. A. R.; Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Nobrega, R. A.; Lucena, R. C. M. Effects of saline water and exogenous application of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) on soursop (*Annona muricata* L.) at vegetative stage. *Australian Journal of Crop Science*, v. 13, n. 3, p. 472-479, 2019. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.03.p1583>.

Yudina, L.; Sukhova, E.; Gromova, E.; Nerush, V.; Vodeneev, V.; Sukhov, V. A light-induced decrease in the photochemical reflectance index (PRI) can be used to estimate the energy-dependent component of non-photochemical quenching under heat stress and soil drought in pea, wheat, and pumpkin. *Photosynthesis Research*, v. 146, n. 1, p. 175-187, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11120-020-00718-x>.



## CAPÍTULO V

---

### **ÁCIDO SALICÍLICO MELHORA OS INDICADORES FISIOLÓGICOS DE GRAVIOLEIRA SOB ESTRESSE SALINO**

*Artigo publicado na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 26, n. 6,  
p. 412-419, 2022.*

## ÁCIDO SALICÍLICO MELHORA OS INDICADORES FISIOLÓGICOS DE GRAVIOLEIRA SOB ESTRESSE SALINO

**RESUMO:** As plantas cultivadas sob salinidade estão sujeitas aos estresses osmóticos e iônicos que ocasionam várias alterações fisiológicas, assim, a busca por estratégias que minimizem os efeitos deletérios é imprescindível para o desenvolvimento da agricultura irrigada. Neste contexto, objetivou-se avaliar os efeitos de concentrações de ácido salicílico na mitigação dos efeitos do estresse salino nos pigmentos fotossintéticos e na fluorescência da clorofila *a* da gravioleira cv. Morada Nova. O estudo foi conduzido em casa de vegetação, no delineamento de blocos casualizados e arranjo fatorial  $5 \times 4$ , com cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8 - controle; 1,6; 2,4; 3,2 e 4,0  $\text{dS m}^{-1}$ ) e quatro concentrações de ácido salicílico - AS (0; 1,2; 2,4 e 3,6 mM), com três repetições. A aplicação foliar do ácido salicílico na concentração de 1,4 mM amenizou os efeitos do estresse salino sobre a clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides da gravioleira quando irrigadas com água de até 1,5  $\text{dS m}^{-1}$ . O ácido salicílico em concentrações acima de 1,4 mM aliado a irrigação com água salina intensificou os efeitos deletérios sobre os pigmentos fotossintéticos. A fluorescência da clorofila *a* não foi influenciada de forma significativa pelas pulverizações de ácido salicílico. O incremento na condutividade elétrica da água de irrigação afetou negativamente a fluorescência da clorofila *a* da gravioleira, aos 480 dias após o transplante. A irrigação com água de até 1,8  $\text{dS m}^{-1}$  não comprometeu a eficiência quântica do fotossistema II.

**Palavras-chave:** *Annona muricata* L., salinidade, fisiologia, aclimação

## SALICYLIC ACID IMPROVES PHYSIOLOGICAL INDICATORS OF SOURSOP UNDER SALT STRESS

**ABSTRACT:** Plants grown under saline conditions are subject to osmotic and ionic stresses that cause several physiological changes, thus, the search for strategies that minimize the harmful effects is essential for the development of irrigated agriculture. In this context, the objective of present study was to evaluate the effects of foliar applications of salicylic acid in mitigating the effects of salt stress on photosynthetic pigments and on the chlorophyll *a* fluorescence of soursop cv. Morada Nova. The study was carried out in a greenhouse, in a randomized block design and a  $5 \times 4$  factorial arrangement, with five

levels of electrical conductivity of the irrigation water - EC<sub>w</sub> (0.8 - control; 1.6; 2.4; 3, 2 and 4.0 dS m<sup>-1</sup>) and four concentrations of salicylic acid - AS (0; 1.2; 2.4 and 3.6 mM), with three repetitions. Foliar application of salicylic acid at a concentration of 1.4 mM alleviated the effects of salt stress on chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, total chlorophyll, and soursop carotenoids when irrigated with water up to 1.5 dS m<sup>-1</sup>. Salicylic acid at concentrations above 1.4 mM combined with saline water irrigation intensified the deleterious effects on photosynthetic pigments. The chlorophyll *a* fluorescence was not influenced by the salicylic acid sprays. The increase in the electrical conductivity of the irrigation water negatively affected the chlorophyll *a* fluorescence of soursop, at 480 days after transplanting. Irrigation with water up to 1.8 dS m<sup>-1</sup> did not compromise the quantum efficiency of photosystem II.

**Key words:** *Annona muricata* L, salinity, physiology, acclimatization

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial faz com que a produção de alimentos necessite ser cada vez mais eficiente, entretanto, a produtividade das culturas não aumenta em conjunto com a demanda de alimentos (Ali et al., 2020). Em certas situações, a baixa produtividade se deve aos estresses abióticos, incluindo o estresse salino, um dos mais ameaçadores para o desenvolvimento da agricultura irrigada, sendo o responsável por inibir o crescimento e o desenvolvimento das culturas agrícolas, especialmente, em regiões semiáridas (Li et al., 2020; Hassan et al., 2021).

O estresse salino provoca a redução na absorção de água pelas plantas em consequência do efeito osmótico, além disso, a toxicidade iônica, causada pelo acúmulo de sais em excesso nas plantas, interrompe uma série de processos metabólicos, como por exemplo, a inativação da atividade enzimática, degradação das clorofilas e baixa eficiência fotossintética (Kaya et al.; 2015; Safdar, et al., 2019). O aumento na concentração de sais na água de irrigação, promove mudanças estruturais nos pigmentos fotossintéticos, comprometendo a eficiência da energia de excitação da antena de coleta de luz provocando danos aos centros de reação do Fotossistema II (Tatagiba et al., 2014), e também a fluorescência da clorofila *a*.

Desta forma, as estratégias que possibilitem a utilização de águas salinas na agricultura são de extrema importância. Dentre essas estratégias, destaca-se a utilização de substâncias elicitoras, como ácido salicílico, que atua na melhoria da eficiência dos

processos metabólicos, resultando na aclimação aos estresses abióticos, como o estresse salino (Silva et al., 2019).

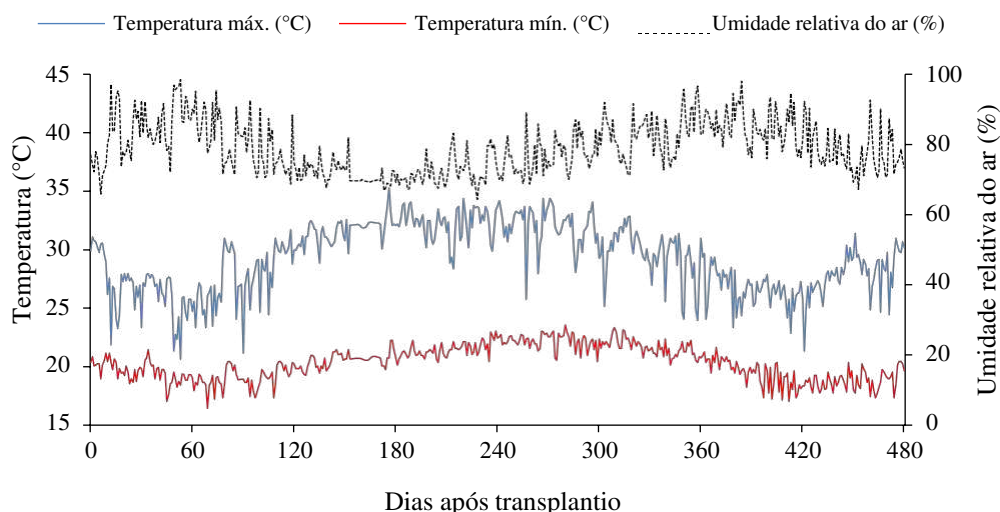
O efeito benéfico da aplicação foliar do ácido salicílico está relacionado a regulação da condutância estomática (Khan et al., 2019), absorção de íons (Lotfi et al., 2020), redução do dano oxidativo (Souana et al., 2020), melhor atividade fotossintética (Batista et al., 2019) e melhoria na absorção de nutrientes (Mallahi et al., 2018). Contudo, é provável que o efeito do ácido salicílico dependa de vários fatores, incluindo a concentração da solução, a espécie da planta, o estágio de desenvolvimento e o modo de aplicação (Horváth et al., 2015; Poór et al., 2019).

A gravioleira (*Annona muricata* L.) é uma fruteira de clima tropical, que encontra na região Nordeste condições edáficas, de temperatura e luminosidade ideais para seu desenvolvimento (Lemos, 2014). A produção vem aumentando nos últimos anos, sobretudo, no Estado da Bahia, destacando-se como alternativa na geração de renda em substituição das lavouras de cacau afetadas pela Vassoura de Bruxa do Cacaueiro (Caliman et al., 2020).

Neste contexto, objetivou-se com o presente estudo, avaliar os efeitos de concentrações de ácido salicílico na mitigação dos efeitos do estresse salino nos pigmentos fotossintéticos e na fluorescência da clorofila *a* da gravioleira cv. Morada Nova.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi desenvolvido durante o período de junho de 2019 a outubro de 2020, em ambiente protegido (casa de vegetação) pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UAEEA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, localizado 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 média do ar do local do experimento estão 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 cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,8; 1,6; 2,4; 3,2 e 4,0  $\text{dS m}^{-1}$ ) e quatro concentrações de ácido salicílico - AS (0; 1,2; 2,4 e 3,6 mM), no arranjo fatorial  $5 \times 4$ , distribuídos em blocos casualizados, com três repetições, perfazendo o total de 60 unidades experimentais.

As concentrações de ácido salicílico (AS) foram estabelecidas de acordo com estudo desenvolvido por Abbaszadeh et al. (2020) e os níveis salinos da água de acordo com Veloso et al. (2019).

A cultivar de gravioleira Morada Nova, foi escolhida por ser a mais apreciada pelos produtores, compondo a maioria dos pomares comerciais no Brasil, além de possuir frutos maiores, que podem pesar até 15 kg, e proporciona maior produção em comparação as demais cultivares (São José et al., 2014). As mudas foram propagadas de forma sexuada e período de formação foi de 330 dias. Após esse período foi realizado o transplante para vasos plásticos.

Para condução do experimento foram usados vasos plásticos adaptados como lisímetros de drenagem, com capacidade de 120 L, preenchidos com uma camada de 1,0 kg de brita seguido de 160 kg de solo classificado como *Entisol* (United States, 2014), coletado na profundidade de 0-30 cm, procedente do município de Lagoa Seca-PB, cujas as características físico-químicas (Tabela 1) foram determinadas conforme metodologias descritas por 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) (1:2,5)	M.O dag kg <sup>-1</sup>	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	PST (%)	CEes (dS m <sup>-1</sup> )
.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) .....									
5,90	1,36	6,80	0,22	0,16	2,60	3,66	1,93	1,87	1,0
Características físico-hídricas									
Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Classe textural	Umidade (kPa)		AD	Porosidade total %	DA	DP
Areia	Silte	Argila		33,42*	1519,5**				
..... dag kg <sup>-1</sup> .....									
732,9	142,1	125,0	FA	11,98	4,32	7,66	47,74	1,39	2,66

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; CEes – 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>). 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 CEa e a concentração de sais (Richards, 1954), conforme a Eq. 1:

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

Onde:

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 75 dias após o transplante, iniciou-se a irrigação com as águas salinas, adotando-se um turno de rega de 3 dias, aplicando a água em cada lisímetro, conforme tratamento de forma a manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo, sendo o volume a ser aplicado determinado de acordo com a necessidade hídrica das plantas, estimada pelo balanço de água, e o volume de água conforme indica a Eq. 2:

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

Onde:

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

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

Vd - volume drenado (mL);

FL - fração de lixiviação de 0,15, aplicado a cada 30 dias para evitar acumulação excessiva de sais.

As concentrações de ácido salicílico foram obtidas mediante dissolução do produto em álcool etílico (30%), por se tratar de uma substância de baixa solubilidade em água à temperatura ambiente. Para diminuir a tensão superficial das gotas na superfície foliar foi utilizado na preparação da solução o adjuvante Wil fix<sup>®</sup> na concentração de 0,5 mL L<sup>-1</sup> de solução.

As aplicações foliares foram iniciadas aos 60 dias após o transplântio (DAT), nas faces abaxial e adaxial das folhas. As aplicações subsequentes feitas em intervalos de 30 dias utilizando-se um pulverizador costal entre às 17:00 e 17:45 horas. O pulverizador utilizado é um modelo da 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 400 mL.

As adubações com nitrogênio, fósforo e potássio foram baseadas na metodologia proposta por Cavalcante et al. (2008) para a cultura da gravioleira, em que foram aplicados 100 g de nitrogênio, 60 g de fósforo e 40 g de potássio por planta ano, divididos em 24 parcelas com intervalos de 15 dias. Como fonte de nitrogênio a ureia, de fósforo o fosfato monoamônio, e de potássio o cloreto de potássio.

Foi aplicada, quinzenalmente, uma solução Dripsol<sup>®</sup> micro para suprir a exigência de micronutrientes 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 e de limpeza, capina, escarificação do solo e controle fitossanitários preconizados para a cultura, utilizando-se os produtos Vertimec<sup>®</sup> na concentração de 0,3 mL L<sup>-1</sup> de solução e Evidence<sup>®</sup> na concentração de 0,1 g L<sup>-1</sup>.

A poda de formação consistiu na condução em haste única da planta, deixando a primeira ramificação a 50 cm da superfície do solo, em seguida foram deixados três ramos bem localizados em diferentes alturas, distribuídos simetricamente em espiral. Estes, denominados ramos primários, formaram a estrutura base da copa e podados quando

atingiram 30 cm de comprimento, de modo a estimular a brotação de ramos secundários e controlar o crescimento lateral. A poda de limpeza eliminou os ramos emitidos próximos ao solo e aqueles com crescimento lateral anormal, evitando problemas de entrelaçamento de galhos, além de manter uma copa bem arejada, permitindo a penetração da luz solar, do mesmo modo foram retirados os galhos secos e praguejados.

Aos 480 dias após o transplântio (DAT), avaliaram-se: os pigmentos fotossintéticos: clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), clorofila total (Cl *t*) e carotenoides (Car) e a fluorescência da clorofila: fluorescência inicial (Fo), máxima (Fm), variável (Fv = Fm - Fo) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm).

A quantificação dos teores de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b*, clorofila total e carotenoides) foi realizada de acordo com Arnon (1949), com extratos vegetais a partir de amostras de discos do limbo da terceira folha madura a partir do ápice. Cada amostra recebeu 6,0 mL de Acetona P.A a 80%. Por meio destes extratos foram determinadas as concentrações de clorofila e carotenoides nas soluções com a utilização do espectrofotômetro no comprimento de onda de absorbância (ABS) (470, 647, e 663 nm), por meio das seguintes Eq. 3, 4, 5 e 6:

$$Cl\ a = (12,25 \times ABS_{663}) - (2,79 \times ABS_{647}) \quad (3)$$

$$Cl\ b = (21,5 \times ABS_{647}) - (5,10 \times ABS_{663}) \quad (4)$$

$$Cl\ t = (7,15 \times ABS_{663}) + (18,71 \times ABS_{647}) \quad (5)$$

$$Car = \frac{|(1000 \times ABS_{470}) - (1,82 \times Cl\ a) - (85,02 \times Cl\ b)|}{198} \quad (6)$$

Onde:

Cl *a* - clorofila *a*;

Cl *b* - clorofila *b*;

Cl *t* - clorofila *total*;

Car - carotenoides;

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

A fluorescência da clorofila foi avaliada na terceira folha, contada a partir do ápice do ramo principal da planta, às 8:00 horas, utilizando-se um fluorímetro de pulso modulado modelo OS5p da Opti Science; utilizando-se o protocolo Fv/Fm. Tal protocolo ocorreu após adaptação das folhas ao escuro por um período de 30 min, usando-se um clipe do



equipamento, de modo a garantir que todos os aceptores estivessem oxidados, ou seja, com os centros de reação abertos (Sá et al. 2015).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk) ao nível de 0,05 de probabilidade. Logo após, a análise de variância ao nível de 0,05 de probabilidade, e nos casos de significância, realizou-se análise de regressão linear e quadrática com o software estatístico SISVAR-ESAL (Ferreira, 2019). A escolha do modelo de regressão (linear ou quadrática) foi feita pela significância dos coeficientes de determinação. Em caso de significância da interação entre fatores, foi usado o software TableCurve 3D para a elaboração das superfícies de resposta.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa ( $p \leq 0,01$ ) dos níveis salinos e das concentrações de ácido salicílico sobre todas as variáveis de pigmentos fotossintéticos (Tabela 2). Os pigmentos fotossintéticos também exibiram efeito significativo para os níveis salinos da água de irrigação. Já as concentrações de ácido salicílico, analisadas de forma isolada afetaram significativamente ( $p \leq 0,01$ ) apenas a Cl *a*, Cl *b* e Cl *t*.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância referente à clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), clorofila total (Cl *t*) e carotenoides (Car) de gravioleira irrigadas com águas salinas e submetida à aplicação foliar de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplantio.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Cl <i>t</i>	Car
Níveis Salinos (NS)	4	232051,2**	253259,6*	944500,8**	15483,3*
Regressão linear	1	23,51 <sup>ns</sup>	49402,5 <sup>ns</sup>	51579,6 <sup>ns</sup>	21925,1*
Regressão quadrática	1	861130,3**	732371,7**	3181796,4**	1881,1 <sup>ns</sup>
Ácido Salicílico (AS)	3	602536,3**	402870,8**	1923131,3**	2629,4 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	531463,7*	579637,2**	2221153,6*	2363,1 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	451499,1**	471774,2*	1846288,5**	915,9 <sup>ns</sup>
Interação (NS × AS)	12	273229,9**	297714,6**	950935,6**	18314,01**
Blocos	2	12847,6 <sup>ns</sup>	39522,8 <sup>ns</sup>	64872,5 <sup>ns</sup>	630,7 <sup>ns</sup>
Resíduo	32	13169,3	48717,1	78514,6	5671,8
CV (%)		11,35	28,23	17,64	21,82

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

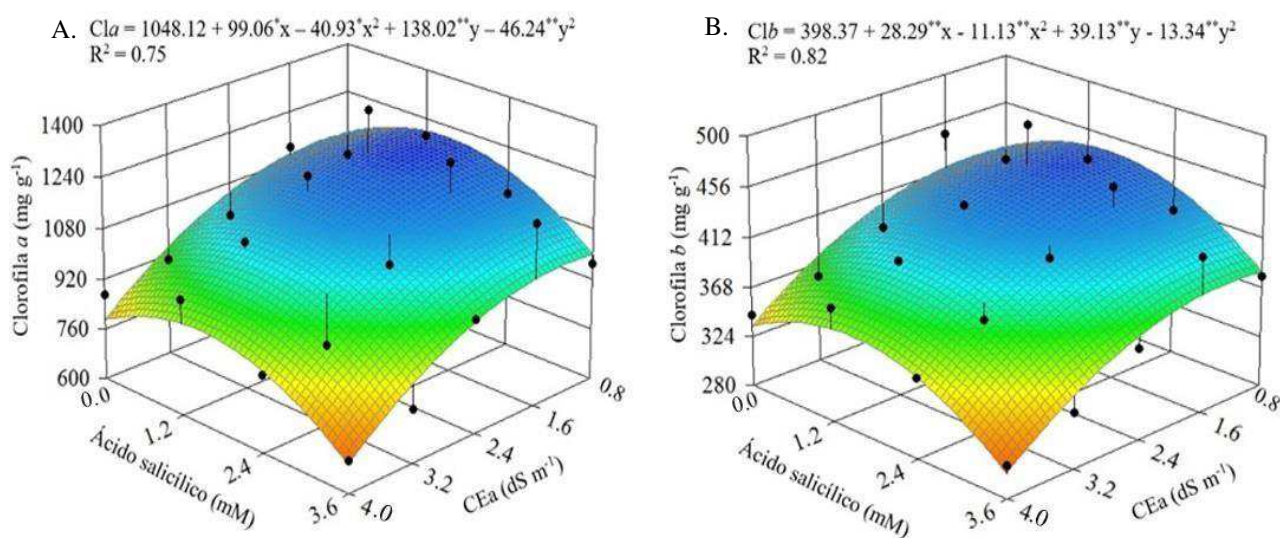
A clorofila *a* das plantas de graviola (Figura 2A) irrigadas com água de 1,2 dS m<sup>-1</sup> e concentração de 1,4 mM se sobressaíram com maior valor (1202,25 mg g<sup>-1</sup> MF), correspondendo um aumento de 8,5% (94,2 mg g<sup>-1</sup> MF) em relação as plantas irrigadas com o mesmo nível salino e sem aplicação de AS (0 mM). Por outro lado, as

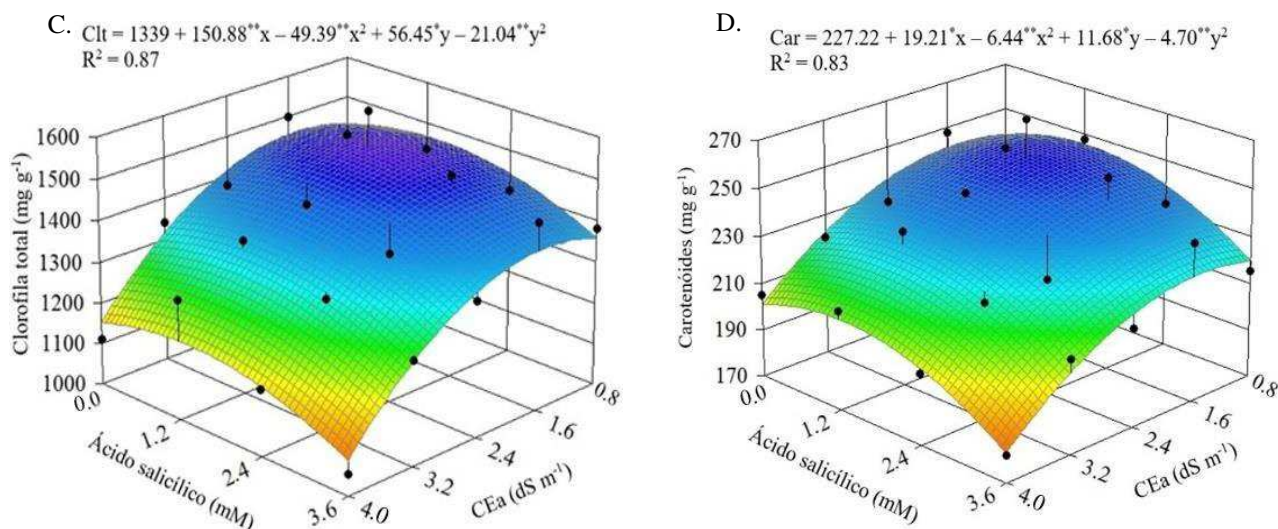
concentrações de AS acima de 1,4 mM associadas ao aumento da CEa, promoveram redução da Cl *a*, com menor valor (665,48 mg g<sup>-1</sup> MF) das plantas com 3,6 mM de AS e irrigadas com água de 4,0 dS m<sup>-1</sup>.

A Cl *a* é um importante pigmento dos centros de reação e de complexos de captação de luz (Kumari et al., 2021). A redução no teor de Cl *a* observada nas plantas irrigadas com água de maior nível salino (4,0 dS m<sup>-1</sup>) e pulverizadas com AS na concentração de 3,6 mM, ocorreu por causa da exposição das plantas ao estresse salino comprometer processos fisiológicos, bioquímicos e moleculares, em decorrência do aumento da geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), que danificam os componentes celulares e causam degradação da clorofila e peroxidação lipídica da membrana, reduzindo assim, a fluidez e seletividade da membrana (Taibi et al., 2016; Silva et al., 2016).

Contudo, a aplicação foliar de ácido salicílico na concentração de 1,4 mM, resultou em aumento da Cl *a* na gravioleira, mitigando os efeitos deletérios da salinidade sobre essa variável. Resultados semelhantes foram identificados por Karlidag et al. (2009) em morangueiro sob estresse salino (0 e 35 mM de NaCl), em que a aplicação de AS em 1 mM aumentou o teor de clorofila e induziu a tolerância das plantas à salinidade em comparação com as plantas não tratadas com AS.

O ácido salicílico é um hormônio vegetal que desempenha diversos papéis fisiológicos nas plantas, aumenta a atividade de enzimas antioxidantes como peroxidases, superóxido dismutases e catalases, contribuindo com a eliminação de espécies reativas de oxigênio e com a redução da degradação da clorofila (Szepesi, 2008; Azad et al., 2021).





X e Y – CEa e ácido salicílico, respectivamente; \*,\*\* Significativo a  $p \leq 0,05$  e  $0,01$  pelo teste F

**Figura 2.** Superfície de resposta para clorofila *a* – Cl *a* (A), clorofila *b* – Cl *b* (B), clorofila total – Cl *t* (C) e carotenoides - Car (D) de gravioleira cv. Morada Nova em função da interação entre a condutividade elétrica da água - CEa e as concentrações de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplante.

O ácido salicílico até a concentração de 1,4 mM promoveu aumento da Cl *b* e Cl *t*, independente da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 2B e 2C). As plantas em concentração de 1,4 mM e irrigadas com água de 1,5 dS m<sup>-1</sup> tiveram maior valor de Cl *b* (444,4 mg g<sup>-1</sup> MF) e de Cl *t* (1492,0 mg g<sup>-1</sup> MF). As plantas de graviola irrigadas com água de 1,5 dS m<sup>-1</sup> e concentração de AS de 1,4 mM aumentaram em 6,9% (28,6 mg g<sup>-1</sup> MF) e 2,6% (37,8 mg g<sup>-1</sup> MF) a Cl *b* e Cl *t*, respectivamente, em relação as cultivadas com CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup> e sem aplicação do AS (0 mM). O efeito benéfico do ácido salicílico sobre a síntese de pigmentos fotossintéticos pode estar relacionado à capacidade do ácido salicílico em melhorar as atividades enzimáticas e fotossintéticas, mantendo também o equilíbrio entre a produção e eliminação de espécies reativas de oxigênio - EROs (Batista et al., 2019).

Os resultados expostos neste estudo, corroboram com Mahmoud et al. (2021), em pesquisa com laranja Valência (*Citrus sinensis* L. Osbeck), em que confirmaram que, a pulverização foliar com ácido salicílico na concentração de 50 mM proporcionou aumento na Cl *a*, Cl *b* e Cl *t* das plantas sob estresse salino (60 mM de NaCl).

A pulverização foliar de ácido salicílico na concentração de 1,4 mM também resultou na mitigação dos efeitos deletérios da salinidade sobre o teor de carotenoides (Figura 2D).

As plantas pulverizadas com a concentração 1,4 mM de AS e irrigadas com CEa de 1,5 dS m<sup>-1</sup> alcançaram o maior valor de Car (249,2 mg g<sup>-1</sup> MF), correspondendo a um aumento de 4,44% (10,6 mg g<sup>-1</sup> MF) em relação as irrigadas com o menor nível salino (0,8 dS m<sup>-1</sup>) e sem aplicação do AS.

De acordo com Lee et al. (2014), o ácido salicílico pode aumentar a atividade da Rubisco, absorção de potássio, e o conteúdo de ATP mantendo uma ótima relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> nas plantas, favorecendo uma melhor tolerância ao estresse salino. O K<sup>+</sup> possui papel importante na manutenção do turgor celular, na abertura e fechamento dos estômatos e no controle do processo de fotossíntese (Zrig et al., 2021). Além disso, K<sup>+</sup> contribui para mitigar o estresse oxidativo ao modular o metabolismo de EROs (Soledad et al., 2015).

A interação entre os níveis salinos da água e as concentrações de ácido salicílico (Tabela 3), não afetaram de forma significativa nenhuma das variáveis de fluorescência da clorofila *a*. De forma isolada, os níveis salinos, afetaram significativamente todas as variáveis em estudo. Já as concentrações de ácido salicílico, isoladamente não exibiram efeito significativo sobre a fluorescência da clorofila da gravioleira, aos 480 dias após transplântio.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância referente a fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), fluorescência máxima (F<sub>m</sub>), fluorescência variável (F<sub>v</sub>) e eficiência quântica do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) de gravioleira irrigadas com águas salinas e submetida a aplicação foliar de ácido salicílico, aos 480 dias após o transplântio.

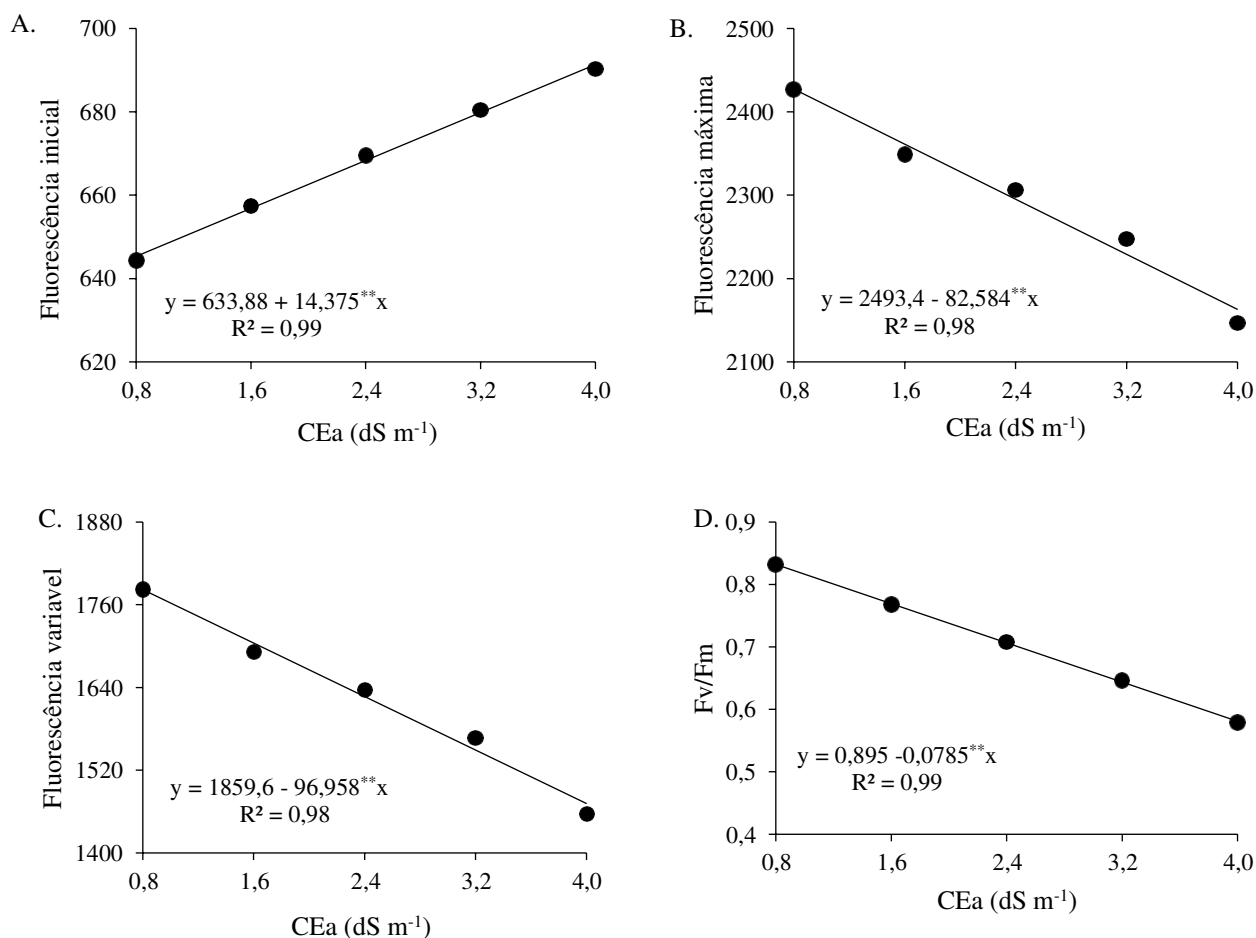
Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		F <sub>0</sub>	F <sub>m</sub>	F <sub>v</sub>	F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>
Níveis Salinos (NS)	4	3981,2**	133585,4*	182939**	5,1×10 <sup>-3**</sup>
Regressão linear	1	15870**	523776,5**	721990,5**	2,1×10 <sup>-2**</sup>
Regressão quadrática	1	54,9 <sup>ns</sup>	3259,5 <sup>ns</sup>	2468,7 <sup>ns</sup>	1×10 <sup>-5<sup>ns</sup></sup>
Ácido Salicílico (AS)	3	78,9 <sup>ns</sup>	7369,1 <sup>ns</sup>	6837,2 <sup>ns</sup>	1,1×10 <sup>-3<sup>ns</sup></sup>
Regressão linear	1	21,9 <sup>ns</sup>	12416,3 <sup>ns</sup>	13480,4 <sup>ns</sup>	3×10 <sup>-4<sup>ns</sup></sup>
Regressão quadrática	1	126,2 <sup>ns</sup>	6489,6 <sup>ns</sup>	4806,2 <sup>ns</sup>	7×10 <sup>-6<sup>ns</sup></sup>
Interação (NS ×AS)	12	57,3 <sup>ns</sup>	4169,8 <sup>ns</sup>	4501,8 <sup>ns</sup>	1,4×10 <sup>-3<sup>ns</sup></sup>
Blocos	2	150,6 <sup>ns</sup>	20289,6 <sup>ns</sup>	19129,9 <sup>ns</sup>	4,8×10 <sup>-3<sup>ns</sup></sup>
Resíduo	32	187,6	42226,5	42099,4	6,1×10 <sup>-3**</sup>
CV (%)		6,05	8,95	12,61	6,48

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

O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação proporcionou um efeito linear crescente na fluorescência inicial (Figura 3A), com incremento de 2,27% por acréscimo unitário da CEa. As plantas irrigadas com água de maior salinidade (4,0 dS m<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>) tiveram um aumento de 7,13% (45,9), em relação as cultivadas com CEa de 0,8 dS m<sup>-1</sup>. O aumento na F0 é um indicativo de dano ao aparelho fotossintético ocasionado pelo estresse salino, uma vez que, esta variável indica a perda de energia luminosa, situação típica de um estado de oxidação da quinona (receptor primário de elétrons) no centro de reação (P680), dificultando a transferência de energia do fotossistema II (Silva et al., 2014; Dias et al., 2021).

Em pesquisa desenvolvida por Sá et al. (2021) avaliando a eficiência fotossintética da pinheira (*Annona squamosa* L.) sob estresse salino (0,8 e 3,0 dS m<sup>-1</sup>), também houve aumento da fluorescência inicial das plantas quando irrigadas com água de maior salinidade, ao comparar a F0 das plantas irrigadas com água de 3,0 dS m<sup>-1</sup> em relação as cultivadas sob salinidade de 0,8 dS m<sup>-1</sup> um aumento de 7,0 %.



\*\* Significativo a  $p \leq 0,01$  pelo teste F

**Figura 3.** Fluorescência inicial – F0 (A), fluorescência máxima – Fm (B), fluorescência variável – Fv (C) e eficiência quântica do fotossistema II - Fv/Fm (D) de gravioleira em

função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa, aos 480 dias após o transplântio.

Diferente do efeito observado na F0 (Figura 3A), à fluorescência máxima foi reduzida com incremento da salinidade da água de irrigação (Figura 3B). As plantas irrigadas com água de maior salinidade ( $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) tiveram redução de 10,9% (264,3), em relação as cultivadas com CEa de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ . A redução na Fm pode ser um indicativo de que houve baixa eficiência na quinona a fotorredução e no fluxo de elétrons entre os fotossistemas, o que resulta em baixa atividade do PSII na membrana do tilacóide, atingindo diretamente no fluxo de elétrons entre os fotossistemas (Silva et al. 2006; Tatagiba et al. 2014).

No presente estudo nota-se que, o estresse salino reduziu a produção de pigmentos fotossintéticos da gravioleira (Figura 2), o excesso de sais induz a degradação de  $\beta$ -caroteno, o que causa também uma redução no conteúdo de carotenoides, que são componentes integrados das membranas tilacóide, atuando na absorção e transferência de luz para clorofila, comprometendo a fluorescência da clorofila *a* (Gomes et al., 2011; Silva et al., 2017).

A fluorescência variável (Figura 3C) da gravioleira reagiu de maneira negativa ao aumento da CEa. As plantas irrigadas com água de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$  tiveram Fv de 1782,03, enquanto o menor valor (1471,76) pertence as com CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , ou seja, houve redução na Fv de 310,3 (17,41%) sob o maior nível de salinidade ( $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ ). A Fv reflete a capacidade da planta em transferir energia dos elétrons ejetados das moléculas de pigmento para a formação do agente redutor NADPH, ATP e redução de ferredoxina e, conseqüentemente, maior capacidade de assimilação de  $\text{CO}_2$  na fase bioquímica da fotossíntese (Baker, 2008; Dias et al., 2018). A redução da Fv indica que, o aparelho fotossintético sofreu danos pelo estresse salino, comprometendo o fotossistema II, com efeitos negativos no processo fotossintético.

Resultados semelhantes foram observados por Ferreira et al. (2021) em pesquisa desenvolvida com a pinheira (*Annona squamosa* L.) sob estresse salino da água ( $0,8$  e  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ), em que informam redução de 18,98% na Fv das plantas irrigadas com maior nível salino ( $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ), aos 695 dias após o transplântio.

A Fv (Figura 3C), a Fv/Fm da gravioleira também apresentou um efeito linear decrescente com aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 3D). As plantas irrigadas com CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  foram afetadas negativamente, sendo a redução na Fv/Fm de 0,251, em relação aos valores das plantas sob CEa de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ . Além disso,

pode ser observado (Figura 3D) que o maior valor de Fv/Fm (0,832) foi das plantas cultivadas sob a menor salinidade (0,8 dS m<sup>-1</sup>), enquanto as plantas irrigadas com CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup> apresentaram o menor valor (0,581). Quando o aparelho fotossintético se encontra intacto, os valores de Fv/Fm variam entre 0,75 e 0,85 elétrons quantum<sup>-1</sup> (Silva et al., 2015).

De uma forma geral, o presente estudo mostra que, a aplicação foliar de ácido salicílico na concentração de 1,4 mM mitigou os efeitos deletérios da salinidade sobre os pigmentos fotossintéticos da gravioleira cv. Morada Nova, quando irrigada com água de até 1,5 dS m<sup>-1</sup>, proporcionando aumento nos teores de clorofila (Cl *a*, Cl *b* e Cl *t*) e carotenoides (Figura 2). Entretanto, com aplicações do ácido salicílico em maiores concentrações o efeito é negativo sobre as variáveis analisadas. Quanto a fluorescência da clorofila *a*, a salinidade da água de irrigação afetou negativamente todas as variáveis. Apesar disso, a eficiência quântica do fotossistema II da gravioleira não foi comprometida quando irrigadas com água de até 1,8 dS m<sup>-1</sup>, visto que, o Fv/Fm ficou na faixa de 0,75 e 0,85 elétrons quantum<sup>-1</sup>.

#### **4. CONCLUSÕES**

A aplicação foliar do ácido salicílico na concentração de 1,4 mM ameniza os efeitos do estresse salino sobre a clorofila *a*, *b*, total e carotenoides da gravioleira quando irrigadas com água de até 1,5 dS m<sup>-1</sup>.

A pulverização com ácido salicílico em concentrações acima de 1,4 mM intensifica os efeitos deletérios da salinidade da água de irrigação sobre os pigmentos fotossintéticos.

A fluorescência da clorofila *a* não foi influenciada pela aplicação do ácido salicílico, porém, o incremento na condutividade elétrica da água de irrigação afeta negativamente a fluorescência da clorofila *a* da gravioleira, aos 480 dias após o transplante.

A irrigação com água de condutividade elétrica até 1,8 dS m<sup>-1</sup> não compromete a eficiência quântica do fotossistema II.

#### **5. AGRADECIMENTO**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão de auxílio financeiro (Proc. CNPq 430525/2018-4) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa concedida ao primeiro autor.

## 6. REFERÊNCIAS

- Abbaszadeh, B.; Layeghhaghighi, M.; Azimi, R.; Hadi, N. Improving water use efficiency through drought stress and using salicylic acid for proper production of *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, v. 144, n. 1, e111893, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111893>.
- Ali, M.; Kamran, M.; Abbasi, G. H.; Saleem, M. H.; Ahmad, S.; Parveen, A.; Fahad, S. Melatonin-induced salinity tolerance by ameliorating osmotic and oxidative stress in the seedlings of two tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 1, n. 5, p. 1-13, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10273-3>.
- Arnon, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, v. 24, n. 1, p. 1-15, 1949. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>.
- Azad, N.; Rezayian, M.; Hassanpour, H.; Niknam, V.; Ebrahimzadeh, H. Physiological mechanism of salicylic acid in *Mentha pulegium* L. under salinity and drought stress. *Brazilian Journal of Botany*, v. 42, n. 2, p. 359-369, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40415-021-00706-y>.
- Baker, B. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, v. 59, n. 1, p. 89-113, 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>.
- Batista, V. C. V.; Pereira, I. M. C.; Paulo-Marinho, S. de O.; Canuto, K. M.; Pereira, R. de C. A.; Rodrigues, T. H. S.; Daloso, D. de M.; Gomes Filho, E.; Carvalho, H. H. de. Salicylic acid modulates primary and volatile metabolites to alleviate salt stress-induced photosynthesis impairment on medicinal plant *Egletes viscosa*. *Environmental and Experimental Botany*, v. 167, n. 1, e103870, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103870>.
- Caliman, M. E.; Silva, D. da C.; Pereira, J.; Bezerra, J. L. Biologia e patogenicidade de *Prillieuxina winteriana* em pomares de gravioleira na Bahia. *Summa Phytopathologica*, v. 47, n. 1, p. 27-33, 2021. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/182617>.
- Cavalcante, F. J. A. Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2. Aproximação. 3.ed. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2008. 212p.
- Dias, A. S, Lima, G. S. de; Sá, F. V. da S.; Gheyi, H. R, Soares, L. A. dos 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, n. 9, p. 628-633, 2018. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n9p628-633>.
- Dias, A. S.; Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Furtado, G. de F.; Soares, L. A. dos A.; Nobre, R. G.; Fernandes, P. D. Chloroplast pigments and photochemical efficiency of West Indian cherry under salt stress and potassium-phosphorus fertilization. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 42, n. 1, p. 87-104, 2021. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n1p87>.
- Ferreira, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split-plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p.529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.
- Ferreira, F. N.; Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Sá, F. V. da S.; Dias, A. S.; Pinheiro, F. W. Photosynthetic efficiency and production of *Annona squamosa* L. under salt stress and fertilization with NPK. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 25, n. 7, p. 446-452, 2021. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n7p446-452>.
- Gomes, M. A. da C.; Suzuki, M. S.; Cunha, M. da; Tullii, C. F. Effect of salt stress on nutrient concentration, photosynthetic pigments, proline and foliar morphology of *Salvinia auriculata* Aubl. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 23, n. 1, p. 164-176, 2011.
- Hassan, A.; Amjad, S. F.; Saleem, M. H.; Yasmin, H.; Imran, M.; Riaz, M.; Alyemeni, M. N. Foliar application of ascorbic acid enhances salinity stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) through modulation of morpho-physio-biochemical attributes, ions uptake, osmo-protectants and stress response genes expression. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 1, n. 8, p. 1-15, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.045>.
- Horváth, E.; Brunner, S.; Bela, K.; Papdi, C.; Szabados, L.; Tari, I.; Csiszár, J. Exogenous salicylic acid-triggered changes in the glutathione transferases and peroxidases are key factors in the successful salt stress acclimation of *Arabidopsis thaliana*. *Functional Plant Biology*, v. 42, n. 1, p. 1129-1140, 2015. <https://doi.org/10.1071/FP15119>.
- Karlidag, H.; Yildirim, E.; Turan, M. Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola*, v. 66, n. 2, p. 180-187, 2009.
- Kaya, C.; Ashraf, M.; Sonmez, O.; Tuna, A. L.; Polat, T.; Aydemir, S. Exogenous application of thiamin promotes growth and antioxidative defense system at initial phases of development in salt-stressed plants of two maize cultivars differing in salinity tolerance. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 37, n. 1, p. 1741-1753, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1741-3>.

- 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, n. 1, e101027, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101027>.
- Kumari, S.; Singh, A. K.; Kumar, A.; Singh, K. P.; Bains, G. Evaluating the efficacy of chitosan and salicylic acid on photosynthetic pigments and antioxidant enzymes towards resistance of mango malformation. *Scientia Horticulturae*, v. 285, n. 1, e110160, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110160>.
- Lee, S. Y.; Damodaran, P. N.; Roh, K. S. Influence of salicylic acid on rubisco and rubisco activase in tobacco plant grown under sodium chloride in vitro. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 21, n. 5, p. 417-426, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.04.002>.
- Lemos, E. E. P. A produção de anonáceas no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 36, n. 1, p. 77-85, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500009>.
- Li, P.; Zhu, Y.; Song, X.; Song, F. Negative effects of long-term moderate salinity and short-term drought stress on the photosynthetic performance of Hybrid Pennisetum. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 155, n. 1, p. 93-104, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.06.033>
- Lotfi, R.; Ghassemi-Golezani, K.; Pessarakli, M. Salicylic acid regulates photosynthetic electron transfer and stomatal conductance of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salinity stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 26, n. 1, e101635, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101635>.
- Mahmoud, L. M.; Vincent, C. I.; Grosser, J. W.; Dutt, M. The response of salt-stressed Valencia sweet orange (*Citrus sinensis*) to salicylic acid and methyl jasmonate treatments. *Plant Physiology Reports*, v. 26, n. 1, p. 137-151, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40502-020-00563-z>.
- Mallahi, T.; Saharkhiz, M. J.; Javanmardi, J. Salicylic acid changes morpho-physiological attributes of feverfew (*Tanacetum parthenium* L.) under salinity stress. *Acta Ecologica Sinica*, v. 38, n. 5, p. 351-355, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.02.003>.
- 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. (Dissertação Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1992, 173p.
- Poór, P.; Borbély, P. G.; Bódi, N.; Bagyánszki, M.; Görgényi, M. T. I. Effects of salicylic acid on photosynthetic activity and chloroplast morphology under light and prolonged

- darkness. *Photosynthetica*, v. 57, n. 2, p. 367-376, 2019. <https://doi.org/10.32615/ps.2019.040>.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U.S, Department of Agriculture. 1954. 160p. USDA 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, n. 4, p. 463-470, 2015.
- Sá, F. V. da S.; Gheyi, H. R.; Lima, G. S. de; Pinheiro, F. W. A.; Paiva, E. P. de; Moreira, R. C. L.; Silva, L. A. da; Fernandes, P. D. The right combination of NPK fertilization may mitigate salt stress in custard apple (*Annona squamosa* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 43, n. 1, p. 1-12, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03225-1>.
- Safdar, H.; Amin, A.; Shafiq, Y.; Ali, A.; Yasin, R.; Shoukat, A.; Sarwar, M. I. A review: Impact of salinity on plant growth. *Nature and Science*, v. 17, n. 1, p. 34-40, 2019. <https://doi.org/10.7537/marsnsj170119.06>.
- São José, A. R.; Pires, M. de M.; Freitas, A. L. G. E. de; Ribeiro, D. P.; Perez, L. A. A. Atualidades e perspectivas das Anonáceas no mundo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 36, n. 1, p. 86-93, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500010>.
- Silva, A. R. A. 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 On-line*, v. 10, n. 4, p. 317-325, 2017. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i4.3650>.
- Silva, F. G. da; Dutra, W. F.; Dutra, A. F.; Oliveira, I. M. de; Filgueiras, L. M. B.; Melo, A. S. de. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 1, p. 946-952, 2015.
- Silva, J. E. S. B. da; Paiva, E. P. de; Leite, M. de S.; Torres, S. B.; Souza Neta, M. L. de; Guirra, K. S. Salicylic acid in the physiological priming of onion seeds subjected to water and salt stresses. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, n. 12, p. 919-924, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n12p919-924>.
- Silva, L. de A.; Brito, M. E.; Sá, F. V. da S.; Moreira, R. C.; Soares Filho, W. dos S.; Fernandes, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em

- cultivo hidropônico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 1, p. 1-7, 2014. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsuppS1-S7>.
- Silva, M. M. P. da; Vasquez, H. M.; Bressan-Smith, R.; Silva, J. F. C. da; Erbesdobler, E. D. A.; Andrade Junior, P. S. C. de. Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, n. 1, p. 67-74, 2006.
- Soledad, O. N.; Machinandiarena, M. F.; Feldman, M. L.; Daleo, G. R.; Andreu, A. B.; Olivieri, F. P. Potassium phosphite increases tolerance to UV-B in potato. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 88, n. 1, p. 1-8, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.01.003>.
- Souana, K.; Taïbi, K.; Abderrahim, L. A.; Amirat, M.; Achir, M.; Boussaid, M.; Mulet, J. M. Salt-tolerance in *Vicia faba* L. is mitigated by the capacity of salicylic acid to improve photosynthesis and antioxidant response. *Scientia Horticulturae*, v. 273, n. 1, e109641, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109641>.
- Szepesi, Á. Influence of exogenous salicylic acid on antioxidant enzyme activities in the roots of salt stressed tomato plants. *Acta Biologica Szegediensis*, v. 52, n. 1, p. 199-200, 2008.
- Taïbi, K.; Taïbi, F.; Abderrahim, L. A.; Ennajah, A.; Belkhodja, M.; Mulet, J. M. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defense systems in *Phaseolus vulgaris* L. *South African Journal of Botany*, v. 105, n. 1, p. 306-312, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.011>.
- Tatagiba, S. D.; Moraes, G. A. B. K.; Nascimento, K. J. T.; Peloso, A. F. Limitações fotossintéticas em folhas de plantas de tomateiro submetidas a crescentes concentrações salinas. *Engenharia na Agricultura*, v. 22, n. 2, p. 138-149, 2014.
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3.ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017.
- United States - Department of Agriculture. Keys to soil taxonomy. Washinton: Natural Resources Conservation Service. 2014. 372p.
- Veloso, L. L. S. A.; Azevedo, C. A. V. de; Silva, A. A. R. da; Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Nóbrega, R. A. da; Pinheiro, F. W. A.; Lucena, R. C. M. Effects of saline water and exogenous application of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) on soursop (*Annona muricata* L.) at vegetative stage. *Australian Journal of Crop Science*, v. 13, n. 3, p. 472-479, 2019. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.03.p1583>.

Zrig, A.; AbdElgawad, H.; Touneckti, T.; Mohamed, H. B.; Hamouda, F.; Khemira, H.  
Potassium and calcium improve salt tolerance of *Thymus vulgaris* by activating the  
antioxidant systems. *Scientia Horticulturae*, v. 277, n. 1, e109812, 2021.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109812>.

## **CAPÍTULO VI**

---

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação comprometeu a atividade fotossintética e o crescimento das gravioleiras, que não receberam tratamento com ácido salicílico (0 mM). Já as plantas pulverizadas com ácido salicílico entre as concentrações estimadas de 1,4 e 1,6 mM, alcançaram efeitos positivos na atividade fotossintética e no crescimento, mesmo quando expostas ao estresse salino.

A salinidade da água de irrigação afeta negativamente os pigmentos fotossintéticos da gravioleira, constatado pela redução nos teores de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides. Além disso, aumenta a porcentagem de extravasamento de eletrólitos do limbo foliar.

A aplicação foliar de ácido salicílico na concentração de 1,4 mM aumentou os teores de pigmentos fotossintéticos da gravioleira quando irrigadas com condutividades elétricas de até 1,5 dS m<sup>-1</sup>.

Não houve interação das concentrações de ácido salicílico e das condutividades elétricas sobre a eficiência fotoquímica da gravioleira. Ademais, as aplicações foliares do ácido salicílico nas concentrações estudadas não influenciaram de forma significativa a fluorescência da clorofila *a*.

A irrigação com água de condutividade elétrica acima de 1,8 dS m<sup>-1</sup> compromete a eficiência quântica do fotossistema II.

Considerando os resultados do presente estudo, a aplicação foliar de ácido salicílico em concentrações de até 1,6 mM, se mostra benéfica na mitigação dos efeitos do estresse salino sobre a morfofisiologia da gravioleira. Entretanto, não é recomendado em concentrações maiores que 1,6 mM, tendo em vista, que o aumento intensificou os efeitos deletérios da salinidade da água de irrigação, sobretudo, na concentração de 3,6 mM.

Apesar dos efeitos benéficos do ácido salicílico observado nas variáveis de crescimento e de fisiologia, há necessidade da realização de pesquisas futuras para avaliar os efeitos na atividade enzimática, a produção e a pós-colheita.