



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



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**CULTIVO IRRIGADO DE PIMENTÃO SOB ESTRESSE SALINO E APLICAÇÃO  
DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO**

**JÉSSICA ARAGÃO**

Campina Grande, PB

Fevereiro de 2023

JÉSSICA ARAGÃO  
Engenheira Agrônoma

**CULTIVO IRRIGADO DE PIMENTÃO SOB ESTRESSE SALINO E APLICAÇÃO  
DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO**

Dissertação 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 Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadores: Profa. DSc. Vera Lucia Antunes de Lima  
Prof. DSc. Geovani Soares de Lima

A659c

Aragão, Jéssica.

Cultivo irrigado de pimentão sob estresse salino e aplicação de peróxido de hidrogênio / Jéssica Aragão. - Campina Grande, 2023.  
88 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.

"Orientação: Profa. Dra. Vera Lucia Antunes de Lima, Prof. Dr. Geovani Soares de Lima."

Referências.

1. *Capsicum annuum* L. 2. Salinidade. 3. Aclimação. 4. Espécie Reativa de Oxigênio. 5. Irrigação. 6. Drenagem. I. Lima, Vera Lucia Antunes de. II. Lima, Vera Lucia Antunes de. III. Título.

CDU 582.926.2(043)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA ITAPUANA SOARES DIAS GONÇALVES CRB-15/093



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

JÉSSICA ARAGÃO

**CULTIVO IRRIGADO DE PIMENTÃO  
SOB ESTRESSE SALINO E APLICAÇÃO  
DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO**

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

Aprovada em: 28/02/2023

Vera Lucia Antunes de Lima – Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

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

Maria Sallydelandia de Farias Araujo - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

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



Documento assinado eletronicamente por **MARIA SALLYDELANDIA DE FARIAS ARAUJO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 28/02/2023, às 15:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **André Alisson Rodrigues da Sila, Usuário Externo**, em 28/02/2023, às 17:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **GEOVANI SOARES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR-VISITANTE**, em 01/03/2023, às 09:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/04/2023, às 15:29, 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 **3137317** e o código **CRC A2C3B3E9**

---

**Referência:** Processo nº 23096.005940/2023-73

“Take your hands off of what you can’t control, and get your hands on what you can change. As you and I continue on in this life, we will find ourselves in so many situations out of our grasp. The only thing we can control is ourselves. Get your hands on the changes you can make, because your possibilities are limitless.”

민윤기

## **AGRADECIMENTOS**

Em um trabalho científico você não deve usar tom pessoal, redações científicas devem ser impessoais, conter apontamentos com uma luz clínica sobre o assunto trabalhado. O único momento que há a oportunidade de personalização do texto, são nos agradecimentos, então aproveitarei esse espaço efêmero para minha gratidão.

Sou grata aos meus orientadores Vera Lucia Antunes de Lima e Geovani Soares de Lima pela orientação, os conselhos, a paciência, a preocupação tanto com a parte acadêmica, como também a parte humana;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos;

À Universidade Federal de Campina Grande, principalmente a Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola por disponibilizar o local para a realização deste trabalho;

Aos meus amigos que fiz durante o curso de mestrado, em especial a André Alisson, Larissa, Cassiano, Jean Têlvio, Thiago Filipe, Edmilson Júnio, Jéssica Capitulino, Allesson, Mirandy, De Assis e Robson;

Aos membros da banca, Profa. Maria Sallydelândia Sobral de Farias e Dr. André Alisson Rodrigues da Silva, pelo carinho que tiveram avaliando esse trabalho e pelas contribuições;

Agradeço a minha família pela compreensão e apoio nessa jornada, ao meu pai por acreditar nos meus sonhos e incentivá-los, aos meus primos e tios por ficarem felizes com cada conquista minha.

Aos meus amigos Mylene, Luisa Marcellah, Amanda, José Wilson, Ana Luisa, Carolina, Susy, Helena, Giulia e Amandinha, que mesmo distantes fisicamente, sempre estiveram presentes no meu coração.

Meus agradecimentos se estendem àqueles que não citei, mas que estiveram presentes durante esse caminho, sou grata por ter pessoas tão especiais em minha vida.

## Sumário

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	10
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	11
<b>RESUMO</b> .....	13
<b>ABSTRACT</b> .....	14
<b>CAPÍTULO I</b> .....	15
<b>INTRODUÇÃO GERAL, OBJETIVOS E REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	16
2. OBJETIVOS .....	18
2.1 Objetivo geral.....	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
3.1.1 Origem e distribuição geográfica do pimentão .....	19
3.1.2 Aspectos botânicos e morfológicos do pimentão .....	19
3.1.3 Aspectos econômicos e importância .....	20
3.2 Disponibilidade de água em regiões semiáridas .....	21
3.3 Tolerância das plantas à salinidade.....	22
3.3.1 Salinidade da água no cultivo do pimentão.....	24
3.4 Peróxido de hidrogênio como atenuante do estresse salino .....	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	25
<b>CAPÍTULO II</b> .....	32
<b>MATERIAL E MÉTODOS GERAL</b> .....	32
1. MATERIAL E MÉTODOS GERAL.....	33
1.1 Local do experimento .....	33
1.2 Delineamento experimental e tratamentos .....	33
1.3 Cultivar utilizada no estudo .....	34
1.4 Implantação e condução do experimento .....	34
1.4.1 Preparo das águas e manejo da irrigação .....	36
1.4.2 Preparo e aplicação das concentrações de peróxido de hidrogênio .....	36
1.4.3 Manejo da adubação .....	37
1.5 Variáveis analisadas .....	37
1.5.1 Avaliações de crescimento.....	37
1.5.2 Avaliações fisiológicas .....	38
1.5.2.1 Trocas gasosas .....	38



1.5.2.2 Fluorescência da clorofila a .....	39
1.5.2.3. Pigmentos fotossintéticos .....	39
1.5.2.4 Extravasamento de eletrólitos .....	40
1.5.2.5 Conteúdo relativo de água .....	41
1.5.2.6 Eficiência no uso da água .....	41
1.5.3 Componentes de produção e tolerância do pimentão ‘All Big’ ao estresse salino.....	42
1.6 Análise estatística .....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>46</b>
<b>PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE SALINO EM PIMENTÃO</b> .....	<b>46</b>
RESUMO.....	47
ABSTRACT.....	47
INTRODUÇÃO .....	48
MATERIAL E MÉTODOS.....	49
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>67</b>
<b>MORFOFISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE PIMENTÃO SOB ESTRESSE SALINO E APLICAÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO</b> .....	<b>67</b>
RESUMO.....	68
ABSTRACT.....	68
INTRODUÇÃO .....	69
MATERIAL E MÉTODOS.....	71
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
CONCLUSÕES.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	85
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>90</b>
<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	<b>90</b>

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo II - Material e métodos geral

---

	Pág.
<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	32

### Capítulo III - Peróxido de hidrogênio na mitigação do estresse salino em pimentão

---

<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	46
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<b>Tabela 2</b> Autovalores, porcentagem de variância total explicada, na análise de variância multivariada (MANOVA) e correlações (r) entre variáveis originais e os componentes principais.....	51
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância referente ao conteúdo relativo de água (CRA), extravasamento de eletrólitos (%EE) no limbo foliar, eficiência instantânea do uso da água ( <i>EiUA</i> ) e teores de carotenoides (Car) de plantas de pimentão irrigadas com águas salinas e submetida as concentrações de peróxido de hidrogênio, aos 90 dias após o semeio.....	55
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

### Capítulo IV - Crescimento, eficiência fotoquímica e produção de pimentão sob estresse salino e aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

---

<b>Tabela 1.</b> Descrição dos tratamentos analisados .....	67
-------------------------------------------------------------	----

<b>Tabela 2.</b> Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	68
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<b>Tabela 3.</b> Autovalores, porcentagem de variância total explicada, na análise de variância multivariada (MANOVA) e correlações (r) entre variáveis originais e os componentes principais.....	73
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo II - Material e métodos geral

---

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Temperatura máxima e mínima e umidade relativa média do ar coletados na área interna da casa de vegetação durante o período experimental.....	30
<b>Figura 2.</b> Disposição dos vasos na área experimental.....	31
<b>Figura 3.</b> Detalhes da semeadura do pimentão (A) e emergência (B).....	32
<b>Figura 4.</b> Uso do clipe para determinação de fluorescência da clorofila (A) e LCPro+ para a avaliação das trocas gasosas (B) nas plantas de pimentão.....	35
<b>Figura 5.</b> Frutos de pimentão antes (A) e no ponto de colheita (B).....	39
<b>Figura 6.</b> Aferição do diâmetro equatorial (A) e polar (B) dos frutos de pimentão.....	39

### Capítulo III - Peróxido de hidrogênio na mitigação do estresse salino em pimentão

---

<b>Figura 1.</b> Temperatura máxima e mínima e umidade relativa média do ar observada na área interna da casa de vegetação durante o período experimental.....	45
<b>Figura 2.</b> Projeção bidimensional dos escores dos componentes principais para os fatores condutividade elétrica da água de irrigação (S) e concentrações de peróxido de hidrogênio (H) (A) e das variáveis analisadas (B) nos dois componentes principais (CP1e CP2).....	53
<b>Figura 3.</b> Conteúdo relativo de água - CRA (A) e extravasamento de eletrólitos - %EE (B) em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e extravasamento de eletrólitos em função das concentrações de peróxido de hidrogênio (C), aos 90 dias após o semeio.....	56
<b>Figura 4.</b> Eficiência instantânea do uso da água - <i>EiUA</i> em função da condutividade elétrica da água de irrigação (A) e em função das concentrações de peróxido de hidrogênio (B), aos 90 dias após o semeio.....	58

## Capítulo IV - Crescimento, eficiência fotoquímica e produção de pimentão sob estresse salino e aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

---

<b>Figura 1.</b> Temperatura máxima e mínima e umidade relativa média do ar coletados na área interna da casa de vegetação durante o período experimental.....	67
<b>Figura 2.</b> Projeção bidimensional dos escores dos componentes principais para os fatores condutividade elétrica da água de irrigação (S) e concentrações de peróxido de hidrogênio (H) (A) e das variáveis analisadas (B) nos dois componentes principais (CP1e CP2).....	75
<b>Figura 3.</b> Produção relativa de pimentão ‘All Big’ em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa), descrito pelo modelo matemático de platô de Maas & Hoffman (1977).....	79

ARAGÃO, J. **Peróxido de hidrogênio como indutor de tolerância de pimentão ao estresse salino 2023**. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem). Universidade Federal de Campina Grande. Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola. Campina Grande, PB.

## RESUMO

O cultivo do pimentão na região semiárida do Nordeste brasileiro fazendo uso de águas salinas, pode ser viabilizado através do uso de substâncias que atenuam os efeitos deletérios do estresse salino. Neste contexto, objetivou-se com este estudo, avaliar os efeitos do peróxido de hidrogênio no crescimento, fisiologia e produção do pimentão ‘All Big’ sob irrigação com águas salinas. O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, em Campina Grande-PB. Os tratamentos foram distribuídos no delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial  $5 \times 5$ , correspondendo a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,8; 1,2; 2,0; 2,6 e 3,2 dS m<sup>-1</sup>) e cinco concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 15, 30, 45 e 60 µM), com três repetições e uma planta por parcela. A aplicação de peróxido de hidrogênio na concentração de 15 µM atenuou os efeitos do estresse salino no crescimento, fisiologia e de produção de pimentão ‘All Big’ irrigadas com água de condutividade elétrica de até 1,4 dS m<sup>-1</sup>. A irrigação com água de 3,2 dS m<sup>-1</sup> foi prejudicial para a fluorescência inicial, a fluorescência inicial antes do pulso de saturação e a eficiência do uso da água no pimentão ‘All Big’. O pimentão ‘All Big’ foi classificado como moderadamente sensível ao estresse salino, com nível de salinidade limiar da água de 1,43 dS m<sup>-1</sup>, sendo o decréscimo unitário de 8,25% acima deste nível salino.

**Palavras-chave:** *Capsicum annuum* L, salinidade, aclimatação, espécie reativa de oxigênio

ARAGÃO, J. **Hydrogen peroxide as an inductor of pepper tolerance to saline stress. 2023.** 88p. Dissertation (Master in Agricultural Engineering – Irrigation and Drainage). Federal University of Campina Grande. Academic Unit of Agricultural Engineering. Campina Grande, PB.

#### ABSTRACT

The cultivation of bell pepper in the semi-arid region of the Brazilian Northeast using saline waters can be made possible through the use of substances that attenuate the deleterious effects of saline stress. In this context, the objective of this study was to evaluate the effects of hydrogen peroxide on the growth, physiology and production of 'All Big' bell pepper under irrigation with saline water. The experiment was treated under greenhouse conditions, in Campina Grande-PB. The treatments were distributed in a randomized block design, in a 5 × 5 factorial scheme, corresponding to five levels of electrical conductivity of irrigation water - EC<sub>w</sub> (0.8; 1.2; 2.0; 2.6 and 3.2 dS m<sup>-1</sup>) and five concentrations of hydrogen peroxide – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 15, 30, 45 and 60 μM), with three replicates and one plant per plot. The application of hydrogen peroxide at a concentration of 15 μM attenuated the effects of salt stress on the growth, physiology and production of 'All Big' pepper irrigated with water with an electrical conductivity of up to 1.4 dS m<sup>-1</sup>. Irrigation with 3.2 dS m<sup>-1</sup> water was detrimental to initial fluorescence, initial fluorescence before the saturation pulse, and water use efficiency in 'All Big' pepper. The 'All Big' bell pepper was classified as moderately sensitive to saline stress, with a water threshold salinity level of 1.43 dS m<sup>-1</sup>, with a unit decrease of 8.25% above this saline level.

**Keywords:** *Capsicum annuum* L, salinity, acclimatization, reactive oxygen species

## **CAPÍTULO I**

---

### **INTRODUÇÃO GERAL, OBJETIVOS E REVISÃO DE LITERATURA**

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma olerícola cultivada em todo o mundo e se destaca pelo gosto delicado, sabor agradável, qualidade nutricional e por sua coloração (Ferdousi et al., 2021). Os pimentões podem ser de cores diferentes (vermelho, verde, laranja e amarelo), dependendo de seus estágios de amadurecimento e da capacidade de sintetizar clorofilas ou carotenóides. Além de possuir um sabor exótico, o pimentão é uma importante fonte de vitaminas (provitamina A, E e C) e vários compostos bioativos (compostos fenólicos e carotenóides) que são benéficos para a saúde dos consumidores (ECCL, 2022). Ademais, evidências científicas mostram que os compostos bioativos extraídos do pimentão possuem efeitos anti-inflamatórios, antidiabéticos, antimicrobianos, imunomoduladores, entre outros (Sagar et al., 2018; Coman et al., 2020; Samtiya et al., 2021)

No Brasil, o pimentão é uma das hortaliças mais consumidas e a sua produção vem aumentando nos últimos anos, devido a sua adaptação a ambientes protegidos em comparação com outras culturas, tornando o país um dos maiores produtores do mundo, posicionando-se como uma olerícola de grande importância econômica no mercado nacional (Santos et al., 2020; Silva et al., 2020).

A região Nordeste possui clima favorável para a produção de pimentão. No entanto, em áreas semiáridas, a qualidade e a quantidade da água para irrigação são fatores limitantes, devido à distribuição irregular das precipitações no tempo e espaço combinados com altas temperaturas, contribuindo para uma redução gradual na disponibilidade de água, sendo comum a ocorrência de fontes de águas superficiais e subterrâneas com altos teores de sais (Silva et al., 2014; Sá et al., 2019).

As plantas cultivadas sob estresse salino podem sofrer alterações na sua fisiologia, culminando na redução do seu crescimento e da sua produção. Os efeitos da salinidade são atribuídos aos efeitos osmóticos (Restrição na absorção de água) e iônicos (Toxicidade específica), além dos efeitos secundários como o estresse oxidativo (Silva et al., 2018). Ademais, o excesso de sais no solo pode provocar alterações nos processos fotossintéticos, na eficiência quântica do fotossistema II e no balanço nutricional que resultam na redução do desenvolvimento das plantas, independentemente da natureza dos sais (Lima et al., 2020).

Considerando a importância do uso de águas salinas para a expansão da agricultura irrigada e a necessidade de aumentar a produção de alimentos para atender o acelerado crescimento populacional, é necessária a identificação de estratégias capazes de minimizar os efeitos deletérios do estresse salino nas plantas, possibilitando uma produção agrícola segura



no semiárido (Lima et al., 2020). Nesse contexto, vários procedimentos, incluindo métodos de tratamento físico-químicos, têm sido aplicados para aumentar a tolerância das plantas à salinidade, por exemplo, aplicação exógena de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) (Veloso et al, 2021).

O  $H_2O_2$  desempenha função de sinalização hormonal, controlada por sua produção e eliminação e atua na regulação de processos biológicos, como crescimento, elevação da concentração de  $Ca^{+}$  nas plantas e no ajuste osmótico por meio do aumento de prolina. No entanto, os efeitos biológicos do  $H_2O_2$  dependem de sua concentração, bem como do estágio de desenvolvimento da planta e exposição prévia a outros tipos de estresse (Liu et al., 2020).

Assim, a exposição prévia das plantas a concentrações adequadas de peróxido de hidrogênio pode ativar seu sistema de defesa, promovendo mudanças metabólicas que são responsáveis pelo aumento de sua tolerância a uma nova exposição ao estresse (Gohari et al. 2019). Além disso, o peróxido de hidrogênio atua como uma molécula sinalizadora do estresse induzindo a tolerância, promovendo o acúmulo de proteínas e carboidratos solúveis (Santos et al., 2020).

Há estudos na literatura que mostram que a prolina (Soares et al. 2018) e o ácido salicílico (Silva et al. 2023) são eficientes no cultivo de pimentão para a atenuação dos efeitos deletérios da salinidade. Para a cultura do pimentão, ainda são incipientes estudos que tratem como o peróxido de hidrogênio, via pulverização foliar, atua na indução da tolerância ao estresse salino. Assim, avaliar crescimento, fisiologia e produção do pimentão irrigado com água salina e recebendo aplicação foliar de peróxido de hidrogênio é imprescindível para observar a capacidade atenuadora do  $H_2O_2$  sobre os estresses salinos submetidos ao pimentão.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o efeito das concentrações de peróxido de hidrogênio na indução à tolerância do pimentão ‘All Big’ ao estresse salino sobre o crescimento, índices fisiológicos e produção.

### **2.2 Objetivos específicos**

Avaliar o efeito da aplicação das concentrações de peróxido de hidrogênio associada à irrigação com água salina sobre as taxas de crescimento, trocas gasosas, conteúdo relativo de água e extravasamento de eletrólitos do pimentão ‘All Big’.

Determinar os teores de pigmentos fotossintéticos e a eficiência fotoquímica do pimentão ‘All Big’ sob irrigação com águas salinas e concentrações de peróxido de hidrogênio.

Identificar uma concentração de peróxido de hidrogênio capaz de amenizar os efeitos do estresse salino sobre as plantas de pimentão ‘All Big’.

Mensurar o consumo e a eficiência no uso da água das plantas de pimentão sob irrigação com águas salinas e aplicação de peróxido de hidrogênio.

Determinar o nível de salinidade limiar da água baseando-se na produção relativa por planta, utilizando o modelo platô com decréscimo linear.

### 3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1.1 Origem e distribuição geográfica do pimentão

O pimentão (*Capsicum annuum* L) é originário da América do Sul e Central. É uma cultura nativa do México e possui centro secundário de origem na Guatemala (Bukasov, 1930). Cristóvão Colombo introduziu o *Capsicum* na Espanha em sua viagem de volta ao país em 1493. Na Índia, o pimentão foi introduzido pelos britânicos no século XIX nas colinas de Shimla. O termo *Capsicum* é frequentemente utilizado pelos indianos para se referir aos frutos dos pimentões (Negi et al., 2018).

O *Capsicum* é um gênero com cinco espécies domesticadas, incluindo: *Capsicum annuum* L. (origem México), possuindo cálice dentado. *Capsicum frutescens* L. (origem Amazônia), possuindo flor esverdeada e cálice não dentado. *Capsicum chinense* (origem Amazônia), possuindo um cálice dentado constricto. *Capsicum baccatum* L. (origem Amazônia), possuindo uma corola com manchas amarelas/marrons. *Capsicum pubescens* (origem Peru e Bolívia), possuindo sementes de cor preta e flores roxas (Negi et al., 2018).

#### 3.1.2 Aspectos botânicos e morfológicos do pimentão

Pertencente à família Solanaceae, o pimentão, assim como o tomate e a beringela, é uma planta perene tropical de estação quente, sensível ao gelo, cultivada comercialmente como anual, particularmente em áreas de estação curta (Basu & De, 2003). É uma olerícola classificada como erva ou subarbusto muito variável, normalmente anual, com 0,5 - 1,5 m de altura, ereta, muito ramificado, cultivada como cultura anual. Possui raiz principal forte e raízes laterais numerosas. O caule é irregularmente angular a subereto, com até 1 cm de diâmetro, muito ramificado, muitas vezes tomentoso perto das ramificações, verde a marrom-esverdeado, muitas vezes com manchas arroxeadas perto dos nós (CABI, 2019).

Segundo o compendio da Cabi (2019), as folhas de pimentão são alternadas simples, com pecíolo de até 10 cm de comprimento, lâmina foliar ovada, até 16 cm × 8 cm, acuminada no ápice, margem geralmente inteira, subglabra, verde claro a escuro. As flores geralmente são isoladas e terminais; o pedicelo tem até 3 cm na flor e até 8 cm no fruto; o cálice em forma de taça, persistente e crescente no fruto, geralmente com 5 dentes conspícuos; corola campanulada com cinco a sete lóbulos, 8-15 mm de diâmetro, geralmente branca; de cinco a sete estames com anteras de azul claro a arroxeadas; ovário 2-4 locular, estilete filiforme, branco ou arroxeadas, estigma capitado.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (2007), em termos botânicos, o fruto é definido como uma baga, de estrutura oca e forma lembrando uma cápsula. A grande variabilidade morfológica apresentada pelos frutos é destacada pelas múltiplas formas, tamanhos, colorações e pungências. Esta última característica, exclusiva do gênero *Capsicum*, é atribuída a um alcalóide denominado capsaicina, que se acumula na superfície da placenta (tecido localizado na parte interna do fruto) e é liberada quando o fruto sofre qualquer dano. A coloração dos frutos maduros, geralmente, é vermelha, mas pode variar desde o amarelo-leitoso, amarelo-forte, alaranjado, salmão, vermelho, roxo até preto. Os pimentões (*Capsicum annuum* var. *annuum*) apresentam frutos grandes e largos (10-21 cm de comprimento × 6-12 cm de largura), formato quadrado a cônico, paladar não pungente (doce), além de serem habitualmente consumidos na forma de saladas, cozidos ou recheados.

De acordo a Embrapa (2007), as sementes devem ser plantadas a 1 cm de profundidade, com espaçamento entre plantas de 100 cm × 40 cm, a germinação ocorre no intervalo de 7 a 14 dias após o semeio (DAS), as plantas adultas podem variar de 50 cm a 70 cm e a colheita é prevista para 110 a 120 DAS. A recomendação de adubação é de 60, 180 e 240 kg/há de N, K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente; até a fase de florescimento, as adubações de cobertura são feitas com adubo nitrogenado e, durante a frutificação, com uma mistura de adubo nitrogenado com potássico em intervalos de 30-45 dias.

### **3.1.3 Aspectos econômicos e importância**

O *Capsicum annuum* L. é uma das mais antigas culturas domesticadas no Hemisfério Ocidental e é um ingrediente importante na maioria das cozinhas globais com benefícios na saúde; além de ser a especiaria mais cultivada no mundo, a espécie também tem sido utilizada na indústria farmacêutica, corantes naturais e cosméticos, como planta ornamental e como ingrediente ativo em repelentes de autodefesa (Kim et al., 2014).

Os vinte principais países produtores de pimentão cultivaram 36,09 milhões de toneladas em 2020 e, na última década, a produção mundial de pimentão aumentou 40% (FAO, 2021). No último censo agropecuário nacional (IBGE, 2021), a produção brasileira de pimentão, foi de 224 mil toneladas, sendo o estado da Paraíba responsável pela produção de 3.519 toneladas, correspondendo a 1,56% do total produzido.

A cultura do *Capsicum. annuum* L. pode representar uma importante fonte de vitaminas para as populações mundiais. As vitaminas antioxidantes C e E e a provitamina A estão presentes em altas concentrações, o pimentão também é considerado boa fonte de carotenóides

e xantofilas e pode conter grandes quantidades de bioflavonoídes (citrina), B1 (tiamina), B2 (riboflavina) e B3 (niacina) (Bosland et al., 2012). Como uma excelente fonte de antioxidantes que combatem a oxidação de lipídios por meio da eliminação de radicais livres de oxigênio, por isso, muita atenção tem sido dada aos pimentões. Um pimentão verde médio – pesando 148 g – tem 30 calorias, 7 g de carboidratos totais, ou seja, 2% da dose diária recomendada (DDR) para adultos, 2 g de fibra alimentar (8% da DDR para adultos), 4 g de açúcar e 1 g de proteína, mais, respectivamente, 8%, 180% 2% e 2% da DDR do adulto para vitamina A, vitamina C, cálcio e ferro (Welbaum, 2015).

### **3.2 Disponibilidade de água em regiões semiáridas**

A maior região semiárida contínua do mundo está localizada no nordeste do Brasil e abrange cerca de 1 milhão de km<sup>2</sup>. Essa área ocupa 12,5% do território brasileiro, compreende 1.262 municípios e abriga 27 milhões de pessoas, o que corresponde a 13% da população do Brasil (Vasques et al., 2022).

Essa região é caracterizada pelo complexo quadro de escassez hídrica, sendo um dos tipos mais frequentes de desastres ambientais. A escassez de água está diretamente relacionada ao balanço hídrico negativo, devido à reduzida quantidade de água precipitada e pelas altas taxas de água evaporada (Lucena et al., 2018).

Diante da baixa pluviosidade em regiões tropicais de clima quente e seco, como no semiárido do Nordeste brasileiro, a prática da irrigação, muitas vezes, é o único meio de garantir a produção agrícola com segurança (Gama et al., 2020). Diante disso, um significativo número das áreas agrícolas utiliza águas subterrâneas para a irrigação, todavia, esses volumes são finitos, secam aos constantes bombeamentos e, em grande parte, são de má qualidade, ou seja, possuem concentrações elevadas de sais, devido à constituição geológica das rochas da região, em que cerca de 80% de rochas são cristalinas (Cirilo et al., 2010).

Em estudo realizado por Medeiros (1992) avaliando a concentração dos principais sais nas fontes de água disponíveis para irrigação no Nordeste brasileiro, foi constatado que há predominância de águas cloretadas, principalmente, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, na proporção de 7:2:1 em mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>. De acordo com Costa et al. (2005), as águas que se destinam à irrigação devem ser avaliadas principalmente sob três aspectos de qualidade agrônômicos: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons.

A salinidade das águas de irrigação é um aspecto problemático para o setor agrícola, sendo necessária a compreensão de suas causas e a busca pelo desenvolvimento de estratégias

para seu melhor aproveitamento. Além da quantificação dos teores de sais, a identificação prévia da composição iônica das águas de irrigação também é de grande importância, pois a falta de conhecimento relacionada à salinidade pode ocasionar sérios problemas à cultura, ao solo e ao sistema de irrigação (Meneghelli et al., 2016)

### **3.3 Tolerância das plantas à salinidade**

A tolerância das plantas à salinidade é a capacidade de sobreviver sob altas concentrações de sais solúveis e pode completar seu ciclo de vida sob essa condição de estresse (Etesami & Glick, 2020). Geralmente, quando a planta é exposta às condições de estresse salino, a tendência é que o metabolismo e as atividades fisiológicas dela sejam afetados de forma negativa, provocando uma série de alterações no desenvolvimento e produção das plantas devido ao excesso de íons e ao déficit hídrico (Seido et al., 2019).

A salinidade afeta as plantas em todos os níveis da organização: órgão, tecido e célula, sendo complexa a resposta à salinidade, envolvendo especificidades nos níveis de órgãos e células e a variabilidade com estágio de desenvolvimento e idade (Kravchik & Bernstein, 2013). De acordo com Munns & Tester (2008), o estresse salino se divide em duas fases: a osmótica, na qual o acúmulo dos sais no solo promove redução no potencial osmótico e no potencial total de água do solo, induzindo a planta a desprender maior quantidade de energia para continuar absorvendo água e/ou realizar o fechamento estomático para manutenção do status hídrico; já a segunda fase é a iônica, pois ocorre a partir do acúmulo dos íons no tecido vegetal, causando toxicidade e induzindo a senescência precoce da planta.

Os efeitos dos estresses das plantas à salinidade podem ser classificados em duas categorias: osmótico e exclusão de íons (Almeida et al., 2017). O estresse osmótico é a primeira limitação que ocorre na planta quando é submetida a condições de estresse salino e afeta rapidamente seu crescimento. O efeito osmótico é ocasionado devido à redução do potencial osmótico da solução do solo, o que diminui a disponibilidade de água para as plantas e interrompe o transporte de nutrientes (Hniličková et al., 2017).

A redução na disponibilidade de água para a planta resulta no fechamento estomático, ocasionando a redução da transpiração na captação de dióxido de carbono, promovendo danos ao aparelho fotossintético, além da redução na absorção de nutrientes (Diniz et al., 2021). De acordo com Dias et al. (2016), as plantas absorvem a água do solo quando as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores às forças com que a água é retida do solo. No

entanto, a presença de sais na solução do solo faz com que aumentem as forças de retenção por seu efeito osmótico dando origem ao estresse hídrico.

O segundo mecanismo é a exclusão de íons, em que os transportadores de  $\text{Na}^+$  reduzem o acúmulo de  $\text{Na}^+$  nas raízes e folhas e controla a carga de  $\text{Na}^+$  no xilema antes de atingir os tecidos fotossintéticos na parte aérea (Almeida et al., 2017). As plantas absorvem os íons do solo através de proteínas especializadas localizadas em membranas celulares das raízes, denominadas canais de cátions e transportadores. Alguns desses canais são altamente seletivos para espécies iônicas específicas, como íons  $\text{K}^+$  (Taiz et al., 2017), contudo, outros canais permitem a passagem de uma diversidade de cátions, incluindo  $\text{Na}^+$ , sob altas concentrações externas e devido à similaridade entre o raio iônico hidratado do sódio e do potássio (Munns et al., 2020). Elevadas concentrações de íons tóxicos no metabolismo vegetal podem provocar desequilíbrio nutricional, sendo frequente a deficiência de íons como potássio, cálcio, magnésio, fósforo e nitrato (Cao et al., 2019).

Em condições de cultivos sob estresse salino, é comum haver também alterações morfológicas e anatômicas nas folhas das plantas, reduzindo assim sua transpiração como alternativa para manter uma menor necessidade de absorção de água e um maior conteúdo de água nas plantas diante do efeito osmótico dos sais, forçando assim, a planta a reduzir seu número de folhas (Oliveira et al., 2013). Uma das adaptações de ordem morfológica é a redução de área foliar, quer pela formação de um menor número de folhas, quer pela redução de seu tamanho ou por abscisão foliar (Khan & Weber, 2006; Taiz & Zeiger, 2008). Há ainda a formação de glândulas de sais nas folhas, excreção de sais pelos pelos vesiculares, suberização de cutículas e formação de cera, entre outros (Taiz & Zeiger, 2008; Ahmed et al., 2008; Yensen, 2006).

As plantas com tolerância ao estresse abiótico, como o salino, também desenvolvem mecanismos bioquímicos de defesa antioxidativas que são capazes de neutralizar a toxicidade de espécies reativas de oxigênio (EROs) produzidas sob condições de estresse como peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) de modo a alcançar a homeostase redox. Entre as várias enzimas que atuam nesse sistema, destacam-se as catalases (CAT), a ascorbato peroxidase (APX) e a superóxido dismutase (SODs) (Miller et al., 2010). Através da atividade das enzimas antioxidantes, as plantas protegem suas células dos efeitos tóxicos das EROs (Barbosa et al., 2014).

### **3.3.1 Salinidade da água no cultivo do pimentão**

Os valores de salinidade hídrica toleráveis pela cultura do pimentão encontram-se entre 1,3 e 3,0 dS m<sup>-1</sup>, o que a classifica como moderadamente sensível à salinidade (Ayers & Westcot, 1999), de modo que a irrigação pode ser feita até esses valores sem que haja grandes perdas da quantidade e qualidade produzida, indicando-se o limiar de 1,5 dS m<sup>-1</sup> (no estrato de saturação do solo) para uma produtividade de 100% da cultura (Gheyi et al., 2010)

Entretanto, em estudo que avaliou o efeito do estresse salino sobre a fisiologia e a produção de pimentões, Veloso et al. (2021) observaram que a irrigação com água de condutividade elétrica a partir de 0,8 dS m<sup>-1</sup> comprometeu as trocas gasosas, as clorofilas *a*, *b* e total e a produção do pimentão.

Durante a fase vegetativa, Silva et al. (2023) verificaram que o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação de 0,8 a 3,2 dS m<sup>-1</sup> reduz a área foliar do pimentão em 8,24% por unidade de aumento e ao comparar a área foliar de plantas irrigadas com água de maior salinidade (3,2 dS m<sup>-1</sup>) com o valor de plantas cultivadas com CEa de 0,8 dS m<sup>-1</sup>, houve uma redução de 21,1% (33 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>). Além disso, ainda foi verificado pelos autores que o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação causa uma redução na altura de planta, número de folhas e diâmetro do caule.

Por fim, estudos mostram que, em pimentões, o estresse salino causa redução no crescimento, na atividade fotossintética, fotossíntese, transpiração, condutância estomática, trocas gasosas e eficiência do fotossistema II, culminando em perdas de rendimento (Lima et al., 2017; Nunes et al., 2013; Amirinejad et al., 2017; Veloso et al., 2021; Silva et al., 2023).

### **3.4 Peróxido de hidrogênio como atenuante do estresse salino**

O peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) é uma espécie reativa de oxigênio (ERO) capaz de oxidar lipídios de membranas, desnaturar proteínas e reagir com DNA, provocando mutações (Bhatla & Lal, 2017). Sob condições de estresses ambientais para as plantas, como déficit hídrico, salinidade e calor, ocorre um desbalanço entre produção e remoção das EROs, causando danos oxidativos em proteínas, lipídeos e ácidos nucleicos e, conseqüentemente, o estresse oxidativo. Esse evento desencadeia uma série de reações que facilitam a produção das EROs, iniciada pelo comprometimento da entrada de CO<sub>2</sub>, que favorece o processo de fotorrespiração pela enzima Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase, contribuindo substancialmente para produção de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Kazemeini et al., 2018; Choudhury et al., 2017).



Entretanto, estudos mostram que, dependendo da concentração, o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pode atuar como molécula sinalizadora e auxiliar na aclimação das plantas a estresse abiótico. A aclimação consiste em um processo de exposição prévia de um indivíduo a determinado tipo de estresse, que provoca mudanças metabólicas responsáveis pelo aumento de sua tolerância ao estresse salino (Dantas et al., 2022; Kao, 2014; Valoso et al., 2023). O peróxido de hidrogênio pode estimular o aumento no acúmulo de lipídeos na planta, de modo que, este acúmulo, sob estresse salino, pode ser um mecanismo adaptativo que permite manutenção da fluidez e integridade da membrana celular (Qiao et al., 2021).

O H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tem sido amplamente utilizado para o processo de aclimação das plantas às diversas situações de estresse. Dentre os processos de aclimação das plantas à salinidade, o pré-tratamento das plantas com baixas concentrações de peróxido de hidrogênio tem se mostrado como alternativa promissora (Gondim et al., 2011, Capitulino et al., 2023; Silva et al., 2024).

A pré-exposição de plantas a estresses moderados ou a metabólitos sinalizadores, tais como o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pode resultar em ajustes metabólicos na célula (aumento metabólitos e/ou enzimas antioxidativas) e, portanto, resultar em maior eficiência fotossintética, quando a planta é exposta a condições de estresse mais severo (Forman et al., 2010).

Nesse contexto, vários autores relataram em estudos realizados com arroz, (Uchida et al., 2002), milho (Silva et al., 2016), trigo (Wahid et al., 2007), citrus (Tanou et al., 2009), feijão-de-corda (Hasan et al., 2016), graviola (Silva et al., 2019), algodão (Veloso et al., 2023) e abobrinha italiana (Dantas et al., 2022) que peróxido de hidrogênio atua na aclimação das plantas ao estresse salino.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, H. D.; AMMAR, D. B.; ZID, E. Physiology of salt tolerance in *Atriplex halimus* L. In: Abdelly, C.; Ozturk, M.; Ashraf, M.; Grignon, C. (ed.) **Biosaline agriculture and high salinity tolerance**. Berlin: Birkhauser Verlag. p.107-114, 2008.
- ALMEIDA, D. M.; OLIVEIRA, M. M.; SAIBO, N. J. Regulation of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> homeostasis in plants: towards improved salt stress tolerance in crop plants. **Genetics and Molecular Biology**, v. 40, p. 326-345, 2017.

- AMIRINEJAD, A. A., SAYYARI, M., GHANBARI, F., KORDI, S. Salicylic acid improves salinity-alkalinity tolerance in pepper (*Capsicum annuum* L.). **Advances in Horticultural Science**, v.31, n.3, p.157-163, 2017
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2. ed. Campina Grande: UFPB. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 153p, 1999.
- BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.
- BASU, S. K., DE, A. K. Capsicum: historical and botanical perspectives. In: **Capsicum: The genus Capsicum** [ed. by De, A.K.]. London and New York, UK and USA: Taylor and Francis, p. 1-15, 2003
- BHATLA, S. C.; LAL, A. M. **Plant Physiology, Development and Metabolism**. 1.ed. Singapore, p. 1251, 2017.
- BOSLAND, P. W., ERIC J. V., ERIC M. V. Peppers: vegetable and spice capsicums. **CABI**, v. 22, p. 229, 2012.
- CABI. *Capsicum annuum* (bell pepper) - **CABI Compendium**. 2019. Disponível em: <<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.15784>>
- CAO, Y.; LIANG, X.; YIN, P.; ZHANG, M.; JIANG, C. A domestication-associated reduction in K<sup>+</sup> preferring HKT transporter activity underlies maize shoot K<sup>+</sup> accumulation and salt tolerance. **New Phytologist**, v. 222, p. 301–317, 2019.
- CAPITULINO, J. D.; LIMA, G. S. DE; AZEVEDO, C. A. V. DE; SILVA, A. A. R. DE; ARRUDA, T. F. DE L.; SOARES, L. A. DOS A.; GHEYI, H. R.; DANTAS FERNANDES, P.; SOBRAL DE FARIAS, M. S.; SILVA, F. DE A DA.; DIAS, M. DE S. Influence of Foliar Application of Hydrogen Peroxide on Gas Exchange, Photochemical Efficiency, and Growth of Soursop under Salt Stress. **Plants**, v. 12, p. 599, 2023.
- CHOUDHURY, F. K.; RIVERO, R. M.; BLUMWALD, E.; MITTLER, R. (2017). Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. **The Plant Journal**, v. 90, n. 5, p. 856-867, 2017.
- CIRILO, J. A., MONTENEGRO, S. M. G. L., CAMPOS, J. N. B. A questão da água no semiárido brasileiro. In C. E. M. Bicudo, J. G. Tundisi, & M. C. B. Scheuenstuhl (Orgs.), **Águas do Brasil análises estratégicas**. São Paulo, SP: Instituto de Botânica, p. 81-91, 2010.
- COMAN, V.; TELEKY, B.E.; MITREA, L.; MARTĂU, G.A.; SZABO, K.; CĂLINOIU, L.F.; VODNAR, D.C. Bioactive potential of fruit and vegetable wastes. In **Advances in Food and Nutrition Research**; Academic Press: Cambridge, MA, USA; v. 91, p. 157–225, 2020.

- COSTA, S. A. T. DA; ALVES, G. D. S.; CORDEIRO, J. A.; ALVES, J. J. A.; SÁ, G. D. S. Emergence and growth of cotton cv. BRS Verde under salinity levels in irrigation water. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 18, n. 3, p. 259-268, 2019.
- DANTAS, M. V., LIMA, G. S. DE, GHEYI, H. R., PINHEIRO, F. W. A., SILVA, P. C. C. & SOARES, L. A. DOS A. Gas exchange and hydroponic production of zucchini under salt stress and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> application. **Revista Caatinga**, v.35, n.219, p.436-449, 2022.
- 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.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I.S.R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H.R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal., p.149-162, 2016.
- DINIZ, G. L.; NOBRE, R. G.; LIMA, G. S. DE; SOUZA, L. DE P.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, M. N. V. DE. Physiological indices and growth of ‘Gigante Amarelo’ passion fruit under salt stress and silicate fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 12, p. 814-821, 2020.
- EUROPEAN COMMISSION CLOSING THE LOOP. An EU Action Plan for the Circular Economy COM/2015/0614 Final-European. **Environment Agency**., 2021 Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>>
- EMBRAPA. **Sistema de produção**, Embrapa Hortaliças, v. 2, 2007
- EVELIN, H., DEVI, T. S., GUPTA, S., KAPOOR, R. (2019). Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: current understanding and new challenges. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p.470, 2019.
- FAO Statistics. Statistics Division, FAO online database. Rome, Italy: **Food and Agriculture Organization of the UN**. 2021. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>
- FORMAN, H. J.; MAIORINO, M.; URSINI, F. Signaling functions of reactive oxygen species. **Biochemistry**, v. 49, p. 835-842, 2010.
- FRICKE, W. Energy costs of salinity tolerance in crop plants: nighttime transpiration and growth. **New Phytologist**, v. 225, n. 3, p. 1152-1165, 2020.
- GAMA, D. C.; JESUS, J. B. DE. Principais solos da região Semiárida do Brasil favoráveis ao cultivo do Eucalyptus L’Heritier. **BIOFIX Scientific Journal**, v.5, n. 2, p. 214-221, 2020.
- GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, CE: Expressão Gráfica e Editora, 2010.

- GONDIM, F. A.; GOMES-FILHO, E.; MARQUES, E. C.; PRISCO, J. T. (2011). Efeitos do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no crescimento e acúmulo de solutos em plantas de milho sob estresse salino. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 2, p.373-381, 2011.
- HASAN, S. A.; IRFAN, M.; MASRAHI, Y. S.; KHALAF, M. A.; HAYAT, S.; TEJADA MORAL, M. Growth, photosynthesis, and antioxidant responses of *Vigna unguiculata* L. treated with hydrogen peroxide. **Cogent Food e Agriculture**, v.2, e1155331, 2016.
- HNILÍČKOVÁ, H.; HNILÍČKA, F.; MARTINKOVA, J.; KRAUS, K. Effects of salt stress on water status, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of rocket. **Plant, Soil and Environment. Plant, Solo and Environment**, v. 8, p.362-367, 2017.
- KAO, C. H. (2014) Role of hydrogen peroxide in rice plants. **Crop, Environment & Bioinformatics**, v.11, p. 1-10, 2014.
- KAZEMEINI, S. A.; PIRASTEH-ANOSHEH, H. A. D. I.; BASIRAT, A.; AKRAM, N. A. Salinity tolerance threshold of berseem clover (*Trifolium alexandrinum*) at different growth stages. **Pakistan Journal of Botany**, v. 50, n, 5, p. 1675-1680, 2014.
- KHAN, M. A.; WEBER, D. J. **Ecophysiology of high salinity tolerant plants**. Berlin: Springer, 325p, 2006
- KIM, S., PARK, M., YEOM, S. I., et al. Genome sequence of the hot pepper provides insights into the evolution of pungency in Capsicum species. **Nature Genetics**, v. 46, n.3, p. 270-278, 2014
- 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, p. 24, 2013.
- LIMA, N. S., MORAIS, M. B., SILVA, E. F. F., CAMARA, T. R., WILLADINO, L. Production and antioxidative metabolism in bell pepper grown with saline water in hydroponic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.10, p.675-680, 2017.
- LIU, L., HUANG, L., LIN, X., SUN, C. Hydrogen peroxide alleviates salinity-induced damage through enhancing proline accumulation in wheat seedlings. **Plant Cell Reports**. v. 39, p. 567–575, 2020
- LUCENA, R. L.; CABRAL, J. B.; STEINKE, E. T. Comportamento hidroclimatológico do Estado do Rio Grande do Norte e do município de Caicó. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 30, p. 485-496, 2018
- 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. p. 173, 1992
- MENEGHELLI, C.; MONACO, P. L.; CORREA, J.; BIRCHLER, R.; LOSS, J. Qualidade da água do rio Santa Maria do Doce para fins de irrigação. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 2, p. 117-122, 2016

- MILLER, G.; SUZUKI, H.; CIFTCI-YILMAZ, S.; MITTLER, R. (2010) Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment**, v. 33, n. 4, p. 453-467, 2010.
- MUNNS, R.; DAY, D. A.; FRICKE, W.; WATT, M.; ARSOVA, B.; BARKLA, B. J.; TYERMAN, S. D. Energy costs of salt tolerance in crop plants. **New Phytologist**, v. 225, p. 1072-1090, 2020
- NEGI, R., THAKUR, S., SHARMA, P. Advances in the Breeding of Bell Pepper - A Review. **Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci**, v. 7, n. 4, p. 2272-2281, 2018.
- NUNES, R. L. C.; DIAS, N. S.; MOURA, K. K. C. F.; SOUZA NETO, O. N.; COSTA, J. M. Efeitos da salinidade da solução nutritiva na produção de pimentão cultivado em substrato de fibra de coco. **Revista Caatinga**, v.26, n.4, p.48-53, 2013
- OLIVEIRA, L. L. P.; DIAS, N. S.; FARIAS, W. C.; MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, L. L. Tolerância de cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) à salinidade da água de irrigação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 4, 232-237, 2013.
- QIAO, T., ZHAO, Y., ZHONG, D. B., YU, X. Hydrogen peroxide and salinity stress act synergistically to enhance lipids production in microalga by regulating reactive oxygen species and calcium. **Algal Research**, v. 53, p. 102017, 2021
- SÁ, F. V. S., SOUTO, L. S., PAIVA, E. P. DE, TORRES, S. B., OLIVEIRA, F. A. DE. Initial development and tolerance of pepper species to salinity stress. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 826-833, 2019
- SAGAR, N. A.; PAREEK, S.; SHARMA, S.; YAHIA, E. M.; LOBO, M. G. Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. **Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.**, v. 17, p. 512–531, 2018.
- SAMTIYA, M.; ALUKO, R. E.; DHEWA, T.; MORENO-ROJAS, J. M. Potential health benefits of plant food-derived bioactive components: An overview. **Foods**, v.10, p. 839, 2021.
- SANTOS, H. C. A., LIMA JUNIOR, J. A. DE, SILVA, A. L. P. DA, CASTRO, G. L. S. DE, GOMES, R. F. Yield of fertigated bell pepper under different soil water tensions and nitrogen fertilization. **Revista Caatinga**, v. 33, p. 172-183, 2020
- SEIDO, S. L.; SOUSA, L. P. DE; SILVA, M. J. DA; DONZELI, V. P.; QUEIROZ, S. O. P. DE. Rizobactérias promotoras de crescimento em melão sob estresse salino. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, p. 5623, 2019.
- SILVA, A. A. R. DA, CHAVES L. H. G. C., CAVALCANTE, A. R., LIMA, W. B. DE, OLIVEIRA, L. D. DE, BONIFÁCIO, B. F., SOUZA, R. F. A. DE, NASCIMENTO, R. DO. Production and photosynthetic pigments of bell peppers all big (*Capsicum annuum* L.)

- subjected to fertilization with biochar and nitrogen. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 11, p. 1736-1741, 2020
- SILVA, A. A. R. DA, LIMA, G. S. DE, AZEVEDO, C. A. V. DE, VELOSO, L. L. DE S. A., SOUZA, L. DE P., FÁTIMA, R. T. DE, SILVA, F. DE A., GHEYI, H. R. Exogenous application of salicylic acid on the mitigation of salt stress in *Capsicum annuum* L. **Ciência Rural**, v.53, n.7, e20210447, 2023
- SILVA, A. A. R. DA; LIMA, G. S. DE; AZEVEDO, C. A. V. DE; GHEYI, H. R.; SOUZA, L. DE P.; VELOSO, L. L. DE S. A. Gas exchanges and growth of passion fruit seedlings under salt stress and hydrogen peroxide. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.49, p.1-10, 2019.
- SILVA, A. R. R. da, CAPITULINO, J. D., LIMA, G. S. de, AZEVEDO, C. A. V. de, ARRUDA, T. F. L., SOUZA, A. R., GHEYI, H. R., SOARES, L. A dos A. Hydrogen peroxide in attenuation of salt stress effects on physiological indicators and growth of soursop. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e26121, 2024.
- SILVA, E. M. DA; LACERDA, F. H. D.; MEDEIROS, S. A. DE; SOUZA, L. P. DE; PEREIRA, F. H. F. Métodos de aplicação de diferentes concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em milho sob estresse salino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.11, p. 01-07, 2016.
- SILVA, J. L. A., MEDEIROS, J. F. DE, ALVES, S. S. V., OLIVEIRA, F. DE A. DE, SILVA JUNIOR, M. J. DA, NASCIMENTO, I. B. DO. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 66-72, 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed Editora. 820p, 2008
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MULLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, v. 6, p. 858, 2017.
- TANOU, G.; JOB, C.; RAJJOU, L.; ARC, E.; BELGHAZI, M.; DIAMANTIDIS, G. Proteomics reveals the overlapping roles of hydrogen peroxide and nitric oxide in the acclimation of citrus plants. **The Plant Journal**, v. 60, p.795-804, 2009.
- UCHIDA, A.; JAGENDORF, A. T.; HIBINO, T.; TAKABE, T.; TAKABE, T. Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. *Plant Science*, v.163, p.515-523, 2002.
- VASQUES, G. M.; RODRIGUES, H. M.; HUBER, E.; TAVARES, S. R. L.; MARQUES, F. A.; SILVA, M. A. L. (2022). Ground penetrating radar (GPR) models of the regolith and water reservoir of an underground dam in the Brazilian semiarid region. **Journal of Applied Geophysics**, v.206, p. 104797, 2022
- VELOSO, L. L. DE S. A., AZEVEDO, C. A. V., NOBRE, R. G., LIMA, G. S. DE, CAPITULINO, J. D., SILVA, F. DE A. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> alleviates salt stress effects on photochemical efficiency and photosynthetic pigments of cotton genotypes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.27, p.34-41, 2023

- VELOSO, L. L. DE S. A., LIMA, G. S. DE, SILVA, A. A. R. DA, SOUZA, L. DE P., LACERDA, C. N. DE, SILVA, I. J. DA, CHAVES, L. H. G & FERNANDES, P. D. (2021). Attenuation of salt stress on the physiology and production of bell peppers by treatment with salicylic acid. **Semina: Ciências Agrárias**, v.42, n.5, p.2751-2768, 2021
- 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.
- WAHID, A.; PERVEEN, M.; GELANI, S.; BASRA, S. M. Pretreatment of seed with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> improves salt tolerance of wheat seedlings by alleviation of oxidative damage and expression of stress proteins. **Journal of Plant Physiology**, v.164, p.283-294, 2007.
- WELBAUM, G. E. Vegetable production and practices. **CABI**, p. 453, 2015.
- YENSEN, N.P. Halophyte uses for the twenty-first century. In: Khan, M.A., Weber, D.J. (ed.) **Ecophysiology of high salinity tolerant plants**. Tasks for Vegetation Science - 40. Berlin: Springer, p.367-396, 2006

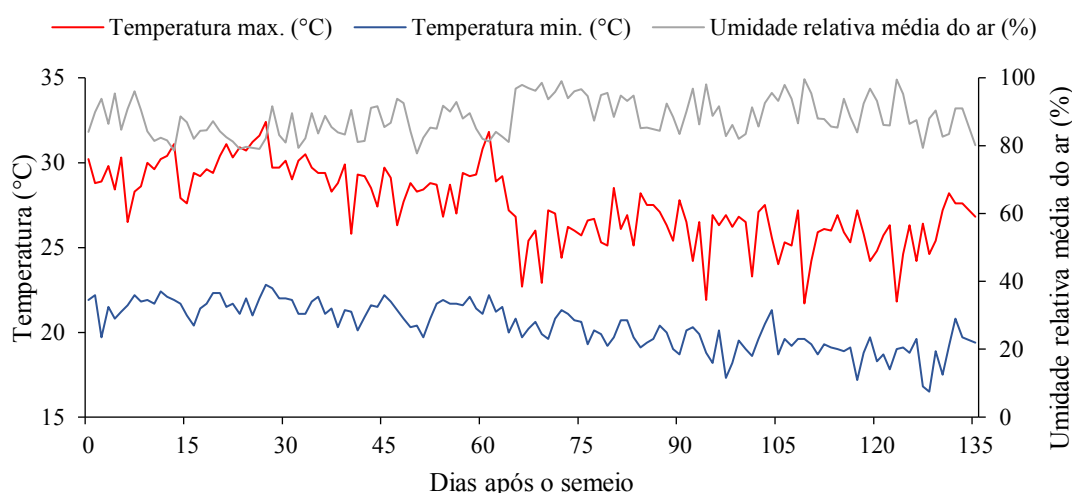
**MATERIAL E MÉTODOS GERAL**



## 1. MATERIAL E MÉTODOS GERAL

### 1.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido no período compreendido entre os meses março e junho de 2022, sob as condições de casa de vegetação pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UAEA/UFCG), em Campina Grande – PB, localizada nas coordenadas geográficas 07° 15' 18'' de latitude Sul, 35° 52' 28'' de longitude Oeste e altitude média de 550 m. O clima, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (A), megatérmico, com temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C e apresenta média anual de precipitação pluvial maior do que 700 mm e estação chuvosa entre outono e inverno (Almeida & Galvani, 2021). Os dados de temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa média do ar coletados no local do experimento estão apresentados na Figura 1.



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

### 1.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos consistiram da combinação de cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,8; 1,4; 2,0; 2,6; 3,2 dS m<sup>-1</sup>) e cinco concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 15, 30, 45 e 60 µM), em arranjo fatorial 5 × 5, com três repetições e uma planta por parcela, distribuídos no delineamento de blocos casualizados (Figura 2). Os níveis de condutividade elétrica da água foram baseados no estudo desenvolvido por Veloso et al. (2021) com pimentão ‘All Big’ (*Capsicum annuum* L.); já as concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

utilizadas nesta pesquisa foram adaptadas a partir do trabalho realizado com abobrinha italiana cv Caserta (Dantas et al., 2022).



**Figura 2.** Disposição dos vasos na área experimental

### **1.3 Cultivar utilizada no estudo**

Segundo a ISLA, empresa que comercializa as sementes de pimentão utilizadas, o pimentão ‘All Big’ vermelho destaca-se pelo vigor e rendimento, seus frutos são do tipo *blocky* (quadrado), sendo a coloração verde-escuro quando imaturos e vermelho quando maduros, além disso, as sementes utilizadas possuíam resistência a requeima (*Phytophthora capsici*) e ao vírus do mosaico do tomateiro (Tomato mosaic virus). Esses frutos podem chegar a um peso médio de 220 g por unidade, com diâmetro variando entre 7 até 10 cm, além disso a altura do fruto pode chegar em média até 13 cm.

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

O experimento foi conduzido em vasos com 10 L de capacidade adaptados como lisímetros de drenagem; cada lisímetro foi perfurado na base para permitir a drenagem, e acoplado a um dreno transparente de 4 mm de diâmetro. A extremidade do dreno que ficou dentro do lisímetro foi envolvida com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução do material de solo. Abaixo de cada dreno havia uma garrafa plástica para a coleta do volume de água drenado e estimativa do consumo hídrico.

Os lisímetros foram preenchidos com uma camada de 0,3 kg de brita, seguido de 9 kg de um Neossolo Regolítico Eutrófico (*Entisol*) de textura franco-arenosa coletado na profundidade de 0-30 cm proveniente da zona rural do município de Lagoa Seca, estado da Paraíba. Os atributos químicos e físicos do solo (Tabela 1) foram determinados conforme metodologia de 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	M.O.	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>
1:2,5	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					
6,12	1,36	6,80	0,2	0,16	2,60	3,66	1,42	0,51
Características químicas				Características físicas				
CE <sub>es</sub>	CTC	RAS	PST	Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )	
dS m <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	(mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	%	Areia	Silte	Argila	33,42 kPa <sup>1</sup>	1519,5 kPa <sup>2</sup>
1,15	7,23	0,38	7,05	760,9	164,5	74,6	13,07	5,26

pH – Potencial hidrogeniônico, MO – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>OAc 1 M pH 1,0; Al<sup>3+</sup>+H<sup>+</sup> extraídos utilizando-se CaOAc 0,5 M pH 7,0; CE<sub>es</sub> - Condutividade elétrica do extrato de saturação; CTC - Capacidade de troca catiônica; RAS - Relação de adsorção de sódio do extrato de saturação; PST - Percentagem de sódio trocável; <sup>1,2</sup> referindo a capacidade de campo e ponto de murchamento permanente.

Na semeadura (Figura 3A) foram utilizadas três sementes da cultivar ‘All Big’ distribuídas de forma equidistante em cada lisímetro, à profundidade de 2 cm. Antes da semeadura, as sementes passaram por um pré-tratamento com peróxido de hidrogênio por um período de 24 horas.



**Figura 3.** Detalhes da semeadura do pimentão (A) e emergência (B)

Após a emergência das plântulas (Figura 3B), foram realizados dois desbastes quando as plantas apresentaram dois e três pares de folhas definitivas, respectivamente, deixando-se, no último desbaste (30 DAS), a que apresentavam maior vigor fisiológico.

#### 1.4.1 Preparo das águas e manejo da irrigação

As águas salinas foram obtidas mediante adição de sais de cloreto de sódio (NaCl), de cálcio (CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) e de magnésio (MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O) em água do sistema de abastecimento local (CEa = 0,38 dS m<sup>-1</sup>), sendo incorporadas na proporção equivalente de 7:2:1 respectivamente. Trata-se da proporção de Na, Ca e Mg comumente encontradas nas águas utilizadas para irrigação no semiárido do Nordeste brasileiro (Medeiros, 1992).

No preparo da água de irrigação foi considerada a relação entre CEa e concentração de sais (Richards, 1954), conforme a Eq. 1:

$$Q \approx 10 \times CEa \dots \dots \dots (1)$$

Em que:

Q = Soma de cátions (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>); e

CEa = Condutividade elétrica após descontar a CEa da água do sistema de abastecimento municipal (dS m<sup>-1</sup>).

A irrigação foi realizada, diariamente, às 17h00, aplicando-se, em cada lisímetro, o volume correspondente ao obtido pelo balanço de água, cujo volume de água a ser aplicado nas plantas foi determinado pela Eq. 2:

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

Em que:

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

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

Vd = volume drenado (mL) e

FL = fração de lixiviação de 0,10

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

As concentrações de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) foram obtidas através da diluição do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em água deionizada em cada evento de aplicação. As aplicações foram realizadas de forma manual com um borrifador, visando obter o molhamento completo das folhas (faces abaxial e adaxial). As aplicações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foram interrompidas após o surgimento dos frutos. Durante a pulverização de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, foi utilizada uma estrutura com lona plástica para evitar a

deriva do produto sobre as plantas vizinhas. O volume médio de solução aplicado por planta foi de 81 mL.

As aplicações de peróxido de hidrogênio foram realizadas via pulverização foliar entre 17h00 e 18h00. A primeira aplicação foi realizada 72 horas antes do início da aplicação dos distintos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, as demais foram feitas em intervalos de 12 dias.

### **1.4.3 Manejo da adubação**

As adubações com nitrogênio, fósforo e potássio foram realizadas com base na recomendação de Novais et al. (1991) para ensaios desenvolvidos em vasos. Foram aplicados 100 mg N kg<sup>-1</sup>, 150 mg K<sub>2</sub>O kg<sup>-1</sup> e 300 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> de solo.

Como fontes de nitrogênio, foram utilizadas a ureia (45% de N) e o monoamônio fosfato (12% de N), de potássio, o cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O) e de fósforo, o MAP (61% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). As adubações foram parceladas em 8 vezes, aplicadas quinzenalmente via fertirrigação.

Como fonte de micronutrientes, foi aplicado 1,0 g L<sup>-1</sup> do produto comercial Dripsol<sup>®</sup> via foliar, contendo: Mg (1,1%), Zn (4,2%), B (0,85%), Fe (3,4%), Mn (3,2%), Cu (0,5%), Mo (0,05%), aplicados nas faces adaxial e abaxial, utilizando-se um pulverizador costal modelo da Jacto - Jacto XP<sup>®</sup> com capacidade de 12 L, com pressão de trabalho (máxima) 88 psi (6 bar) e Bico JD 12P.

## **1.5 Variáveis analisadas**

### **1.5.1 Avaliações de crescimento**

Aos 90 DAS, avaliou-se o crescimento através da altura de plantas (AP), o diâmetro de caule (DC), o número de folhas (NF) e a área foliar (AF). A altura de plantas (cm) foi medida tomando-se como referência a distância do colo da planta à inserção do meristema apical, o diâmetro do caule (mm) foi medido a 2 cm do colo da planta; o número de folhas foi obtido pela contagem de folhas totalmente expandidas com comprimento mínimo de 3 cm, a área foliar (cm<sup>2</sup>) foi obtida de acordo com Rezende et al. (2002), utilizando-se a Eq. 3:

$$Y = 0,5979X \dots\dots\dots(3)$$

Em que:

Y - área da folha, cm<sup>2</sup>

X - área correspondente ao produto do comprimento (C) pela largura (L) da folha, cm<sup>2</sup>

Aos 135 DAS, as plantas tiveram seu caule cortado rente ao solo e depois foram divididas em folha, caule e raiz e lavadas e colocadas em sacos de papel e seca em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C até atingir o peso constante. Na determinação da fitomassa seca de folhas (FSF, g por planta), de caule (FSC, g por planta) e de raiz (FSR, g por planta), foi utilizada uma balança de precisão (0,01 g). A relação raiz/parte aérea (R/PA, g g<sup>-1</sup>) foi determinada de acordo com a Eq. 4

$$R/PA = \frac{FSR}{(FSF + FSC)} \dots\dots\dots(4)$$

Em que:

R/PA – Relação raiz/parte aérea (g g<sup>-1</sup>)

FSF – fitomassa seca de folhas (g por planta)

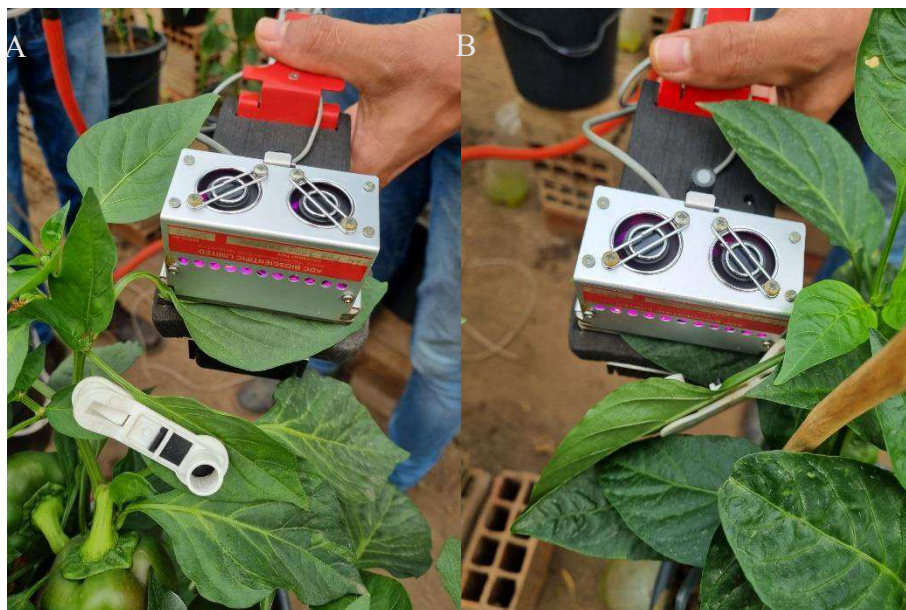
FSC – fitomassa seca do caule (g por planta)

FSR – fitomassa seca da raiz (g por planta)

## 1.5.2 Avaliações fisiológicas

### 1.5.2.1 Trocas gasosas

As trocas gasosas foram avaliadas aos 90 DAS através da condutância estomática (*g<sub>s</sub>*, mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), da transpiração (*E*, mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*, μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), da concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*, μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), da eficiência instantânea no uso da água (*E<sub>iUA</sub>*) (*A/E*, [(μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>]) e da eficiência instantânea da carboxilação (*E<sub>iCi</sub>*) (*A/C<sub>i</sub>*, [(μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol mol<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>]), utilizando-se o equipamento portátil de medição de fotossíntese “LCPro+” da ADC Bio Scientific Ltda, irradiação de 1200 μmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e fluxo de ar de 200 mL min<sup>-1</sup> e em nível de CO<sub>2</sub> do ambiente, avaliadas na terceira folha, contada a partir do ápice (Figura 4) entre 07h00 às 09h00 da manhã.



**Figura 4.** Uso do clipe para determinação de fluorescência da clorofila (A) e LCPro+ para a avaliação das trocas gasosas (B) nas plantas de pimentão

#### 1.5.2.2 Fluorescência da clorofila *a*

Aos 110 DAS, a fluorescência da clorofila foi avaliada na terceira folha, contada a partir do ápice do ramo principal da planta, utilizando um fluorômetro modulado por pulso, modelo OS5p da marca Opti Science. O protocolo Fv/Fm foi utilizado para determinar as variáveis de indução de fluorescência: fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e a eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ).

O protocolo II foi realizado após adaptação das folhas ao escuro por um período de 30 min, utilizando um clipe do aparelho, a fim de garantir que todos os aceptores primários estivessem totalmente oxidados, ou seja, os centros de reação estavam abertos. Posteriormente, as avaliações foram realizadas sob condições de luz, aplicando uma fonte de iluminação actínica com pulso de saturação multiflash, acoplada a um clipe de determinação de radiação fotossinteticamente ativa (PAR-Clip) para determinar a fluorescência inicial antes do pulso de saturação ( $F_s$ ), a taxa de transporte de elétrons (ETR) e a eficiência quântica do fotossistema II ( $Y_{II}$ ).

#### 1.5.2.3. Pigmentos fotossintéticos

Os teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides foram quantificados de acordo com a metodologia de Arnon (1949) aos 90 DAS, quando foram feitos extratos vegetais a partir de amostras de discos do limbo da terceira folha madura a partir do ápice. Assim, a partir desses extratos, foram determinadas as concentrações de clorofila e carotenoides nas soluções por

meio de espectrofotômetro no comprimento de onda de absorvância (ABS) (470, 647 e 663), por meio das Eqs 5, 6, 7 e 8:

$$Cl\ a = (12,25 \times ABS663) - (2,79 \times ABS647) \dots\dots\dots(5)$$

$$Cl\ b = (21,5 \times ABS647) - (5,10 \times ABS647) \dots\dots\dots(6)$$

$$Cl\ t = (7,15 \times ABS663) + (18,71 \times ABS647) \dots\dots\dots(7)$$

$$Car = \frac{|(1000 \times ABS470) - (1,82 \times Cl\ a) - (85,02 \times Cl\ b)|}{198} \dots\dots\dots(8)$$

Onde:

Cl *a* – clorofila *a*;

Cl *b* – clorofila *b*;

Cl *t* – clorofila *total*; e,

Car – carotenoides.

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

#### 1.5.2.4 Extravasamento de eletrólitos

O extravasamento de eletrólitos (%EE) no limbo foliar foi determinado aos 90 DAS, utilizando um perfurador de cobre para obter, cinco discos foliares com área de 1,54 cm<sup>2</sup> cada, por unidade experimental, estes foram lavados e acondicionados em erlenmeyer<sup>®</sup> contendo 50 mL de água destilada.

Após fechados com papel alumínio, os erlenmeyers<sup>®</sup> foram acondicionados à temperatura de 25 °C, por 24 horas, sendo, em seguida, aferida a condutividade elétrica inicial do meio (Xi) por meio do condutivímetro de bancada (MB11, MS Techonopon<sup>®</sup>). Em seguida os erlenmeyers<sup>®</sup> foram submetidos à temperatura de 90 °C, por 120 min, em estufa de secagem (SL100/336, SOLAB<sup>®</sup>) e, após resfriamento de seus conteúdos, aferiu-se a condutividade elétrica final (Xf).

O extravasamento de eletrólitos no limbo foliar foi expresso como a porcentagem de condutividade elétrica inicial em relação à condutividade elétrica após o tratamento por 120 min a 90° C, conforme metodologia proposta por Scotti-Campos et al. (2013), considerando-se a Eq. 9:

$$\% EE = \frac{X_i}{X_f} \times 100 \dots\dots\dots(9)$$

Onde:



% EE – porcentagem de extravasamento de eletrólitos;

$X_i$  – condutividade elétrica inicial; e,

$X_f$  – condutividade elétrica final.

#### 1.5.2.5 Conteúdo relativo de água

O conteúdo relativo de água também foi mensurado aos 90 DAS, retirando-se duas folhas do terço médio do ramo principal para a obtenção de cinco discos de 12 mm de diâmetro de cada folha.

Após a coleta, os discos foram pesados, evitando assim a perda de umidade, obtendo a massa fresca (MF). Em seguida, essas amostras foram colocadas em béquer, imersas em 50 mL de água destilada e acondicionadas por 24 horas. Após esse período, o excesso de água dos discos foi retirado com papel toalha e, obtida a massa túrgida (MT) das amostras, as quais foram secas em estufa à temperatura de  $65 \pm 3$  °C, até peso constante para obtenção da massa seca (MS) das amostras.

O CRA foi obtido de acordo com metodologia descrita por Lima et al. (2015), utilizando a Eq. 10:

$$CRA = \left( \frac{MF - MS}{MT - MS} \right) \times 100 \dots\dots\dots(10)$$

Em que:

CRA – conteúdo relativo de água (%);

MF – massa fresca de folha (g);

MT – massa túrgida (g); e,

MS – massa seca (g).

#### 1.5.2.6 Eficiência no uso da água

A eficiência no uso da água (EUA) das plantas de pimentão foi determinada ao final do experimento através da Eq. 11

$$EUA = \frac{\text{Produção (kg)}}{\text{consumo hídrico (m}^3\text{)}} \dots\dots\dots(11)$$

No qual:

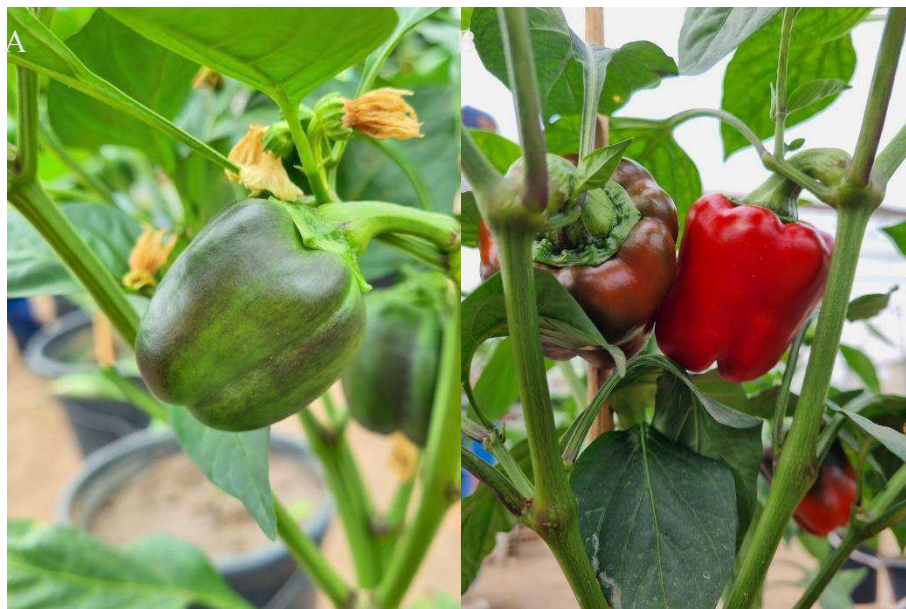
EUA – eficiência no uso da água (kg por m<sup>3</sup>)

Produção – produção total por planta (kg),

Consumo hídrico – consumo de água por planta (m<sup>3</sup>)

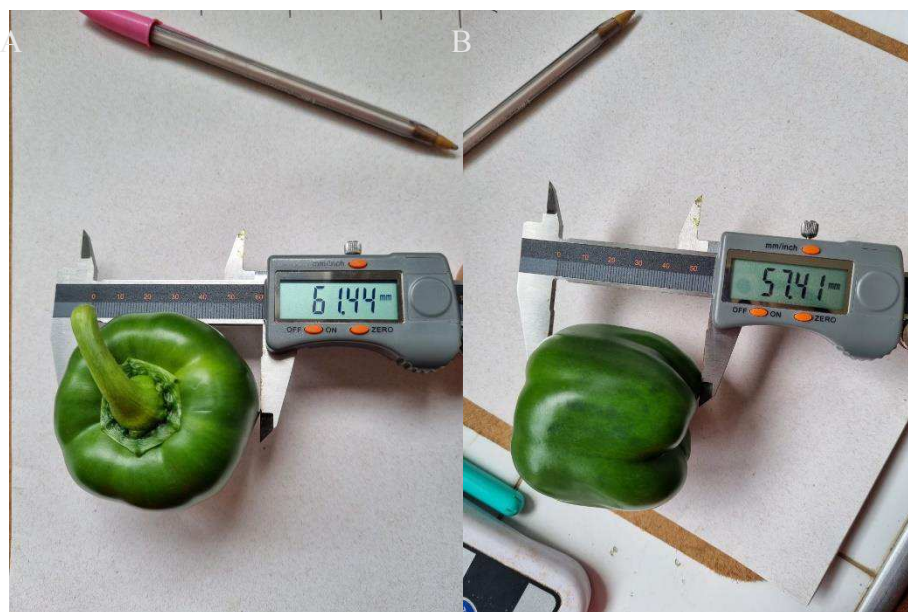
### 1.5.3 Componentes de produção e tolerância do pimentão ‘All Big’ ao estresse salino

A colheita teve início aos 90 DAS quando os frutos começaram a apresentar coloração avermelhada (Figura 5) se estendeu até 135 DAS, avaliando-se o número de frutos (NF), peso médio dos frutos (PMF), diâmetro equatorial do fruto (DEF), diâmetro polar do fruto (DPF), espessura da casca (EC) e o peso total de frutos por planta (PTF).



**Figura 5.** Frutos de pimentão antes (A) e no ponto de colheita (B)

O número de frutos foi determinado pela contagem dos pimentões produzidos por planta. O diâmetro equatorial (Figura 6A), polar (Figura 6B) e a espessura da casca foram medidos com paquímetro digital. O peso total de frutos por planta foi determinado a partir do somatório do peso de todos os pimentões de cada planta. O peso médio foi obtido através da relação entre a produção total por planta e o número total de frutos.



**Figura 6.** Aferição do diâmetro equatorial (A) e polar (B) dos frutos de pimentão.

Por meio dos dados de produção total por planta, determinou-se o nível de tolerância de plantas pimentão ao estresse salino, com base na produção relativa, usando o modelo platô seguido pelo decréscimo linear de Maas & Hoffman (1977).

### **1.6 Análise estatística**

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk). Logo após, a estrutura multivariada dos resultados foi avaliada pela análise de componentes principais (ACP), sintetizando a quantidade de informações relevantes contidas no conjunto de dados original em menos dimensões, produzidas pela combinação linear das variáveis originais geradas pelos autovalores ( $\lambda > 1,0$ ) na matriz de correlação, explicando um percentual maior que 10% da variância total (Govaerts et al., 2007).

A partir da redução das dimensões, os dados originais das variáveis de cada componente foram submetidos à análise de variância multivariada (MANOVA) pelo teste de Hotelling (1947) a 0,05 de probabilidade para as concentrações de peróxido de hidrogênio e a condutividade elétrica da água de irrigação, assim como para interação entre os elementos. As variáveis com coeficiente de correlação maior ou igual a 0,7 foram mantidas nos componentes principais (CP1 e CP2) (Hair et al., 2009). Para a análise estatística, foi utilizado o software Statistica v.7.0 (Statsoft, 2004).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, H. A., GALVANI, E. Climatologia do regime de chuvas em Campina Grande/PB: modelos e variabilidades. **Entre-Lugar**, v. 13, n. 24, p. 147-169, 2021.
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.23, p.1-15, 1949.
- DANTAS, M. V., LIMA, G. S. DE, GHEYI, H. R., PINHEIRO, F. W. A., SILVA, P. C. C., SOARES, L. A. DOS A. Gas exchange and hydroponic production of zucchini under salt stress and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> application. **Revista Caatinga**, v.35, n.2, p.436-449, 2022
- GOVAERTS, B., SAYRE, K. D., LICHTER, K., DENDOOVEN, L., DECKERS, J. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. **Plant and Soil**, v.291, p.39-54, 2007.
- HAIR, F. J., BLACK, W. C., BABIN, B. J., ANDERSON, R. E., TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Tradução Adonai Schlup Sant'Anna. Porto Alegre: Bookman, p.688, 2009.
- HOTELLING, H. Multivariate quality control. In: Eisenhart, C., Hastay, M. W., Wallis, W. A. (Eds.). **Techniques of statistical analysis** New York: McGraw-Hill., 1947.
- 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
- MEDEIROS, J. F. Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, Brasil], 1992
- NOVAIS, R. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA A. J. (ed.) Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: Embrapa-SEA, p.189-253, 1991
- REZENDE, F. C., FRIZZONE, J. A., PEREIRA, A. S., BOTREL, T. A. Plantas de pimentão cultivadas em ambiente enriquecido com CO<sub>2</sub>. II. Produção de matéria seca. **Acta Scientiarum**, v.24, n.5, p.1527- 1533, 2002
- RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U.S, **Department of Agriculture**, 1954.
- 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.12, p.1002-1013, 2013
- STATSOFT, I. N. C. Programa computacional Statistica 7.0. E. A. U, 2004

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3.ed. Brasília: **Embrapa Solos**, v.3, p.573, 2017.

VELOSO, L. L. DE S. A., LIMA, G. S. DE, SILVA, A. A. R. DA, SOUZA, L. DE P., LACERDA, C. N. DE, SILVA, I. J. DA, CHAVES, L. H. G, FERNANDES, P. D. Attenuation of salt stress on the physiology and production of bell peppers by treatment with salicylic acid. **Semina: Ciências Agrárias**, v.42, n.5, p.2751-2768, 2021.

## **CAPÍTULO III**

---

### **PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE SALINO EM PIMENTÃO**

## Peróxido de hidrogênio na mitigação do estresse salino em pimentão

### RESUMO

O pimentão é uma hortícola de grande importância socioeconômica no mercado brasileiro. Contudo, no semiárido do Nordeste brasileiro seu cultivo é limitado devido à ocorrência de fontes hídricas com elevadas concentrações de sais. Deste modo, objetivou-se com o presente estudo, avaliar o efeito da aplicação de peróxido de hidrogênio na mitigação do estresse salino nas trocas gasosas, nos pigmentos fotossintéticos e no crescimento das plantas de pimentão 'All Big'. O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, em Campina Grande, Paraíba. Os tratamentos foram distribuídos no delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial  $5 \times 5$ , correspondendo a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,8; 1,2; 2,0; 2,6 e 3,2  $\text{dS m}^{-1}$ ) e cinco concentrações de peróxido de hidrogênio –  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0, 15, 30, 45 e 60  $\mu\text{M}$ ), com três repetições e uma planta por parcela. A aplicação de peróxido de hidrogênio na concentração de 15  $\mu\text{M}$  atenuou os efeitos deletérios do estresse salino em plantas de pimentão 'All Big' irrigadas com águas salinas em CEa de até 1,4  $\text{dS m}^{-1}$ . O peróxido de hidrogênio na concentração de 15  $\mu\text{M}$  associado à salinidade da água de 0,8  $\text{dS m}^{-1}$  proporcionou aumento na condutância estomática, na taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , na eficiência instantânea de carboxilação e no crescimento das plantas de pimentão. A aplicação de peróxido de hidrogênio em concentrações maiores que 30  $\mu\text{M}$ , intensificou os efeitos deletérios do estresse salino em pimentão 'All big', aos 90 dias após o semeio.

**Palavras-chave:** *Capsicum annuum* L., aclimatação, salinidade.

## Hydrogen peroxide in mitigation of saline stress in bell peppers

### ABSTRACT

Bell pepper is a vegetable of great socioeconomic importance in the Brazilian market. However, in the semiarid region of the Brazilian Northeast, its cultivation is limited due to the occurrence of water sources with high concentrations of salts. Thus, the objective of the present study was to evaluate the effect of the application of hydrogen peroxide in the mitigation of saline stress in gas exchange, photosynthetic pigments and growth of 'All Big' pepper plants. The experiment was carried out under greenhouse conditions, in Campina Grande-PB. The treatments were distributed in a randomized block design, in a  $5 \times 5$  factorial scheme, corresponding to five levels of electrical conductivity of the irrigation water - ECw

(0.8; 1.2; 2.0; 2.6 and 3.2 dS m<sup>-1</sup>) and five concentrations of hydrogen peroxide – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 15, 30, 45 and 60 μM), with three replications and one plant per plot. Foliar application of hydrogen peroxide at a concentration of 15 μM attenuated the deleterious effects of saline stress in 'All Big' bell pepper plants irrigated with saline water at EC<sub>w</sub> of up to 1.4 dS m<sup>-1</sup>. Hydrogen peroxide at a concentration of 15 μM associated with a water salinity of 0.8 dS m<sup>-1</sup> provided an increase in stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation rate, instantaneous carboxylation efficiency and growth of pepper plants. Application of hydrogen peroxide in concentrations greater than 30 μM, intensified the deleterious effects of salt stress in 'All big' peppers, at 90 days after sowing.

**Keywords:** *Capsicum annuum* L., acclimatization, salinity.

## INTRODUÇÃO

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma planta não-climatérica que pertence à família das solanáceas, as cultivares existentes têm diferentes formas, tamanhos e cores, dependendo da fase de maturação (Lahbib et al., 2017). É uma olerícola de grande importância socioeconômica no Brasil e está entre as dez hortaliças mais importantes do país, sendo a terceira solanácea mais cultivada, atrás apenas do tomate e da batata (Lopes et al., 2018), além disso, o pimentão foi classificado como moderadamente sensível a sensível sob condições de salinidade e estresse hídrico (Penella et al. 2015)

A água se destaca entre os principais recursos naturais necessários para a produção de alimentos. No entanto, devido à escassez qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos, especialmente no semiárido do Nordeste brasileiro, o uso de águas salinas na irrigação tornou-se inevitável para garantir a produção agrícola (Silva et al., 2020; Pinheiro et al., 2022)

Entretanto, o uso de água com concentrações elevadas de sais provoca nas plantas alterações na sua fisiologia que limitam seu crescimento e desenvolvimento. Os efeitos da salinidade são atribuídos ao efeito osmótico (restrição na absorção de água e nutrientes) e iônico (toxicidade específica), além dos efeitos secundários como o estresse oxidativo (Silva et al., 2018; Roque et al., 2022). A alta concentração de sais reduz o potencial osmótico do solo e induz a planta a fechar seus estômatos para evitar a perda de água para a atmosfera, o que limita a transpiração e as taxas fotossintéticas (Andrade et al., 2019).

O excesso de sais no solo pode provocar alterações na eficiência quântica do fotossistema II e no balanço nutricional que resultam na redução do desenvolvimento das plantas, independentemente da natureza dos sais (Lima et al., 2020). Para possibilitar a



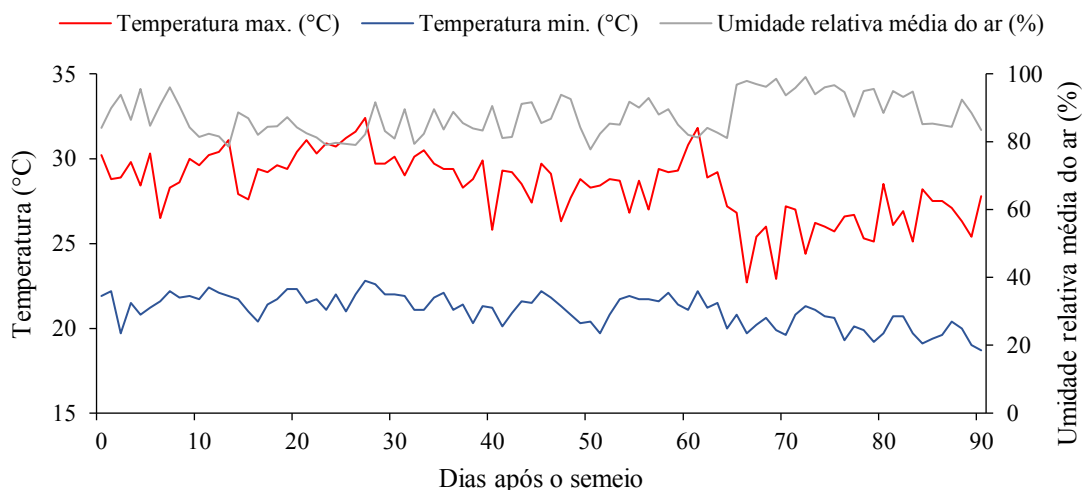
utilização dessas águas, são utilizadas algumas estratégias, uma delas sendo a aplicação exógena de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ). Algumas pesquisas foram desenvolvidas com o intuito de verificar os efeitos da aplicação foliar de  $H_2O_2$  na aclimação de culturas ao estresse salino, conforme observado por Nazir et al. (2021) em tomate, Andrade et al. (2022) em maracujazeiro-azedo (Nazir et al., 2021) e a abobrinha italiana (Dantas et al., 2022).

O  $H_2O_2$  é uma espécie reativa de oxigênio (ERO) que tem sido utilizada para possibilitar o uso de águas salinas (Andrade et al., 2019; Andrade et al., 2022). A aplicação em baixas concentrações pode promover a aclimação das plantas ao estresse salino, devido a alterações metabólicas que são responsáveis por induzir sua tolerância ao estresse, possibilitando o uso de águas com maiores concentrações de sais (Velooso et al., 2022).

Neste contexto, objetivou-se, com o presente estudo, avaliar os efeitos da aplicação de peróxido de hidrogênio na mitigação do estresse salino nas trocas gasosas, nos pigmentos fotossintéticos e no crescimento das plantas de pimentão ‘All Big’

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre os meses de março e junho de 2022, em casa de vegetação pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UAEA/UFCG), em Campina Grande – PB, situada pelas coordenadas geográficas  $07^{\circ} 15' 18''$  de latitude Sul,  $35^{\circ} 52' 28''$  de longitude Oeste e altitude média de 550 m. Os dados de temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa média do ar do local do experimento estão dispostos na Figura 1.



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

Os tratamentos consistiram da combinação de cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,8; 1,4; 2,0; 2,6; 3,2 dS m<sup>-1</sup>) e cinco concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 15, 30, 45 e 60 µM), em arranjo fatorial 5 × 5, distribuídos no delineamento de blocos casualizados, com três repetições e uma planta por parcela. Os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação foram baseados no estudo desenvolvido por Veloso et al. (2021) com pimentão ‘All Big’ (*Capsicum annuum* L.), Já as concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> utilizadas nesta pesquisa foram adaptadas a partir do trabalho realizado com abobrinha italiana cv. Caserta (Dantas et al., 2022).

Foram utilizados vasos com 10 L de capacidade adaptados como lisímetros de drenagem; cada lisímetro foi perfurado na base para permitir a drenagem e acoplado a um dreno transparente de 4 mm de diâmetro. A extremidade do dreno que ficou dentro do lisímetro foi envolvida com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução do material de solo. Abaixo de cada dreno havia uma garrafa plástica para a coleta de água drenada e estimativa do consumo hídrico.

Os lisímetros foram preenchidos com uma camada de 0.3 kg de brita, seguido de 9 kg de um Neossolo Regolítico Eutrófico de textura franco-arenosa, coletado na profundidade de 0-30 cm proveniente da zona rural do município de Lagoa Seca, estado da Paraíba. 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	M.O.	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>
1:2,5	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....					
6,12	1,36	6,80	0,22	0,16	2,60	3,66	1,42	0,51
.....Características químicas.....				.....Características físicas.....				
CE <sub>es</sub>	CTC	RAS	PST	Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )	
dS m <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	(mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	%	Areia	Silte	Argila	33,42 kPa <sup>1</sup>	1519,5 kPa <sup>2</sup>
1,15	7,23	0,38	1,87	760,9	164,5	74,6	13,07	5,26

pH – Potencial hidrogeniônico, 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 1,0; Al<sup>3+</sup>+H<sup>+</sup> extraídos utilizando-se CaOAc 0,5 M pH 7,0; CE<sub>es</sub> - Condutividade elétrica do extrato de saturação; CTC - Capacidade de troca catiônica; RAS - Relação de adsorção de sódio do extrato de saturação; PST - Percentagem de sódio trocável; <sup>1,2</sup> referindo a capacidade de campo e ponto de murchamento permanente.

Na sementeira, foram utilizadas três sementes distribuídas de forma equidistante em cada lisímetro, à profundidade de 2 cm. Após a emergência das plântulas, foi realizado

desbaste em duas etapas, quando as plantas apresentaram dois e três pares de folhas definitivas, respectivamente, deixando-se no último desbaste (30 DAS), a planta mais vigorosa por recipiente.

As concentrações de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) foram obtidas através da diluição do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em água deionizada. Antes da semeadura, as sementes passaram por um pré-tratamento com peróxido de hidrogênio por um período de 24 horas. As aplicações de peróxido de hidrogênio (DAS) foram realizadas via pulverização foliar entre 17h00 e 18h00. A primeira aplicação foi realizada 72 horas antes do início da aplicação dos distintos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (33 DAS), as demais foram feitas em intervalos de 12 dias. As aplicações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foram interrompidas após o surgimento dos frutos. O volume médio aplicado por planta foi de 80 mL. As aplicações foram realizadas de forma manual com um borrifador, visando obter o molhamento completo das folhas (faces abaxial e adaxial). Durante a pulverização de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, foi utilizada uma estrutura com lona plástica para evitar a deriva do produto sobre as plantas vizinhas.

As águas salinas usadas no cultivo foram obtidas mediante adição de sais de cloreto de sódio (NaCl), de cálcio (CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) e de magnésio (MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O) preparadas em água do sistema de abastecimento local (CEa = 0,38 dS m<sup>-1</sup>), sendo incorporadas na proporção equivalente de 7:2:1 respectivamente. Trata-se da proporção de Na, Ca e Mg comumente encontradas nas águas utilizadas para irrigação no semiárido do Nordeste brasileiro (Medeiros, 1992). No preparo da água de irrigação, foi considerada a relação entre CEa e concentração de sais (Richards, 1954), conforme a Eq. 1:

$$Q \approx 10 \times CEa \dots\dots\dots(1)$$

Em que:

Q = Soma de cátions (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>); e

CEa = Condutividade elétrica após descontar a CEa da água do sistema de abastecimento municipal (dS m<sup>-1</sup>).

A irrigação foi realizada, diariamente, às 17h00, aplicando-se, em cada lisímetro, o volume correspondente ao obtido pelo balanço de água, cujo volume de água a ser aplicado nas plantas foi determinado pela Eq. 2:

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

Em que:

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

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

Vd = volume drenado (mL) e

FL = fração de lixiviação de 0,10

As adubações com nitrogênio, fósforo e potássio foram realizadas com base em recomendação de Novais et al. (1991) para plantas cultivadas em vasos. Foram aplicados 100 mg N kg<sup>-1</sup>, 150 mg K<sub>2</sub>O kg<sup>-1</sup> e 300 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> de solo. Como fontes de nitrogênio, foram utilizadas a ureia e o monoamônio fosfato (MAP), de potássio, o cloreto de potássio e de fósforo, o MAP. As adubações com NPK foram parceladas em 8 vezes, via fertirrigação aplicada quinzenalmente. Foi aplicado 1,0 g L<sup>-1</sup> do produto comercial Dripsol<sup>®</sup> via foliar para suprir a necessidade de micronutrientes, contendo: Mg (1,1%), Zn (4,2%), B (0,85%), Fe (3,4%), Mn (3,2%), Cu (0,5%), Mo (0,05%), aplicados nas faces adaxial e abaxial. Os tratos fitossanitários foram realizados sempre que necessário, utilizando os produtos preconizados para cultura.

Aos 90 DAS, avaliou-se o conteúdo relativo de água (CRA), a porcentagem de extravasamento de eletrólitos (%EE), os teores de clorofila *a* (Cl *a*), *b* (Cl *b*), total (Cl *t*) e carotenoides (Car). Nesta mesma época, determinaram-se as trocas gasosas foliares: condutância estomática (*g<sub>s</sub>*, mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), transpiração (*E*, mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*, μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*, μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), eficiência instantânea no uso da água (*EiUA*) (*A/E*, [(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>]) e eficiência instantânea da carboxilação (*EiC<sub>i</sub>*) (*A/C<sub>i</sub>*, [(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol mol<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>]); e as variáveis de crescimento: altura de plantas (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF).

Para a obtenção do conteúdo relativo de água (CRA) foram retiradas duas folhas do terço médio do ramo principal para a obtenção de cinco discos de 12 mm de diâmetro de cada folha. Logo após a coleta, os discos foram pesados, evitando assim a perda de umidade, obtendo a massa fresca (MF); em seguida, essas amostras foram colocadas em béquer, imersas em 50 mL de água destilada e acondicionadas por 24 horas. Após esse período, o excesso de água dos discos foi retirado com papel toalha e obtida a massa túrgida (MT) das amostras, as quais foram secas em estufa à temperatura de 65 ± 3 °C, até peso constante para obtenção da massa seca (MS) das amostras. O CRA foi obtido de acordo com metodologia descrita por Lima et al. (2015), utilizando a Eq. 3:

$$CRA = \left( \frac{MF - MS}{MT - MS} \right) \times 100 \dots\dots\dots(3)$$

Em que:

CRA – conteúdo relativo de água (%);

MF – massa fresca de folha (g);

MT – massa túrgida (g); e,

MS – massa seca (g).

O extravasamento de eletrólitos (%EE) no limbo foliar foi determinado utilizando um perfurador de cobre para obter cinco discos foliares com área de 1,54 cm<sup>2</sup> cada, por unidade experimental, estes foram lavados e acondicionados em erlenmeyer<sup>®</sup> contendo 50 mL de água destilada. Após fechados com papel alumínio, os erlenmeyers<sup>®</sup> foram acondicionados à temperatura de 25 °C, por 24 horas, sendo, em seguida, aferida a condutividade elétrica inicial do meio (Xi) usando condutivímetro de bancada (MB11, MS Techonopon<sup>®</sup>). Em seguida, os erlenmeyers<sup>®</sup> foram submetidos à temperatura de 90 °C, por 120 min, em estufa de secagem (SL100/336, SOLAB<sup>®</sup>) e, após resfriamento do conteúdo, aferiu-se a condutividade elétrica final (Xf). O extravasamento de eletrólitos no limbo foliar foi expresso como a porcentagem de condutividade elétrica inicial em relação à condutividade elétrica após o tratamento por 20 min a 90° C, conforme metodologia proposta por Scotti-Campos et al. (2013), considerando-se a Eq. 4:

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

Onde:

% EE – porcentagem de extravasamento de eletrólitos;

Xi – condutividade elétrica inicial; e,

Xf – condutividade elétrica final.

Os pigmentos fotossintéticos – clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides – foram quantificados de acordo com a metodologia de Arnon (1949), pela qual foram feitos extratos vegetais a partir de amostras de discos do limbo da terceira folha madura a partir do ápice. Assim, a partir desses extratos, foram determinadas as concentrações de clorofila e carotenoides nas soluções por meio de espectrofotômetro no comprimento de onda de absorbância (ABS) (470, 647 e 663), por meio das Eqs 5, 6, 7 e 8:

$$Cl a = (12,25 \times ABS_{663}) - (2,79 \times ABS_{647}) \dots\dots\dots(5)$$

$$Cl\ b = (21,5 \times ABS647) - (5,10 \times ABS647) \dots\dots\dots(6)$$

$$Cl\ t = (7,15 \times ABS663) + (18,71 \times ABS647) \dots\dots\dots(7)$$

$$Car = \frac{|(1000 \times ABS470) - (1,82 \times Cl\ a) - (85,02 \times Cl\ b)|}{198} \dots\dots\dots(8)$$

Onde:

Cl *a* – clorofila *a*;

Cl *b* – clorofila *b*;

Cl *t* – clorofila *total*; e,

Car – carotenoides.

As trocas gasosas foram avaliadas das 07h00 às 09h00 da manhã, utilizando-se o equipamento portátil de medição de fotossíntese “LCPro+” da ADC Bio Scientific Ltda, irradiação de 1200 μmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e fluxo de ar de 200 mL min<sup>-1</sup> e em nível de CO<sub>2</sub> do ambiente, avaliadas na terceira folha, contada a partir do ápice.

A altura de plantas (cm) foi medida tomando-se como referência a distância do colo da planta à inserção do meristema apical, o diâmetro do caule (mm) foi medido a 2 cm do colo da planta, o número de folhas foi obtido pela contagem de folhas totalmente expandidas com comprimento mínimo de 3 cm, a área foliar (cm<sup>2</sup>) foi obtida de acordo com Rezende et al. (2002), utilizando-se a Eq. 9:

$$Y = 0,5979X \dots\dots\dots(9)$$

Em que:

Y - área da folha, cm<sup>2</sup>

X - área correspondente ao produto do comprimento (C) pela largura (L) da folha, cm<sup>2</sup>

A estrutura multivariada dos resultados foi avaliada pela análise de componentes principais (ACP), sintetizando a quantidade de informações relevantes contidas no conjunto de dados original em menos dimensões, produzidas pela combinação linear das variáveis originais geradas pelos autovalores ( $\lambda > 1,0$ ) na matriz de correlação, explicando um percentual maior que 10% da variância total (Govaerts et al., 2007).

A partir da redução das dimensões, os dados originais das variáveis de cada componente foram submetidos à análise de variância multivariada (MANOVA) pelo teste de Hotelling (1947) a 0.05 de probabilidade para as concentrações de peróxido de hidrogênio e a condutividade elétrica da água de irrigação, assim como para interação entre eles.

As variáveis com coeficiente de correlação maior ou igual a 0,7 foram mantidas nos componentes principais (CP1 e CP2) (Hair et al., 2009), já as que apresentaram coeficiente de

correlação menor que 0,6 foram analisadas pela análise univariada, ao nível de 0,05 de probabilidade e nos casos de significância, realizou-se a regressão linear e quadrática. Para a análise estatística, foi utilizado o software Statistica v.7.0 (Statsoft, 2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O espaço multidimensional das variáveis originais foi reduzido para dois componentes principais (CP1 e CP2) com autovalores maiores que  $\lambda \geq 1,0$ , de acordo com Kaiser (1960). Houve efeito significativo da interação entre as concentrações de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e níveis condutividade elétrica da água (CEa) para os dois componentes principais (CP1 e CP2) (Tabela 2). Os autovalores e a porcentagem de variação explicados por cada componente (Tabela 2) representaram conjuntamente 84.9% da variação total, sendo o CP1 explicado por 72,67% da variância, formada pelas variáveis *Ci*, *gs*, *E*, *A*, *CEi*, AP, DC, NF, AF, Cl *a*, e Cl t. Já, o CP2 representou 12,23% da variância restante, sendo formado apenas pela variável Cl *b*.

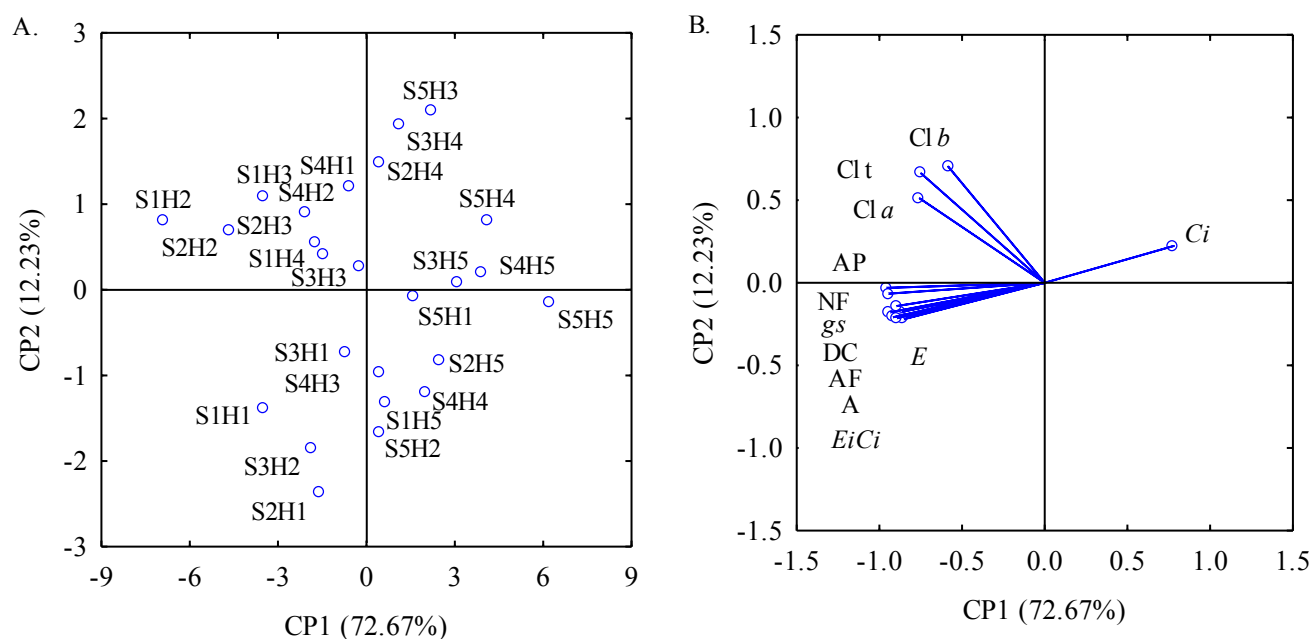
**Tabela 2.** Autovalores, porcentagem de variância total explicada, na análise de variância multivariada (MANOVA) e correlações (r) entre variáveis originais e os componentes principais.

	Componentes principais											
	CP1						CP2					
Autovalores ( $\lambda$ )	8,72						1,47					
Porcentagem de variância total (S <sup>2</sup> %)	72,67						12,23					
Teste de Hotelling (T <sup>2</sup> ) para condutividade elétrica da água (CEa)	0,01						0,01					
Teste de Hotelling (T <sup>2</sup> ) para peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	0,01						0,01					
Teste de Hotelling (T <sup>2</sup> ) para interação (CEa × H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	0,01						0,02					
CPs	Coeficiente de correlação											
	<i>Ci</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>EiCi</i>	AP	DC	NF	AF	Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Cl t
CP1	0,78	-0,90	-0,86	-0,92	-0,90	-0,96	-0,94	-0,95	-0,86	-0,76	-0,58	-0,75
CP2	0,22	-0,14	-0,22	-0,21	-0,22	-0,03	-0,18	-0,07	-0,18	0,51	0,70	0,66
	Valores médios											
	<i>Ci</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>EiCi</i>	AP	DC	NF	AF	Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Cl t
S1H1	104	0,295	5,40	29,69	0,285	53,46	9,98	73	1714,2	412,4	305,1	717,5
S1H2	103	0,330	4,84	33,11	0,321	59,00	10,78	82	2025,2	643,6	416,2	1059,8
S1H3	111	0,283	4,01	31,47	0,283	54,55	9,19	75	1500,9	563,0	383,1	946,1
S1H4	116	0,277	3,41	27,34	0,236	51,71	8,80	71	1386,5	570,7	244,7	815,4
S1H5	119	0,276	3,37	24,29	0,204	48,78	8,44	69	1305,6	348,0	199,1	547,2
S2H1	121	0,281	4,41	29,67	0,245	51,86	9,78	70	1645,7	448,1	119,5	567,6
S2H2	125	0,291	3,97	31,56	0,252	57,23	10,56	78	1944,1	623,3	332,4	955,7
S2H3	134	0,271	4,01	28,84	0,216	52,91	9,01	72	1440,9	551,4	276,4	827,8
S2H4	141	0,225	3,09	23,54	0,167	50,16	8,62	68	1331,0	469,4	338,6	808,0
S2H5	141	0,211	2,81	22,58	0,160	47,32	8,27	66	1253,3	329,5	183,1	512,6
S3H1	141	0,275	4,37	27,71	0,197	50,30	9,29	68	1579,8	340,4	307,0	647,4
S3H2	142	0,285	3,75	29,08	0,204	55,51	10,04	75	1866,4	399,4	185,1	584,5
S3H3	145	0,266	3,52	28,16	0,194	51,33	8,56	69	1383,3	400,9	316,4	717,3
S3H4	145	0,221	3,04	22,22	0,153	48,65	8,19	66	1277,8	503,1	329,2	832,3

S3H5	156	0,207	2,70	21,51	0,138	45,90	7,86	64	1203,2	434,1	155,9	590,0
S4H1	133	0,270	3,67	24,96	0,187	48,79	9,01	65	1516,6	462,3	373,1	835,5
S4H2	134	0,279	3,15	26,84	0,200	53,85	9,74	72	1791,7	478,5	367,4	845,8
S4H3	124	0,260	3,02	28,77	0,231	49,79	8,30	66	1327,9	399,5	199,0	598,4
S4H4	108	0,216	2,61	25,24	0,233	47,19	7,94	63	1226,6	295,6	213,1	508,7
S4H5	168	0,203	2,52	21,44	0,128	44,52	7,62	61	1155,1	350,2	201,8	552,1
S5H1	149	0,264	3,21	21,99	0,147	47,33	8,47	62	1456,0	393,1	233,5	626,7
S5H2	145	0,274	3,03	23,53	0,162	52,23	9,15	69	1720,1	365,0	144,6	509,6
S5H3	171	0,255	2,58	18,88	0,111	48,29	7,80	63	1274,8	462,5	322,8	785,3
S5H4	162	0,212	2,32	16,55	0,102	45,78	7,47	61	1177,6	375,2	221,9	597,1
S5H5	207	0,199	2,28	15,18	0,073	43,18	7,16	59	1108,9	247,2	156,5	403,7

S1 (0,8 dS m<sup>-1</sup>); S2 (1,4 dS m<sup>-1</sup>); S3 (2,0 dS m<sup>-1</sup>); S4 (2,6 dS m<sup>-1</sup>); S5 (3,2 dS m<sup>-1</sup>); H1 (0 μM); H2 (15 μM); H3 (30 μM); H4 (45 μM); H4 (60 μM); *Ci* (concentração interna de CO<sub>2</sub> - μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); *gs* (condutância estomática - mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); *E* (transpiração - mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); *A* (taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> - μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); *EiCi* (eficiência instantânea da carboxilação - [(μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol mol<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>]; AP (altura de planta - cm); DC (diâmetro de caule - mm); NF (número de folhas); AF (área foliar - cm<sup>2</sup>). Cl *a* (clorofila *a* - μg mL<sup>-1</sup>); Cl *b* (clorofila *b* - μg mL<sup>-1</sup>) e Cl *t* (clorofila total - μg mL<sup>-1</sup>).

As projeções bidimensionais dos efeitos dos tratamentos e variáveis no primeiro e segundo componentes principais (CP1 e CP2) estão apresentadas nas Figura 2. No primeiro componente principal (CP1), foi identificado um processo caracterizado possivelmente pelo efeito da interação entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e as concentrações de peróxido de hidrogênio, verificando-se que os coeficientes de correlação entre a *Ci*, *gs*, *E*, *A*, *EiCi*, AP, DC, NF, AF, Cl *a*, Cl *t* foram superiores a 0,60.



**Figura 2.** Projeção bidimensional dos escores dos componentes principais para os fatores condutividade elétrica da água de irrigação (S) e concentrações de peróxido de hidrogênio (H) (A) e das variáveis analisadas (B) nos dois componentes principais (CP1e CP2).



No componente principal 1, pode-se notar que as plantas de pimentão cultivadas com CEa de 0,8 dS m<sup>-1</sup> e submetidas às concentrações de 15 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (S1H2) se destacaram em comparação aos demais tratamentos, obtendo-se os maiores valores de *gs* (0,330 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), *A* (33,11 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), *EiCi* (0,321 [(µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (µmol mol<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>], AP (59,00 cm), DC (10,78 mm), NF (85), AF (2025,2 cm<sup>2</sup>), Cl *a* (643,6 µg mL<sup>-1</sup>) e Cl *t* (1059,8 µg mL<sup>-1</sup>).

Ao comparar os resultados obtidos nas plantas do tratamento S1H2 com as plantas do tratamento S1H1 (CEa 0,8 dS m<sup>-1</sup> e 0 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), constata-se aumento de 11,86; 11,52; 12,63; 10,36; 8,01; 12,33; 18,14; 56,06 e 47,7% na *gs*, *A*, *EiCi*, AP, DC, NF, AF, Cl *a*, Cl *t*, respectivamente, demonstrando efeito benéfico da aplicação de peróxido de hidrogênio na concentração de 15 µM.

É importante destacar que as plantas submetidas ao tratamento S2H2 também apresentaram efeito benéfico com a aplicação foliar de 15 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sobre a condutância estomática, a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, a eficiência instantânea da carboxilação, a altura de planta, o diâmetro de caule, o número de folhas, a área foliar, a clorofila *a* e a clorofila total, sob irrigação com água de condutividade elétrica de 1,4 dS m<sup>-1</sup>. O incremento entre as plantas submetidas ao tratamento S2H2 em relação ao S2H1 foram superiores em 3,5; 6,37; 2,87; 10,35; 8,0; 11,42; 18,13; 30,09 e 68,37%, respectivamente, para *gs*, *A*, *EiCi*, AP, DC, NF, AF, Cl *a* e Cl *t*.

Ramos et al. (2022), ao trabalharem com a cultura do maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis* Sims) com CEa variando de 0,6 a 3,0 e aplicações foliares de peróxido de hidrogênio, também constataram efeitos benéficos no crescimento e nos pigmentos fotossintéticos quando houve aplicação foliar de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na concentração de 15 µM. Dantas et al (2022), ao estudarem a abobrinha italiana (*Cucurbita pepo* L.) sob CEa variando entre 2,1 a 6,6 e aplicações exógenas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, observaram resultados semelhantes quando aplicado à concentração de 20 µM nas taxas de crescimento e nas trocas gasosas, os autores atribuíram essa contribuição ao fato do peróxido de hidrogênio atuar como uma molécula sinalizadora, regulando diversas vias metabólicas, sendo incluídas as respostas ao estresse salino.

Quando aplicado em concentração adequada, o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pode ativar o mecanismo de defesa enzimática antioxidante (catalase e peroxidase) em plantas, reduzindo o efeito negativo do oxigênio reativo nas espécies (Kilic & Kahraman, 2016), o que corrobora com os resultados obtidos nesse estudo. Os efeitos benéficos da aplicação exógena de peróxido de hidrogênio em plantas sob estresse salino também podem estar relacionados à ativação do sistema de

defesa de enzimas antioxidantes, como o superóxido dismutase, catalase, guaiacol peroxidase e ascorbato peroxidase, essas enzimas atuarão reduzindo os efeitos deletérios da salinidade (Carvalho et al., 2011).

Houve um incremento na concentração interna de CO<sub>2</sub> nas células do mesófilo quando a CEa é aumentada, independente das concentrações de peróxido de hidrogênio, o que demonstra os efeitos negativos da salinidade nas plantas de pimentão. É possível notar ainda que a transpiração também foi afetada negativamente, quando a condutividade elétrica da água de irrigação foi aumentada, independentemente das concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. A redução da taxa de transpiração está relacionada diretamente com o fechamento parcial dos estômatos, pois com menor abertura dos estômatos haverá um declínio na transpiração, restringindo a perda de água da folha para a atmosfera na forma de vapor, reduzindo assim a desidratação de plantas (Lima et al., 2017).

Para o componente principal 2 (CP2), comprovou-se que as plantas de pimentão cultivadas sob CEa de 0,8 dS m<sup>-1</sup> e submetidas à aplicação foliar com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na concentração de 15 µM (S1H2), obtiveram o maior valor de Cl *b* (416,2 µg mL<sup>-1</sup>), correspondendo um aumento de 36,41% em relação às cultivadas com a menor nível de CEa (0,8 dS m<sup>-1</sup>) e sem aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (S1H1).

Conforme constatado nesse estudo, a pulverização de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na concentração de 15 µM promoveu benefícios sobre o crescimento, trocas gasosas e síntese de pigmentos fotossintéticos das plantas de pimentão, principalmente nas cultivadas sob CEa de 0,8 e 1,4 dS m<sup>-1</sup>. O peróxido de hidrogênio é uma espécie reativa de oxigênio (ERO) que, quando aplicadas em baixas concentrações, auxilia no processo de aclimatação ao estresse salino, devido à indução nas alterações metabólicas que são responsáveis pelo aumento sua tolerância ao estresse, assim permitindo o uso de águas com maiores concentrações de sais (Andrade et al., 2019; Andrade et al., 2022; Silva et al., 2022).

O peróxido de hidrogênio utilizado no pré-tratamento de sementes, como realizado neste estudo, proporciona estresse moderado, resultando em acúmulo de sinais latentes em diferentes partes da planta. No entanto, quando ocorre uma condição de estresse mais grave, os sinais armazenados contribuem para ajustes moleculares e se destacam como mecanismos de tolerância (Savvides et al., 2016)

O conteúdo relativo de água (CRA), o extravasamento de eletrólitos (% EE), a eficiência instantânea do uso da água (*EiUA*) e os teores de carotenoides (Car) apresentaram coeficiente de correlação menor que 0,6. Portanto, eles foram removidos da análise multivariada e

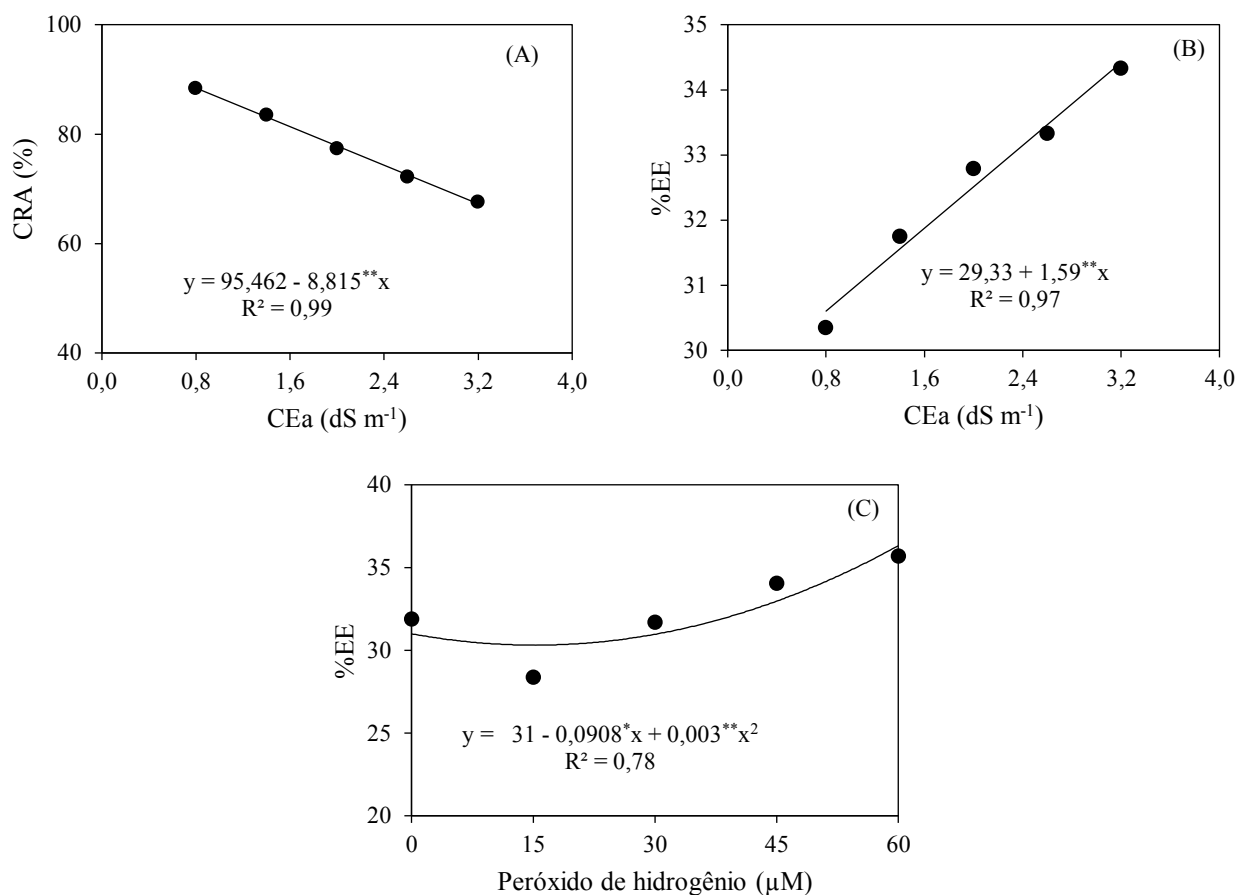
analisados por meio da análise univariada. Conforme o resumo da análise de variância (Tabela 3), verifica-se que a interação entre os níveis de condutividade elétrica das águas de irrigação e as concentrações de peróxido de hidrogênio não afetaram significativamente ( $p > 0,05$ ) as variáveis CRA, %EE, *EiUA* e Car, contudo, quando analisados os fatores isolados, constata-se que as variáveis CRA, %EE e *EiUA* foram afetadas significativamente ( $p \leq 0,01$ ) pelos níveis de CEa.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância referente ao conteúdo relativo de água (CRA), extravasamento de eletrólitos (%EE) no limbo foliar, eficiência instantânea do uso da água (*EiUA*) e teores de carotenoides (Car) de plantas de pimentão irrigadas com águas salinas e submetida as concentrações de peróxido de hidrogênio, aos 90 dias após o sementeio.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		CRA	% EE	<i>EiUA</i>	Car
Níveis Salinos (NS)	4	1051,29**	35,91**	84,66**	0,24 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	4197,19**	99,52**	327,97**	-
Regressão quadrática	1	2,49 <sup>ns</sup>	25,91 <sup>ns</sup>	7,54 <sup>ns</sup>	-
Peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	4	6,93 <sup>ns</sup>	114,81**	7,36**	0,64 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	-	264,64*	23,99*	-
Regressão quadrática	1	-	94,94**	0,15**	-
Interação (NS × H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	16	16,29 <sup>ns</sup>	1,49 <sup>ns</sup>	2,51 <sup>ns</sup>	1,56 <sup>ns</sup>
Blocos	2	10,28 <sup>ns</sup>	14,06 <sup>ns</sup>	5,19 <sup>ns</sup>	17,38 <sup>ns</sup>
Resíduo	48	15,21	5,13	1,57	0,11
CV (%)		5,01	7,01	16,27	12,82

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

O conteúdo relativo de água das plantas de pimentão (Figura 3A) reduziu de forma linear, sendo os decréscimos de 9,23% por incremento unitário da CEa, ou seja, quando as plantas foram submetidas ao menor nível de condutividade elétrica (0,8 dS m<sup>-1</sup>) apresentaram CRA superior a 24,08% em relação às cultivadas sob CEa de 3.2 dS m<sup>-1</sup>. A redução no conteúdo de água no limbo foliar reflete a ação dos efeitos osmóticos pela alta concentração de sais que restringe a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Morais et al., 2018).



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

**Figura 3.** Conteúdo relativo de água - CRA (A) e extravasamento de eletrólitos - %EE (B) no limbo foliar das plantas de pimentão 'All Big', em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e extravasamento de eletrólitos em função das concentrações de peróxido de hidrogênio (C), aos 90 dias após o semeio.

O extravasamento de eletrólitos no limbo foliar das plantas de pimentão aumentou com o incremento nos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 3B), sendo o acréscimo de 5,42% por incremento unitário da CEa. Ao comparar as plantas submetidas à irrigação com água de 3,2 dS m<sup>-1</sup> em relação às que receberam 0,8 dS m<sup>-1</sup>, verifica-se incremento no %EE de 12,48%.

Com relação aos efeitos das concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sobre o %EE (Figura 3C), constata-se que até a concentração de 15 µM, a aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> reduziu o extravasamento de eletrólitos no limbo foliar das plantas de pimentão e, a partir desta, houve aumento desse extravasamento no limbo foliar. O aumento no %EE em plantas submetidas a concentrações maiores que 15 µM de peróxido de hidrogênio pode ocorrer porque, em alta concentração, o

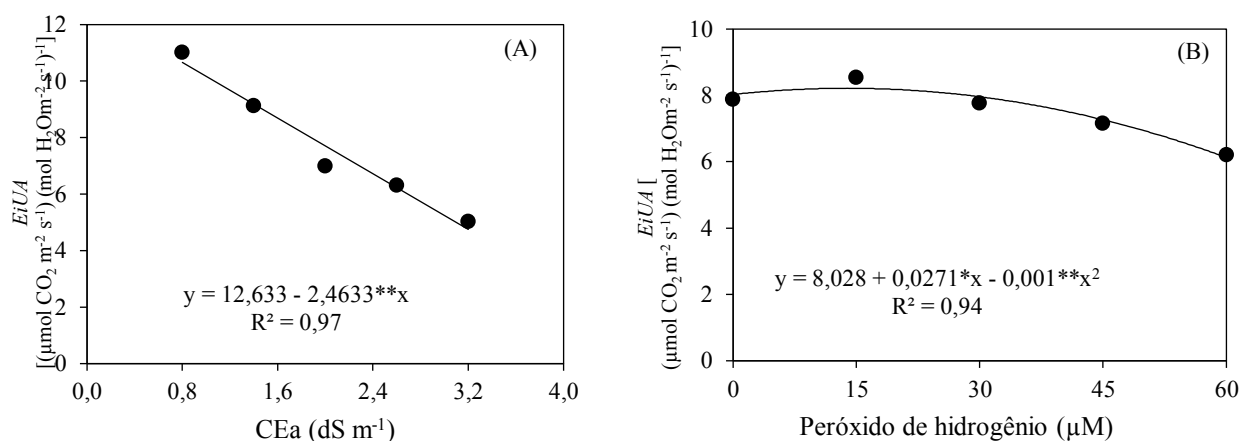
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pode intensificar os efeitos deletérios do estresse salino, causando alterações no metabolismo da planta devido à restrição dos processos fotossintéticos.

Sob condições de estresse salino, os processos fotossintéticos podem ser afetados diretamente pela restrição estomática, redução da transpiração e, conseqüentemente, pela baixa disponibilidade de CO<sub>2</sub>, ou indiretamente pelo desequilíbrio entre a produção e a remoção de espécies reativas de oxigênio (EROs) produzidas durante o processo fotossintético, causando estresse oxidativo (Carvalho et al., 2011; Silva et al., 2020).

Sob salinidade, as plantas são afetadas por estresses osmóticos e iônicos que causam redução no CRA e aumento no extravasamento de eletrólitos através da membrana plasmática (Rady et al. 2018; Venâncio et al. 2022), o que corrobora com os resultados obtidos nesse estudo em que houve uma significativa redução no CRA e aumento no %EE, em função do aumento da condutividade elétrica da água de irrigação.

A eficiência instantânea do uso da água das plantas de pimentão reduziu de forma linear com o incremento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 4), sendo os decréscimos de 19,5% por aumento unitário da CEa. Comparando-se em termos relativos à *EiUA* das plantas submetidas a CEa de 3,2 dS m<sup>-1</sup> em relação às que receberam o menor nível salino CEa (0,8 dS m<sup>-1</sup>), verifica-se redução de 5.91 [(μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>].

Segundo Sá et al. (2019), as plantas tentam superar o estresse osmótico e reduzir a absorção de íons tóxicos, reduzindo a condutância estomática e a transpiração para aumentar a eficiência do uso da água e o teor relativo de água em suas folhas. No entanto, este mecanismo não foi suficiente para aumentar a eficiência do uso da água no pimentão sob condições salinas. Resultados semelhantes foram observados por Veloso et al. (2021), em pesquisa com a cultura do pimentão sob salinidade da água (CEa variando de 0,8 a 3,2 dS m<sup>-1</sup>), em que observaram que o incremento nos níveis de CEa diminuiu a *EiUA*. De acordo com os autores, esta redução está relacionada ao fato de o pimentão ser moderadamente sensível à salinidade, com isso ele não consegue aumentar o uso da água e sua eficiência sob condições de salinidade diminui.



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

**Figura 4.** Eficiência instantânea do uso da água -  $EiUA$  das plantas de pimentão ‘All Big’, em função da condutividade elétrica da água de irrigação (A) e das concentrações de peróxido de hidrogênio (B), aos 90 dias após o semeio.

A eficiência instantânea do uso da água das plantas também foi afetada pelas concentrações de peróxido de hidrogênio (Figura 4B). A aplicação de  $13,55 \mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  proporcionou o valor máximo estimado na  $EiUA$  de  $8,21$ , decrescendo a partir desta concentração e obtendo-se o valor mínimo de  $6,05$  sob aplicação foliar de  $60 \mu\text{M}$ . Desta forma, fica evidente a eficiência do  $\text{H}_2\text{O}_2$  em atenuar os danos causados pela salinidade nas variáveis analisadas. É presumido que a função de sinalização de estresse desempenhada pelo peróxido de hidrogênio pode desencadear a ativação de enzimas antioxidantes das plantas para a atenuação dos danos oxidativos (Dito & Gadallah, 2019).

## CONCLUSÕES

A aplicação de peróxido de hidrogênio na concentração de  $15 \mu\text{M}$  atenua os efeitos deletérios do estresse salino em plantas de pimentão ‘All Big’ irrigadas com águas salinas em CEa de até  $1,4 \text{ dS m}^{-1}$ .

O peróxido de hidrogênio na concentração de  $15 \mu\text{M}$  associado à salinidade da água de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$  proporciona aumento na condutância estomática, taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , eficiência instantânea de carboxilação e crescimento das plantas de pimentão.

Aplicação de peróxido de hidrogênio em concentrações maiores que  $30 \mu\text{M}$ , intensifica os efeitos deletérios do estresse salino em pimentão ‘All big’ aos 90 dias após o semeio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, E. M. G., LIMA, G. S. DE, LIMA, V. L. A. DE, SILVA, S. S. DA, GHEYI, H. R., SILVA, A. A. R. DA. Gas exchanges and growth of passion fruit under saline water irrigation and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.23, p.945-951, 2019
- ANDRADE, E. M. G., LIMA, G. S., LIMA, V. L. A., SILVA, S. S., DIAS, A. S., GHEYI, H. R. Hydrogen peroxide as attenuator of salt stress effects on the physiology and biomass of yellow passion fruit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.26, n.8, p.571-578, 2022
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.23, p.1-15, 1949
- BAXTER, A., MITTLER, R., SUZUKI, N. EROS as key players in plant stress signalling. **Journal of Experimental Botany**, v.65, n.4, p.1229-1240, 2014
- CARVALHO, F. E., LOBO, A. K., BONIFÁCIO, A., MARTINS, M. O., LIMA NETO, M. C., SILVEIRA, J. A. Aclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.416-423, 2011
- DANTAS, M. V., LIMA, G. S. DE, GHEYI, H. R., PINHEIRO, F. W. A., SILVA, P. C. C., SOARES, L. A. DOS A. Gas exchange and hydroponic production of zucchini under salt stress and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> application. **Revista Caatinga**, v.35, n.219, p.436-449, 2019
- DITO, S., GADALLAH, M. Hydrogen peroxide supplementation relieves the deleterious effects of cadmium on photosynthetic pigments and oxidative stress and improves the growth, yield and quality of pods in pea plants (*Pisum sativum* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, v.41, n.113, p.2-12, 2019
- FERNANDO, C. D., SOYSA, P. Optimized enzymatic colorimetric assay for determination of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) scavenging activity of plant extracts. **MethodsX**, v.2, p.283-291, 2015.
- FREIRE, J. L. O., DIAS, T. J., CAVALCANTE, L. F., FERNANDES, P. D., NETO, A. J. DE L. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, p.82-91, 2014
- GOVAERTS, B., SAYRE, K. D., LICHTER, K., DENDOOVEN, L., DECKERS, J. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. **Plant and Soil**, v.291, p.39-54, 2007
- HAIR, F. J., BLACK, W. C., BABIN, B. J., ANDERSON, R. E., TATHAM, R. L. Análise multivariada de dados. 6. ed. Tradução Adonai Schlup Sant'Anna. Porto Alegre: Bookman, p.688, 2009

- HOTELLING, H. Multivariate quality control. In: Eisenhart, C., Hastay, M. W., Wallis, W. A. (Eds.). *Techniques of statistical analysis* New York: McGraw-Hill, 1947
- KILIC, S., KAHRAMAN, A. The mitigation effects of exogenous hydrogen peroxide when alleviating seed germination and seedling growth inhibition on salinity-induced stress in barley. **Polish Journal of Environmental Studies**, v.25, n.3, p.1053-1059, 2016
- LAHBIB, K., DABBOU, S., BOK, S. E., PANDINO, G., LOMBARDO, S., GAZZAH, M. E. Variation of biochemical and antioxidant activity with respect to the part of *Capsicum annum* fruit from Tunisian autochthonous cultivars. **Industrial Crops and Products**, v.104, p.64-170, 2017
- LI, Q., WANG, Z., ZHAO, Y., ZHANG, X., ZHANG, S., BO, L., WANG, Y., DING, Y., AN, L. Putrescine protects hullless barley from damage due to UV-B stress via H<sub>2</sub>S and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mediated signaling pathways. **Plant cell reports**, v.35, n.5, p.1155-1168, 2016
- LIMA, G. S. DE, GHEYI, H. R., NOBRE, R. G., SOARES, L. A. A., XAVIER, D. A., SANTOS JUNIOR, J. A. Water relations and gas exchange in castor bean irrigated with saline water of distinct cationic nature. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, n.13, p.1581-1594, 2015
- LIMA, G. S. DE, SILVA, A. R. P. DA, SÁ, F. V. DA S., GHEYI, H. R., SOARES, L. A. DOS A. Physicochemical quality of fruits of West Indian cherry under saline water irrigation and phosphate fertilization. **Revista Caatinga**, v.33, p.217-225, 2020
- LIMA, G. S. DE, DIAS, A. S., GHEYI, H. R., SOARES, L. A. DOS A., NOBRE, R. G., PINHEIRO, F. W. A., SILVA, A. A. R. DA. Gas exchanges and production of colored cotton under salt stress and nitrogen fertilization. **Bioscience Journal**, v.33, n.6, p.1495-1505, 2017
- LOPES, S. M., ALCANTRA, E., REZENDE, R. M., FREITAS, A. S. Avaliação de frutos de pimentão submetidos ao ensacamento no cultivo orgânico. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v.16, p.1-11, 2018
- MEDEIROS, J. F. Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, Brasil], 1992
- 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.
- NAZIR, F., FARIDUDDIN, Q., HUSSAIN, A., KHAN, T. A. Brassinosteroid and hydrogen peroxide improve photosynthetic machinery, stomatal movement, root morphology and cell viability and reduce Cu- triggered oxidative burst in tomato. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.207, e111081, 2021



- NOVAIS, R. F., NEVES, J. C. L., BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A. J. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. **Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**. p.189- 253, 1991
- PENELLA, C., NEBAUER, S. G., LOPÉZ-GALARZA, S., BAUTISTA, A. S., GORBE, E., CALATAYUD, A. Some rootstocks improve pepper tolerance to mild salinity through ionic regulation. **Plant Science**, v.230, p.12-22, 2015
- PINHEIRO, F. W. A., LIMA, G. S. DE, GHEYI, H. R., SOARES, L. A. DOS A., OLIVEIRA, S. G. DE, SILVA, F. A. DA. Gas exchange and yellow passion fruit production under irrigation strategies using brackish water and potassium. **Revista Ciência Agronômica**, v.53, e20217816, 2022
- RADY, M. O. A., SEMIDA, W. M., EL-MAGEED, T. A., HEMIDA, K. A., RADY, M. M. Upregulation of antioxidative defense systems by glycine betaine foliar application in onion plants confer tolerance to salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v.240, p.614-622, 2018
- RAMOS, J. G., LIMA, V. L. A., LIMA, G. S. DE, PAIVA, F. J. DA S., PEREIRA, M. DE O., NUNES, K. G. Hydrogen peroxide as salt stress attenuator in sour passion fruit. **Revista Caatinga**, v.35, n.2, p.412-422, 2022
- REZENDE, F. C., FRIZZONE, J. A., PEREIRA, A. S., BOTREL, T. A. Plantas de pimentão cultivadas em ambiente enriquecido com CO<sub>2</sub>. II. Produção de matéria seca. **Acta Scientiarum**, v.24, n.5, p.1527- 1533, 2002
- RICHARDS, L. A. (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U.S, **Department of Agriculture**, 1954
- ROQUE, I. A., SOARES, L. A. DOS A., LIMA, G. S. DE, LOPES, I. A. P., SILVA, L. DE A., FERNANDES, P. D. Biomass, gas exchange and production of cherry tomato cultivated under saline water and nitrogen fertilization. **Revista Caatinga**, v.35, n.3, p.686-696, 2022
- SAVVIDES, A., ALI, S., TESTER, M., FOTOPOULOS, V. Chemical priming of plants against multiple abiotic stresses: Mission possible? **Trends in Plant Science**, v.21, n.4, p.329-340, 2016
- 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.12, p.1002-1013, 2013
- SILVA, A. A. R DA, SOUSA, P. F. DO N., LIMA, G. S. DE, SOARES, L. A. DOS A., GHEYI, H. R., AZEVEDO, C. A. V. DE. Hydrogen peroxide reduces the effect of salt stress on growth and postharvest quality of hydroponic mini watermelon. **Water, Air, and Soil Pollution**, v.233, p.198, 2022
- SILVA, E. M. DA, LIMA, G. S. DE, GHEYI, H. R., NOBRE, R. G., SÁ, F. V. DA S., SOUZA, L. DE P. Growth and gas exchanges in soursop under irrigation with saline water and

- nitrogen sources. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.11, p.776-781, 2018
- SILVA, R. C. P. DA, OLIVEIRA, F. DE A. DE, OLIVEIRA, A. P. DE, MEDEIROS, J. F. DE, ALVES, R. DE C., PAIVA, F. I. G. Bell pepper production under saline stress and fertigation with different K<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> ratios in a protected environment. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.42, e42498, 2020
- STATSOFT, I. N. C. Programa computacional Statistica 7.0. E. A. U, 2004
- TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3.ed. **Brasília: Embrapa Solos**, v.3, p.573, 2017
- VELOSO, L. L. DE S. A., LIMA, G. S. DE, SILVA, A. A. R. DA, SOUZA, L. DE P., LACERDA, C. N. DE, SILVA, I. J. DA, CHAVES, L. H. G, FERNANDES, P. D. Attenuation of salt stress on the physiology and production of bell peppers by treatment with salicylic acid. **Semina: Ciências Agrárias**, v.42, n.5, p.2751-2768, 2021
- 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
- VENÂNCIO, J. B., DIAS, N. DA S., MEDEIROS, J. F. DE, MORAIS, P. L. D. DE, NASCIMENTO, C. W. A. DO, NETO, O., N. DE S., SÁ, F. V. DA S.. Yield and Morphophysiology of Onion Grown under Salinity and Fertilization with Silicon. **Scientia Horticulturae**, v.301, p.111095, 2022

## **CAPÍTULO IV**

---

### **MORFOFISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE PIMENTÃO SOB ESTRESSE SALINO E APLICAÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO.**

## **Morfofisiologia e produção de pimentão sob estresse salino e aplicação de peróxido de hidrogênio.**

### **RESUMO**

O pimentão está entre as dez hortaliças de maior importância econômica no mercado brasileiro. É uma cultura que se desenvolve em climas quentes e úmidos. Contudo, o cultivo de pimentão em regiões semiáridas pode ser limitado pelo uso de águas salinas na irrigação. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de concentrações de peróxido de hidrogênio na atenuação do estresse salino no crescimento, eficiência fotoquímica, produção e eficiência do uso da água das plantas de pimentão ‘All Big’. O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, em Campina Grande-PB. Os tratamentos foram distribuídos no delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial  $5 \times 5$ , correspondendo a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,8; 1,2; 2,0; 2,6 e 3,2 dS m<sup>-1</sup>) e cinco concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 15, 30, 45 e 60 μM), com três repetições. A aplicação de peróxido de hidrogênio na concentração de 15 μM atenuou os efeitos deletérios do estresse salino na eficiência fotoquímica, no acúmulo de fitomassa e componentes de produção de plantas de pimentão ‘All Big’ irrigadas com água com condutividade elétrica de até 1,4 dS m<sup>-1</sup>. A irrigação com água de 3,2 dS m<sup>-1</sup> foi prejudicial para a fluorescência inicial, a fluorescência inicial antes do pulso de saturação e a eficiência do uso da água no pimentão ‘All Big’. O pimentão ‘All Big’ foi classificado como moderadamente sensível ao estresse salino, com nível de salinidade limiar da água de 1,43 dS m<sup>-1</sup>, sendo o decréscimo unitário de 8,25% acima deste nível salino.

**Palavras-chave:** *Capsicum annuum* L., estresse salino, espécie reativa de oxigênio, fotossíntese.

## **Morphophysiology and production of bell pepper under saline stress and hydrogen peroxide application.**

### **ABSTRACT**

Bell pepper is among the ten most economically important vegetables in the Brazilian market. It is a culture that grows in hot and humid climates. However, the cultivation of bell pepper in semi-arid regions can be limited by the use of saline water in irrigation. Thus, the present study aimed to evaluate the effect of the application of hydrogen peroxide concentrations on the attenuation of saline stress on the growth, photochemical efficiency, production and water use

efficiency of 'All Big' bell pepper plants. The experiment was conducted under greenhouse conditions, in Campina Grande-PB. The treatments were distributed in a randomized block design, in a  $5 \times 5$  factorial scheme, corresponding to five levels of electrical conductivity of irrigation water - ECw (0.8; 1.2; 2.0; 2.6 and  $3.2 \text{ dS m}^{-1}$ ) and five concentrations of hydrogen peroxide –  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0, 15, 30, 45 and  $60 \mu\text{M}$ ), with three replications. The foliar application of hydrogen peroxide at a concentration of  $15 \mu\text{M}$  attenuated the deleterious effects of salt stress on the photochemical efficiency, on the accumulation of phytochemicals and production components of 'All Big' sweet pepper plants irrigated with water with an electrical conductivity of up to  $1.4 \text{ dS m}^{-1}$ . Irrigation with  $3.2 \text{ dS m}^{-1}$  water was detrimental to initial fluorescence, initial fluorescence before the saturation pulse, and water use efficiency in 'All Big' pepper. The 'All Big' bell pepper was classified as moderately sensitive to saline stress, with a water threshold salinity level of  $1.43 \text{ dS m}^{-1}$ , with a unit decrease of 8.25% above this saline level.

**Keywords:** *Capsicum annuum* L., salt stress, reactive oxygen species, photosynthesis.

## INTRODUÇÃO

Pertencente à família das solanáceas, o pimentão (*Capsicum annuum* L.) é cultivado em todo o mundo e sua produção mundial é estimada em 36 milhões de toneladas numa área de 2 milhões de hectares (Faostat, 2020). É uma das hortaliças mais cultivadas no Brasil, com produção anual estimada em 290 mil toneladas, destacando-se Minas Gerais, São Paulo, Ceará, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Pernambuco como os principais estados produtores, respondendo por 87% da produção total (Souza et al., 2019), e vem aumentando nos últimos anos, devido a sua adaptação a ambientes protegidos em relação a outras culturas (Silva et al., 2023).

No Nordeste brasileiro, em especial nas áreas semiáridas, a cultura do pimentão é de suma importância e seu cultivo está localizado em áreas irrigadas, onde, em sua maioria, é praticada a agricultura familiar (Sá et al., 2016). Contudo, a escassez de água, ocasionada pelas baixas pluviosidades e alta demanda atmosférica, restringe a disponibilidade e o uso de água de baixa condutividade elétrica na agricultura, faz-se necessário o uso de águas com elevadas concentrações de sais (Cavalcante et al., 2018).

O excesso de sais na água de irrigação afeta o desenvolvimento de culturas, principalmente as sensíveis à salinidade, e o pimentão é um exemplo dessas plantas, pois é classificada como sensível ao estresse salino (Kurunc & Cemek., 2011; Piñero et al., 2014).

Os efeitos do estresse salino nas plantas incluem alterações no potencial osmótico, toxicidade iônica e desequilíbrio nutricional, causando declínios no crescimento e sérios prejuízos na produção (Ahmed & Montani, 2010).

Desta forma, a identificação de estratégias que possibilitem a utilização de águas salinas na agricultura é de extrema importância para expansão da produção olerícola sob condições irrigadas, especialmente em áreas semiáridas. Uma alternativa que pode ser utilizada para minimizar os efeitos deletérios do estresse salino nas plantas é a aplicação de elicitores, como o peróxido de hidrogênio -  $H_2O_2$  (Veloso et al., 2023).

O  $H_2O_2$  desempenha a função de sinalização hormonal, controlada por sua produção e eliminação, e atua na regulação de processos biológicos, como crescimento, elevação da concentração de  $Ca^{2+}$  nas plantas e ajuste osmótico por meio do aumento na síntese de osmólitos como prolina. No entanto, os efeitos biológicos do  $H_2O_2$  dependem de sua concentração, bem como do estágio de desenvolvimento da planta e exposição prévia a outros tipos de estresse (Liu et al., 2020).

Quando as sementes das plantas são submetidas ao pré-tratamento com concentrações de  $H_2O_2$ , podem sofrer alterações metabólicas, por meio da ativação do sistema de defesa antioxidante enzimático e não enzimático, induzindo maior tolerância a estresses abióticos, como o salino (Silva et al., 2019; Veloso et al., 2022).

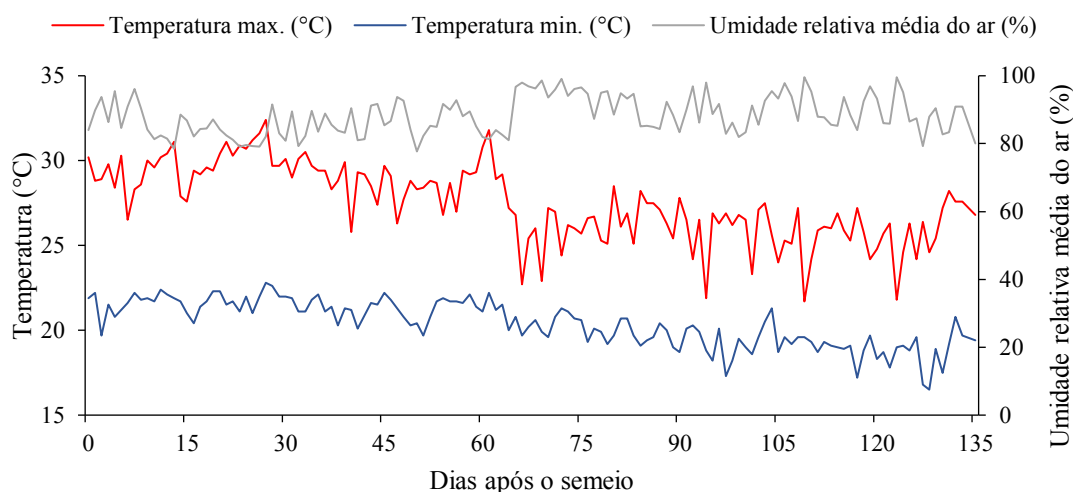
Estudos realizados com a cultura do pimentão e elicitores, como a prolina (Soares et al. 2018) e ácido salicílico (Silva et al. 2023) demonstraram que é possível o uso de água com CEa de até  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ , no cultivo de pimentão, desde que utilizados estratégias para a atenuações dos efeitos deletérios da salinidade.

Nesse contexto, pesquisas têm sido realizadas utilizando o peróxido de hidrogênio como estratégia na atenuação dos efeitos do estresse salino em gravioleira (Veloso et al, 2022), algodoeiro (Veloso et al., 2023), maracujazeiro-azedo (Ramos et al., 2022), abobrinha italiana (Dantas et al., 2021; Dantas et al., 2022). No entanto, informações sobre o seu uso na cultura do pimentão irrigado com águas salinas ainda são escassas na literatura.

A partir disso, objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito da aplicação de concentrações de peróxido de hidrogênio na atenuação do estresse salino no crescimento, eficiência fotoquímica, produção e eficiência do uso da água das plantas de pimentão ‘All Big’.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de março a junho de 2022, sob condição de casa de vegetação, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UAEA/UFCG), em Campina Grande, estado da Paraíba, localizada nas coordenadas geográficas 07° 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 coletados no local do experimento estão apresentados na Figura 1.



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

Os tratamentos consistiram da combinação de cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,8; 1,4; 2,0; 2,6; 3,2 dS m<sup>-1</sup>) e cinco concentrações de peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 15, 30, 45 e 60 µM), em arranjo fatorial 5 × 5, distribuídos no delineamento de blocos casualizados, com três repetições e uma planta por parcela. Os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação foram baseados no estudo desenvolvido por Veloso et al. (2021) com pimentão ‘All Big’ (*Capsicum annuum* L.). Já, as concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> utilizadas nesta pesquisa foram adaptadas a partir do trabalho realizado com abobrinha italiana cv Caserta (Dantas et al., 2022).

**Tabela 1.** Descrição dos tratamentos analisados

CEa (S)	Concentrações de peróxido de hidrogênio (H)				
	H1 - 0 µM	H2 - 15 µM	H3 - 30 µM	H4 - 45 µM	H5 - 60 µM
S1 - 0,8 dS m <sup>-1</sup>	S1H1	S1H2	S1H3	S1H4	S1H5
S2 - 1,4 dS m <sup>-1</sup>	S2H1	S2H2	S2H3	S2H4	S2H5

S3 - 2,0 dS m <sup>-1</sup>	S3H1	S3H2	S3H3	S3H4	S3H5
S4 - 2,6 dS m <sup>-1</sup>	S4H1	S4H2	S4H3	S4H4	S4H5
S5 - 3,2 dS m <sup>-1</sup>	S5H1	S5H2	S5H3	S5H4	S5H5

Foram utilizados vasos com 10 L de capacidade adaptados como lisímetros de drenagem, cada lisímetro foi perfurado na base para permitir a drenagem, e acoplado a um dreno transparente de 4 mm de diâmetro. A extremidade do dreno que ficou dentro do lisímetro foi envolvida com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução do material de solo. Abaixo de cada dreno havia uma garrafa plástica para a coleta do volume de água drenado e estimativa do consumo hídrico.

Os lisímetros foram preenchidos com uma camada de 0,3 kg de brita, seguido de 9 kg de um Neossolo Regolítico Eutrófico (*Entisol*) de textura franco-arenosa coletado na profundidade de 0-30 cm proveniente da zona rural do município de Lagoa Seca, estado da Paraíba. Os atributos químicos e físicos do solo (Tabela 2) foram determinados conforme metodologia de Teixeira et al. (2017).

**Tabela 2.** Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

Características químicas								
pH H <sub>2</sub> O	M.O.	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>
1,2,5	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....cmolc kg <sup>-1</sup> .....					
6,12	1,36	6,80	0,22	0,16	2,60	3,66	1,42	0,51
.....Características químicas.....			.....Características físicas.....					
CE <sub>es</sub>	CTC	RAS	PST	Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )	
dS m <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>	(mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	%	Areia	Silte	Argila	33,42 kPa <sup>1</sup>	1519,5 kPa <sup>2</sup>
1,15	7,23	0,38	1,87	760,9	164,5	74,6	13,07	5,26

pH – Potencial hidrogeniônico, MO – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>OAc 1 M pH 1,0; Al<sup>3+</sup>+H<sup>+</sup> extraídos utilizando-se CaOAc 0,5 M pH 7,0; CE<sub>es</sub> - Condutividade elétrica do extrato de saturação; CTC - Capacidade de troca catiônica; RAS - Relação de adsorção de sódio do extrato de saturação; PST - Percentagem de sódio trocável; <sup>1,2</sup> referindo a capacidade de campo e ponto de murchamento permanente.

Na semeadura, foram utilizadas três sementes da cultivar ‘All Big’ distribuídas de forma equidistante em cada lisímetro, à profundidade de 2 cm. Após a emergência das plântulas, foram realizados dois desbastes quando as plantas apresentaram dois e três pares de folhas definitivas, respectivamente, deixando-se, no último desbaste (30 DAS), a que apresentava maior vigor fisiológico.

As concentrações de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) foram obtidas através da diluição do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em água deionizada. Antes da semeadura, as sementes passaram por um pré-tratamento com peróxido de hidrogênio por um período de 24 horas. As aplicações de peróxido



de hidrogênio foram realizadas via pulverização foliar entre 17h00 e 18h00. A primeira aplicação foi realizada 72 horas antes do início da aplicação dos distintos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, as demais foram feitas em intervalos de 12 dias.

As aplicações foram realizadas de forma manual com um borrifador, visando obter o molhamento completo das folhas (faces abaxial e adaxial). As aplicações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foram interrompidas após o surgimento dos frutos. O volume médio aplicado por planta foi de 80 mL. Durante a pulverização de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, foi utilizada uma estrutura com lona plástica para evitar a deriva do produto sobre as plantas vizinhas.

As águas salinas foram obtidas mediante adição de sais de cloreto de sódio (NaCl), de cálcio (CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) e de magnésio (MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O) em água do sistema de abastecimento local (CEa = 0,38 dS m<sup>-1</sup>), sendo incorporadas na proporção equivalente de 7:2:1 respectivamente. Trata-se da proporção de Na, Ca e Mg comumente encontradas nas águas utilizadas para irrigação no semiárido do Nordeste brasileiro (Medeiros, 1992). No preparo da água de irrigação, foi considerada a relação entre CEa e concentração de sais (Richards, 1954), conforme a Eq. 1:

$$Q \approx 10 \times CEa \dots\dots\dots(1)$$

Em que:

Q = Soma de cátions (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>); e

CEa = Condutividade elétrica após descontar a CEa da água do sistema de abastecimento municipal (dS m<sup>-1</sup>).

A irrigação foi realizada, diariamente, às 17h00, aplicando-se, em cada lisímetro, o volume correspondente ao obtido pelo balanço de água, cujo volume a ser aplicado nas plantas foi determinado pela Eq. 2:

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

Em que:

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

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

Vd = volume drenado (mL) e

FL = fração de lixiviação de 0,10

As adubações com nitrogênio, fósforo e potássio foram realizadas com base na recomendação de Novais et al. (1991) para ensaios devolvidos em vasos. Foram aplicados 100 mg N kg<sup>-1</sup>, 150 mg K<sub>2</sub>O kg<sup>-1</sup> e 300 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> de solo. Como fontes de nitrogênio foram utilizadas a ureia (45% de N) e o monoamônio fosfato (12% de N), de potássio, o cloreto de

potássio (60% de  $K_2O$ ) e de fósforo, o MAP (61% de  $P_2O_5$ ). As adubações foram parceladas em 8 vezes, via fertirrigação e aplicadas quinzenalmente. Foi aplicado  $1,0 \text{ g L}^{-1}$  do produto comercial Dripsol<sup>®</sup> via foliar para suprir a necessidade de micronutrientes, contendo: Mg (1,1%), Zn (4,2%), B (0,85%), Fe (3,4%), Mn (3,2%), Cu (0,5%), Mo (0,05%), aplicados nas faces adaxial e abaxial, utilizando-se um pulverizador costal modelo da Jacto - Jacto XP<sup>®</sup> com capacidade de 12 L, com pressão de trabalho (máxima) 88 psi (6 bar) e Bico JD 12P. Os tratos fitossanitários foram realizados sempre que necessários, utilizando-se os produtos preconizados para cultura.

Aos 110 DAS, a fluorescência da clorofila *a* foi avaliada na terceira folha, contada a partir do ápice do ramo principal da planta, utilizando um fluorômetro modulado por pulso, modelo OS5p da marca Opti Science. O protocolo Fv/Fm foi utilizado para determinar as variáveis de indução de fluorescência: fluorescência inicial ( $F_o$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e a eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ). O protocolo II foi realizado após adaptação das folhas ao escuro por um período de 30 min às 07h00, utilizando um clipe do aparelho, a fim de garantir que todos os aceptores primários estivessem totalmente oxidados, ou seja, os centros de reação estavam abertos. Posteriormente, as avaliações foram realizadas sob condições de luz, aplicando uma fonte de iluminação actínica com pulso de saturação multiflash, acoplada a um clipe de determinação de radiação fotossinteticamente ativa (PAR-Clip) para determinar a fluorescência inicial antes do pulso de saturação ( $F_s$ ), a taxa de transporte de elétrons (ETR) e a eficiência quântica do fotossistema II ( $Y_{II}$ ).

A colheita teve início aos 90 DAS quando os frutos começaram a apresentar coloração avermelhada se estendendo até 135 DAS, avaliando-se o número de frutos (NF), peso médio dos frutos (PMF), diâmetro equatorial do fruto (DEF), diâmetro polar do fruto (DPF), espessura da casca (EC) e o peso total de frutos por planta (PTF). O número de frutos foi determinado pela contagem dos frutos produzidos por planta. O diâmetro equatorial, polar e a espessura da casca foram medidos com paquímetro digital. O peso total de frutos por planta foi determinado a partir do somatório de todos os frutos de cada planta. O peso médio foi obtido através da relação entre a produção total por planta e o número total de frutos.

Aos 135 DAS, as plantas tiveram seu caule cortado rente ao solo e depois foram divididas em folha, caule e raiz e lavadas e colocadas em sacos de papel e seca em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  até atingir o peso constante. Na determinação

da fitomassa seca de folhas (FSF), de caule (FSC), de raiz (FSR), foi utilizada uma balança de precisão (0,01 g). A relação raiz/parte aérea (R/PA) foi determinada de acordo com a Eq. 3

$$R/PA = \frac{FSR}{(FSF + FSC)} \dots\dots\dots(3)$$

Em que:

R/PA – Relação raiz/parte aérea (g g<sup>-1</sup>)

FSF –F seca de folhas (g por planta)

FSC – Fitomassa seca do caule (g por planta)

FSR – Fitomassa seca da raiz (g por planta)

A eficiência no uso da água (EUA) das plantas de pimentão foi determinada através da Eq. 4

$$EUA = \frac{\text{Produção (kg)}}{\text{consumo hídrico (mm)}} \dots\dots\dots(4)$$

No qual:

EUA – eficiência no uso da água (kg por m<sup>3</sup>)

Produção –Produção total por planta em kg,

Consumo hídrico – consumo de água por planta em mm

A tolerância do pimentão ‘All Big’ ao estresse salino baseou-se na produção relativa por planta, utilizando o modelo platô com decréscimo linear de Maas & Hoffman (1977).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk) ao nível de 0,05 de probabilidade. Logo após, a estrutura multivariada dos resultados foi avaliada pela análise de componentes principais (ACP), sintetizando a quantidade de informações relevantes contidas no conjunto de dados original em menos dimensões, produzidas pela combinação linear das variáveis originais geradas pelos autovalores ( $\lambda > 1,0$ ) na matriz de correlação, explicando um percentual maior que 10% da variância total (Govaerts et al., 2007).

A partir da redução das dimensões, os dados originais das variáveis de cada componente foram submetidos à análise de variância multivariada (MANOVA) pelo teste de Hotelling (1947) a 0,05 de probabilidade para as concentrações de peróxido de hidrogênio e a condutividade elétrica da água de irrigação, assim como para interação entre eles. As variáveis com coeficiente de correlação maior ou igual a 0,7 foram mantidas nos componentes principais (CP1 e CP2) (Hair et al., 2009). Para a análise estatística, foi utilizado o software Statistica v.7.0 (Statsoft, 2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O espaço multidimensional das variáveis originais foi reduzido para dois componentes principais (CP1 e CP2) com autovalores maiores que  $\lambda > 1,0$ , de acordo com Kaiser (1960). Houve efeito significativo da interação entre os níveis de condutividade elétrica da água (CEa) e as concentrações de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) para os dois componentes principais (CP1 e CP2) (Tabela 3).

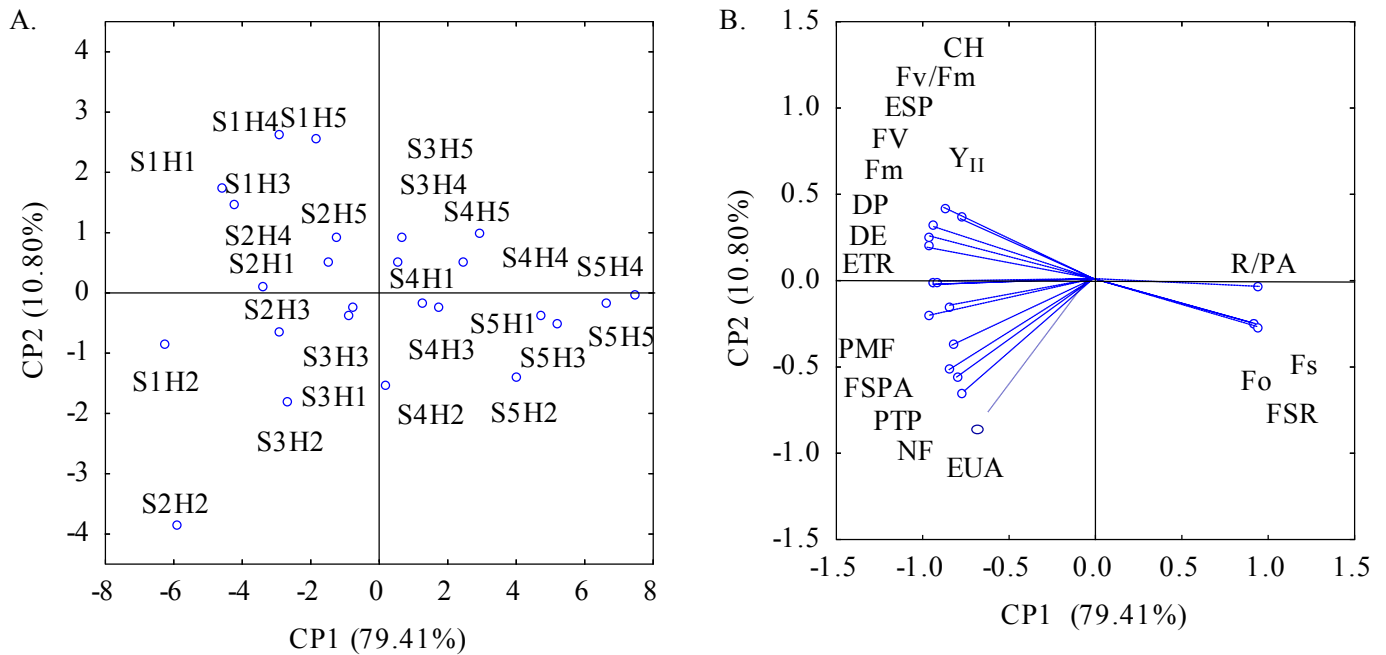
Os autovalores e a porcentagem de variação explicados por cada componente (Tabela 3) representaram conjuntamente 90,21% da variação total, sendo o CP1 explicado por 79,41% da variância, formado pelas variáveis fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ), eficiência quântica do fotossistema II na fase escura ( $F_v/m$ ), fluorescência inicial antes do pulso de saturação ( $F_s$ ), eficiência quântica do fotossistema II na fase clara ( $Y_{II}$ ), taxa de transporte de elétrons (ETR), fitomassa seca da parte aérea (FSPA), fitomassa seca de raiz (FSR), relação raiz/parte aérea (R/PA), número total de frutos (NF), peso médio dos frutos (PMF), produção total por planta (PTP), diâmetro polar (DP), diâmetro equatorial (DE), espessura da casca (ESP) e consumo hídrico (CH). Já o CP2 representou 10,80% da variância restante, sendo formado apenas pela variável eficiência do uso da água (EUA).

**Tabela 3:** Autovalores, porcentagem de variância total explicada, na análise de variância multivariada (MANOVA) e correlações (r) entre variáveis originais e os componentes principais

CPS	Componentes principais																	
	F <sub>0</sub>	F <sub>m</sub>	F <sub>v</sub>	F <sub>v/m</sub>	F <sub>s</sub>	Y <sub>II</sub>	ETR	FSPA	FSR	R/PA	NF	PMF	PTP	DP	DE	ESP	CH	EUA
Autovalores (λ)																		
Porcentagem de variância total (S <sup>2</sup> %)																		
Teste de Hotelling (T <sup>2</sup> ) para condutividade elétrica da água (CEa)																		
Teste de Hotelling (T <sup>2</sup> ) para peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )																		
Teste de Hotelling (T <sup>2</sup> ) para interação (CEa × H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )																		
Valores médios																		
Coeficientes de correlação																		
F <sub>0</sub>	F <sub>m</sub>	F <sub>v</sub>	F <sub>v/m</sub>	F <sub>s</sub>	Y	ETR	FSPA	FSR	R/PA	NF	PMF	PTP	DP	DE	ESP	CH	EUA	
S1H1	420,00	2100,18	1642,67	0,782	120,33	0,576	14,56	4,51	0,31	6,67	85,34	569,74	74,95	89,94	5,38	264,46	12,66	
S1H2	422,00	2188,92	1692,67	0,773	120,33	0,574	17,92	4,67	0,26	10,67	90,50	965,33	71,46	85,76	5,37	264,46	21,45	
S1H3	428,00	2144,04	1665,00	0,777	121,67	0,574	14,03	5,09	0,36	8,00	75,86	607,57	71,31	85,57	5,46	264,46	13,50	
S1H4	424,33	2120,58	1651,33	0,779	124,67	0,569	13,34	5,31	0,40	5,67	73,35	417,63	66,47	79,76	5,37	264,46	9,28	
S1H5	424,00	2113,10	1588,00	0,752	125,00	0,567	12,53	5,38	0,43	5,00	70,75	353,73	67,07	80,49	5,42	264,46	7,86	
S2H1	428,40	2088,96	1593,33	0,763	125,33	0,613	14,12	5,50	0,39	7,33	87,27	638,98	64,72	77,66	5,11	234,21	15,86	
S2H2	430,44	2099,50	1574,67	0,750	129,33	0,641	15,88	5,99	0,38	12,83	95,90	1229,69	77,11	92,54	5,10	234,21	30,51	
S2H3	436,56	2078,76	1568,33	0,754	132,33	0,601	13,61	6,25	0,46	8,80	79,66	701,75	68,73	82,47	5,18	234,21	17,41	
S2H4	432,82	2068,56	1542,00	0,745	132,67	0,594	12,94	6,29	0,49	6,23	77,01	482,36	63,42	76,11	5,10	234,21	11,97	
S2H5	432,48	2067,54	1541,67	0,746	133,00	0,581	12,15	6,33	0,52	5,50	74,28	408,56	70,67	84,80	5,15	222,18	10,14	
S3H1	449,82	2063,80	1541,33	0,747	136,00	0,566	13,42	6,47	0,48	6,75	80,64	544,86	61,48	73,78	4,71	216,16	14,65	
S3H2	451,96	2075,36	1563,33	0,753	136,67	0,563	15,09	6,58	0,44	9,14	86,31	789,18	73,26	87,91	4,70	216,16	21,21	
S3H3	458,39	2042,72	1548,00	0,758	137,33	0,556	12,93	6,81	0,53	8,10	71,69	581,05	65,29	78,35	4,77	216,16	15,62	
S3H4	454,46	2037,96	1515,33	0,744	138,50	0,552	12,29	6,85	0,56	5,73	69,31	399,40	60,25	72,30	4,69	216,16	10,74	
S3H5	454,10	2024,02	1506,00	0,744	139,00	0,551	11,54	7,04	0,61	5,06	66,86	338,29	67,14	80,56	4,74	216,16	9,09	
S4H1	472,31	2020,96	1498,00	0,741	139,50	0,551	13,15	7,09	0,54	5,73	68,55	393,66	55,86	67,03	4,00	205,24	11,15	
S4H2	474,56	1996,48	1494,00	0,748	142,67	0,533	14,79	7,40	0,50	7,77	73,36	570,18	62,27	74,72	3,99	205,24	16,15	
S4H3	481,31	1991,38	1493,00	0,750	143,00	0,525	12,67	7,41	0,59	6,88	60,94	419,81	55,50	66,60	4,05	205,24	11,89	
S4H4	477,18	1984,58	1474,33	0,743	143,00	0,520	12,05	7,45	0,62	4,87	58,92	288,56	57,21	68,66	3,99	205,24	8,17	
S4H5	476,81	1959,42	1468,67	0,750	146,00	0,514	11,31	7,72	0,68	4,30	56,83	244,41	58,84	70,61	4,03	205,24	6,92	
S5H1	543,16	1947,52	1431,67	0,735	171,21	0,513	11,84	7,84	0,66	4,14	56,21	233,23	52,83	63,40	3,40	187,53	7,22	
S5H2	545,74	1920,06	1411,00	0,735	162,67	0,456	13,31	8,17	0,61	5,61	60,16	337,81	59,16	70,99	3,39	187,53	10,46	

3	S5H3	553,50	1901,28	1415,50	0,744	165,67	0,494	28,67	11,40	8,71	0,76	4,97	49,97	248,71	52,72	63,27	3,45	187,53	7,70	
4	S5H4	548,76	1893,06	1389,67	0,734	170,67	0,431	27,57	10,84	9,16	0,85	3,52	48,31	170,96	48,65	58,38	3,39	187,53	5,29	
5	S5H5	548,33	1867,33	1371,50	0,734	170,67	0,401	27,07	10,18	9,55	0,94	3,11	46,60	144,80	46,07	55,29	3,22	187,53	4,48	
6	S1 (0,8 dS m <sup>-1</sup> ); S2 (1,4 dS m <sup>-1</sup> ); S3 (2,0 dS m <sup>-1</sup> ); S4 (2,6 dS m <sup>-1</sup> ); S5 (3,2 dS m <sup>-1</sup> ); S5 (3,2 dS m <sup>-1</sup> ); H1 (0 μM); H2 (15 μM); H3 (30 μM); H4 (45 μM); H5 (60 μM); F <sub>0</sub> -fluorescência inicial; F <sub>m</sub> -fluorescência máxima; F <sub>v</sub> -fluorescência variável; F <sub>v</sub> /m <sub>0</sub> -eficiência quântica do fotossistema II na fase escura; F <sub>s</sub> -fluorescência inicial antes do pulso de saturação; Y <sub>II</sub> -eficiência quântica do fotossistema II na fase clara; E/TR - taxa de transporte de elétrons; FSPA - fitomassa seca da parte aérea - (g por planta); FSR - fitomassa seca de raiz (g por planta); R/PA - relação raiz-parte aérea (g g <sup>-1</sup> ); NF - número de frutos (Unidade por planta); PMF (peso médio dos frutos - (g por fruto); PTP - produção total por planta - (g por planta); DP - diâmetro polar (mm); DE - diâmetro equatorial (mm);																			
7	ESP - (espessura da casca - (mm)); CH (consumo hídrico - mm); EUA (eficiência do uso da água - kg m <sup>-3</sup> )																			

As projeções bidimensionais dos efeitos dos tratamentos e variáveis no primeiro e segundo componentes principais (CP1 e CP2) estão apresentadas nas Figura 2A e 2B. No primeiro componente principal (CP1), foi identificado um processo caracterizado possivelmente pelo efeito da interação entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e das concentrações de peróxido de hidrogênio, verificando-se que os coeficientes de correlação entre a Fo, Fm, Fv, Fv/m, Fs, YII, ETR, FSPA, FSR, R/PA, NF, PMF, PTP, DP, DE, ESP e CH foram superiores a 0,70.



**Figura 2:** Projeção bidimensional dos escores dos componentes principais para os fatores condutividade elétrica da água de irrigação (S) e concentrações de peróxido de hidrogênio (H) (A) e das variáveis analisadas (B) nos dois componentes principais (CP1e CP2)

No componente principal 1, é possível notar que as plantas de pimentão cultivadas sob CEa de 1,4 dS m<sup>-1</sup> e submetidas à concentração de 15 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (S2H2) se destacaram em comparação aos demais tratamentos, havendo maiores valores em Y<sub>II</sub> (0,641), ETR (69,25), NF (12,83 unidade por planta), PMF (95,90 g por planta), PTP (1229,69 g por planta), DP (77,11 mm), DE (92,54 mm) e EUA (30,51 kg m<sup>-3</sup>). As plantas irrigadas com água de 0,8 dS m<sup>-1</sup> e submetidas à concentração de 15 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (S1H2) obtiveram a maior Fm (2188,92), Fv (1692,67) e FSPA (17,92 g por planta).

Ao comparar os resultados obtidos nas plantas do tratamento S2H2 com as que receberam o tratamento S2H1, verifica-se incremento de 4,57, 11,24, 75,03, 9,88, 92,44, 19,14, 19,16 e 92,37% em Y<sub>II</sub>, ETR, NF, PMF, PTP, DP e DE, respectivamente, demonstrando

efeito benéfico da pulverização de 15  $\mu\text{M}$  de peróxido de hidrogênio no crescimento, na eficiência fotoquímica e produção das plantas de pimentão sob irrigação com água de condutividade elétrica de até 1,4  $\text{dS m}^{-1}$ . Ao comparar os valores em S1H2 com os em S1H1, constata-se aumento de 4,22, 3,04 e 23,07% em Fm, Fv e FSPA, o que corrobora com os resultados obtidos no tratamento S2H2.

Já, para fluorescência inicial, fluorescência inicial antes do pulso de saturação, fitomassa seca de raiz e relação raiz-parte aérea, os valores máximos 548,33; 170,67; 9,55 g por planta e 0,94  $\text{g g}^{-1}$ , respectivamente, foram apresentados quando as plantas foram cultivadas com maior CEa (3,2  $\text{dS m}^{-1}$ ) e submetidas à concentração de 60  $\mu\text{M}$  (S5H5).

O aumento na  $F_0$  é um indicativo de dano ao aparelho fotossintético ocasionado pelo estresse salino, uma vez que esta variável indica a perda de energia luminosa, situação que ocorre em estado de oxidação da quinona no centro de reação (P680), dificultando a transferência de energia do fotossistema II (Silva et al., 2014; Dias et al., 2021). De certa forma, esse resultado pode estar relacionado à alta concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  utilizada, uma vez que o peróxido de hidrogênio é a espécie reativa de oxigênio mais estável nas células e, em altas concentrações, pode se espalhar rapidamente pela membrana subcelular, resultando em dano oxidativo para a membrana celular (Farouk & Amira, 2018; Veloso et al., 2023).

A fluorescência máxima é o ponto onde praticamente toda a quinona (receptor primário de elétrons) é reduzida. Desta forma, o tratamento com 15  $\mu\text{M}$  de peróxido de hidrogênio, pode ter contribuído através de sinalização e/ou alterações metabólicas a atingirem essa fluorescência máxima. Além disso, a ausência de redução nos valores de Fm nas plantas submetidas ao tratamento H2 (15  $\mu\text{M}$ ) pode indicar que não houve deficiência na fotorredução de Qa, garantindo a proteção do fluxo de elétrons entre os fotossistemas e a atividade fotossintética (Cintra et al., 2020).

Assim como observado para Fm (Tabela 3), a fluorescência variável (Fv) do pimentão também aumentou com a aplicação de 15  $\mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Assim, fica evidenciado que não houve limitação da capacidade da planta em transferir a energia dos elétrons emitidos pelos pigmentos para a formação de NADPH, ATP e ferredoxina reduzida (Fdr), conseqüentemente, a planta manteve a capacidade de assimilação de  $\text{CO}_2$  na fase bioquímica da fotossíntese (Asgher et al., 2021). É provável que a concentração de 15  $\mu\text{M}$  de peróxido de hidrogênio ocasionou a ativação do aparato enzimático responsável pela defesa contra o estresse oxidativo, pois a planta respondeu de maneiras diferentes às concentrações de peróxido de hidrogênio utilizadas (Silva et al., 2019; Veloso et al., 2022)



A eficiência quântica do fotossistema II na fase escura ( $F_v/f_m$ ) reduziu com o aumento da CEa (Tabela 3). Com isso, é possível inferir que a integridade do aparato fotossintético foi comprometido, pois as plantas apresentaram valores de  $F_v/f_m$  na faixa de 0,75 – 0,85 até CEa de 2,6 dS m<sup>-1</sup> (S4). O aumento na fluorescência inicial observada nas plantas cultivadas sob os maiores níveis de salinidade (3,2 dS m<sup>-1</sup>) está de acordo com a redução da eficiência quântica do PSII ( $F_v/F_m$ ). Valores de eficiência quântica do fotossistema II abaixo de 0,75 são um indicativo de dificuldade na fixação de CO<sub>2</sub> no tecido foliar, sendo um excelente indicador de estresse da planta (Peripolli et al., 2021). Portanto, a inibição da eficiência quântica do PSII detectada em plantas cultivadas com águas que apresentam condutividade elétrica elevada indica a ocorrência de danos fotoinibitórios nos centros de reação do PSII, o que promove a formação de espécies reativas de oxigênio (Lima et al., 2019).

A fluorescência inicial antes do pulso de saturação aumentou com os níveis de salinidade da água de irrigação e os maiores valores foram encontrados nas plantas submetidas a CEa de 3,2 dS m<sup>-1</sup>. As plantas sob condições de estresse salino e alta irradiância, situação comumente encontrada no semiárido do Nordeste brasileiro, em suas folhas, frequentemente, absorvem mais energia do que pode ser usado pela fotossíntese e, para evitar fotodanos, dissipam o excesso de energia na forma de calor ou fluorescência, com consequente perda na eficiência fotossintética (Thach et al., 2007), resultando na redução da incorporação do CO<sub>2</sub> e, por consequência, do crescimento e produção das plantas (Gonçalves et al., 2010).

As reduções observadas na eficiência quântica do fotossistema II na fase clara ( $Y_{II}$ ) devido ao aumento da CEa é um indicativo de diminuição da atividade fotossintética. O desempenho fotossintético depende da taxa de transporte de elétrons (ETR) (Siddiqui et al., 2022) que também foi comprometida pelo estresse salino. Contudo, nas plantas submetidas à concentração de 15 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, foi observado o aumento dessas variáveis, corroborando com os resultados obtidos na fluorescência máxima e fluorescência variável.

A fitomassa seca da parte aérea (FSPA) reduziu com o aumento da salinidade da água, porém as plantas que receberam 15 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> obtiveram maiores acúmulos em relação ao tratamento testemunha, comprovando efeito benéfico do peróxido de hidrogênio na aclimatação das plantas ao estresse salino. Altas concentrações de sais no solo afetam negativamente os aspectos fisiológicos da planta, causando alterações iônicas, osmóticas, hormonais e nutricionais, afetando consequentemente o crescimento e desenvolvimento das culturas (Dias et al., 2019)

O acúmulo de fitomassa seca de raiz (FSR) e da relação raiz/parte aérea (R/PA) é resultado do alongamento das raízes, da divisão celular e da expansão celular no meristema apical da raiz pelo aumento da produção de auxina nas raízes (Zou et al., 2021). A arquitetura e a expansão do sistema radicular são reguladas principalmente pela eficiência de absorção de água e nutrientes, quando expostas à salinidade, as raízes apresentam alongamento, esse mecanismo de resposta ao estresse salino se dá pela busca das plantas a regiões longe do gradiente salino e com disponibilidade de água (Arif et al., 2019)

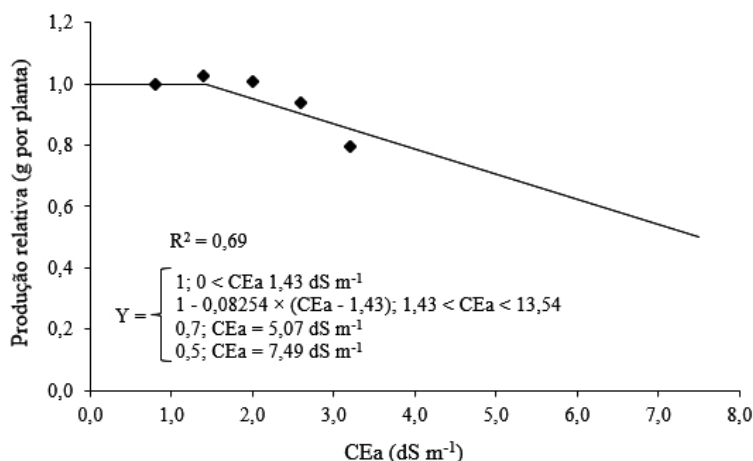
O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação afetou negativamente os componentes de produção do pimentão, verificado pelas reduções observadas no número de frutos por planta, peso médio do fruto, produção total por planta, e características físicas dos frutos: diâmetro polar, diâmetro equatorial e espessura de casca. A redução na produção reflete o incremento na concentração de sais na água que pode causar déficit hídrico por reduzir o potencial osmótico e a toxicidade de íons específicos como  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$  (Silva et al., 2022). Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2023) ao trabalharem com pimentão e águas com condutividade elétrica variando entre 0,8 e 3,2  $\text{dS m}^{-1}$

Apesar da redução nos componentes de produção, observou-se que a aplicação de 15  $\mu\text{M}$  em plantas cultivadas com CEa de 1,4  $\text{dS m}^{-1}$  promoveu aumento na produção do pimentão, devido às alterações no metabolismo da planta junto com hormônios e moléculas sinalizadoras, ativando a produção de compostos orgânicos e enzimas antioxidantes para minimizar o efeito do estresse na planta (Sohag et al., 2020).

O consumo hídrico do pimentão diminuiu gradativamente com o aumento da condutividade elétrica (Tabela 3). Ao comparar o CH das plantas irrigadas com água de 3,2  $\text{dS m}^{-1}$  em relação às cultivadas sob CEa de 0,8  $\text{dS m}^{-1}$ , verificou-se diminuição de 29,09% (187,53 mm). Essa resposta é consequência do efeito osmótico dos sais na zona radicular das plantas que reduz a absorção de água e nutrientes, o que, por consequência, induz o fechamento estomático, reduzindo as taxas de transpiração e condutância estomática das folhas (Parihar et al., 2015; Yuan et al., 2018) e reduzindo o consumo de água pelas plantas.

Ao analisar o componente principal 2 (CP2), verifica-se que a eficiência do uso da água é a variável mais importante, devido aos maiores valores de correlação observados (Tabela 3). As plantas de pimentão irrigadas com água de 1,4  $\text{dS m}^{-1}$  e submetidas a 15  $\mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (S2H2) obtiveram o maior valor de EUA (30,51  $\text{kg m}^{-3}$ ), destacando-se como benéfico para planta, pois com 1  $\text{m}^3$  de água (1000 L) é possível uma produção de 30,51 kg de pimentão.

Analisando os dados de produção por planta foi possível estabelecer um platô de produção (Figura 3) com um valor de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) de  $1,43 \text{ dS m}^{-1}$  para o modelo de platô seguido de queda linear (Maas & Hoffman, 1977), sendo o decréscimo de 8,25% por incremento unitário acima do nível limiar. Destaca-se que a irrigação com água de  $5,07 \text{ dS m}^{-1}$  proporciona um rendimento de 70%. Ao utilizar CEa de até  $7,49 \text{ dS m}^{-1}$ , é possível obter um rendimento do pimentão ‘All Big’ de 50%. É importante enfatizar que esse modelo não possui preciso ajuste biológico, porém expressa o valor de salinidade limiar, necessário para o entendimento da tolerância à salinidade (Modesto et al., 2019). Pela classificação de Ayers & Westcot (1989), o pimentão ‘All Big’ é moderadamente sensível à salinidade.



**Figura 3:** Produção relativa do pimentão ‘All Big’ em função da condutividade elétrica da água de irrigação, descrito pelo modelo de Platô seguido por decaimento linear proposto por Maas & Hoffman (1977), calculado considerando as produções obtidas nas CEa de 0,8 a 3,2  $\text{dS m}^{-1}$ .

Comparando-se em termos relativos à *EUA* das plantas submetidas a CEa de  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$  em relação às que receberam o menor nível salino CEa ( $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ ), verifica-se redução de  $5,91 [(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}]$ . Segundo Sá et al. (2019), as plantas tentam superar o estresse osmótico e reduzir a absorção de íons tóxicos, reduzindo a condutância estomática e a transpiração para aumentar a eficiência do uso da água e o teor relativo de água em suas folhas. No entanto, este mecanismo não foi suficiente para aumentar a eficiência do uso da água no pimentão sob condições salinas. Resultados semelhantes foram observados por Veloso et al. (2021), em pesquisa com a cultura do pimentão sob salinidade da água (CEa variando de  $0,8$  a  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ ), em que observaram que o incremento nos níveis de CEa

diminuiu a *EiUA*. De acordo com os autores, esta redução está relacionada ao fato de o pimentão ser moderadamente sensível à salinidade, com isso ele não consegue aumentar o uso da água e sua eficiência sob condições de salinidade diminui.

É possível observar neste estudo que a concentração de 15  $\mu\text{M}$  de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) atenuou os efeitos deletérios da salinidade até a CEa de 3,2  $\text{dS m}^{-1}$  nas variáveis FSPA, NF, PMF, PTP, DP, DE e EUA, comprovando o efeito benéfico do peróxido de hidrogênio que está relacionado ao seu papel fisiológico como molécula sinalizadora, regulando diversas vias, incluindo respostas ao estresse salino (Baxter et al., 2014). No entanto, uma alta concentração de espécies reativas de oxigênio (EROs) pode causar alterações no metabolismo da planta, devido à restrição dos processos fotossintéticos, pois, em condições de estresse, como seca, salinidade e/ou calor, os processos fotossintéticos podem ser afetados diretamente por restrição estomática, transpiração e, conseqüentemente, baixa disponibilidade de  $\text{CO}_2$ , ou indiretamente, pelo desequilíbrio entre a produção e a remoção das EROs produzidas durante o processo fotossintético, principalmente o  $\text{H}_2\text{O}_2$ , que culmina no estresse oxidativo (Carvalho et al., 2011).

A indução de mecanismos de defesa que fortalecem 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 serem efetivamente utilizados como elicitores (Antoniou et al., 2016). Quando aplicado em concentrações adequadas, o peróxido de hidrogênio pode ativar o mecanismo de defesa antioxidante enzimático (catalase e peroxidase) nas plantas, reduzindo o efeito negativo de espécies reativas de oxigênio (Kilic & Kahraman, 2016). Esse efeito benéfico foi observado no estudo o incremento na eficiência fotoquímica, no acúmulo de fitomassa e componentes de produção de plantas de pimentão submetidas a irrigação com água de condutividade elétrica de 1,4  $\text{dS m}^{-1}$ .

## CONCLUSÕES

A salinidade da água de 0,8 e 15  $\mu\text{M}$  de peróxido de hidrogênio estimula os sinais de fluorescência da clorofila *a* e a fitomassa seca da parte aérea de pimentão ‘All Big’, aos 110 dias após a semeadura.

A aplicação de 15  $\mu\text{M}$  de peróxido de hidrogênio ameniza os efeitos da salinidade da água de 1,4  $\text{dS m}^{-1}$  sobre a produção do pimentão ‘All Big’, aos 135 dias após a semeadura.

A irrigação com água de 3,2 dS m<sup>-1</sup> foi prejudicial para a fluorescência inicial, a fluorescência inicial antes do pulso de saturação e a eficiência do uso da água no pimentão ‘All Big’.

O pimentão ‘All Big’ é moderadamente sensível ao estresse salino, com nível de salinidade limiar da água de 1,43 dS m<sup>-1</sup>, sendo o decréscimo unitário de 8,25% acima deste nível salino.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, B. A. E., MORITANI, I. S. Effect of saline water irrigation and manure application on the available water content, soil salinity, and growth of wheat. **Agricultural Water Management**, v.97, p.165-170, 2010
- 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, p.101-107, 2016
- ARIF, M. R., ISLAM, M. T., ROBIN, A. H. K. Salinity Stress Alters Root Morphology and Root Hair Traits in *Brassica napus*. **Plants**, v.8, n.7, p.192, 2019
- ASGHER, M., AHMED, S., SEHAR, Z., GAUTAM, H., GANDHI, S. G., KHAN, N. A. Hydrogen peroxide modulates activity and expression of antioxidant enzymes and protects photosynthetic activity from arsenic damage in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Hazardous Materials**, v.401, p.123365, 2021
- AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. Water quality for agriculture. Rome. FAO, Food and agriculture organization of the United Nations. **Irrigation and Drainage Paper**, v.29, p.1-97, 1989
- BAXTER, A., MITTLER, R., SUZUKI, N. EROS as key players in plant stress signalling. **Journal of Experimental Botany**, v.65, n.5, p.1229-1240, 2014
- CARVALHO, F. E. L., LOBO, A. K. M., BONIFACIO, A., MARTINS, M. O., LIMA NETO, M. C., SILVEIRA, J. A. G. Aclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.416-423, 2011
- CAVALCANTE, L. F., REBEQUI, A. M., DE SENA, G. S. A., NUNES, J. C. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino na formação de mudas de pinhão-manso. **Irriga**, v.16. n.3, p.288, 2018
- CINTRA, P. H. N., MELO, O. F. P. DE, MENEZES, J. O. S. DE, PADILHA, R. C., REZENDE, A. G., MATOS, E. DOS R. Análise de fluorescência da clorofila a em mudas de cafeeiro sob estresse hídrico. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.5, p.28006-28014, 2020

- DANTAS, M. V., LIMA, G. S. DE, GHEYI, H. R., PINHEIRO, F. W. A. , SILVA, L. A., FERNADES, P. D. Summer squash morphophysiology under salt stress and exogenous application of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in hydroponic cultivation. **Comunicata Scientiae**, v.12, e3464, 2021
- DANTAS, M. V., LIMA, G. S. DE, GHEYI, H. R., PINHEIRO, F. W. A., SILVA, P. C. C. & SOARES, L. A. DOS A. Gas exchange and hydroponic production of zucchini under salt stress and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> application. **Revista Caatinga**, v.35, n.219, p.436-449, 2022
- 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, p.87-104, 2021.
- DIAS, A. S., LIMA, G. S. DE, PINHEIRO, F. W. A., GHEYI, H. R., SOARES, L. A. DOS A. Gas exchanges, quantum yield and photosynthetic pigments of west indian cherry under salt stress and potassium fertilization. **Revista Caatinga**, v.32, n.2, p.429-439, 2019
- FAOSTAT, 2020 [<https://www.fao.org/faostat/en/#data>]
- GONÇALVES, J. F. DE C., SILVA, C. E., GUIMARÃES, D. G., BERNARDES, R. S. Analysis of chlorophyll a fluorescence transient of young plants of *Carapa guianensis* and *Dipteryx odorata* submitted to two light environments. **Acta Amazonica**. v.40, p.89-98, 2010
- GOVAERTS, B., SAYRE, K. D., LICHTER, K., DENDOOVEN, L., DECKERS, J. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. **Plant and Soil**, v.291, p.39-54, 2007
- HAIR, F. J., BLACK, W. C., BABIN, B. J., ANDERSON, R. E. TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Tradução Adonai Schlup Sant'Anna. Porto Alegre: Bookman, p.688, 2009
- HOTELLING, H. Multivariate quality control. In: Eisenhart, C., Hastay, M. W., Wallis, W. A. (Eds.). *Techniques of statistical analysis* New York: McGraw-Hill, 1947
- KILIC, S., KAHRAMAN, A. (2016). The Mitigation Effects of Exogenous Hydrogen Peroxide when Alleviating Seed Germination and Seedling Growth Inhibition on Salinity-Induced Stress in Barley. **Polish Journal of Environmental Studies**, v.25, n.3, p.1053-1059, 2016
- KURUNC, A., UNLUKARA, A., CEMEK, B. Salinity and drought affect yield response of bell pepper similarly. **Acta Agricul Scand Sect B-Soil Plant Sci**, v.61, n.6, p.514-522, 2011
- LIMA, G. S. DE, DIAS, A. S., SOARES, L. A. DOS A., GHEYI, H. R., NOBRE, R. G., SILVA, A. A. R. DA. Phytochemical efficiency, photoassimilate partition and production of cotton under salt stress and nitrogen fertilization. **Revista de Ciências Agrárias**. v.42, p.211–220, 2019

- LIU, L., HUANG, L., LIN, X., SUN, C. Hydrogen peroxide alleviates salinity-induced damage through enhancing proline accumulation in wheat seedlings. **Plant Cell Reports**. v.39, p.567–575, 2020
- MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance - current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division of ASCE**, v.103, p.115-134, 1977
- MEDEIROS, J. F. Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, Brasil], 1992
- MODESTO, F. J. N., SANTOS, M. A. C. M DOS, SOARES, T. M., SANTOS, E. P. M DOS. Crescimento, produção e consumo hídrico do quiabeiro submetido à salinidade em condições hidropônicas. **Irriga**. v.24, p.86-97, 2019
- NOVAIS, R. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA A. J. (ed.) **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa-SEA, p.189-253, 1991
- PARIHAR, P., SINGH, S., SINGH, R., SINGH, V. P., PRASAD, S. M. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. **Environmental Science and Pollution Research**. v.22, p.4056–4075, 2015
- PIÑERO, M. C., HOUDUSSE, F., GARCÍA-MINA, J., GARNICA, M., DEL AMOR, F. Regulation of hormonal responses of sweet pepper as affected by salinity and elevated CO<sub>2</sub> concentration. **Physiologia Plantarum**. v.151, n.4, p.375-389, 2014
- RAMOS, J. G., LIMA, V. L. A., LIMA, G. S. DE, PAIVA, F. J. DA S., PEREIRA, M. DE O., NUNES, K. G. Hydrogen peroxide as salt stress attenuator in sour passion fruit. **Revista Caatinga**, v.35, n.2, p.412-422, 2022
- RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1954
- SÁ, F. V. DA S., BRITO, M. E. B., SILVA, L. DE A., MOREIRA, R. C. L., FERNANDES, P. D., FIGUEIREDO, L. C. DE. Physiology of perception of saline stress in ‘Common Sunki’ mandarin hybrids under saline hydroponic solution. **Comunicata Scientiae**, v.6, n.4, p.463–470, 2015
- SÁ, F. V. DA S., LIMA, G. S. DE, SANTOS, J. B. DOS, GHEYI, H. R., SOARES, L. A. DOS A., CAVALVANTE, L. F., PAIVA, E. P. DE, SOUZA, L. DE P. Growth and physiological aspects of bell pepper (*Capsicum annuum*) under saline stress and exogenous application of proline. **African Journal of Biotechnology**, v.15, n.16, p.1970-1976, 2016
- SIDDIQUI, S. A., KHATRI, K., PATEL, D., RATHORE, M. S. Photosynthetic Gas Exchange and Chlorophyll a Fluorescence in *Salicornia brachiata* (Roxb.) Under Osmotic Stress. **Journal of Plant Growth Regulation**. v.41, p.429-444, 2022
- SILVA, A. A. R. DA, LIMA, G. S. DE, AZEVEDO, C. A. V. DE, VELOSO, L. L. DE S. A., GHEYI, H. R., SOARES, L. A. DOS A. Salt stress and exogenous application of hydrogen peroxide on photosynthetic parameters of soursop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.4, p.257-263, 2019

- SILVA, A. A. R. DA, LIMA, G. S. DE, AZEVEDO, C. A. V. DE, VELOSO, L. L. DE S. A., SOUZA, L. DE P., FÁTIMA, R. T. DE, SILVA, F. DE A., GHEYI, H. R. Exogenous application of salicylic acid on the mitigation of salt stress in *Capsicum annuum* L. **Ciência Rural**, v.53, n.7, e20210447, 2023
- SILVA, A. A. R. DA, SOUSA, P. F. N., LIMA, G. S. DE, SOARES, L. A. DOS A., GHEYI, H. R., AZEVEDO, C. A. V. DE. Hydrogen peroxide reduces the effect of salt stress on growth and postharvest quality of hydroponic mini watermelon. **Water Air Soil Pollut**, v.233, p.198, 2022
- 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, p.1-7, 2014
- SOARES, L. A. DOAS A., LIMA, G. S. DE, SANTOS, J. B. DOS, GHEYI, H. R., NOBRE, R. G., SILVA, S. S. DA, DIAS, A. S., SOUZA, L. DE P. Growth and physical characterization of fruits of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cv. 'All Big' subjected to saline stress and exogenous application of proline. **Australian Journal of Crop Science**, v.12, n.9, p.1528-1535, 2018
- SOHAG, A. A. M. TAHJIB-UL-ARIF, M., BRESTIČ, M., AFRIN, S., SAKIL, M. A., HOSSAIN, M. T., HOSSAIN, M. A., HOSSAIN, M. A. Exogenous salicylic acid and hydrogen peroxide attenuate drought stress in rice. **Plant, Soil and Environment**, v.66, p.7-13, 2020
- SOUZA, I. L., TOMAZELLA, V. B., SANTOS, A. J. N., MORAES, T., SILVEIRA, L. C. P. (2019). Parasitoids diversity in organic Sweet Pepper (*Capsicum annuum*) associated with Basil (*Ocimum basilicum*) and Marigold (*Tagetes erecta*). **Brazilian Journal of Biology**, v.79, n.4, p.603-611, 2019
- STATSOFT, I. N. C. Programa computacional Statistica 7.0. E. A. U, 2004
- TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3.ed. Brasília: **Embrapa Solos**, v.3, p.573, 2017
- THACH, L. B., SHAPCOTT, A., SCHMIDT, S., CRITCHLEY, C. The OJIP fast fluorescence rise characterizes Graptophyllum species and their stress responses. **Photosynthesis Research**. v.94, p.423-436, 2007
- VELOSO, L. L. DE S. A., AZEVEDO, C. A. V., NOBRE, R. G., LIMA, G. S. DE, CAPITULINO, J. D., SILVA, F. DE A. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> alleviates salt stress effects on photochemical efficiency and photosynthetic pigments of cotton genotypes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.27, p.34-41, 2023
- VELOSO, L. L. DE S. A., LIMA, G. S. DE, SILVA, A. A. R. DA, SOUZA, L. DE P., LACERDA, C. N. DE, SILVA, I. J. DA, CHAVES, L. H. G & FERNANDES, P. D. (2021). Attenuation of salt stress on the physiology and production of bell peppers by treatment with salicylic acid. **Semina: Ciências Agrárias**, v.42, n.5, p.2751-2768, 2021



- 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
- YUAN, C., FENG, S., WANG, J., HUO, Z., JI, Q. Effects of irrigation water salinity on soil salt content distribution, soil physical properties and water use efficiency of maize for seed production in arid northwest china. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering.** v.11, n.3, p.137–145, 2018
- ZOU, Y., ZHANG, Y., TESTERINK, C. Root dynamic growth strategies in response to salinity. **Plant Cell Environment.** v.45, n.3, p.695 – 704, 2021

## **CAPÍTULO V**

---

### **CONSIDERAÇÕES GERAIS**

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A irrigação com águas salinas afeta diretamente a produção de diversas culturas, no entanto faz-se necessário o desenvolvimento de estratégias de manejo que viabilizem seu uso na irrigação, principalmente em regiões de clima semiárido, onde há diminuição na disponibilidade dos recursos hídricos.

Com o presente estudo foi possível compreender que as aplicações foliares de peróxido de hidrogênio na concentração de 15  $\mu\text{M}$  atenua os efeitos deletérios do estresse salino em plantas de pimentão 'All Big' e na sua produção, irrigadas com águas salinas em CEa de até 1,4  $\text{dS m}^{-1}$ .

O peróxido de hidrogênio na concentração de 15  $\mu\text{M}$  associado à salinidade da água de 0,8  $\text{dS m}^{-1}$  proporciona aumento na condutância estomática, taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , eficiência instantânea de carboxilação e crescimento das plantas de pimentão, aos 90 dias após o semeio. Ainda foi possível observar que a salinidade da água de 0,8  $\text{dS m}^{-1}$  e 15  $\mu\text{M}$  de peróxido de hidrogênio estimula os sinais de fluorescência da clorofila *a* e a fitomassa seca da parte aérea de pimentão 'All Big', aos 110 dias após a semeadura.

As aplicações de peróxido de hidrogênio em concentrações maiores que 30  $\mu\text{M}$ , intensificam os efeitos deletérios do estresse salino em pimentão 'All big' e a irrigação com água de 3,2  $\text{dS m}^{-1}$  foi prejudicial para a fluorescência inicial, a fluorescência inicial antes do pulso de saturação e a eficiência do uso da água no pimentão 'All Big'. Foi possível observar que o pimentão 'All Big' é moderadamente sensível ao estresse salino, com nível de salinidade limiar da água de 1,43  $\text{dS m}^{-1}$ , sendo o decréscimo unitário de 8,25% acima deste nível salino.

Plantas de *Capsicum annuum* L. sob estresse salino apresentaram respostas positivas à exposição ao peróxido de hidrogênio exógeno, uma espécie reativa de oxigênio que é um reagente promissor para a produção agrícola, principalmente em regiões semiáridas. O peróxido de hidrogênio é de fácil acesso e disponibilidade, e é considerado uma estratégia de manejo promissora como um ativador de enzimas antioxidantes que promovem o crescimento da cultura mesmo sob condições de estresse.