



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HORTICULTURA
TROPICAL**

BRUNA LORRANE ROSENDO MARTINS

**INFLUÊNCIA DE NANO-ÓXIDO DE ZINCO E
BIOINOCULANTES SOBRE A QUALIDADE PÓS-COLHEITA
DE PIMENTÃO E BERINJELA CULTIVADOS SOB DÉFICIT
HÍDRICO**

**POMBAL-PB
2023**

BRUNA LORRANE ROSENDO MARTINS

**INFLUÊNCIA DE NANO-ÓXIDO DE ZINCO E
BIOINOCULANTES SOBRE A QUALIDADE PÓS-COLHEITA
DE PIMENTÃO E BERINJELA CULTIVADOS SOB DÉFICIT
HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: DSc. Railene Hérica Carlos Rocha Araújo

POMBAL-PB

2023

M386i Martins, Bruna Lorrane Rosendo.
Influência de nano-óxido de zinco e bioinoculantes sobre a qualidade pós-colheita de pimentão e berinjela cultivados sob déficit hídrico / Bruna Lorrane Rosendo Martins. – Pombal, 2023.
97 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

"Orientação: Profa. Dra. Railene Hérica Carlos Rocha Araújo".
Referências.

1. Horticultura. 2. Déficit Hídrico. 3. Produção de Hortaliças.
4. Berinjela (*Solanum melongena L.*). 5. Pimentão (*Capsicum annuum L.*).
I. Araújo, Railene Hérica Carlos Rocha. II. Título.

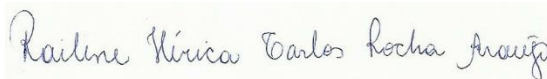
CDU 635.1/8(043)

BRUNA LORRANE ROSENDO MARTINS


INFLUÊNCIA DE NANO-ÓXIDO DE ZINCO E BIOINOCULANTES SOBRE A QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE PIMENTÃO E BERINJELA CULTIVADOS SOB DÉFICIT HÍDRICO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, para obtenção do título de Mestre.


Aprovado em: 24/08/2023



Professora D. Sc. Railene Hérica Carlos Rocha Araújo
(UAEAL/CTRN/UFCG)
Orientadora

Documento assinado digitalmente
 JOSINALDO LOPES ARAUJO ROCHA
Data: 19/09/2023 09:29:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor D. Sc. Josinaldo Lopes Araújo Rocha
(UAEA/CTRN/UFCG)
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente
 TOSHIK IARLEY DA SILVA
Data: 18/09/2023 21:07:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor D. Sc. Toshik Iarley da Silva
(PPGHT/CCTA/UFCG)
Examinador Externo



Professora D. Sc. Mércia Melo de Almeida Mota
(UAEALI/CTRN/UFCG)
Examinador Externo

Ao meu avô, Antônio Rosendo (*in memoriam*), por sempre ter acreditado em mim. Sei que está muito orgulhoso!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ser minha força todas às vezes que pensei em desistir e ser o meu refúgio sempre que não sei a quem recorrer.

Agradeço aos meus pais, Lucivânia e Cláudio, pela vida, pela demonstração constante de amor incondicional, pela cumplicidade e pelos puxões de orelha quando preciso. Por segurarem em minhas mãos, ouvirem meus lamentos, acreditarem em mim e priorizarem os meus sonhos, ainda que para isso seja necessário virarem noites em claro ou sacrificarem seus planos.

À Brenda, minha única irmã, apesar de todas as nossas diferenças, também minha fonte de inspiração e amor, me apoia em meus objetivos e sonhos.

Agradeço ao meu noivo, Klerston de Oliveira, por me apoiar diariamente. Me dando total apoio e força. Obrigada por todos os abraços e por ser a pessoa que é.

À minha orientadora, Professora Railene Hérica a qual tenho muita admiração pela paciência e ajuda. Por me encorajar durante o curso e ter depositado confiança em mim. Surgiu com uma oportunidade no momento em que pensei em desistir. É mais que orientadora. É uma amiga.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo, que foi fundamental para a conclusão dessa etapa.

A todos os professores do PPGHT, como também a coordenação que sempre quando precisei não me negou ajuda.

A Kalliny, Evanilson e Kaick por todas as ajudas durante a fase experimental. Pela amizade e incentivo principalmente nos dias mais difíceis.

A Tais Fernandes e Marcelo, por deixarem de fazer suas atividades para me ajudar durante o experimento. Serei eternamente grata.

Em especial à Joyce Fernandes, técnica do Laboratório de Fisiologia Vegetal, em que me ajudou bastante nas análises, como também me dando palavras de conforto nos dias que pensei que não daria conta. É muito especial para mim!

À UFCG e todos que fazem parte do CCTA campus Pombal.

A Fapesq, devido ao apoio financeiro Outorga 3071/2021-Fapesq/PB Edital Universal 09/2021 SEECT/Fapesq.

Enfim, aos demais, que estão direta e indiretamente ligados à realização do meu sonho. A todos vocês que de alguma forma fizeram com que eu pudesse chegar onde estou meu muito obrigado, que Deus os abençoe!

Meus agradecimentos!

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento.....	40
Tabela 2. Médias para as variáveis, pH, sólidos solúveis (° Brix), acidez titulável (g 100-1) e razão SS/AT da berinjela ‘Ciça’.....	48
Tabela 3. Médias para as variáveis, firmeza (N), açúcares solúveis (g 100g-1), frutos comerciais (und), frutos não comerciais (und), peso de frutos comerciais (kg), peso de frutos não comerciais (kg), comprimento longitudinal(mm) e diâmetro transversal (mm) da berinjela ‘Ciça’.	51

CAPÍTULO II

Tabela 1. Médias para as variáveis, pH, sólidos solúveis (° Brix), acidez titulável (g 100-1) e razão SS/AT do pimentão ‘Kolima’	79
Tabela 2. Médias para as variáveis, vitamina C (g. 100-1), luminosidade (L*), cromaticidade (C*) e angulo hue (Hue°) do pimentão ‘Kolima’.....	81
Tabela 3. Médias para as variáveis frutos comerciais (und), frutos não comerciais (und), peso de frutos comerciais (kg), peso de frutos não comerciais (kg) e comprimento longitudinal(cm) do pimentão ‘Kolima’.....	83

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Croqui detalhado da área experimental com berinjela ‘Ciça’. Espaçamento entre parcelas = 1,2; T1= ZnSO₄ via foliar; T2 = NPZnO foliar; T3 = NPZnO foliar + Bio; T4 = ZnSO₄ via solo + Bio, são os produtos a serem testados e C o tratamento controle. L1 e L2 são as lâminas de irrigação (L1=50% e L2=100% da Eto). **Erro! Indicador não definido.**

Figura 2. Esquema de uma parcela.....39

Figura 3. Frutos logo após a colheita no Lab. de Pós-Colheita, UFCG, Pombal, 2022.44

Figura 4. Berinjelas higienizadas, Lab. de Pós-Colheita, UFCG, Pombal, 2022.....45

Figura 5. Cromaticidade (C*), luminosidade (L*) e vitamina C (mg 100-1 ácido ascórbico) na qualidade pós-colheita da berinjela ‘Ciça’ em função das variáveis pós-colheita com atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação. Letras minúsculas comparam as variáveis de avaliação pós-colheita ou as lâminas de irrigação pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.53

Figura 6. Angulo hue (Hue°) na qualidade pós-colheita da berinjela ‘Ciça’ em função da variável pós-colheita com atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). C = controle, T1 = ZnSO₄ via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO₄ via solo + Bio. Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância..54

Figura 7. Variáveis pós-colheita de berinjela ‘Ciça’ em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). T1 = controle, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via solo + Bio, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.55

CAPÍTULO II

Figura 1. Croqui detalhado da área experimental com pimentão. Espaçamento entre parcelas = 1,2; T1= ZnSO₄ via foliar; T2 = NPZnO foliar; T3 = NPZnO foliar + Bio; T4 = ZnSO₄ via solo

+ Bio, são os produtos a serem testados e C o tratamento controle. L1 e L2 são os produtos a serem testados e C o tratamento controle. L1 e L2 são as lâminas de irrigação (L1= 50% e L2= 100% da ETc). 76

Figura 2. Esquema de uma parcela..... 77

Figura 3. Diâmetro transversal do pimentão ‘Kolima’ em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico. T1 = controle, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via solo + Bio, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância..... 85

Figura 4. Variáveis pós-colheita do pimentão ‘Kolima’ em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). T1 = controle, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via solo + Bio, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância. 86

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	XI
ABSTRACT	XIV
1. INTRODUÇÃO GERAL	15
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO	17
2.1 Efeitos do déficit hídrico sobre as plantas	17
2.2 Bactérias como atenuantes do déficit hídrico	18
2.3 Nanofertilizantes e seus efeitos como atenuantes do déficit hídrico	20
2.4 Nanopartículas óxido de zinco	21
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
CAPÍTULO I	32
INFLUÊNCIA DE NANO-ÓXIDO DE ZINCO E BIOINOCULANTES NA QUALIDADE PÓS COLHEITA DA BERINJELA (<i>Solanum melongena</i> L.) SUBMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO	32
RESUMO	33
ABSTRACT	34
1. INTRODUÇÃO	35
2. MATERIAL E MÉTODOS	37
2.1 Caracterização da área experimental	37
2.2 Definição dos experimentos e delineamento experimental	37
2.3 Preparo da área, caracterização do solo e plantio	39
2.4 Controle fitossanitário	42
2.5 Transplântio das mudas	42
2.6 Componentes dos tratamentos e sua aplicação	42
2.7 Tratos culturais	43
2.8 Colheita	43
2.9 Pós-colheita	44
3.0 Variáveis analisadas	44
3.1 Diâmetro transversal e comprimento longitudinal	44
3.2 Firmeza da polpa	45
3.3 Coloração da casca	45
3.4 Vitamina C	46
3.5 Potencial Hidrogeniônico (pH)	46
3.6 Acidez Titulável (AT)	46
3.7 Sólidos Solúveis (SS)	46
3.8 Relação SS/AT	46
3.9 Açúcares solúveis totais (AST)	46
4.0 Análise estatística	47
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
3.1 Análise da qualidade pós-colheita da berinjela	48
4 CONCLUSÕES	61
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
CAPÍTULO II	71
INFLUÊNCIA DE NANO-ÓXIDO DE ZINCO E BIOINOCULANTES NA QUALIDADE PÓS COLHEITA DO PIMENTÃO (<i>Capsicum annuum</i> L) SUBMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO	71
RESUMO	72

ABSTRACT	73
1. INTRODUÇÃO	74
2. MATERIAL E MÉTODOS	76
2.1 Caracterização da área experimental	76
2.2 Definição dos experimentos e delineamento experimental	76
2.3 Preparo da área, caracterização do solo e plantio	77
2.4 Controle fitossanitário	77
2.5 Transplântio das mudas	77
2.6 Componentes dos tratamentos e sua aplicação	77
2.7 Tratos culturais	78
2.8 Colheita.....	78
2.9 Pós-colheita	78
3.0 Variáveis analisadas	78
3.1 Análise estatística	78
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
3.1 Análise da qualidade pós-colheita do pimentão	79
4. CONCLUSÕES.....	90
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

MARTINS, Bruna Lorrane Rosendo. **Influência de nano-óxido de zinco e bioinoculantes sobre a qualidade pós-colheita de pimentão e berinjela cultivados sob déficit hídrico**, 2023. 97p. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB¹.

RESUMO GERAL

Os sistemas agrícolas na região semiárida do Brasil têm dificuldade em expressar e atingir o máximo de seu potencial produtivo devido aos fatores climáticos locais, como altas temperaturas e baixas precipitações, que causam secas prolongadas. A necessidade de expandir as áreas de produção agrícola evidencia a necessidade de tecnologias que viabilizem o uso de água e o uso de produtos biológicos na irrigação, incluindo o cultivo de berinjela e pimentão. O objetivo deste projeto é investigar a influência de nanopartículas contendo micronutriente zinco, associado a bactérias promotoras do crescimento de plantas, na qualidade pós-colheita da berinjela e pimentão submetidos ao estresse hídrico. O experimento foi instalado em parcelas subdivididas no espaço, onde as parcelas compreenderão dois lâminas de irrigação (50 e 100% da evapotranspiração potencial -Eto) e as subparcelas em cinco tratamentos que combinavam com nanopartículas de óxido de zinco (NZnO) ou bioinoculantes (Bio), que continham bactérias benéficas (T1 = controle, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via solo + Bio), com quatro blocos. Foram avaliados peso comercial e não comercial dos frutos, frutos comerciais e não comerciais, diâmetro transversal e comprimento longitudinal, coloração da casca, firmeza, acidez titulável, sólidos solúveis, relação SS/AT, vitamina C e açúcares solúveis totais. O tratamento T2 (ZnSO₄ via foliar) em média aumentou no ângulo Hue, quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico com 100% Eto. Cromaticidade, luminosidade e vitamina C, apresentou uma maior média, quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico sob irrigação plena. O peso comercial, frutos comerciais, relação SS/AT, açúcares solúveis totais, acidez titulável, luminosidade e vitamina C tiveram uma forte correlação positiva, nos tratamentos contendo sulfato de zinco, nano óxidos de zinco (NPZnO) e bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP). Os tratamentos contendo ZnSO₄, NPZnO e BPCP não atenuaram o déficit hídrico imposto a berinjela. O tratamento T3 (NPZnO foliar) teve o diâmetro transversal foi pouco afetado pelo déficit hídrico, tratamentos contendo sulfato de zinco, nano óxidos de zinco (NPZnO) e bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP). A vitamina C e a cromaticidade tiveram uma forte correlação positiva no déficit de irrigação. Os tratamentos contendo ZnSO₄, NPZnO e BPCP não atenuaram o déficit hídrico imposto ao pimentão.

Palavras-chave: déficit hídrico; produção de hortaliças; *Solanum melongena* L. *Capsicum annuum* L.

¹Orientadora: Prof^ª Railene Hérica Carlos Rocha Araújo, CTRN/UFCG

MARTINS, Bruna Lorrane Rosendo. Influence of zinc nano-oxide and bioinoculants on the post-harvest quality of peppers and eggplants grown under water deficit, 2023. 97p. Dissertation (Master's in Tropical Horticulture) - Federal University of Campina Grande, Pombal, PB¹.

ABSTRACT

Agricultural systems in the semi-arid region of Brazil have difficulty expressing and reaching their maximum productive potential due to local climatic factors, such as high temperatures and low rainfall, which cause prolonged droughts. The need to expand agricultural production areas highlights the need for technologies that enable the use of water and the use of biological products in irrigation, including the cultivation of eggplant and peppers. The aim of this project is to investigate the influence of nanoparticles containing the micronutrient zinc, associated with plant growth-promoting bacteria, on the post-harvest quality of eggplant and peppers subjected to water stress. The experiment was set up in plots subdivided in space, where the plots comprised two irrigation rates (50 and 100% of potential evapotranspiration -Eto) and the subplots five treatments that combined zinc oxide nanoparticles (NPZnO) or bioinoculants (Bio), which contained beneficial bacteria (T1 = control, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via soil + Bio), with four blocks. Commercial and non-commercial fruit weight, commercial and non-commercial fruit, transverse diameter and longitudinal length, skin color, firmness, titratable acidity, soluble solids, SS/AT ratio, vitamin C and total soluble sugars were evaluated. On average, treatment T2 (ZnSO₄ via foliar irrigation) increased the Hue angle when the plants were subjected to water deficit with 100% Eto. Chromaticity, luminosity and vitamin C showed a higher average when the plants were subjected to water deficit under full irrigation. Commercial weight, commercial fruit, SS/AT ratio, total soluble sugars, titratable acidity, luminosity and vitamin C had a strong positive correlation in treatments containing zinc sulphate, nano zinc oxides (NPZnO) and plant growth promoting bacteria (BPCP). The treatments containing ZnSO₄, NPZnO and BPCP did not mitigate the water deficit imposed on the eggplant. Treatment T3 (leaf NPZnO) had a transverse diameter that was little affected by water deficit, treatments containing zinc sulphate, nano zinc oxides (NPZnO) and plant growth promoting bacteria (BPCP). Vitamin C and chromaticity had a strong positive correlation in the irrigation deficit. The treatments containing ZnSO₄, NPZnO and BPCP did not mitigate the water deficit imposed on the peppers.

Keywords: water deficit; vegetable production; *Solanum melongena* L. *Capsicum annuum* L.

¹Orientadora: Prof^ª Railene Hérica Carlos Rocha Araújo, CTRN/UFC

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os sistemas agrícolas na região semiárida do Brasil têm dificuldade em expressar e atingir o máximo de seu potencial produtivo devido aos fatores climáticos locais, como altas temperaturas e baixas precipitações, que causam secas prolongadas. Além disso, muitos agricultores na área vivem na margem da pobreza devido ao fato de terem terra insuficiente, capital insuficiente e um baixo aporte de tecnologia (ALVES; CUNHA; MARENGO et al., 2016). A necessidade de expandir as áreas de produção agrícola evidencia a necessidade de tecnologias que viabilizem o uso de água e o uso de produtos biológicos na irrigação, incluindo o cultivo de berinjela e pimentão (LOPES, 2017).

A berinjela (*Solanum melongena* L.) é uma planta oleícola importante tanto no Brasil quanto em todo o mundo. Em 2019, a produção global alcançou 55,2 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2020). A China teve 804.381 hectares, a Índia 749.000 hectares e o Egito 53.419 hectares, respectivamente (FAO, 2021). Em 11 mil hectares, aproximadamente 72 mil toneladas de berinjela foram produzidas no Brasil em 2020. Os estados de São Paulo tinham 43%, Minas Gerais 20% e Rio de Janeiro 15% da produção, totalizando 73% (CEAGESP, 2021). Devido ao uso desta cultura como uso medicinal, o cultivo em pequena escala, principalmente em hortas caseiras, pode ser observado em todo o país (MANTOVANI; JACYNTHO; GROSSI, 2019).

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma planta não climatérica pertencente à família Solanaceae. As variedades existentes variam em forma, tamanho e cor conforme o estágio de maturação (LAHBIB et al., 2017). É cultivada em todo o mundo, incluindo China, México, Espanha, Estados Unidos e Brasil (NAEGELE; MITCHELL; HAUSBECK, 2016; FAOSTAT, 2018; KRAUß; VETTER, 2019). A produção global de pimentão é de 36 milhões de toneladas em uma área de 1.990.423 hectares (FAOSTAT, 2018). A cultura do pimentão é muito difundida em todo o Brasil e possui grande importância econômica. Segundo a FAO (2017), a área cultivada estimada é de 19.000 hectares, com uma produção anual de mais de 420.000 toneladas. É consumida in natura no Brasil e é considerada uma das dez espécies de maior importância econômica no mercado de hortaliças (SEDIYAMA et al., 2014).

Essas culturas são bastantes estimadas no Brasil. Porém, passam por diversos estresses que diminui suas produtividades. Um desses estresses é o déficit hídrico. Os períodos de seca ocorrem naturalmente em muitas partes do mundo, mas as mudanças climáticas têm acelerado e agravado ainda mais, com impactos dramáticos na agricultura (MUKHERJEE; MISHRA; TRENBERTH, 2018). A resiliência da agricultura às mudanças climáticas requer estratégias de

adaptação e mitigação baseadas em tratamentos que alteram a fisiologia dos processos vegetais, tornando-os prontos para incorporar padrões de estresse previsíveis e enfrentar restrições ecológicas (MERTENS et al., 2021). Além disso, o déficit hídrico desencadeia mecanismos de resposta morfológicas, fisiológicas, bioquímicas, celulares e moleculares nas plantas, cujas principais consequências podem ser reduções severas no crescimento vegetal e na produção agrícola (ILYAS et al., 2021; HOSSAIN et al., 2016). Portanto, o uso de atenuadores nas culturas pode aumentar a tolerância das plantas ao déficit hídrico e é essencial para ter produtos de qualidade.

Uma das estratégias para mitigar o déficit hídrico nas culturas que tem merecido destaque nas pesquisas é o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) (FERREIRA; KNUPP; DIDONET, 2014). As BPCPs podem aumentar a produtividade das culturas e a fertilidade do solo sem nenhum impacto negativo no meio ambiente. Além disso, podem reduzir a disponibilidade de substâncias tóxicas, metais pesados e aumentar a disponibilidade de nutrientes como fósforo (P) e nitrogênio (N) para as plantas (LU et al., 2021; RAMAKRISHNA et al., 2020). Bactérias promotoras do crescimento de plantas são microrganismos que normalmente colonizam a rizosfera e/ou tecidos internos da planta (endófitos) e podem afetar o desenvolvimento da raiz e da parte aérea. Estas bactérias conseguem produzir algumas substâncias osmorreguladoras e fitormônios que protegem e aumentam o sistema radicular e assim absorvem mais água e nutrientes do solo (SHETEIWY et al., 2021; TIWARI; PRASAD; LATA, 2019).

As nanopartículas (NPs) (materiais com tamanho entre 1 e 100 nm) são cada vez mais utilizadas na agricultura. As NPs podem ser usadas como fungicidas, inseticidas, herbicidas, inseticidas e promotores de crescimento de plantas (RIZWAN et al., 2021). O surgimento de novas tecnologias melhorou muito a síntese e aplicação de nanofertilizantes na agricultura. Uma vez dentro da planta, as NPs interagem com células e estruturas subcelulares penetrando raízes e folhas, causando alterações morfológicas e fisiológicas (KHAN et al., 2019). Globalmente, a nanotecnologia continua em seus estágios iniciais na agricultura.

Portanto, entender as interações entre microrganismos e plantas, e nanofertilizantes em ambientes com déficit hídrico pode proporcionar o desenvolvimento de novas tecnologias para mitigar os efeitos adversos de tais estresses e, assim, aumentar a produtividade das culturas. Por outro lado, há poucas pesquisas sobre esse tema e precisam ser ampliadas para gerar mais informações sobre essas interações e sua relação com a qualidade pós-colheita em climas semiáridos.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Efeitos do déficit hídrico sobre as plantas

A seca é sem dúvida o maior desafio que limita a produção agrícola globalmente. A agricultura tem sofrido pressão em termos de seleção devido à demanda por espécies vegetais mais produtivas e tolerantes à escassez de água (CRESPO-HERRERA et al., 2018). Segundo Abdelraheem et al. (2019) cerca de 45% das terras agrícolas do mundo estão sob déficit hídrico frequente ou persistente. El Sabagh et al. (2021) prevê que a seca resulte na perda de 50% das terras agrícolas até 2025, e considerando que a população mundial total deverá aumentar para 9,7 bilhões até 2025 (EHRlich; HARTE, 2015), onde os seres humanos e animais serão severamente afetados pela falta de alimentos (IQBAL et al., 2020).

O déficit hídrico ocorre quando uma combinação de fatores físicos e naturais priva as plantas de água, resultando em redução da produtividade (FORNI; DUCA; GLICK, 2017). Os eventos de seca são uma grande limitação climática para muitas culturas, pois reduzem gradativamente a umidade do solo, impactando severamente a qualidade e a quantidade do produto, levando a danos bioquímicos e fisiológicos às culturas (DIAS et al., 2007; GÜRKAN, 2017; DE SOUZA et al., 2020; DUBBERSTEIN et al., 2020; ALMEIDA et al., 2021). Efeitos significativos dessa pressão levam à perda da ecologia microbiana do solo, fertilidade do pasto e competição pela absorção de nutrientes (CHODAK et al., 2015; VERMA, 2018; BEKELE et al., 2022).

As condições de déficit hídrico do solo são um dos maiores fatores limitantes para os processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos relacionados à absorção de nutrientes e água, bem como à fotossíntese vegetal e ao metabolismo do carbono (RAMALHO et al., 2018; DE SOUZA et al., 2020; SUN et al., 2020; SEMEDO et al., 2021).

As respostas das plantas variam entre as espécies, dependendo de diferentes fatores ambientais e estágios de crescimento. As plantas apresentam diferentes mudanças e processos fisiológicos para reduzir características adversas de déficit hídrico (ALHARBY; FAHAD, 2020, FAHAD et al., 2017). Brodribb e McDam (2017) relata que principal resposta fisiológica das plantas ao déficit hídrico é a diminuição da condutância estomática, o que leva ao suprimento insuficiente de carbono para a ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (RuBisCo) (SEMEDO et al., 2021; DUBBERSTEIN et al., 2020; DAMATTA et al., 2018; CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009).

Marouelli et al. (2014) afirmam que o déficit de água no solo é particularmente prejudicial para as berinjelas durante as fases de floração e frutificação, pois causa a morte de flores e frutos, bem como uma redução na produtividade e crescimento.

A berinjela é moderadamente resistente ao déficit hídrico, mas a irrigação pode aumentar a produtividade mesmo em áreas com períodos de estiagem curtos. Por outro lado, o excesso de água prejudica o desenvolvimento inicial das plantas e o ataque de patógenos do solo. Por causa disso, a berinjela cresce melhor em solos profundos, bem drenados e não encharcados (DIAS et al., 2017). Portanto, para maximizar o retorno econômico, as irrigações devem ser feitas de forma a evitar o déficit hídrico (DE SOUSA et al., 2011).

A cultura de berinjela precisa de 450 a 750 mm de água por ciclo, mas isso pode variar dependendo do material genético usado e das condições edafoclimáticas, diz Silva et al. (2017). Como a cultura não tolera encharcamento, ela se desenvolverá melhor em solos com textura média, com boa retenção de umidade e bem drenados (DE SOUSA et al., 2011).

Um dos fatores que impedem a cultura do pimentão de produzir alta produtividade e qualidade dos frutos, seja em campo ou em ambiente protegido, é a falta de água. O déficit hídrico nas plantas de pimentão durante a fase inicial de frutificação pode impedir a translocação de nutrientes como o cálcio e reduzir a cobertura foliar. Esses dois problemas fisiológicos, escaldadura e podridão apical, podem resultar em perdas substanciais na produção e qualidade dos frutos (HARTZ et al., 2008).

Os estágios vegetativo e reprodutivo do pimentão foram estudados por Ferrara et al. (2011). Os resultados dos autores mostraram que o déficit hídrico na etapa reprodutiva teve um impacto maior na produtividade. Como afirmado por Caixeta (1984), a quantidade de água necessária para a cultura do pimentão é um fator que limita o crescimento e o desenvolvimento das plantas, impactando diretamente seu comportamento. Os fatores climáticos e edáficos determinam as necessidades em cada local. Para Casali (1984), a disponibilidade hídrica é crucial para a cultura do pimentão e é um fator limitante para o cultivo. Ele afeta as características morfológicas da planta, diminuindo o número de flores e frutos, bem como o tamanho dos frutos e o acúmulo de matéria seca na planta.

Desta forma, as plantas podem lidar com o déficit hídrico por meio de estratégias adaptativas e colaborando com a produtividade agrícola.

2.2 Bactérias como atenuantes do déficit hídrico

As bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs), são uma classe de microrganismos que têm sido usados como biofertilizantes para promover o crescimento e a produção de plantas e, podem ser uma maneira eficaz de induzir a tolerância das plantas sob condições bióticas (como fitopatógenos) e estresses abióticos (como seca, salinidade, metais pesados, temperaturas extremas, etc.) (EMBERSON, 2020; MELLIDOU; KARAMANOLI, 2022). Algumas BPCPs podem tolerar o estresse ambiental e melhorar o crescimento e desenvolvimento das plantas, onde promove o crescimento e a sobrevivência das plantas por meio de mecanismos indiretos e diretos, produz enzimas, antibióticos e compostos antifúngicos para combater fitopatógenos, fixa nitrogênio, produz fitohormônios, dissolve minerais, altera a expressão gênica por meio de fatores sigmas, sob condições adversas que afetam a planta (FINKEL et al., 2017; KUMAR; VERMA, 2018; SANDILYA et al., 2022; SANDILYA et al., 2022; DASGUPTA et al., 2023).

A aplicação das BPCPs nas lavouras tem sido estudada para promover o crescimento e a resistência das plantas a vários estresses. Escolher bactérias apropriadas que suportem diversas restrições, é um desafio enorme para os pesquisadores (VIMAL et al., 2017; SHAH et al., 2021). Contudo, algumas bactérias podem tolerar o déficit hídrico e melhorar o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Os mecanismos pelos quais as bactérias promovem o crescimento da planta sob condições de estresse aumentam a absorção de nutrientes pela modulação de fitohormônios e modulação da expressão gênica. Verma et al. (2018) inocularam *Leersia oryzoides* L. em arroz e os resultados mostraram que a bactéria promove o crescimento de mudas de arroz, promovendo o crescimento do rizoma, estimulando a formação de pelos radiculares, produzindo abundância de fitohormônios como o ácido indol-3-acético (IAA) e inibindo fungos. Além disso, pode promover características de crescimento vegetal (TAI et al., 2021). Um estudo recente descobriu que a inoculação com bactérias e a fertilização otimizada aumentaram o rendimento do arroz em comparação com o arroz não inoculado (NASHRULLOH; DOLPHEN; THIRAVETYAN, 2022).

O conhecimento da diversidade bacteriana associada a plantas é importante para entender seus papéis ecológicos e o potencial para aplicações biotecnológicas na agricultura, incluindo o manejo do desempenho das culturas em condições de déficit hídrico. Até agora, as bactérias promotoras do crescimento de plantas, têm sido amplamente utilizadas na agricultura, mas falta uma compreensão abrangente dos mecanismos pelos quais essas bactérias conferem benefícios adaptativos às plantas contra vários estresses ambientais.

2.3 Nanofertilizantes e seus efeitos como atenuantes do déficit hídrico

Outra estratégia que se acredita amenizar a escassez de água nas lavouras é o uso da nanotecnologia, que tem revolucionado a agricultura em diversas áreas do conhecimento como os nanofertilizantes (GHOLINEZHAD, 2017; AHMADIAN, 2021). A nanotecnologia pode ser definida como a ciência de produzir nanopartículas por meio da modificação e/ou automontagem de átomos, moléculas ou aglomerados moleculares individuais dotados de propriedades novas, ou distintas (SINGH et al., 2021). A nanotecnologia envolve a produção e aplicação de nanomateriais que variam em tamanho de 10 a 100 nanômetros. Este minúsculo tamanho de partícula lhes confere propriedades físicas e químicas únicas. A nanotecnologia provou seu lugar na agricultura e aplicações relacionadas (ABDEL-AZIZ; HASANEEN; OMER, 2019). Com base em seu tamanho, forma, estrutura e composição, eles podem ser classificados mais especificamente em metais (como alumínio, ouro, ferro, chumbo, prata, cobalto, zinco, cádmio e cobre), óxidos metálicos (como zinco, dióxido de silício, óxido de ferro, óxido de alumínio, óxido de cério, óxido de titânio e magnetita), cerâmica, nanopartículas biológicas (como, magnetossomos, exossomos, lipoproteínas e vírus) e as nanopartículas a base de carbono (fulerenos, nanotubos de carbono (CNT), grafeno, negro de fumo e nanofibras de carbono) (IJAZ et al., 2020; KHAN; HOSSAIN, 2022).

Sendo assim, os nanofertilizantes estão surgindo como uma nova solução para os principais problemas das plantas, como o déficit hídrico. A aplicação de nanopartículas tem as vantagens de maior área de superfície e maior reatividade. A entrega segura, direcionada e lenta de nutrientes para as plantas é possível usando transportadores de nanopartículas de base biológica (MUJTABA et al., 2021). Os nanofertilizantes podem melhorar a eficiência do uso de nutrientes, reduzir a toxicidade do solo e minimizar os potenciais efeitos negativos associados à aplicação excessiva (AMIRNIA; BAYAT; TAJBAKSHI, 2014). Eles são considerados candidatos promissores na indústria de fertilizantes com um potencial considerável para aumentar a retenção de diferentes nutrientes para uma produção agrícola ideal (MADZOKERE; MURROMBO; CHIRIRIWA, 2021).

Os nanofertilizantes são mais eficientes (50 a 70%) na liberação controlada de nutrientes em comparação com os fertilizantes convencionais (40 a 50%) (GUO et al., 2018). Esses nanofertilizantes podem resolver o principal problema dos fertilizantes tradicionais (ou seja, alta taxa de perda de nutrientes no solo), permitindo que os nutrientes sejam liberados lentamente e continuamente por um longo período. Eles também são altamente reativos devido ao seu pequeno tamanho, grande área de superfície e alta produtividade (SELEIMAN et al., 2020).

O papel dessas nanopartículas na proteção das plantas do déficit hídrico tem sido demonstrado em diversos estudos. Por exemplo, a produção de nanocompósitos contendo fertilizantes, pesticidas e microrganismos é uma das aplicações mais comuns (USMAN et al., 2020). A nanoencapsulação de macronutrientes, micronutrientes, microrganismos e compostos orgânicos para nanobiofertilização demonstra uma sinergia interessante entre a cultura e os microrganismos do substrato (SAMBANGI et al., 2022). Além disso, o método verde de sintetizar nanopartículas por meio de extratos de plantas, fungos e algas minimiza o impacto ao meio ambiente em comparação aos métodos físico-químicos convencionais (KAUR; SIDHU, 2021). Essas propriedades influenciam a produção de reguladores de crescimento vegetal e a ativação do metabolismo secundário para produzir compostos bioativos que protegem as plantas do déficit hídrico.

Portanto, as nanopartículas também podem fornecer proteção às plantas contra condições de déficit hídrico por meio de vários mecanismos, como a ativação de sistemas enzimáticos antioxidantes para aliviar o estresse oxidativo. Efeitos de nanofertilizantes no déficit hídrico foram demonstrados alterando as concentrações de hormônios vegetais (AN et al., 2020), expressão gênica (LINH et al., 2020), produção de metabólitos secundários (ETESAMI; FATEMI; RIZWAN, 2021), aumento da concentração e disponibilidade de nutrientes (MAHMOUD et al., 2020), redução dos danos à membrana plasmática e degradação da clorofila (KARIMI et al., 2020), aumento da captação de K^+ , relação K^+/Na^+ (ABDOLI; GHASSEMI -GOLEZANI; ALIZADEH-SALTEH, 2020) e ativar a atividade de enzimas antioxidantes (FAIZAN et al., 2018; MORADBEYGI et al., 2020; ALABDALLAH; ALZHRANI, 2020).

Sendo assim, os nanofertilizantes atenuam as espécies reativas de oxigênio (ROS) provocada pela seca por meio de agrupamentos de osmólitos, melhorando assim a adaptação osmótica e o balanço hídrico da cultura (ALABDALLAH; HASAN, 2021). Além de que, eles aumentam a atividade fotossintética, regulam positivamente as aquaporinas, alteram o metabolismo da água intracelular, acumulam solutos compatíveis, mantêm a homeostase iônica intracelular, aumentam a densidade estomática e reduzem a umidade foliar devido ao fechamento estomático e devido ao acúmulo de ácido abscísico. (ATTARAN DOWOM et al., 2022; KANDHOL; JAIN; TRIPATHI, 2022).

2.4 Nanopartículas óxido de zinco

Nos últimos anos, o possível uso de nanopartículas (NPs) como nanofertilizantes tem sido considerado uma possibilidade ao uso de fertilizantes convencionais (RASLI; BASRI; HARUN, 2020; SHEBL et al., 2020). Essas nanopartículas são usadas para superar os efeitos nocivos dos fertilizantes convencionais. As NPs possuem propriedades físico-químicas únicas, como alta relação superfície-volume, alta reatividade, tamanho de poro ajustável, morfologia de partícula desejável e estabilidade no ambiente (ZULFIQAR et al., 2019; SINGH; HANDA; MANCHANDA, 2021). Existem muitas opções de nanopartículas, mas as de óxido metálico estão sendo gradativamente incorporadas a produtos agrícolas, inclusive fertilizantes, ainda que apenas em fase experimental. Espera-se que os nanofertilizantes melhorem o crescimento e o desenvolvimento das culturas devido à sua maior eficiência na utilização de nutrientes e acesso direto às células através dos poros da parede celular (LV et al., 2019).

Contudo, o rendimento das plantas é limitado devido a múltiplos fatores de estresse, incluindo deficiências de micronutrientes, especialmente zinco (Zn). O zinco é primordial para a nutrição das plantas e é considerado um componente essencial de vários sistemas enzimáticos. Este micronutriente é o único metal necessário em todas as seis classes de enzimas e ajuda a regulação do crescimento, síntese de proteínas, produção de energia, ativação enzimática, expressão gênica, atividade de hormônios vegetais, fotossíntese, metabolismo de carboidratos, fertilidade, produção de sementes e defesa contra doenças (HAFEEZ; KHANIF; SALEEM, 2013; SANDEEP; VIJAYALATHA; ANITHA, 2019). O déficit de zinco pode causar estresse fisiológico nas plantas porque o zinco desempenha um papel fundamental em muitos processos metabólicos. Decréscimos significativos no crescimento e na produção de frutos sob condições de deficiência de zinco têm sido amplamente relatados. (OBRADOR et al., 2021; KARIMI et al., 2019).

Um estudo de Hanif, Sajjade e Zia (2023) sobre óxido de zinco em coentro (*Coriandrum sativum*) melhorou significativamente os parâmetros morfológicos em plantas cultivadas sob 5% e 10% de déficit e hídrico. Eles também aumentaram o comprimento da parte aérea em 11 cm e 15 cm e o comprimento da raiz em 23 cm e 17 cm em plantas onde o déficit hídrico causou 5% e 10%, respectivamente. As propriedades bioquímicas e antioxidantes das plantas demonstram os efeitos de alívio do estresse dos nanofertilizantes contendo ZnO. O conteúdo de fenólicos e flavonoides diminuiu com o aumento da concentração de nanopartículas, indicando alívio do estresse.

Sendo assim, um dos benefícios dos fertilizantes em nano escala é a minimização das taxas de adição de nutrientes, o que economiza custos de insumos e minimiza de forma

sustentável a pegada ambiental dos fertilizantes químicos. Além de trazer diversos benefícios as plantas que sofrem de diferentes estresses (SMITH, 2014).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-AZIZ, H. M. M.; HASANEEN, M. N. A.; OMER, A. M. Impact of engineered nanomaterials either alone or loaded with NPK on growth and productivity of French bean plants: Seed priming vs foliar application. **South African Journal of Botany**, v. 125, p. 102-108, 2019.

ABDELRAHEEM, Abdelraheem et al. Progress and perspective on drought and salt stress tolerance in cotton. **Industrial Crops and Products**, v. 130, p. 118-129, 2019.

ABDOLI, Soheila; GHASSEMI-GOLEZANI, Kazem; ALIZADEH-SALTEH, Saeideh. Responses of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) to exogenous salicylic acid and iron oxide nanoparticles under salt stress. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 36939-36953, 2020.

AHMADIAN, K. Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 244, p. 106544, 2021.

ALABDALLAH, Nadiyah M.; ALZHRANI, Hassan S. The potential mitigation effect of ZnO nanoparticles on [*Abelmoschus esculentus* L. Moench] metabolism under salt stress conditions. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, n. 11, p. 3132-3137, 2020.

ALABDALLAH, Nadiyah M.; HASAN, Md Mahadi. Plant-based green synthesis of silver nanoparticles and its effective role in abiotic stress tolerance in crop plants. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 10, p. 5631-5639, 2021.

ALHARBY, Hesham F.; FAHAD, Shah. Melatonin application enhances biochar efficiency for drought tolerance in maize varieties: Modifications in physio-biochemical machinery. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 4, p. 2826-2847, 2020.

ALMEIDA, Wellington L. et al. The interplay between irrigation and fruiting on branch growth and mortality, gas exchange and water relations of coffee trees. **Tree Physiology**, v. 41, n. 1, p. 35-49, 2021.

AMIRNIA, Reza; BAYAT, Mahdi; TAJBAKHSH, Mahdi. Effects of nano fertilizer application and maternal corm weight on flowering at some saffron (*Crocus sativus* L.) ecotypes. **Turkish Journal of Field Crops**, v. 19, n. 2, p. 158-168, 2014.

AN, Jing et al. Emerging investigator series: molecular mechanisms of plant salinity stress tolerance improvement by seed priming with cerium oxide nanoparticles. **Environmental Science: Nano**, v. 7, n. 8, p. 2214-2228, 2020.

ATTARAN DOWOM, Samaneh et al. Chitosan nanoparticles improve physiological and biochemical responses of *Salvia abrotanoides* (Kar.) under drought stress. **BMC Plant Biology**, v. 22, n. 1, p. 364, 2022.

BEKELE, Melese et al. Soil seed bank distribution and restoration potential in the vegetation of Buska Mountain range, Hamar district, southwestern Ethiopia. **Heliyon**, v. 8, n. 11, p. e11244, 2022.

- BRODRIBB, Timothy J.; MCADAM, Scott AM. Evolution of the stomatal regulation of plant water content. **Plant physiology**, v. 174, n. 2, p. 639-649, 2017.
- BULUT, Hüseyin; GÜRKAN, Hüdaverdi. Drought stress due to climate change and effects on plants. **February). CIA,(2019). The World Factbook-Central Intelligence Agency**, 2017.
- CAIXETA, T. J. Irrigação nas culturas de pimentão e pimenta. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 10, n. 113, p. 35-37, 1984
- CASALI, V. W. D. Origem e botânica de *capsicum*. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 10, n. 113, p. 8-10, 1984.
- CEAGESP. Disponível em:< <https://ceagesp.gov.br/>>. Acesso em: 20 maio 2023.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, Carla. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.
- CHODAK, Marcin et al. Soil chemical properties affect the reaction of forest soil bacteria to drought and rewetting stress. **Annals of microbiology**, v. 65, p. 1627-1637, 2015.
- CRESPO-HERRERA, L. A. et al. Genetic gains for grain yield in CIMMYT's semi-arid wheat yield trials grown in suboptimal environments. **Crop Science**, v. 58, n. 5, p. 1890-1898, 2018.
- DAMATTA, Fabio M. et al. Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 21, p. 5264-5274, 2018.
- DASGUPTA, Disha et al. Bioinoculant mediated regulation of signalling cascades in various stress responses in plants. **Heliyon**, p. e12953, 2023.
- DE SOUSA, Valdemício Ferreira et al. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. 2011.
- DE SOUZA, Bruna Pereira et al. Gas exchanges and chlorophyll fluorescence of young coffee plants submitted to water and nitrogen stresses. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 16, p. 2455-2465, 2020.
- DIAS, Marta Jubielle Felix et al. Produção de berinjela sob irrigação por gotejamento. 50 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação no Cerrado). Instituto Federal Goiano. Ceres – Go, 2017.
- DIAS, Paulo C. et al. Morphological and physiological responses of two coffee progenies to soil water availability. **Journal of plant physiology**, v. 164, n. 12, p. 1639-1647, 2007.
- DUBBERSTEIN, Danielly et al. Resilient and sensitive key points of the photosynthetic machinery of *Coffea* spp. to the single and superimposed exposure to severe drought and heat stresses. **Frontiers in Plant Science**, p. 1049, 2020.
- EHRlich, Paul R.; HARTE, John. To feed the world in 2050 will require a global revolution. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 48, p. 14743-14744, 2015.

- EL SABAGH, Ayman et al. Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: Adaptation and management strategies. **Frontiers in Agronomy**, v. 3, p. 661932, 2021.
- EMBERSON, Lisa. Efeitos do ozônio na agricultura, florestas e pastagens. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, v. 378, n. 2183, pág. 20190327, 2020.
- ETESAMI, Hassan; FATEMI, Hamideh; RIZWAN, Muhammad. Interactions of nanoparticles and salinity stress at physiological, biochemical and molecular levels in plants: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 225, p. 112769, 2021.
- FAHAD, Shah et al. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. **Frontiers in plant science**, p. 1147, 2017.
- FAIZAN, M. et al. Zinc oxide nanoparticle-mediated changes in photosynthetic efficiency and antioxidant system of tomato plants. **Photosynthetica**, v. 56, p. 678-686, 2018.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Uso da terra: 2021. [Base de Dados FAOSTAT]. Rome: FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 19 setembro 2023.
- FAO. Faostat – Statistics Database. Disponível em < <http://www.fao.org/statistics/en/>>. Acesso em 22 janeiro 2023.
- FAOSTAT, 2018a. FAO statistical databases. Available at < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em 22 janeiro 2023.
- FAOSTAT. Crops and livestock products. Rome: FAO, 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 13 maio 2023.
- FERRARA, A. et al. Flowering, growth and fruit setting in greenhouse bell pepper under water stress. **Journal of Agronomy**, v. 10, n. 1, p. 12-19, 2011.
- FERREIRA, Enderson Petrônio de Brito; KNUPP, Adriano Moreira; DIDONET, Claudia Cristina Garcia Martin. Crescimento de cultivares de arroz (*Oriza sativa* L.) influenciado pela inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas. 2014.
- FINKEL, Omri M. et al. Understanding and exploiting plant beneficial microbes. **Current opinion in plant biology**, v. 38, p. 155-163, 2017.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Crops. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 17 nov. 2022.
- FORNI, Cinzia; DUCA, Daiana; GLICK, Bernard R. Mecanismos de resposta de plantas ao estresse salino e hídrico e sua alteração por rizobactérias. **Planta e Solo**, v. 410, p. 335-356, 2017.
- GARCÍA-LÓPEZ, Josué I. et al. Foliar application of zinc oxide nanoparticles and zinc sulfate boosts the content of bioactive compounds in habanero peppers. **Plants**, v. 8, n. 8, p. 254, 2019.

GHOLINEZHAD, Esmaeil. Effect of drought stress and Fe nano-fertilizer on seed yield, morphological traits, essential oil percentage and yield of dill (*Anethum graveolens* L.). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 20, n. 4, p. 1006-1017, 2017.

GUO, Huiyuan et al. Nano-enabled fertilizers to control the release and use efficiency of nutrients. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 6, p. 77-83, 2018.

HAFEEZ, B. M. K. Y.; KHANIF, Y. M.; SALEEM, Muhammad. Role of zinc in plant nutrition-a review. **American journal of experimental Agriculture**, v. 3, n. 2, p. 374, 2013.

HANIF, Saad; SAJJAD, Anila; ZIA, Muhammad. Proline coated ZnO NPs as nanofertilizer against drought stress: an in vitro study to *Coriandrum sativum*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, p. 1-12, 2023.

HARTZ, Tim et al. Bell pepper production in California. 2008.

HOSSAIN, Mohammad Anwar et al. (Ed.). **Drought stress tolerance in plants, vol 2: Molecular and genetic perspectives**. Springer International Publishing, 2016.

IJAZ, Irfan et al. Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. **Green Chemistry Letters and Reviews**, v. 13, n. 3, p. 223-245, 2020.

ILYAS, Muhammad et al. Drought tolerance strategies in plants: a mechanistic approach. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 926-944, 2021.

IQBAL, Rashid et al. Partial root-zone drying (PRD), its effects and agricultural significance: a review. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 44, p. 1-15, 2020.

KANDHOL, Nidhi; JAIN, Mukesh; TRIPATHI, Durgesh Kumar. Nanoparticles as potential hallmarks of drought stress tolerance in plants. **Physiologia Plantarum**, v. 174, n. 2, p. e13665, 2022.

KARIMI, Akbar et al. Chemical fractions and availability of Zn in a calcareous soil in response to biochar amendments. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, p. 851-864, 2019.

KARIMI, Soheil et al. Developing a nano-Fe complex to supply iron and improve salinity tolerance of pistachio under calcium bicarbonate stress. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 14, p. 1835-1851, 2020.

KAUR, Kamaljit; SIDHU, Amanpreet K. Green synthesis: An eco-friendly route for the synthesis of iron oxide nanoparticles. **Frontiers in Nanotechnology**, v. 3, p. 655062, 2021.

KHAN, Saadbin; HOSSAIN, M. Khalid. Classification and properties of nanoparticles. In: **Nanoparticle-based polymer composites**. Woodhead Publishing, 2022. p. 15-54.

KHAN, Tariq et al. Plant-based gold nanoparticles; a comprehensive review of the decade-long research on synthesis, mechanistic aspects and diverse applications. **Advances in colloid and interface science**, v. 272, p. 102017, 2019.

KRAUß, Stephanie; VETTER, Walter. Stable carbon and nitrogen isotope ratios of red bell pepper samples from Germany, The Netherlands, and Spain. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 67, n. 14, p. 4054-4063, 2019.

KUMAR, Akhilesh; VERMA, Jay Prakash. Does plant—microbe interaction confer stress tolerance in plants: a review? **Microbiological research**, v. 207, p. 41-52, 2018.

LAHBIB, Karima et al. Variation of biochemical and antioxidant activity with respect to the part of *Capsicum annuum* fruit from Tunisian autochthonous cultivars. **Industrial Crops and Products**, v. 104, p. 164-170, 2017.

LINH, Tran My et al. Metal-based nanoparticles enhance drought tolerance in soybean. **Journal of Nanomaterials**, v. 2020, p. 1-13, 2020.

LIU, Yansui; ZHOU, Yang. Reflections on China's food security and land use policy under rapid urbanization. **Land Use Policy**, v. 109, p. 105699, 2021.

LOPES, J. O. Lâminas de irrigação e adubação nitrogenada no crescimento e trocas gasosas de batata doce. 2017. 38f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Catolé do Rocha, 2017.

LU, Hongfei et al. Rice Physiological Response with *Bacillus subtilis* and *Saccharomyces cerevisiae* Inoculation into Soil under Reclaimed Water–Fresh Water Combined Irrigation. **Water**, v. 13, n. 6, p. 773, 2021.

LV, Jia et al. Polymers for cytosolic protein delivery. **Biomaterials**, v. 218, p. 119358, 2019.

MADZOKERE, Tatenda Crispin; MUROMBO, L. T.; CHIRIRIWA, Haleden. Nano-based slow releasing fertilizers for enhanced agricultural productivity. **Materials Today: Proceedings**, v. 45, p. 3709-3715, 2021.

MAHMOUD, Lamiaa M. et al. Silicon nanoparticles mitigate oxidative stress of in vitro-derived banana (*Musa acuminata* ‘Grand Nain’) under simulated water deficit or salinity stress. **South African Journal of Botany**, v. 132, p. 155-163, 2020.

MANTOVANI, L.; JACYNTHO, I. J.; GROSSI, S. de F. Viabilidade econômica do cultivo de berinjela. *Revista Interface Tecnológica, Taquaritinga*, v. 16, n. 2, p. 193-202, 2019.

MARENCO, José A.; CUNHA, Ana P.; ALVES, Lincoln M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanálise**, v. 3, n. 1, p. 49-54, 2016.

MELLIDOU, Ifigênia; KARAMANOLI, Katerina. Desbloqueando a tolerância ao estresse abiótico mediada por PGPR: o que está por baixo. **Fronteiras em Sistemas Alimentares Sustentáveis**, v. 6, 2022.

MERTENS, Daan et al. Predictability of biotic stress structures plant defence evolution. **Trends in ecology & evolution**, v. 36, n. 5, p. 444-456, 2021.

MORADBEYGI, Hanieh et al. Investigating the enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense by applying iron oxide nanoparticles in *Dracocephalum moldavica* L. plant under salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v. 272, p. 109537, 2020.

MUJTABA, Muhamad et al. Biopolymer based nanofertilizers applications in abiotic stress (drought and salinity) control. In: **Advances in Nano-Fertilizers and Nano-Pesticides in Agriculture**. Woodhead Publishing, 2021. p. 85-110.

MUKHERJEE, Sourav; MISHRA, Ashok; TRENBERTH, Kevin E. Climate change and drought: a perspective on drought indices. **Current climate change reports**, v. 4, p. 145-163, 2018.

NAEGELE, Rachel P.; MITCHELL, Jenna; HAUSBECK, Mary K. Genetic diversity, population structure, and heritability of fruit traits in *Capsicum annuum*. **Plos one**, v. 11, n. 7, p. e0156969, 2016.

NASHRULLOH, Maulana Malik; DOLPHEN, Rujira; THIRAVETYAN, Paitip. Three rhizobacteria differentially change endogenous hormones and yield in four rice cultivars. **Rhizosphere**, v. 24, p. 100614, 2022.

NAZIR, Nazish; KAMILI, Azra N.; SHAH, Durdana. Mechanism of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in enhancing plant growth-A review. **Int. J. Manag. Technol. Eng**, v. 8, p. 709-721, 2018.

OBRADOR, Ana et al. Assessment of phytotoxicity and behavior of 1-year-aged Zn in soil from ZnO nanoparticles, bulk ZnO, and Zn sulfate in different soil-plant cropping systems: from biofortification to toxicity. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p. 1-15, 2021.

PINTER, Iván Funes et al. Characterization of the As (III) tolerance conferred by plant growth promoting rhizobacteria to in vitro-grown grapevine. **Applied Soil Ecology**, v. 109, p. 60-68, 2017.

RAMAKRISHNA, Wusirika et al. Brown gold of marginal soil: Plant growth promoting bacteria to overcome plant abiotic stress for agriculture, biofuels and carbon sequestration. **Science of the Total Environment**, v. 711, p. 135062, 2020.

RAMALHO, Jose C. et al. Stress cross-response of the antioxidative system promoted by superimposed drought and cold conditions in *Coffea* spp. **PLoS one**, v. 13, n. 6, p. e0198694, 2018.

RASLI, Nurul Izwanie; BASRI, Hatijah; HARUN, Zawati. Zinc oxide from aloe vera extract: two-level factorial screening of biosynthesis parameters. **Heliyon**, v. 6, n. 1, p. e03156, 2020.

RIZWAN, Muhammad et al. Effects of nanoparticles on trace element uptake and toxicity in plants: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 221, p. 112437, 2021.

SAMBANGI, Pratyusha et al. Nano-biofertilizers on soil health, chemistry, and microbial community: benefits and risks. **Proceedings of the Indian National Science Academy**, v. 88, n. 3, p. 357-368, 2022.

SANDEEP, G.; VIJAYALATHA, K. R.; ANITHA, T. Heavy metals and its impact in vegetable crops. **Int J Chem Stud**, v. 7, n. 1, p. 1612-1621, 2019.

SANDILYA, Sosanka Protim et al. Co-inoculation of native multi-trait plant growth promoting rhizobacteria promotes plant growth and suppresses *Alternaria* blight disease in castor (*Ricinus communis* L.). **Heliyon**, v. 8, n. 12, p. e11886, 2022.

SEDIYAMA, Maria AN et al. Nutrição e produtividade de plantas de pimentão colorido, adubadas com biofertilizante de suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 588-594, 2014.

SELEIMAN, Mahmoud F. et al. Nano-fertilization as an emerging fertilization technique: why can modern agriculture benefit from its use? **Plants**, v. 10, n. 1, p. 2, 2020.

SEMEDO, José N. et al. Intrinsic non-stomatal resilience to drought of the photosynthetic apparatus in *Coffea* spp. is strengthened by elevated air [CO₂]. **Tree Physiology**, v. 41, n. 5, p. 708-727, 2021.

SHAH, Ateeq et al. PGPR in agriculture: A sustainable approach to increasing climate change resilience. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, p. 667546, 2021.

SHEBL, Ahmed et al. Template-free microwave-assisted hydrothermal synthesis of manganese zinc ferrite as a nanofertilizer for squash plant (*Cucurbita pepo* L.). **Heliyon**, v. 6, n. 3, p. e03596, 2020.

SHETEIWY, Mohamed S. et al. Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* and mycorrhiza confers tolerance to drought stress and improve seed yield and quality of soybean plant. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 4, p. 2153-2169, 2021.

SILVA, Ariano Barreto da et al. Adubação fosfatada como atenuante do estresse hídrico no crescimento e produção de berinjela. 38 f. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical). Universidade Federal de Campina Grande - Pombal – Paraíba, 2017.

SINGH, Raghvendra Pratap; HANDA, Rahul; MANCHANDA, Geetanjali. Nanoparticles in sustainable agriculture: An emerging opportunity. **Journal of Controlled Release**, v. 329, p. 1234-1248, 2021.

SINGH, S. K. et al. Potential and Risk of Nanotechnology Application in Agriculture vis-à-vis Nanomicro-nutrient Fertilizers. **Soil Science: Fundamentals to Recent Advances**, p. 513-552, 2021.

SMITH, D. W. Soil survey staff: keys to soil taxonomy. **Washington: Natural Resources Conservation Service**, 2014.

SUN, Luying et al. Nano-ZnO-induced drought tolerance is associated with melatonin synthesis and metabolism in maize. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 3, p. 782, 2020.

SUN, Yuan et al. Response of plants to water stress: a meta-analysis. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 978, 2020.

TAI, Li et al. Brotação pré-colheita em cereais: mecanismos genéticos e bioquímicos. **Journal of Experimental Botany** , v. 72, n. 8, pág. 2857-2876, 2021.

TIWARI, Shalini; PRASAD, Vivek; LATA, Charu. Bacillus: Plant growth promoting bacteria for sustainable agriculture and environment. In: **New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering**. Elsevier, 2019. p. 43-55.

USMAN, Muhammad et al. Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. **Science of the Total Environment**, v. 721, p. 137778, 2020.

VIMAL, Shobhit Raj et al. Interações solo-planta-micróbio no manejo agrícola estressado: uma revisão. **Pedofera** , v. 27, n. 2, pág. 177-192, 2017.

ZULFIQAR, Faisal et al. Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. **Plant Science**, v. 289, p. 110270, 2019.

CAPÍTULO I

INFLUÊNCIA DE NANO-ÓXIDO DE ZINCO E BIOINOCULANTES NA QUALIDADE PÓS COLHEITA DA BERINJELA (*Solanum melongena* L.) SUBMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO

A berinjela (*Solanum melongena* L.) é uma hortaliça amplamente cultivada, favorecida por seu sabor único, textura e qualidades nutritivas. É uma espécie de planta com tolerância moderada ao déficit hídrico, mas sofre perdas significativas de rendimento em regiões áridas e semiáridas onde é cultivada. O objetivo deste projeto é investigar a influência de nanopartículas contendo micronutriente zinco, associado a bactérias promotoras na qualidade pós-colheita da berinjela submetidas ao estresse hídrico. O experimento foi instalado em parcelas subdivididas no espaço, onde as parcelas compreenderão dois lâminas de irrigação (50 e 100% da evapotranspiração potencial -Eto) e as subparcelas em cinco tratamentos que combinavam com nanopartículas de óxido de zinco (NPZnO) ou bioinoculantes (Bio), que continham bactérias benéficas (T1 = controle, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via solo + Bio), com quatro blocos. Foram avaliados peso comercial e não comercial dos frutos, frutos comerciais e não comerciais, diâmetro transversal e comprimento longitudinal, coloração da casca, firmeza, acidez titulável, sólidos solúveis, relação SS/AT, vitamina C e açúcares solúveis totais. O tratamento T2 (ZnSO₄ via foliar) em média aumentou no ângulo Hue, quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico sob irrigação plena. Cromaticidade, luminosidade e vitamina C, apresentou uma maior média, quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico sob irrigação plena. O peso comercial, frutos comerciais, relação SS/AT, açúcares solúveis totais, acidez titulável, luminosidade e vitamina C tiveram uma forte correlação positiva, nos tratamentos contendo sulfato de zinco, nano óxidos de zinco (NPZnO) e bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP). Os tratamentos contendo ZnSO₄, NPZnO e BPCP não atenuaram o déficit hídrico imposto a berinjela.

Palavras-chave: Seca; qualidade pós-colheita; *Solanum melongena* L.

ABSTRACT

Eggplant (*Solanum melongena* L.) is a widely cultivated vegetable, favored for its unique taste, texture and nutritional qualities. Eggplant is a plant species with moderate tolerance to water deficit, but suffers significant yield losses in arid and semi-arid regions where it is grown. The aim of this project is to investigate the influence of nanoparticles containing the micronutrient zinc, associated with bacteria that promote the post-harvest quality of eggplant subjected to water stress. The experiment was set up in spatially subdivided plots, where the plots comprised two irrigation rates (50% and 100% of potential evapotranspiration -Eto) and the subplots five treatments that combined zinc oxide nanoparticles (NZnO) or bioinoculants (Bio), which contained beneficial bacteria (T1 = control, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via soil + Bio), with four blocks. Commercial and non-commercial fruit weight, commercial and non-commercial fruit, transverse diameter and longitudinal length, skin color, firmness, titratable acidity, soluble solids, SS/AT ratio, vitamin C and total soluble sugars were evaluated. On average, treatment T2 (ZnSO₄ via foliar application) increased the Hue angle when the plants were subjected to water deficit under full irrigation. Chromaticity, luminosity and vitamin C showed a higher average when the plants were subjected to water deficit under full irrigation. Commercial weight, commercial fruit, SS/AT ratio, total soluble sugars, titratable acidity, luminosity and vitamin C had a strong positive correlation in treatments containing zinc sulphate, nano zinc oxides (NPZnO) and plant growth promoting bacteria (BPCP). The treatments containing ZnSO₄, NPZnO and BPCP did not mitigate the water deficit imposed on the eggplant.

Keywords: Drought; post-harvest quality; *Solanum melongena* L.

1. INTRODUÇÃO

A berinjela (*Solanum melongena* L.) é uma hortaliça amplamente cultivada, favorecida por seu sabor único, textura e qualidades nutritivas (GÜRBÜZ et al., 2018). É muito apreciada no Brasil por suas propriedades nutricionais e medicinais, podendo diminuir os níveis de colesterol (MONTEIRO et al., 2018). Além de ser um depósito de fito nutrientes como cálcio, magnésio, ferro, compostos polifenólicos, ácidos graxos, ácidos clorogênicos, aminoácidos, vitaminas e muito mais, que ajudam a revigorar a saúde humana (SHARMA; KAUSHIK, 2021). A produção mundial de berinjela em 2020 foi de 56.618.843 toneladas, ocupando o sexto lugar entre as hortaliças (FAOSTAT, 2022). O mercado nacional privilegia a berinjela, de formato mais alongado e coloração roxa escura. Porém, em feiras e supermercados podemos encontrar frutas de diversos tamanhos, especificações e cores. Vale ressaltar também as diferentes cores da berinjela como branca, roxa, quase preta, roxa esbranquiçada, rosa e verde (MAROUELLI; LUCINI, 2014).

A produção e o rendimento dessa cultura aumentaram nas últimas cinco décadas, mas houve uma tendência de desaceleração, com aumentos anuais menores. (FAO, 2020). A mudança climática é na maioria responsável por essa tendência, com o aumento das temperaturas e a mudança dos padrões de precipitação, levando a condições de cultivo mais difíceis e à redução da disponibilidade de água, levando à perda de safras (COOK; MANKIN; ANCHUKAITIS, 2018; DE MAAGD et al., 2020).

A seca é um dos importantes estresses abióticos que afeta negativamente o rendimento e a qualidade dos frutos comercializáveis da berinjela. A berinjela é uma espécie de planta com tolerância moderada ao déficit hídrico, mas sofre perdas significativas de rendimento em regiões áridas e semiáridas onde é cultivada (KIRAN; FURTANA; ELLIALTIOGLU, 2022). Por essas razões, bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs) e nanofertilizantes têm sido utilizadas, nas quais esses micronutrientes aliviam o déficit hídrico nas plantas, aumentam a eficiência do uso da água, mantendo a integridade celular e eliminando os radicais livres induzidos pela seca (KARIM; RAHMAN, 2015; DIMKPA et al., 2019).

As BPCPs no solo podem aumentar a produção de substâncias osmorreguladoras nas plantas e assim atuar sinergicamente, cooperando na tolerância à seca (MATOS et al., 2019). Esses organismos podem produzir auxinas, como o ácido indolacético, que aumentam o comprimento das raízes das plantas, resultando em maior absorção de água e nutrientes do solo (TURATTO et al., 2018). Saglam et al. (2022) investigou o impacto de bactérias promotoras de crescimento de plantas, e o uso potencial da cepa *Pseudomonas putida* KT2440 para induzir

tolerância à seca em plantas de tomate durante o amadurecimento dos frutos. Onde, os autores observaram que a inoculação com essa cepa resultou em aumento no número e peso dos frutos. Entre eles, o número de frutos aumentou cerca de 1,5 vezes após a inoculação dessa cepa em condições de deficiência hídrica. Ao mesmo tempo, o tratamento com bactérias resultou em aumento do peso dos frutos em relação ao controle (não inoculado). Onde, os autores concluíram que a inoculação de cepas bacterianas em plantas de tomate pode melhorar a tolerância ao déficit hídrico e, assim, aumentar diretamente o rendimento (DIAS, 2022).

É eficaz o uso de nanofertilizantes, utilizados para liberar os nutrientes gradativamente, minimizando a poluição do solo (SEGHATOLESLAMI; FORUTANI, 2015). Esses fertilizantes em nano escala são uma forma de disponibilizar nutrientes, aumentando assim a eficiência com que as plantas podem absorvê-los (VISHEKAI et al., 2019).

Ahmad e Smith (1986) avaliaram o uso das NPs ZnO em plantas quanto à sua capacidade de regular a produtividade das culturas e a eficiência do uso de nutrientes. A combinação de irrigação deficitária e aplicação de nanofertilizantes pode economizar significativamente a água e melhorar a eficiência do uso da água em berinjela (SEMIDA et al., 2021).

Estes resultados evidenciam a viabilidade da aplicação de BPCP e nanofertilizantes em diversas culturas, promovendo a redução do impacto ambiental no solo e agregação do valor dessas culturas, gerado bons resultados para a agricultura. Neste contexto, objetivou-se investigar a influência de nanopartículas contendo micronutrientes de zinco, associados ou não a bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP), na qualidade pós-colheita da berinjela submetidas ao déficit hídrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na fazenda experimental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no Campus de Pombal-PB.

A Fazenda Experimental fica em São Domingos. O município está localizado na parte oeste do Estado da Paraíba, na mesorregião do Sertão Paraibano e na microrregião de Sousa. Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é o Aw', que é quente e úmido, com chuvas no verão e no outono, com precipitações anuais de aproximadamente 800 mm e amplitudes térmicas sempre abaixo de 5 °C. A Fazenda Experimental fica a uma altura de 190 metros. As coordenadas GPS são 6.º 50' 4" Sul e 37.º 53' 9" Oeste. O bioclima predominante é o Mediterrâneo, ou nordestino, de seca média, com estação seca de 4 a 6 meses, conforme a classificação de Gaussen. A vegetação circundante é de Caatinga hiperxerófila em estágio avançado de degradação.

2.2 Definição dos experimentos e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em um delineamento de blocos casualizados (DBC) em um esquema de parcelas subdivididas no espaço com quatro repetições. As parcelas foram divididas em dois níveis de irrigação (50 e 100% de evapotranspiração potencial - ET_0) e, em seguida, subdivididas em cinco tratamentos que combinavam nanopartículas de óxido de zinco (NZnO) ou bioinoculantes (Bio), que continham bactérias benéficas.

A área experimental tinha um total de 871,2 m² e comprimento de 39,6 m e largura de 22 m (Figura 1). As plantas na mesma fileira têm distâncias de 0,80 metros entre si. A distância entre as áreas é de 1,2 metros. A Figura 2 mostra as distâncias entre os blocos e as fileiras, de 2,0 m, como também o croqui detalhado da área experimental com berinjela 'Ciça' sob irrigação plena (100% da ET_0) e déficit de irrigação (50% da ET_0). Onde os tratamentos são caracterizados da seguinte forma; T1 = controle, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via solo + Bio.

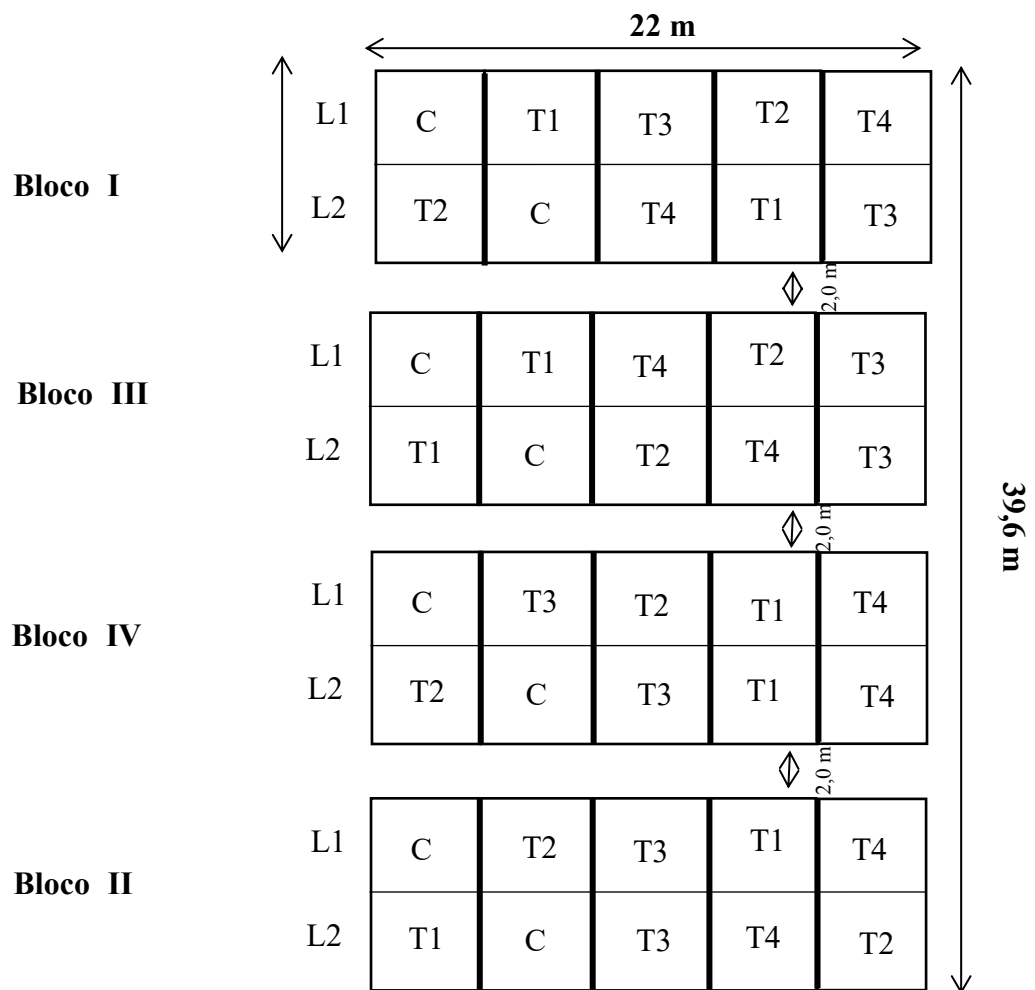


Figura 1. Croqui detalhado da área experimental com berinjela 'Ciça'. Espaçamento entre parcelas = 1,2; T1= ZnSO₄ via foliar; T2 = NPZnO foliar; T3 = NPZnO foliar + Bio; T4 = ZnSO₄ via solo + Bio, são os produtos a serem testados e C o tratamento controle. L1 e L2 são as lâminas de irrigação (L1=50% e L2=100% da ET_o).

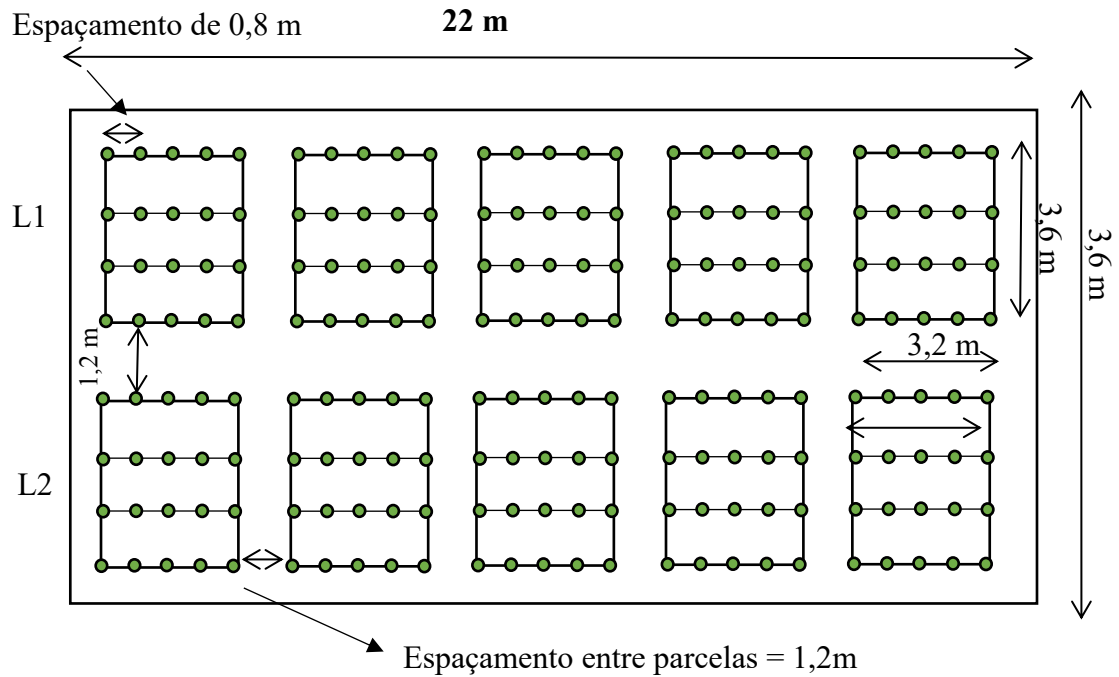


Figura 2. Esquema de uma parcela.

2.3 Preparo da área, caracterização do solo e plantio

Foi feito o preparo da área entre os dias 28 de agosto e 05 de setembro de 2022. Isso incluiu a construção de uma aração e uma gradagem com uma grade aradora. Após esta etapa, amostras de solo foram coletadas na área, em uma camada de 0–20 cm, para avaliação de suas características químicas, físicas e mineralógicas (Tabela 1). Porque o solo continha uma quantidade significativa de solo aglutinado, as leiras foram destorradas manualmente usando enxadas.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento

Atributos químicos	Valor	Atributos físicos	Valor
pH (CaCl ₂)	6,20	Areia (g kg ⁻¹)	444
P (mg kg ⁻¹)	291	Silte (g kg ⁻¹)	353
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,19	Argila (g kg ⁻¹)	203
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,54	Ds (g cm ⁻³)	1,36
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	5,80	Dp (g cm ⁻³)	2,59
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,40	Pt (m ³ m ⁻³)	0,47
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2,30	CC (%)	12,87
M.O. (g kg ⁻¹)	6,40	PMP (%)	5,29
V (%)	83,0	AD (%)	7,58
PST (%)	4,10	-	-

P, K⁺ e Na⁺: Extrator Mehlich 1; H⁺ + Al³⁺: Extrator acetato de Ca⁺² 0,5 mol/L a pH 7; Ca⁺², Mg⁺²: Extrator KCl 1mol L⁻¹

Após a realização da análise do solo, a recomendação para a adubação foi feita, fazendo as mudanças possíveis e conforme as doses de fertilizantes estabelecidas. No dia 11 e 12 de setembro de 2022, as leiras de plantio de 0,4 m de largura e 0,30 m de altura foram elevadas e as doses foram aplicadas em uma dose única e incorporadas ao solo. A adubação nitrogenada e potássica foi aplicada por meio da fertirrigação, conforme recomendações para a cultura.

No campus Pombal da Universidade Federal de Campina Grande, as mudas de berinjela (*Solanum melongena* L.), ‘Ciça’, foram cultivadas em seis bandejas plásticas expandidas com 200 células com capacidade de 18 cm³. Elas foram higienizadas com água sanitária e detergente e preenchidos com substrato "Basaplant". As mudas eram irrigadas diariamente no início da manhã e no final da tarde por meio de um regador.

No dia 06 de setembro de 2022, as berinjelas começaram a germinar, mas com o desenvolvimento, apresentando bastante desuniformidade devido à falta de nutrição. Foi necessário criar duas soluções nutritivas. A primeira solução recomendava 1,3 g/10 L de sulfato de amônio (NH₄)₂SO₄ e 1,72 g/10 L de fosfato de potássio (KH₂PO₄). A segunda solução recomendava 12 g/10 L de nitrato de cálcio - Ca (NO₃)₂, e 0,25g/L de sulfato de ferro hidratado – FeSO₄ · 7H₂O mais 10 ml de solução estoque, rica em micronutrientes boro, manganês e zinco.

O método de gotejamento foi escolhido para o sistema de irrigação, com gotejadores espaçados a 0,20 m e uma vazão nominal de 1,5 L/h.

A irrigação total necessária (ITN) foi calculada pela seguinte expressão:

$$ITN = [(Cc - Pm) \times Z \times Ds \times f] / 10, \text{ em que:}$$

ITN: Lâmina total inicial de água a ser aplicada em mm;

Cc: Capacidade de campo;

Pm: Ponto de murcha;

Z: Profundidade efetiva do sistema radicular (30 cm);

Ds: Densidade do solo, g/cm³, e;

F: Fator de disponibilidade de água (0,5).

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942), foi usado para avaliar a uniformidade da aplicação de água.

Para atingir as proporções de evaporação de referência (ETc), o volume de água fornecido em cada lâmina foi controlado diariamente todas as manhãs usando a razão da vazão dos gotejadores pelo tempo. Ao longo do intervalo de tempo para cada volume das respectivas lâminas, as fitas de gotejamento correspondentes a cada lâmina foram desligadas sequencialmente. A lâmina de transparência correspondente a 100% foi encontrada calculando o ETc de acordo com uma expressão a seguir (Jesen, 1968):

$$Etc = Kc \times Eto, \text{ em que:}$$

Etc: Evapotranspiração da cultura, mm/dia;

Eto: Evaporação de referência, mm/dia, e;

Kc: Coeficiente da cultura (adimensional).

Os valores de Kc foram usados para cada cultura de acordo com suas fases fenológicas. Os valores diários da ETo foram calculados usando o modelo FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Por estar próxima do local do experimento, a 55,9 km, uma estação meteorológica automática do município de São Gonçalo, na Paraíba, apresentou dados meteorológicos durante todo o experimento (AGRITEMPO, 2019; SISDAGRO, 2021).

As características do sistema de cultivo foram levadas em consideração para determinar o fornecimento diário das lâminas, conforme demonstrado na seguinte expressão:

$$Ti = Eto \times Kc \times A / Ea \times n \times q, \text{ em que:}$$

Ti: Tempo de irrigação, horas;

Eto: Evaporação de referência, mm/dia;

Kc: Coeficiente de cultura (adimensional);

A: Área ocupada por uma planta, m²;

n: Número de gotejadores por planta;

q: Vazão do gotejador, L/h, e;

Ea: Eficiência da aplicação (0,90).

2.4 Controle fitossanitário

O controle de plantas específicas foi realizado mecanicamente, usando enxadas. Algumas ervas orgânicas, particularmente a ‘tiririca’ (*Cyperus haspan*), emergiram na área durante o desenvolvimento da cultura; no entanto, todas elas foram removidas manualmente usando enxadas. Não houve necessidade de usar nenhum tipo de controle para controle indireto e doenças, pois a berinjela, particularmente a cv ‘Ciça’, demonstrada ser bastante resistente a pragas e doenças, não afetando assim seu desenvolvimento ou produtividade.

2.5 Transplântio das mudas

43 dias após a semeadura, as mudas de berinjela foram transplantadas. O transplante começou no final da tarde porque a temperatura estava mais amena. Todo o sistema de irrigação foi acionado para facilitar o pegamento das mesmas. As plântulas foram colocadas dentro da cabine de um carro com climatizador para evitar danos às mudanças durante o transporte. Para o transplante, foram escolhidas as mudas mais fortes devido ao seu tamanho e volume de folhas.

2.6 Componentes dos tratamentos e sua aplicação

Para fazer nanofertilizantes de zinco, foi usado o produto de nano-óxido de zinco (NPZnO) Sigma-Aldrich® pureza de 97%, granulometria menor que 100 nm e superfície específica de 10,8 m²/g.

Para o tratamento T1, foi aplicada uma concentração de 1,0 gramas de Zn via foliar = 4,54 gramas de ZnSO₄/L, ou 22,7 gramas para 5 litros de solução. Foi aplicado 600 mL por parcela de 20 plantas via foliar, em média 30 mL por planta.

Para T2 e T3, foi aplicado 0,2 g de Zn por NPZnO. Isso equivale a 0,25 g de NPZnO/L, ou 5 L x 0,25 x 2 = 2,50 g de NPZnO para 10 litros de solução (suspensão). Isso resultou em 600 mL por parcela de 20 plantas, ou cerca de 30 mL por planta em média.

Para T4, foi usada uma solução de Zn com uma concentração de 1,0 g de Zn = 4,54 g de ZnSO₄/L, ou seja, 5 litros x 4,54 = 22,7 g de solução.

Os procedimentos de bioinoculação foram realizados apenas por via foliar e solo. Os microrganismos *Bacillus subtilis* BV-09 foram usados em soluções líquidas Biobaci® com 1,0 x 10⁸ UFC/mL, enquanto o produto No-Nema® com 3,0 x 10⁹ UFC/mL foi usado para *B. amyloliquefaciens*. No tratamento quatro com nanofertilizantes de zinco, os microrganismos foram misturados com 3 litros por hectare de Biobaci e 3 litros por hectare de no-nema, todos aplicados em 50 mL por planta de uma suspensão diluída. A suspensão diluída continha 45 mL de Biobaci e 45 mL de no-nema em 8 litros de água. Após o transplante das mudas, a solução foi aplicada manualmente próximo ao caule e na área foliar.

2.7 Tratos culturais

Mesmo sendo uma planta semi-arbustiva com hastes lenhosas, a berinjela (*Solanum melongena* L.) deve ser tratada corretamente para evitar quebras ou tombamentos.

O tutoramento vertical foi escolhido, com varas de ‘marmeleiro’ de cerca de 1,60 m de comprimento e estacas de ‘sabiá’ (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) nas pontas das leiras. Com quarenta e cinco dias após o transplante, as varas foram colocadas a cada 5 m. Em seguida, fitilhos foram colocados de uma ponta da estaca para outra e amarrados horizontalmente nas varas, ajudando a sustentar o peso das plantas e, conseqüentemente, o peso dos frutos.

2.8 Colheita

No final da tarde, 105 dias após a semeadura, ocorreu a colheita. Foram usadas tesouras de podas, caixas de papelão e sacolas grandes de plástico. Os frutos das parcelas úteis foram colhidos com tesoura de poda, retirando os frutos das seis plantas centrais que estavam no ponto de colheita.

Seus requisitos de tamanho, cor e cálice foram estabelecidos para garantir que o fruto fosse colhido corretamente. Os melhores frutos de berinjela para colher são aqueles com mais de 10 cm de comprimento, com uma coloração escura roxa brilhante, cálice verde e polpa externa firme. Os frutos foram medidos e cortados com uma régua.

Os frutos colhidos foram colocados em sacolas e caixas marcadas com etiquetas que correspondiam a cada parcela. Foram colocados em caixas e sacolas e transportados no carro

para o Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita da UFCG/CCTA. Lá, foram separados, classificados e higienizados para serem processados às análises de qualidade.

2.9 Pós-colheita

Os frutos foram levados para o Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita da UFCG/CCTA no mesmo dia da colheita, onde foram separados em frutos comerciais e não comerciais (Figura 3).

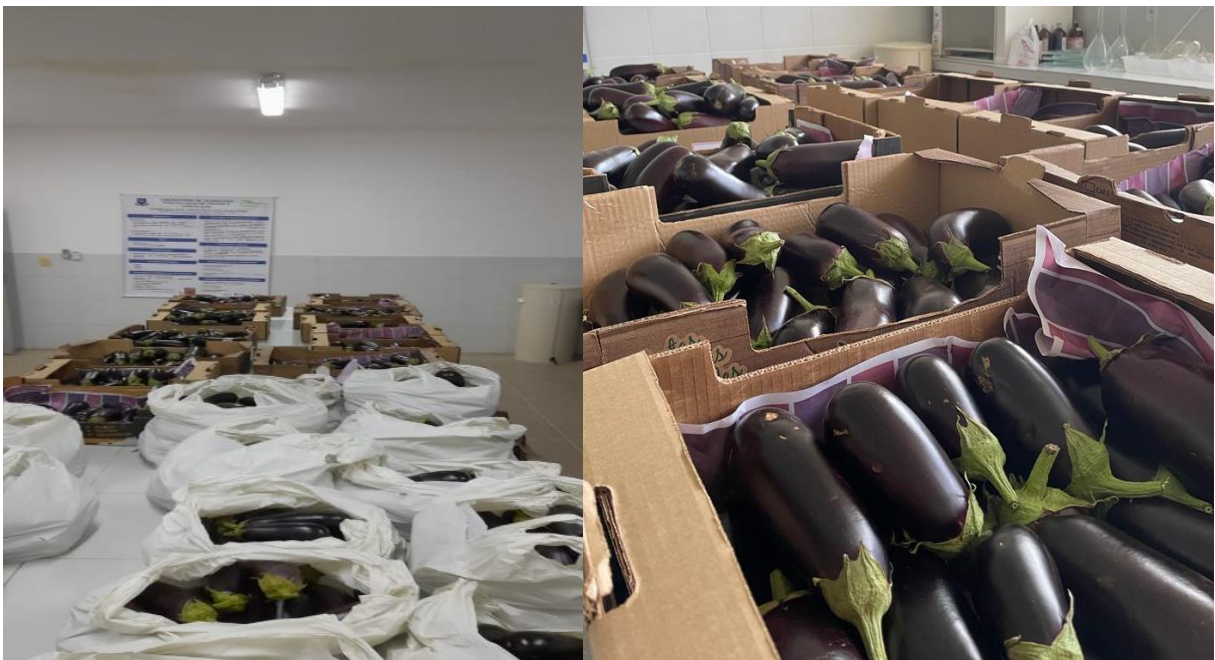


Figura 3. Frutos logo após a colheita no Lab. de Pós-Colheita, UFCG, Pombal, 2022.

3.0 Variáveis analisadas

3.1 Diâmetro transversal e comprimento longitudinal

Para que o fruto fosse considerado comercial foi avaliado o tamanho, que poderia variar de 17 a 20 cm de comprimento, se estavam bem formados, com coloração uniforme e se haviam danos mecânicos, fisiológicos, de pragas ou doenças. Para essa medição foi utilizado um Paquímetro Digital 8''200 Mm C/Cursor de Metal Caliper, onde foi determinado o diâmetro transversal e longitudinal dos frutos. Foram selecionados frutos por parcela, no qual os mesmos passaram por um processo de higienização, que consistiu em uma lavagem utilizando uma solução detergente a 1% e uma solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm de cloro ativo, onde

ficaram por 20 minutos em um balde, e após isso, enxaguados com água e secos ao ar na bancada (Figura 4).



Figura 4. Berinjelas higienizadas, Lab. de Pós-Colheita, UFCG, Pombal, 2022.

3.2 Firmeza da polpa

Essa variável foi mensurada com um penetrômetro (FRUIT HARDNESS TESTER), com profundidade de penetração de 2,0 mm, velocidade de 2,0 mm s⁻¹ e ponteira, TA 8/1000. As leituras foram realizadas registrando-se duas leituras em lados opostos na região equatorial do fruto desprovida do epicarpo. Os resultados obtidos foram expressos em Newtons (N).

3.3 Coloração da casca

Essa variável foi medida por colorímetro digital Konica Minolta CR-400, utilizando o Sistema CIELAB, que define um espaço cromático tridimensional com três eixos, em coordenadas retangulares ($L^*a^*b^*$) que indicam, respectivamente, a luminosidade (L^*), os tons de vermelho (a^* positivo) a verde ($-a^*$ negativo) e os tons amarelo (b^* positivo) a azul ($-b^*$ negativo) e define também as coordenadas cilíndricas (L^*, C^*, H°). Os valores de a^* e b^* foram convertidos em ângulo Hue (H°), que representa a intensidade da cor, e croma (C^*) a pureza da cor, conforme as equações de Pinheiro (2009). A análise foi feita da parte externa, sendo feita uma leitura por fruto para cada parcela experimental.

Para realizar as análises de vitamina C, pH, acidez titulável, sólidos solúveis e açúcares totais, os frutos foram cortados utilizando uma faca de aço inoxidável e posteriormente processados em centrífuga doméstica.

3.4 Vitamina C

Foi determinada pelo método de Tillman. Pipetou-se 3 mL de amostra, sendo a mesma transferida para erlenmeyer, onde o volume foi completado para 50 mL com 0,5% de ácido oxálico, sendo a titulação feita com solução Tillman até o ponto de viragem (AOAC, 2012). Os resultados foram expressos em mg 100 g⁻¹ de ácido ascórbico da amostra.

3.5 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Aferido por peagâmetro digital de bancada por leitura direta na polpa homogeneizada, conforme IAL (2008).

3.6 Acidez Titulável (AT)

Determinada de acordo com metodologia recomendada pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando-se 3 mL de polpa homogeneizada e diluída em 50mL de água destilada, seguida de titulação com solução padronizada de NaOH 0,1M, usando como indicador o ponto de viragem da fenolftaleína. Os resultados foram expressos em g de ácido cítrico por 100g⁻¹ da amostra.

3.7 Sólidos Solúveis (SS)

Determinou-se diretamente da polpa homogeneizada, através de leitura direta em refratômetro digital (modelo PR – 100, Palette, Atago Co., LTD., Japan), sendo os resultados expressos em °Brix (AOAC, 2012).

3.8 Relação SS/AT

Calculada a relação entre sólidos solúveis e a acidez titulável (SS/AT). Os resultados foram expressos em número puro, com uma casa decimal.

3.9 Açúcares solúveis totais (AST)

Determinados a partir de 200 µL de suco homogeneizado em 25 mL de água destilada, desta solução pegou-se 150 µL e dilui-se novamente em 80 µL de água destilada. A partir dessa diluição foram utilizados 1,0 mL para o doseamento pelo método de antrona Yemn e Willis

(1954), com análise em espectrofotômetro a 620nm e os resultados expressos em $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ da polpa.

4.0 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e à comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, utilizando o programa estatístico R (R Core Team, 2021) para realizar as análises estatísticas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da qualidade pós-colheita da berinjela

Na tabela 2 está contida os tratamentos utilizados e as médias para as variáveis pH, sólidos solúveis (°Brix), acidez titulável (g 100g⁻¹) e razão SS/AT, que não tiveram efeito significativo na qualidade pós-colheita da berinjela ‘Ciça’, utilizando nanopartículas de zinco (NPs ZnO) e bionoculantes, cultivadas sob déficit hídrico.

Tabela 2. Médias para as variáveis, pH, sólidos solúveis (° Brix), acidez titulável (g 100-1) e razão SS/AT da berinjela ‘Ciça’.

Tratamento	Lâmina de irrigação (%)			
	50	100	50	100
	pH		Sólidos solúveis (° Brix)	
C	4,858	4,996	4,750	4,808
ZnSO ₄ via foliar	4,889	4,900	4,775	4,758
NPZnO foliar	4,995	5,089	4,967	4,642
NPZnO foliar + Bio	5,069	5,156	4,800	4,692
ZnSO ₄ via solo + Bio	5,169	4,874	4,717	4,583
	Acidez titulável (g 100g ⁻¹)		Razão SS/AT	
C	0,177	0,190	26,901	25,981
ZnSO ₄ via foliar	0,186	0,194	25,793	24,693
NPZnO foliar	0,188	0,188	26,508	24,657
NPZnO foliar + Bio	0,186	0,186	25,768	25,154
ZnSO ₄ via solo + Bio	0,174	0,183	27,559	25,223

T1= controle (C); T2= ZnSO₄ via foliar; T3 = NPZnO foliar; T4 = NPZnO foliar + Bio; T5 = ZnSO₄ via solo + Bio, L1 e L2 são as lâminas de irrigação (L1=50% e L2=100% da ET_o).

O pH é um parâmetro crucial da qualidade pós-colheita porque influencia a avaliação e a qualidade do alimento, além de afetar a atividade de enzimas, deterioração microbiana, retenção do sabor de produtos de frutas, verificação do estado de maturação de frutas e escolha de embalagem. Ali et al. (2023) descobriram que o pH mais alto em tomates foi encontrado em frutas não tratadas; o pH mais baixo foi encontrado em frutas armazenadas em prateleira aberta que foram aplicadas NPsZn O. Isso se deve ao fato de que a acidez das frutas deve diminuir ao longo dos processos respiratórios e metabólicos (SHEHATA Et al., 2021).

Um parâmetro de qualidade para avaliar o amadurecimento é o conteúdo de sólidos solúveis (SS), medido em °Brix. Este parâmetro serve como uma medida indireta do teor de açúcares, pois aumenta à medida que esses teores se acumulam no fruto (CHITARRA; CHITARRA, 2005). De Castro Vilas Boas (2014) afirma que os teores de SS são usados como

um indicador de maturidade, qualidade do fruto e influência significativa no sabor. Portanto, teores mais altos são melhores para a qualidade de consumo dos frutos. Damasceno (2020) estudou a irrigação por gotejamento e por pulsos afeta o ciclo fenológico do cultivo de berinjela em dois períodos. Ele descobriu que o teor total de sólidos solúveis em cinco variedades de berinjela permaneceu idêntico, com o valor médio na polpa de 3,9 °Brix (MUY et al., 2002). Gisbert et al. (2011) descobriram que várias variedades de berinjela tinham valores de 4,02 a 4,18 °Brix. Heras et al. (2013) examinaram os frutos de berinjela de cultivares 'Morada e Lila' e descobriram que os frutos tinham valores de 4,39 °Brix e 4,83 °Brix, respectivamente.

Wakchaure et al. (2020) afirmam que o aumento do SS em *Solanum melongena* cv. pode ser atribuído à conversão de amido em açúcar ocorrida durante o estresse hídrico, o que contribui para a produção de osmólitos nas plantas que sofrem restrições hídricas. A acidez dos frutos é indicada pela presença de ácidos orgânicos nos vegetais. Devido à sua acidez baixa, as hortaliças são bastante vulneráveis à deterioração por bactérias (PASCHOALINO, 1997). Aroucha et al. (2010) afirmam que a acidez é vital para determinar a relação de doçura de um produto, bem como por suas muitas aplicações no setor de alimentos.

Oliveira et al. (2016) e Oliveira et al. (2019) descobriram valores de ácido cítrico de 0,12 g por 100 g⁻¹. Esses autores afirmam que a berinjela pertence a um grupo de hortaliças (frutas) com baixa acidez (com pH maior ou igual a 4,5), e a resposta da cultivar usada pode ter afetado essas diferenças de comportamento. Além disso, Oliveira et al. (2016) afirma que as condições ambientais de cultivo podem estar ligadas aos efeitos metabólicos da berinjela. Hernández et al. (2017) avaliaram a acidez titulável do NP Cu em tomateiros, onde os tratamentos contendo 2,0 mg e 0,2 mg de NP Cu aumentaram a acidez titulável em 23 e 19%, respectivamente. Além disso, é conhecido que o metabolismo melhorado dos ácidos orgânicos, também conhecidos como ácido cítrico, nas frutas resulta em um aumento na porcentagem de acidez titulável (VALERO; SERRANO, 2010), o que também ajuda a melhorar as proporções de sacarose e frutose (LOBIT et al., 2003). Por outro lado, alguns autores afirmam que plantas sob estresse abiótico têm acidez titulável maior.

O outro parâmetro/variável de qualidade é a razão sólidos solúveis e a acidez titulável, que mostra o equilíbrio entre os açúcares e os ácidos presentes nos frutos. É uma das maneiras mais comuns de avaliar o sabor, pois é mais preciso do que medir apenas os açúcares ou a acidez para obter uma impressão mais precisa do sabor (CHITARRA; CHITARRA, 2005). O manejo do solo e da água, bem como a concentração elevada de sais na água de irrigação podem afetar as características de qualidade do fruto de berinjela (RADICETTI et al., 2016; PAIVA et al., 2018; WAKCHAURE et al., 2020). Assim, como a berinjela é a parte comercial da planta,

a qualidade do fruto é crucial para a avaliação de diferentes métodos de manejo da água na cultura.

Um experimento conduzido por Hasani et al. (2012) examinou o impacto da pulverização foliar de $ZnSO_4$ em frutos de romã. Foi demonstrado que as pulverizações por Zn aumentaram significativamente o SS, e o efeito do $ZnSO_4$ foi mais justificado. Foi relatado que a aplicação foliar de $ZnSO_4$ (0,4%) em romã 'Ganesh' produziu o SS mais alto (BALAKRISHNAN; SAMBANDAMURTHI; VEKATESAN,1996). Embora não tenham sido significativas, as pulverizações de Zn reduziram a AT. Por outro lado, a aplicação foliar de $ZnSO_4$ (2.000 a 4.000 ppm) aumentou a acidez titulável da romã 'Manfaluty'. Esses resultados podem diferir devido ao tempo de aplicação de zinco, às reações diferentes das cultivares à aplicação de zinco ou às condições ambientais. O $ZnSO_4$ teve um impacto significativo na relação SS/AT em ambos os níveis (0,3 e 0,6%).

Na tabela 3 está contida os tratamentos utilizados e as médias para as variáveis firmeza (N), açúcares solúveis ($g\ 100g^{-1}$), frutos comerciais (und), frutos não comerciais (und), peso de frutos comerciais (kg), peso de frutos não comerciais (kg), comprimento longitudinal(mm) e diâmetro transversal (mm), que não tiveram efeito significativo na qualidade pós-colheita da berinjela 'Ciça', utilizando nanopartículas de zinco (NPs ZnO) e bionoculantes, cultivadas sob déficit hídrico.

Tabela 3. Médias para as variáveis, firmeza (N), açúcares solúveis (g 100g⁻¹), frutos comerciais (und), frutos não comerciais (und), peso de frutos comerciais (kg), peso de frutos não comerciais (kg), comprimento longitudinal(mm) e diâmetro transversal (mm) da berinjela ‘Ciça’.

Tratamento	Lâmina de irrigação (%)			
	50	100	50	100
	Firmeza (N)		Açúcares solúveis (g 100g ⁻¹)	
C	42,881	42,739	1,983	2,381
ZnSO ₄ via foliar	42,463	42,838	2,204	2,469
NPZnO foliar	42,863	43,258	2,246	2,260
NPZnO foliar + Bio	40,065	41,938	2,560	2,106
ZnSO ₄ via solo + Bio	40,946	43,927	2,287	1,692
	Frutos comerciais (und)		Frutos não comerciais(und)	
C	12,50	9,25	18,25	16,25
ZnSO ₄ via foliar	9,25	9,00	12,00	17,75
NPZnO foliar	8,50	12,25	15,00	13,75
NPZnO foliar + Bio	11,00	12,50	12,75	12,75
ZnSO ₄ via solo + Bio	14,25	10,50	15,25	15,00
	Peso de frutos comerciais (kg)		Peso de frutos não comerciais(kg)	
C	3,15	2,50	2,07	2,95
ZnSO ₄ via foliar	2,49	2,27	2,34	2,42
NPZnO foliar	2,23	3,11	2,03	2,02
NPZnO foliar + Bio	2,93	3,45	2,49	2,04
ZnSO ₄ via solo + Bio	3,51	2,70	2,34	2,90
	Comprimento longitudinal(mm)		Diâmetro transversal (mm)	
C	17,64	17,24	62,93	63,89
ZnSO ₄ via foliar	17,59	17,81	63,68	62,26
NPZnO foliar	17,86	17,61	62,64	62,79
NPZnO foliar + Bio	18,04	17,68	61,85	62,05
ZnSO ₄ via solo + Bio	17,83	17,20	61,70	64,11

T1= controle (C); T2= ZnSO₄ via foliar; T3 = NPZnO foliar; T4 = NPZnO foliar + Bio; T5 = ZnSO₄ via solo + Bio, L1 e L2 são as lâminas de irrigação (L1=50% e L2=100% da ET_o).

Em seu estudo sobre tomates, Zhu et al. (2017) descobriu que a lignificação da parede celular do pericarpo pode ter contribuído para o aumento da firmeza dos frutos causado pelas NPs (LÓPEZ-VARGAS et al., 2018). O precursor da síntese de lignina, a fenilalanina, está relacionado a este resultado com o aumento da atividade da enzima PAL. A vida útil dos frutos aumenta com sua firmeza.

Os açúcares, como sacarose, glicose e frutose, são usados como fotossintetizadores. Por outro lado, a glicólise, que regula a degradação do amido e da parede celular, produz ácidos orgânicos, como citrato e malato (BATISTA-SILVA et al., 2018). O acúmulo de sólidos

solúveis em frutas maduras depende principalmente do amido (VALLARINO et al., 2017). Assim, em um estudo realizado por Hernández et al. (2017) em tomates, os resultados mostram que as NPs Se e Cu podem aumentar a vida útil dos tomates e alterar os sólidos solúveis e o ácido cítrico, melhorando a qualidade dos frutos. Do ponto de vista comercial, isso pode ter usos interessantes na gestão da qualidade dos frutos de tomate.

Por exemplo, Hernandez et al. (2017) afirmam que NPs Cu podem ativar o sistema reprodutivo das plantas e aumentar a produção de frutos. A capacidade dos NPs de aumentar o acúmulo de fotossintatos nos órgãos de demanda de suprimentos provavelmente leva a um aumento na produção de frutos. As NPs ativam genes relacionados ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas. Por exemplo, as NPs ZnO regulam a expressão de genes relacionados à organização e à biogênese celular, enquanto as NPs TiO₂ estão principalmente envolvidas na resposta de genes da *Arabidopsis thaliana* a estresses bióticos e abióticos (LANDA et al., 2012).

Wang et al. (2012), um dos poucos estudos que estudaram o impacto das NPs metálicas na produtividade das plantas, descobriu que a aplicação de NPs CeO₂ em uma solução com uma concentração de 10 mg L⁻¹ aumentou o rendimento do tomate em 10%. Eles sugeriram que isso provavelmente ocorreu porque as plantas transferiram mais energia para o crescimento do fruto. Hong et al. (2016) demonstraram que as concentrações de NP CeO₂ e CuO de 50, 100 e 200 mg L⁻¹ aplicadas foliarmente não tiveram nenhum impacto no rendimento do pepino. Mas foi demonstrado que as NPs CeO₂ aplicadas ao substrato em altas concentrações (800 mg kg⁻¹) reduziram o desempenho do pepino em até 31,6% (ZHAO et al., 2013). Esse resultado indica que a quantidade de NPs aplicada afeta diretamente o crescimento da cultura. Em baixas concentrações, pode ter um impacto positivo ou negativo.

Como as NPs dependem mais das propriedades da superfície, Juárez-Maldonado et al. (2019) afirmam que eles têm a capacidade de interagir com as células vegetais em um nível físico-químico, independentemente do tipo de material utilizado. Como resultado, a literatura apresenta uma ampla gama de respostas, que vão desde efeitos negativos nas culturas (DA COSTA; SHARMA, 2016; SALEHI et al., 2018) até resultados positivos para o crescimento, rendimento e sistemas de defesa antioxidante (JUAREZ-MALDONADO et al., 2016; HERNÁNDEZ et al., 2018; HERNÁNDEZ-FUENTES et al., 2017; LÓPEZ-VARGAS et al., 2018).

Além disso, as NPs podem fornecer à planta elementos essenciais ou úteis, o que resulta em respostas específicas para cada elemento (JUÁREZ-MALDONADO et al., 2019). A via de aplicação das NPs também deve ser considerada, pois pode afetar diretamente as respostas das

plantas. Os NPs ZnO de 0,16% no milho aumentaram o rendimento em até 40% (CHOUDRARY et al., 2019). De forma semelhante, os NPs ZnO (25 mg L⁻¹) aumentaram o rendimento de *Phaseolus vulgaris* L.

Pela análise estatística, a cromaticidade (C*), luminosidade (L*) e vitamina C (mg 100 g⁻¹), quando se utilizou as nanopartículas e bioinoculantes em função das lâminas de irrigação, onde não houve efeito significativo nessas variáveis. A C*, L* e vitamina C forneceu maiores valores para a lâmina de irrigação 100% ETo (Figura 5).

Na figura 6, houve diferença significativa com maior média no tratamento T2 (ZnSO₄ via foliar) para lâmina de 100%. Já a maior média foi tratamento T2(ZnSO₄ via foliar), para lâmina de irrigação de 50% onde houve diferença estatística, enquanto os tratamentos T1(controle), T3(NPZnO foliar), T4 (NPZnO foliar + Bio)e T5 (ZnSO₄ via solo + Bio) não teve nenhuma diferença.

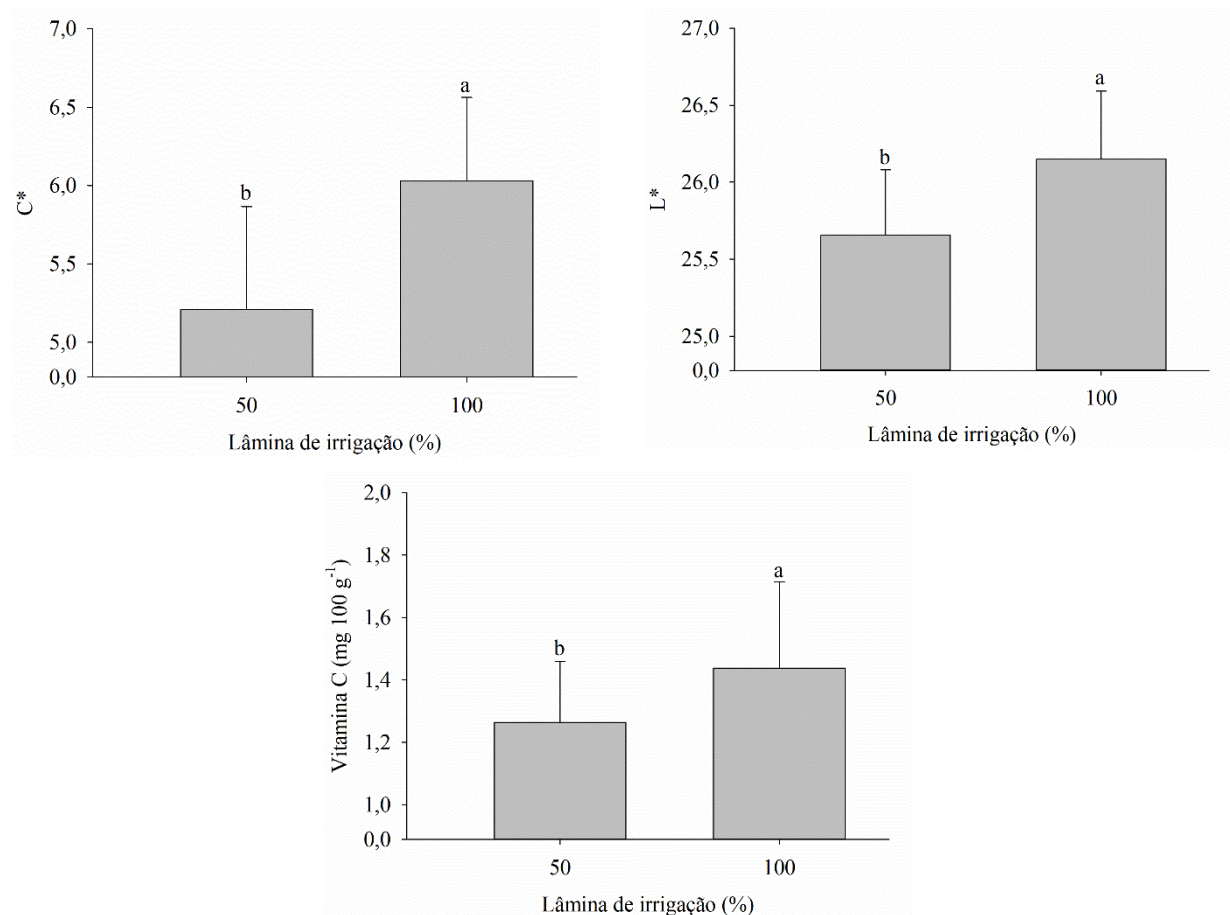


Figura 5. Cromaticidade (C*), luminosidade (L*) e vitamina C (mg 100-1 ácido ascórbico) na qualidade pós-colheita da berinjela ‘Çiça’ em função das variáveis pós-colheita com atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação. Letras minúsculas comparam as variáveis de avaliação pós-colheita ou as lâminas de irrigação pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

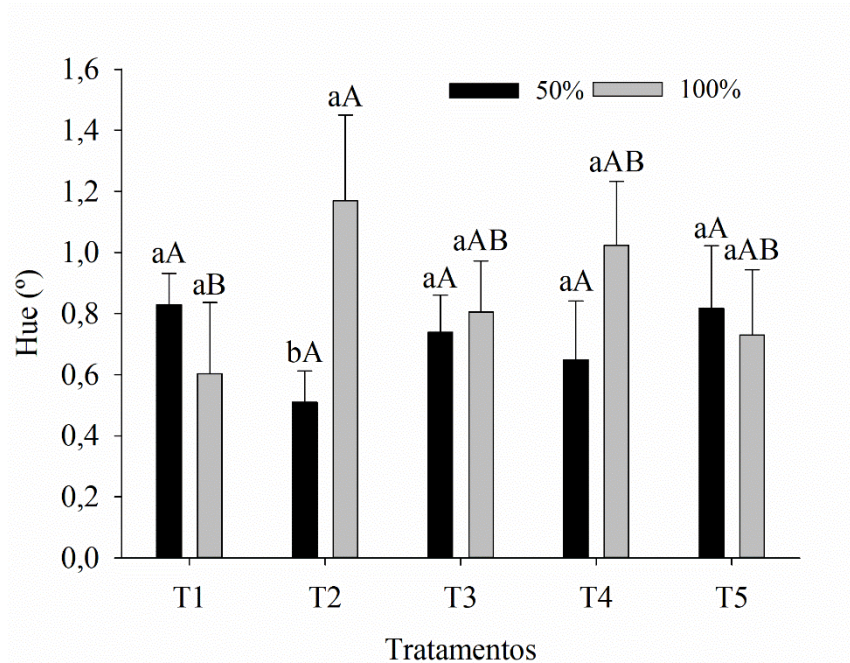


Figura 6. Angulo hue (Hue°) na qualidade pós-colheita da berinjela ‘Ciça’ em função da variável pós-colheita com atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). C = controle, T1 = ZnSO₄ via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO₄ via solo + Bio. Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

As análises pós-colheita da berinjela ‘Ciça’ sobre influência de nanopartículas de óxido de zinco (NPs ZnO) e bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) cultivados sob déficit hídrico, para as variáveis diâmetro transversal (DT), o comprimento longitudinal (CL), peso comercial (PC), peso não comercial (PNC), frutos comerciais (FC), frutos não comerciais (FNC), firmeza de polpa, luminosidade (L*), cromaticidade (C*), ângulo hue, vitamina C (Vit C), potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), açúcares solúveis totais (AST) e relação SS/AT (Figura 7). Nota-se que na figura as amostras são separadas em quatro grupos diferentes. Em que mais de 29% da variância total está contida na primeira componente principal (CP1). Com isso pode-se distinguir que as lâminas de irrigação foram quase que exclusivamente pela projeção dos pontos no eixo x.

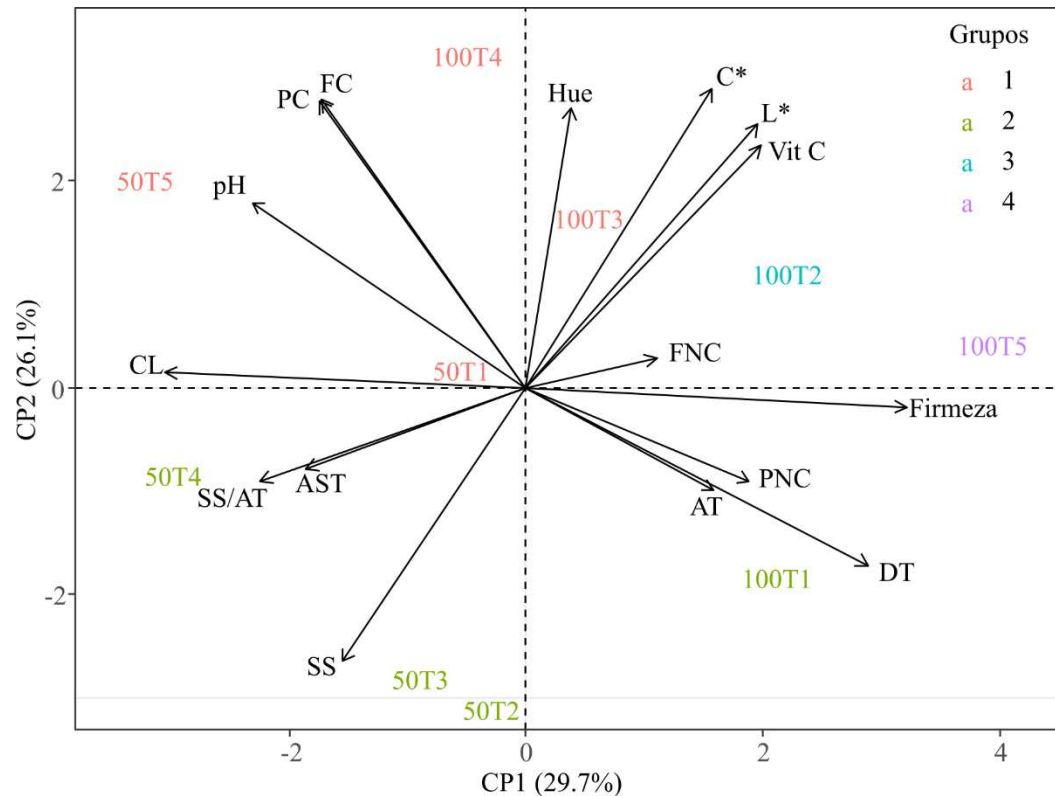


Figura 7. Variáveis pós-colheita de berinjela ‘Ciça’ em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). T1 = controle, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via solo + Bio, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O primeiro grupo é composto pelas lâminas e tratamentos que são: 50% de evapotranspiração potencial (ETo) para os tratamentos T1(controle) e T5(ZnSO₄ via solo + Bio). E a lâmina de 100% de ETo para os tratamentos T3(NPZnO foliar) e T4(NPZnO foliar + Bio). Onde o tratamento 50T5(ZnSO₄ via solo + Bio) apresentou uma maior tendência de se deslocar para a direita. Há uma forte correlação positiva entre o peso comercial (PC) e frutos comerciais (FC). O pH está negativamente correlacionado com o diâmetro transversal, como também o comprimento longitudinal está negativamente correlacionado com a firmeza.

A relação positiva entre o peso comercial (PC) e os frutos comerciais (FC) pode ser explicada por Hemida, Semida e Rady et al. (2018), que observaram a aplicação de NPs ZnO nas folhas diminuiu o peso dos frutos em 18,3% como resultado da redução da irrigação para 60% da ETo. O crescimento e a produtividade das plantas são severamente prejudicados por estresses como a seca. Isso ocorre porque as enzimas quinase dependentes de ciclina que são reguladas negativamente, o que resulta em menos células meristemáticas, divisão e expansão celulares (HAMAYUN et al., 2015; RADY et al., 2018; YANG et al., 2018; DESOKY et al., 2021).

Em um estudo, as características de produtividade das batatas cultivadas sob tratamentos de déficit hídrico melhoraram com o uso de aplicações foliares de NPs ZnO. Isso pode ser porque a aplicação de NPs ZnO pode bloquear a radiação ultravioleta, protegendo as superfícies das folhas dos raios solares perigosos (ELEMIKE et al., 2019). As NPs ZnO podem aumentar significativamente os níveis de melatonina em condições de déficit hídrico porque podem funcionar como eliminadores de radicais livres quando reagem aos efeitos estressantes. Isso reduz o comprometimento dos cloroplastos e das mitocôndrias causado pela seca (SUN et al., 2021). O Zn aumenta os níveis de triptofano nos tecidos vegetais; a biossíntese do ácido indol-3-acético e da melatonina que está intimamente ligada. Como resultado, as NPs ZnO desempenham um papel na produção de biomassa e no aumento da divisão celular (TOGNETTI et al., 2012; TAN et al., 2016). Como resultado, uma escassez de água pode resultar em diminuições significativas nas características de rendimento e produção das plantas (ALICHE et al., 2018).

Além disso, o déficit hídrico nos frutos comerciais (FC) resulta em uma redução da área foliar, o que resulta em uma diminuição das taxas de fotossintética e fotoassimilados. Como resultado, a produção de frutos comerciais é prejudicada (SILVA, 2017; SOUSA et al., 2022). A aplicação de produtos contendo bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) e NPs ZnO via foliar aumentou a produção de frutos de berinjela e a área foliar. Este fato mostra que, embora os produtos testados possam estimular as plantas, seu efeito na cultura de berinjela parece ser limitado, como reduzir o déficit de água (SILVA JUNIOR, 2023).

O segundo grupo que compõe a lâmina de irrigação de 50% para os tratamentos T2(ZnSO₄ via foliar), T3 (NPZnO foliar) e T4 (NPZnO foliar + Bio). E a lâmina de 100% para o tratamento T1(controle). Onde mostra que o tratamento 50T4(NPZnO foliar + Bio), apresentou uma maior tendência de se deslocar para a direita. Há uma forte correlação positiva entre a relação sólidos solúveis/acidez titulável(SS/AT) e açúcares solúveis totais(AST). Há também uma forte correlação positiva entre a acidez titulável (AT) e o diâmetro transversal (DT). A relação SS/AT e AST está negativamente relacionada com os frutos não comerciais (FNC). Como também os sólidos solúveis (SS) estão negativamente relacionados a cromaticidade (C*).

A qualidade dos frutos pós-colheita é uma característica muito importante para que se tenha um produto de boa qualidade. Dessa forma, o açúcar solúvel total (AST) é um parâmetro muito importante utilizado nas indústrias para que se tenha uma fruta com padrões de exigências do mercado. Badayos, Sanchez e Ybaez (2020) estudaram o impacto do uso de nano óxido de zinco como fertilizante foliar na produtividade e qualidade do tomate após a colheita. O

tratamento com NPs ZnO sintetizadas produziu o AST mais alto, seguido pelo tratamento com NPs ZnO comercial. Davarpanah et al. (2016) conduziram um estudo adicional que examinou a qualidade dos frutos de romã após a aplicação de nanorfeltilantes de zinco via foliar. Foi observado que a aplicação do nanorfertilizante de zinco aumentou significativamente a quantidade total de açúcares no suco de romã (de 1,9 a 4,6%).

A aplicação de zinco foliar em frutos de mamão, tangerina e manga aumentou o teor de AST (SING; PAUL; GHOSH, 2005; BABU; YADAV, 2005; ANEES et al., 2012). O benefício do Zn nos açúcares totais pode ser atribuído à sua função no metabolismo do amido e do ácido nucleico, bem como às funções de várias enzimas que participam das reações bioquímicas que ocorrem durante o amadurecimento (Alloway 2009). Devido ao aumento do rendimento no ano de plantio, a competição de frutas pode estar relacionada a uma redução significativa dos AST (MUNIR et al., 2015).

A relação SS/AT é uma das maneiras mais comuns de medir o sabor porque é mais eficaz do que medir apenas os açúcares ou a acidez. Quando a relação é alta, as frutas têm um melhor equilíbrio entre os teores de açúcares e ácido, o que resulta em um sabor mais agradável (CHITARRA, 2005). A aplicação foliar de $ZnSO_4$ em romãzeiras resultou em um aumento do SS e uma diminuição da AT. Os resultados estão em linha com esses resultados (HASANI et al., 2012). Mas foi observado que a aplicação foliar de Zn aumenta a AT dos frutos da romã (EL-KHAWAGA, 2007). Além disso, na laranja doce, a aplicação de Zn sozinho ou em conjunto com N não altera a relação SS/AT (SAHOTA; ARORA, 1981). Anteriormente, a influência do zinco na síntese e translocação de carboidratos foi atribuída ao aumento dos açúcares solúveis totais em frutos de maçã com fertilização com zinco (YOGERATNAM, GREENHAM, 1982). Segundo Santos (2018), os frutos de berinjela são teoricamente mais saborosos quando os valores da relação SS/AT são maiores. Paiva et al. (2018) descobriu que valores altos da relação eram associados a um sabor suave, enquanto valores baixos eram associados a um sabor ácido.

A quantidade de ácidos orgânicos em uma fruta está diretamente ligada à acidez titulável (AT). No final do armazenamento, a acidez diminui e pode ser o resultado das alterações metabólicas nas frutas causadas pelo uso de ácidos orgânicos no processo respiratório (ECHEVERRIA; VALICH, 1989). Elsheery et al. (2020) realizaram um estudo usando óxido de zinco em mangueiras submetidas a estresse salino. Eles descobriram que, em comparação com o controle e todos os outros tratamentos, os tratamentos apresentaram percentuais de acidez mais baixos. A alta concentração de nanopartículas de óxido de zinco, bem como a salinidade, reduzem a disponibilidade de água para o crescimento de plantas e frutos.

Farooq et al. (2023) conduziu um estudo que examinou o impacto de várias nanopartículas, incluindo a de zinco, em tomates, avaliando atributos de crescimento e rendimento. Eles descobriram que o grupo controle apresentou a maior quantidade de acidez. Além disso, Garcia et al. descobriram que as plantas tratadas com nanopartículas superaram as plantas controle quando tratadas com NPs ZnO. O tratamento com zinco aumenta a AT porque aumenta a taxa de fotossíntese, o que aumenta o metabolismo da planta. Isso melhora o AT das frutas (KAZEMI, 2014). O zinco em tamanho possui maior área superficial e atua na acidez dos frutos de tomate mais rapidamente (FARROQ et al., 2023).

A produção de berinjela é influenciada pela qualidade da água usada e pela quantidade de estresse hídrico. As mudanças morfofisiológicas causadas pelo estresse hídrico levam à diminuição da biomassa da planta e do rendimento de frutos (SILVA et al., 2009). Portanto, uma reação é proporcional ao tamanho dos frutos ao adicionar mais água para irrigar.

Em seu estudo utilizando nano óxido de zinco e bionoculantes em berinjelas sob déficit hídrico, Silva Junior (2023) observou que os tratamentos com nano óxido de zinco (NPZnO) e bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) diminuíram significativamente o diâmetro da berinjela. Já Semida et al. (2021) divergiu desse resultado ao observar que as plantas tratadas com NPs ZnO com 50 ou 100 ppm de ZnO apresentaram maior comprimento porque a irrigação foi reduzida para 60% da ETo. Após a seca, as NPs ZnO melhoram o estado da água da berinjela, o crescimento e a biomassa. Isso aumentou o comprimento do fruto e a produção de frutos. Em contraste, Singh, Thakur e Meena (2018) descobriram que os frutos de laranjas doces cv. Mosambi apresentaram propriedades físicas mais elevadas, como peso, volume, comprimento e largura, após a pulverização foliar com ZnSO₄ a 0,5% e 0,7%. Por outro lado, Saadati et al. (2016) descobriram que os tratamentos não alteraram significativamente o comprimento ou o diâmetro dos frutos; no entanto, a pulverização com sulfato de zinco a 2,5 g/L aumentou o comprimento dos frutos.

Adrees et al. (2021) estudou o trigo usando a aplicação foliar com NPs ZnO. Foi encontrado que a NPs ZnO aumentou o comprimento das espigas. Um dos micronutrientes mais importantes para as plantas é o zinco (Zn) (SWIETLIK et al., 1998), que desempenha funções cruciais na fixação e retenção dos frutos, bem como na produção e qualidade dos frutos (MARSCHNER et al., 2011). A deficiência de zinco reduz o crescimento das plantas e o rendimento total (OJEDA-BARRIOS et al., 2014). Além disso, participa da divisão celular, preservação da estrutura da membrana e fotossíntese, bem como funciona como um cofator que controla a síntese de proteínas e triptofano (ELSHEERY et al., 2020). A auxina, um hormônio

de crescimento essencial, é produzido pelo triptofano (GANGULY et al., 2022), essencial para aumentar o tamanho e a produção total dos frutos (AGUSTI et al., 1999).

O terceiro grupo que compõe apenas a lâmina de 100% para o tratamento T2(NPZnO via foliar). Há uma forte correlação positiva entre a luminosidade a vitamina C. Por fim, a luminosidade e a vitamina C está negativamente relacionada com os sólidos solúveis.

O ácido ascórbico ajuda na regeneração da vitamina C, protege as células do dano oxidativo e serve como cofator para enzimas que produzem flavonóides e fitohormônios (AL-WADAANI; BAFEEL; EL-ZOHRI, 2021). Em seu estudo sobre o uso de NPs ZnO em tomateiros, Faizan, Faraz e Hayat (2020) examinaram seu crescimento, qualidade, fotossíntese e sistema antioxidante. Eles descobriram que a aplicação de concentrações mais baixas de Nps ZnO (10 e 50 ppm) melhorou significativamente o ácido ascórbico. Na planta tratada com 200 ppm de NPs ZnO, foi encontrado o teor mais alto de ácido ascórbico. Mas o conteúdo de ácido ascórbico dos frutos tratados com NPs ZnO diminuiu muito. Acredita-se que as NPs ZnO diminuíram o nível de ácido ascórbico devido ao efeito inibitório dos íons metálicos na atividade enzimática do metabolismo do ácido ascórbico, bem como à sua utilização para o crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como à neutralização das ROS. Os resultados de Ivanytsky, Tayuupova e Zelenchukova (2015) também foram apoiados.

Seleiman et al. (2023) estudaram as aplicações de Nps ZnO para diminuir os efeitos do déficit hídrico em batatas. Eles descobriram que as plantas foram tratadas com 100 mg L⁻¹ de NPs ZnO e 50 mg L⁻¹ de NPs ZnO, respectivamente, quando cultivadas sob 50% de ETo e 75% de ETo. As batatas fertilizadas com nanofertilizantes aumentaram significativamente o ácido ascórbico em comparação com as batatas não tratadas com NPs, de acordo com estudos anteriores (AL-JUTHERY et al., 2019; ELSHAYB et al., 2022). Por outro lado, a utilização de NPs ZnO tem o potencial de aumentar a quantidade de ácido ascórbico e a qualidade dos frutos dos tomates cultivados sob estresse abiótico (PINEDO-GUERREBO et al., 2020).

Segundo o sistema de cores CIELAB, o L* representa a luminosidade (0 preto, 100 branco). O uso de NPs ZnO e bioinoculantes para parâmetros de cor e luminosidade ainda não resultou em muitos estudos. Por outro lado, em um estudo realizado por Garcia-López et al. (2019) examinaram as aplicações foliares de ZnSO₄ e NPs ZnO em pimenta Habanero. Na pesquisa, foram determinadas as características cromáticas dos frutos e foram encontradas diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos para as variáveis L*, b* e C*. Embora os tratamentos a* e h fossem estatisticamente iguais, os valores mostraram uma tendência a aumentar quando os NPs ZnO e ZnSO₄ foram aplicados, mas as variações não foram significativas. Valores máximos de L* (53,46) foram encontrados em frutos de plantas tratadas

com NPs ZnO na dose de 2.000 mg L⁻¹. Isso indica que, em comparação com os valores obtidos nos tratamentos de controle e ZnSO₄, os frutos eram mais luminosos. As leituras de a* e b* mostraram a mesma tendência, com valores de 33,45 (a*) e 43,59 (b*), respectivamente. Isso mostra que a aplicação de NPs ZnO em altas concentrações (2.000 mg L⁻¹) aumentou a tendência do fruto a ficar vermelho e amarelo.

Com um valor de 53,43, a saturação de cor (C*) apresentou padrão semelhante ao de L*. Isso indica que as NPs ZnO aumentaram a intensidade da cor laranja do fruto a 2.000 mg L⁻¹. O precursor fenilalanina inicia a biossíntese de antocianinas nas cascas das frutas por meio da via dos flavonoides (BISWAS; MATHUR, 2017). A aplicação foliar de NPs ZnO em concentrações baixas aumenta a quantidade de antocianinas presentes na casca. Song et al. (2015) mencionou que os tratamentos com Zn aumentaram o acúmulo de antocianinas na casca da baga, e Hashemi et al. (2019) explicaram como as nanopartículas de ZnO aumentaram a produção de antocianinas na soja. Além disso, Wadhwa et al. (2014) mencionaram que o Zn apoiou a atividade enzimática (PAL) e Medda et al. (2020) afirmaram que o Zn regula as enzimas para a biossíntese de flavonóides durante o amadurecimento dos frutos.

Existem poucos relatos de avaliação da cor de frutos de plantas tratadas com NPs metálicas. A cor da berinjela, por outro lado, é principalmente determinada pela composição e concentração das antocianinas. Diversos elementos, incluindo o mecanismo de defesa contra uma variedade de estresse biótico e abiótico, influenciam a biossíntese desses compostos e seu acúmulo nas frutas (ALONI ET AL., 2008; PARK et al., 2012). Da mesma forma como o terceiro grupo, o quarto grupo compõe apenas a lâmina de 100% para o tratamento T2(ZnSO₄ via foliar). E não apresenta correlação positiva entre os parâmetros e nem correlação negativa.

4 CONCLUSÕES

- 1- O tratamento T2 (ZnSO_4 via foliar) em média aumentou no ângulo Hue, quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico sob irrigação plena.
- 2- Cromaticidade, luminosidade e vitamina C, apresentou uma maior média, quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico sob irrigação plena.
- 3- O peso comercial, frutos comerciais, relação SS/AT, açúcares solúveis totais, acidez titulável, luminosidade e vitamina C tiveram uma forte correlação positiva, nos tratamentos contendo sulfato de zinco, nano óxidos de zinco (NPZnO) e bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP).
- 4- Os tratamentos contendo ZnSO_4 , NPZnO e BPCP não atenuaram o déficit hídrico imposto a berinjela.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADREES, Muhammad et al. Foliar exposure of zinc oxide nanoparticles improved the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) and decreased cadmium concentration in grains under simultaneous Cd and water deficient stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 208, p. 111627, 2021.

AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico: Estações meteorológicas para o estado de PB. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estacao/index.jsp?siglaUF=PB>. Acesso em 15 agosto 2022.

AGUSTI, M. et al. Synthetic auxin 3, 5, 6-TPA promotes fruit development and climacteric in *Prunus persica* L. Batsch. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 74, n. 5, p. 556-560, 1999.

ALICHE, Ernest B. et al. Drought response in field grown potatoes and the interactions between canopy growth and yield. **Agricultural Water Management**, v. 206, p. 20-30, 2018.

AL-JUTHERY, H. W. A. et al. Influence of foliar application of some nano-fertilizers in growth and yield of potato under drip irrigation. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2019. p. 092024.

ALLEN, R.G. et al. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ALLI, Yakubu Adekunle et al. Hydrogen-assisted facile synthesis of N, N, N-trimethyl chitosan stabilized zinc oxide nanoparticles and its influence on the quality of *Solanum lycopersicum* L. **Food Hydrocolloids for Health**, v. 3, p. 100124, 2023.

ALLOWAY, Brian J. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. **Environmental geochemistry and health**, v. 31, n. 5, p. 537-548, 2009.

ALONI, B. et al. Changes in ascorbic acid concentration, ascorbate oxidase activity, and apoplastic pH in relation to fruit development in pepper (*Capsicum annuum* L.) and the occurrence of blossom-end rot. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 83, n. 1, p. 100-105, 2008.

ANEES, Moazzam. Effect of foliar application of micronutrients on the quality of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Dusehri fruit. **Mycopath**, v. 9, n. 1, 2012.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 19 ed. Gaithersburg, Maryland, 2012.

AROUCHA, Edna Maria Mendes et al. Acidez em frutas e hortaliças. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 2, p. 32, 2010.

BABU, K. Dhinesh; YADAV, D. S. Foliar spray of micronutrients for yield and quality improvement in Khasi mandarin (*Citrus reticulata* Blanco.). **Indian Journal of Horticulture**, v. 62, n. 3, p. 280-281, 2005.

BATISTA-SILVA, Willian et al. Modifications in organic acid profiles during fruit development and ripening: correlation or causation?. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1689, 2018.

BISWAS, Tanya; MATHUR, Archana. Plant Anthocyanins: Biosynthesis, Bioactivity and in vitro Production from tissue cultures. **Adv. Biotech. Micro**, v. 5, p. 555672, 2017.

CHITARRA, Maria Isabel Fernandes et al. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005.

CHOUDHARY, Ram Chandra et al. Zinc encapsulated chitosan nanoparticle to promote maize crop yield. **International journal of biological macromolecules**, v. 127, p. 126-135, 2019.

CHRISTIANSEN, Jerald Emmett et al. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942.

COOK, Benjamin I.; MANKIN, Justin S.; ANCHUKAITIS, Kevin J. Climate change and drought: From past to future. **Current Climate Change Reports**, v. 4, p. 164-179, 2018.

DA COSTA, M. V. J.; SHARMA, P. K. Effect of copper oxide nanoparticles on growth, morphology, photosynthesis, and antioxidant response in *Oryza sativa*. **Photosynthetica**, v. 54, p. 110-119, 2016.

DAMASCENO, L. F. **ESTRATÉGIAS DE MANEJO COM ÁGUAS SALOBRAS NO CULTIVO DE BERINJELA**. https://www.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/Lucas_Farias_Damasceno.pdf: UFRB, 2020.

DAVARPANAHA, Sohrab et al. Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. **Scientia horticulturae**, v. 210, p. 57-64, 2016.

DE CASTRO VILAS BOAS, A. A. **Qualidade pós-colheita de frutos de tomateiro em função de fontes de cálcio**. <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/4871>: UFL, 2014.

DE MAAGD, Nathan et al. **How Will Climate Change Affect Water Demand?: Evidence from Hawaii Microclimates**. University of Hawai'i at Mānoa, Department of Economics, 2020.

DESOKY, El-Sayed M. et al. Physiological and biochemical mechanisms of exogenously applied selenium for alleviating destructive impacts induced by salinity stress in bread wheat. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 926, 2021.

DIAS, Anderson dos Santos. Bactérias promotoras de crescimento de plantas: conceitos e potencial de uso / Anderson dos Santos Dias, Cleberton Correia Santos. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2022.

DIMKPA, Christian O. et al. Zinc oxide nanoparticles alleviate drought-induced alterations in sorghum performance, nutrient acquisition, and grain fortification. **Science of the Total Environment**, v. 688, p. 926-934, 2019.

ECHEVERRÍA, E. D.; VALICH, John. Enzymes of sugar and acid metabolism in stored 'Valencia' oranges. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 114, n. 3, p. 445-449, 1989.

ELEMIKE, Elias E. et al. The role of nanotechnology in the fortification of plant nutrients and improvement of crop production. **Applied Sciences**, v. 9, n. 3, p. 499, 2019.

EL-KHAWAGA, A. S. Reduction in fruit cracking in manfaluty pomegranate following a foliar application with paclobutrazol and zinc sulphate. **J. Appl. Sci. Res**, v. 3, n. 9, p. 837-840, 2007.

ELSHAYB, Omnia M. et al. Utilizing urea–chitosan nanohybrid for minimizing synthetic urea application and maximizing *Oryza sativa* L. productivity and n uptake. **Agriculture**, v. 12, n. 7, p. 944, 2022.

ELSHEERY, Nabil I. et al. Zinc oxide and silicone nanoparticles to improve the resistance mechanism and annual productivity of salt-stressed mango trees. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 558, 2020.

EL-ZOHRI, Manal; AL-WADAANI, Naseem A.; BAFEEL, Sameera O. Foliar sprayed green zinc oxide nanoparticles mitigate drought-induced oxidative stress in tomato. **Plants**, v. 10, n. 11, p. 2400, 2021.

FAIZAN, Mohammad; FARAZ, Ahmad; HAYAT, Shamsul. Effective use of zinc oxide nanoparticles through root dipping on the performance of growth, quality, photosynthesis and antioxidant system in tomato. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 29, p. 553-567, 2020.

FAO. (2020.). Food and agriculture data. Disponível: <<https://www.fao.org/faostat/en/#home>> Acesso em 03 abril 2023.

FAOSTAT(2022). Forestry database. Forestry Production and Trade. Disponível: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> Acesso em 03 abril 2023.

FAROOQ, Ayesha et al. Effect of calcium oxide, zinc oxide nanoparticles and their combined treatments on growth and yield attributes of *Solanum lycopersicum* L. **Journal of King Saud University-Science**, v. 35, n. 5, p. 102647, 2023.

GANGULY, Retwika et al. Desvendando as aplicações eficientes de zinco e selênio para mitigação de estresses abióticos em plantas. **Agricultura**, v. 12, n. 10, pág. 1551, 2022.

GARCÍA-LÓPEZ, Josué I. et al. Foliar application of zinc oxide nanoparticles and zinc sulfate boosts the content of bioactive compounds in habanero peppers. **Plants**, v. 8, n. 8, p. 254, 2019.

GISBERT, Carmina et al. Eggplant relatives as sources of variation for developing new rootstocks: Effects of grafting on eggplant yield and fruit apparent quality and composition. **Scientia Horticulturae**, v. 128, n. 1, p. 14-22, 2011.

GÜRBÜZ, Nergiz et al. Health benefits and bioactive compounds of eggplant. **Food chemistry**, v. 268, p. 602-610, 2018.

HAMAYUN, Muhammad et al. Kinetin modulates physio-hormonal attributes and isoflavone contents of soybean grown under salinity stress. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 377, 2015.

HASANI, M. et al. Effects of zinc and manganese as foliar spray on pomegranate yield, fruit quality and leaf minerals. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 12, n. 3, p. 471-480, 2012.

HASHEMI, Shahla et al. Investigation of ZnO nanoparticles on proline, anthocyanin contents and photosynthetic pigments and lipid peroxidation in the soybean. **IET nanobiotechnology**, v. 13, n. 1, p. 66-70, 2019.

HERAS, Irina; ALVIS, Armando; ARRAZOLA, Guillermo. Optimización del proceso de extracción de antocianinas y evaluación de la capacidad antioxidante de berenjena (*Solana melonera* L.). **Información tecnológica**, v. 24, n. 5, p. 93-102, 2013.

HERNÁNDEZ, Hipólito Hernández et al. Cu Nanoparticles in chitosan-PVA hydrogels as promoters of growth, productivity and fruit quality in tomato. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 29, n. 8, p. 573-580, 2017.

HERNÁNDEZ-FUENTES, Alma Delia et al. Postharvest behavior of bioactive compounds in tomato fruits treated with Cu nanoparticles and NaCl stress. **Applied Sciences**, v. 7, n. 10, p. 980, 2017.

HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, Hipólito et al. Effects of chitosan-PVA and Cu nanoparticles on the growth and antioxidant capacity of tomato under saline stress. **Molecules**, v. 23, n. 1, p. 178, 2018.

HONG, Jie et al. Foliar applied nanoscale and microscale CeO₂ and CuO alter cucumber (*Cucumis sativus*) fruit quality. **Science of the Total Environment**, v. 563, p. 904-911, 2016.
IAL – Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

JESSEN, M.E. Water consumption by agriculture plants. In: KOZLOWSKI, T.T. et al. Vol.1. Water deficit rowth. New York, Academic Press, 1968. p.119.

JUAREZ-MALDONADO, Antonio et al. Cu Nanoparticles absorbed on chitosan hydrogels positively alter morphological, production, and quality characteristics of tomato. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 89, 2016.

JUÁREZ-MALDONADO, Antonio et al. Nanoparticles and nanomaterials as plant biostimulants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 1, p. 162, 2019.

KARIM, Md Rezaul; RAHMAN, Mohammed Aatur. Drought risk management for increased cereal production in Asian least developed countries. **Weather and Climate Extremes**, v. 7, p. 24-35, 2015.

KAZEMI, M. et al. Influence of foliar application of iron, calcium and zinc sulfate on vegetative growth and reproductive characteristics of strawberry cv. 'Pajaro'. **Trakia Journal of Sciences**, v. 12, n. 1, p. 21-26, 2014.

KIRAN, Sevinç; FURTANA, Gökçen Baysal; ELLIALTIOGLU, Ş. Şebnem. Physiological and biochemical assay of drought stress responses in eggplant (*Solanum melongena* L.) inoculated with commercial inoculant of *Azotobacter chroococum* and *Azotobacter vinelandii*. **Scientia Horticulturae**, v. 305, p. 111394, 2022.

LANDA, Premysl et al. Nanoparticle-specific changes in Arabidopsis thaliana gene expression after exposure to ZnO, TiO₂, and fullerene soot. **Journal of hazardous materials**, v. 241, p. 55-62, 2012.

LOBIT, Philippe et al. Modelling citrate metabolism in fruits: responses to growth and temperature. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 392, p. 2489-2501, 2003.

LÓPEZ-VARGAS, Elsy Rubisela et al. Foliar application of copper nanoparticles increases the fruit quality and the content of bioactive compounds in tomatoes. **Applied Sciences**, v. 8, n. 7, p. 1020, 2018.

MARQUELLI, Waldir Aparecido; LUCINI, Marco Antônio. Manejo de irrigação na cultura do alho. 2014.

MARSCHNER, Horst (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Academic press, 2011.

MATOS, C. da C. et al. Competitive capacity and rhizosphere mineralization of organic matter during weed-soil microbiota interactions. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.

MEDDA, Silvia; DESSENA, Leonarda; MULAS, Maurizio. Monitoring of the PAL enzymatic activity and polyphenolic compounds in leaves and fruits of two myrtle cultivars during maturation. **Agriculture**, v. 10, n. 9, p. 389, 2020.

MONTEIRO, Thainã Resende et al. Polinização por abelhas e a qualidade dos frutos em cultivos de berinjela (*Solanum melongena*, Solanaceae). 2018.

MUNIR, T. M. et al. Carbon dioxide flux and net primary production of a boreal tree bog: Responses to warming and water-table-lowering simulations of climate change. **Biogeosciences**, v. 12, n. 4, p. 1091-1111, 2015.

MUY-RANGEL, D. et al. Caracterización pos cosecha de berenjenas producidas em Sinaloa, México. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, v. 8, n. 2, p. 171-181, 2002.

OJEDA-BARRIOS, Dámaris L. et al. Foliar fertilization with zinc in pecan trees. **HortScience**, v. 49, n. 5, p. 562-566, 2014.

OLIVEIRA, Luciene A. de et al. Phosphate and potassium fertilization on agronomic and physico-chemical characteristics and bioactive compounds of eggplant. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 291-296, 2019.

OLIVEIRA, MIV de et al. Avaliação da qualidade pós-colheita de hortaliças tipo fruto, comercializadas em feira livre no município de Solânea-PB, Brejo Paraibano. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 37, n. 1, p. 13-18, 2016.

PAIVA, Francisco Italo Gomes et al. Qualidade de tomate em função da salinidade da água de irrigação e relações K/Ca via fertirrigação. **Irriga**, v. 23, n. 1, p. 180-193, 2018.

PAIVA, Francisco Italo Gomes et al. Qualidade de tomate em função da salinidade da água de irrigação e relações K/Ca via fertirrigação. **Irriga**, v. 23, n. 1, p. 180-193, 2018.

PARK, Semin et al. Determination of polyphenol levels variation in *Capsicum annuum* L. cv. Chelsea (yellow bell pepper) infected by anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) using liquid chromatography–tandem mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 130, n. 4, p. 981-985, 2012.

PASCHOALINO, J. E. Hortaliças acidificadas em conserva: riscos e cuidados. **Informativo Fruthotec**, v. 3, n. 2, 1997.

PINEDO-GUERRERO, Zeus H. et al. Form of silica improves yield, fruit quality and antioxidant defense system of tomato plants under salt stress. **Agriculture**, v. 10, n. 9, p. 367, 2020.

PINHEIRO, J.M. S. Tecnologia pós-colheita para a conservação de bananas da cultivar tropical. 2009. 59f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Montes Claros, 2009.

PONCE-GARCÍA, Cástor Omar et al. Efficiency of nanoparticle, sulfate, and zinc-chelate use on biomass, yield, and nitrogen assimilation in green beans. **Agronomy**, v. 9, n. 3, p. 128, 2019.

R Core Team. (2021). R: *A language and environment for statistical computing*. Viena, Austria.
RADICETTI, Emanuele et al. Yield and quality of eggplant (*Solanum melongena* L.) as affected by cover crop species and residue management. **Scientia Horticulturae**, v. 204, p. 161-171, 2016.

RADY, Mohamed OA et al. Up-regulation 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.

SAADATI, S. et al. Foliar applications of zinc and boron on fruit set and some fruit quality of olive. **Crop Research**, 2016.

SAGLAM, Aykut et al. *Pseudomonas putida* KT2440 induces drought tolerance during fruit ripening in tomato. **Bioagro**, v. 34, n. 2, p. 139-150, 2022.

SAHOTA, G. S.; ARORA, J. S. Effect of N and Zn on ‘Hamlin’ sweet orange (*Citrus sinensis* Osbeck). **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 50, n. 3, p. 281-286, 1981.

- SALEHI, Hajar et al. Morphological, proteomic and metabolomic insight into the effect of cerium dioxide nanoparticles to *Phaseolus vulgaris* L. under soil or foliar application. **Science of the Total Environment**, v. 616, p. 1540-1551, 2018.
- SEGHATOLESLAMI, Mohammadjavad; FORUTANI, Reza. Yield and water use efficiency of sunflower as affected by nano ZnO and water stress. **J. Adv. Agric. Technol**, v. 2, 2015.
- SELEIMAN, Mahmoud F. et al. Foliar applications of ZnO and SiO₂ nanoparticles mitigate water deficit and enhance potato yield and quality traits. **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 466, 2023.
- SEMIDA, Wael M. et al. Foliar application of zinc oxide nanoparticles promotes drought stress tolerance in eggplant (*Solanum melongena* L.). **Plants**, v. 10, n. 2, p. 421, 2021.
- SEMIDA, Wael M.; HEMIDA, Khaulood A.; RADY, Mostafa M. Sequenced ascorbate-proline-glutathione seed treatment elevates cadmium tolerance in cucumber transplants. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 154, p. 171-179, 2018.
- SHARMA, Meenakshi; KAUSHIK, Prashant. Biochemical composition of eggplant fruits: A review. **Applied sciences**, v. 11, n. 15, p. 7078, 2021.
- SHEHATA, Said A. et al. Extending shelf life and maintaining quality of tomato fruit by calcium chloride, hydrogen peroxide, chitosan, and ozonated water. **Horticulturae**, v. 7, n. 9, p. 309, 2021.
- SILVA JUNIOR, Rosivaldo Francisco da et al. Nano óxido de zinco e bioinoculantes como atenuantes do déficit hídrico na cultura da berinjela. 2023.
- SILVA, Ariano Barreto da et al. Adubação fosfatada como atenuante do estresse hídrico no crescimento e produção de berinjela. 2017.
- SILVA, Evandro Nascimento da et al. Contribution of organic and inorganic solutes to osmotic adjustment of physic nut under salinity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 437-445, 2009.
- SINGH, D. K.; PAUL, P. K.; GHOSH, S. K. Response of papaya to foliar application of boron, zinc and their combinations. **Research on Crops**, v. 6, n. 2, p. 277, 2005.
- SINGH, Yogendra; THAKUR, Nidhika; MEENA, Nirmal Kumar. Studies on the effect of foliar spray of Zn, Cu and B on growth, yield and fruit quality of sweet orange (*Citrus sinensis* L.) cv. Mosambi. **Int J Chem Stud**, v. 6, n. 5, p. 3260-3264, 2018.
- SISDAGRO (Brasília). Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet. Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária. 2020. Disponível em: Acesso em 11 agosto 2022.
- SMITH, Guy D.; AHMAD, N. **The Guy Smith interviews: Rationale for concepts in soil taxonomy**. Washington, DC: Soil management support services, 1986.

SONG, Chang-Zheng et al. Promoting effect of foliage sprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics in berries of *Vitis vinifera* cv. Merlot growing on zinc deficient soil. **Molecules**, v. 20, n. 2, p. 2536-2554, 2015.

SOUSA, Henderson C. et al. Gas exchange and growth of zucchini crop subjected to salt and water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 815-822, 2022.

SUN, Luying et al. Nano-ZnO alleviates drought stress via modulating the plant water use and carbohydrate metabolism in maize. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 67, n. 2, p. 245-259, 2021.

SWIETLIK, Dariusz. Zinc nutrition in horticultural crops. **Horticultural reviews**, v. 23, p. 109-180, 1998.

TAN, Dun-Xian et al. On the significance of an alternate pathway of melatonin synthesis via 5-methoxytryptamine: comparisons across species. **Journal of pineal research**, v. 61, n. 1, p. 27-40, 2016.

TOGNETTI, Vanesa B.; MÜHLENBOCK, P. E. R.; VAN BREUSEGEM, Frank. Stress homeostasis—the redox and auxin perspective. **Plant, cell & environment**, v. 35, n. 2, p. 321-333, 2012.

TURATTO, Marcielly F. et al. Control potential of *Meloidogyne javanica* and *Ditylenchus* spp. using *fluorescent Pseudomonas* and *Bacillus* spp. **brazilian journal of microbiology**, v. 49, p. 54-59, 2018.

VALERO, Daniel; SERRANO, María. **Postharvest biology and technology for preserving fruit quality**. CRC press, 2010.

VALLARINO, José G. et al. Postharvest changes in LIN5-down-regulated plants suggest a role for sugar deficiency in cuticle metabolism during ripening. **Phytochemistry**, v. 142, p. 11-20, 2017.

VISHEKAI, Zohre Rohi et al. The impact of foliar application of boron nano-chelated fertilizer and boric acid on fruit yield, oil content, and quality attributes in olive (*Olea europaea* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 257, p. 108689, 2019.

WADHWA, Neha; JOSHI, Udai Narayan; MEHTA, Naresh. Zinc Induced Enzymatic Defense Mechanisms in Rhizoctonia Root Rot Infected Clusterbean Seedlings. **Journal of Botany**, 2014.

WAKCHAURE, G. C. et al. Effect of plant growth regulators and deficit irrigation on canopy traits, yield, water productivity and fruit quality of eggplant (*Solanum melongena* L.) grown in the water scarce environment. **Journal of environmental management**, v. 262, p. 110320, 2020.

WANG, Yin et al. Plant cell wall lignification and monolignol metabolism. **Frontiers in plant science**, v. 4, p. 220, 2013.

YANG, Kwang-Yeol et al. Remodeling of root morphology by CuO and ZnO nanoparticles: effects on drought tolerance for plants colonized by a beneficial pseudomonad. **Botany**, v. 96, n. 3, p. 175-186, 2018.

YBAEZ, Q. E.; SANCHEZ, Pearl B.; BADAYOS, Rodrigo B. Synthesis and characterization of nano zinc oxide foliar fertilizer and its influence on yield and postharvest quality of tomato. **e Philippine Agricultural Scientist**, v. 103, n. 1, p. 55-65, 2020.

YEMM, E. W.; WILLIS, AJ1269789. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical journal**, v. 57, n. 3, p. 508, 1954.

YOGARATNAM, N.; GREENHAM, D. W. P. The application of foliar sprays containing nitrogen, magnesium, zinc and boron to apple trees. I. Effects on fruit set and cropping. **Journal of Horticultural Science**, v. 57, n. 2, p. 151-158, 1982.

ZELENCHUKOVA, N. S.; IVANYTSKYY, A. E.; TAYUPOVA, R. R. Features of growth and development of *Eruca sativa* under the polyethylene film low emission cover based on copper and silver compounds. **Bull TSPU**, v. 2, n. 155, p. 122-7, 2015.

ZHAO, Lijuan et al. Influence of CeO₂ and ZnO nanoparticles on cucumber physiological markers and bioaccumulation of Ce and Zn: a life cycle study. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 61, n. 49, p. 11945-11951, 2013.

ZHU, Zhu et al. Selenium delays tomato fruit ripening by inhibiting ethylene biosynthesis and enhancing the antioxidant defense system. **Food chemistry**, v. 219, p. 179-184, 2017.

CAPÍTULO II

INFLUÊNCIA DE NANO-ÓXIDO DE ZINCO E BIOINOCULANTES NA QUALIDADE PÓS COLHEITA DO PIMENTÃO (*Capsicum annuum* L.) SUBMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma das mais importantes hortaliças cultivadas no mundo e uma das dez principais hortaliças cultivadas no Brasil. Os pimentões são considerados como tendo potencial de adaptação às duras mudanças climáticas; ainda assim, a falta de água pode afetar o desenvolvimento, a produção e a qualidade dos frutos, levando a uma queda significativa na produtividade. O objetivo deste projeto é investigar a influência de nanopartículas contendo micronutriente zinco, associado a bactérias promotoras, na qualidade pós-colheita do pimentão submetidos ao estresse hídrico. O experimento foi instalado em parcelas subdivididas no espaço, onde as parcelas compreenderão dois lâminas de irrigação (50 e 100% da evapotranspiração potencial -Eto) e as subparcelas em cinco tratamentos que combinavam com nanopartículas de óxido de zinco (NZnO) ou bioinoculantes (Bio), que continham bactérias benéficas (T1 = controle, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via solo + Bio), com quatro blocos. Foram avaliados peso comercial e não comercial dos frutos, frutos comerciais e não comerciais, diâmetro transversal e comprimento longitudinal, coloração da casca, acidez titulável, sólidos solúveis, relação SS/AT, e vitamina C. O tratamento T3 (NPZnO foliar) teve o diâmetro transversal pouco afetado pelo déficit hídrico, tratamentos contendo sulfato de zinco, nano óxidos de zinco (NPZnO) e bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP). A vitamina C e a cromaticidade tiveram uma forte correlação positiva no déficit de irrigação. Os tratamentos contendo ZnSO₄, NPZnO e BPCP não atenuaram o déficit hídrico imposto ao pimentão.

Palavras-chave: *Capsicum annuum* L; seca; pós-colheita.

ABSTRACT

Peppers (*Capsicum annuum* L.) are one of the most important vegetables grown in the world and one of the top ten vegetables grown in Brazil. Peppers are considered to have the potential to adapt to harsh climatic changes; even so, a lack of water can affect the development, production and quality of the fruit, leading to a significant drop in productivity. The aim of this project is to investigate the influence of nanoparticles containing the micronutrient zinc, associated with promoting bacteria, on the post-harvest quality of peppers subjected to water stress. The experiment was set up in plots subdivided in space, where the plots comprised two irrigation rates (50 and 100% of potential evapotranspiration -Eto) and the subplots five treatments that combined zinc oxide nanoparticles (NZnO) or bioinoculants (Bio), which contained beneficial bacteria (T1 = control, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via soil + Bio), with four blocks. Commercial and non-commercial fruit weight, commercial and non-commercial fruit, transverse diameter and longitudinal length, skin color, titratable acidity, soluble solids, SS/AT ratio and vitamin C were evaluated. Treatment T3 (leaf NPZnO) had its transverse diameter little affected by water deficit, treatments containing zinc sulphate, nano zinc oxides (NPZnO) and plant growth promoting bacteria (BPCP). Vitamin C and chromaticity had a strong positive correlation in the irrigation deficit. The treatments containing ZnSO₄, NPZnO and BPCP did not mitigate the water deficit imposed on the peppers.

Keywords: *Capsicum annuum* L; drought; postharvest.

1. INTRODUÇÃO

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma das mais importantes hortaliças cultivadas no mundo e uma das dez principais hortaliças cultivadas no Brasil (ROCHA et al., 2018). Sendo utilizadas para consumo fresco, artes culinárias e outras especialidades. Em comparação com outras plantas da família Solanaceae, requer menos mão de obra para o cultivo no campo e é menos sensível a doenças e pragas (KRASNOW; ZIV, 2022). Eles podem ter cores diferentes (vermelho, verde, laranja e amarelo) dependendo do estágio de maturidade e capacidade de sintetizar clorofila ou carotenóides. O pimentão é uma espécie de alto valor nutricional devido às suas propriedades antioxidantes, que agregam à sua qualidade características como sabor, cor e textura. Além de seu sabor exótico, o pimentão é uma importante fonte de vitaminas (provitaminas A, E e C) e diversos compostos bioativos (compostos fenólicos e carotenoides) que beneficiam a saúde do consumidor (EUROPEIA, 2015). Além de que, evidências científicas mostram que os compostos bioativos extraídos do pimentão possuem efeitos anti-inflamatórios, antidiabéticos, antibacterianos e imunomoduladores (SAGAR et al., 2018; COMAN et al., 2020; SAMTIYA et al., 2021).

Por possuir diversos benefícios, a procura é bastante alta por essa cultura. Onde a produção do pimentão aumentou substancialmente nos últimos anos, porém a perda anual dessa cultura é estimada em 40% (SCOMA et al., 2016). Essas perdas são devido a diversos fatores e um deles é o déficit hídrico. Os pimentões são considerados como tendo potencial de adaptação às duras mudanças climáticas; ainda assim, a falta de água pode afetar o desenvolvimento, a produção e a qualidade dos frutos, levando a uma queda significativa na produtividade (SOLIMAN et al., 2018; ABDELAAL et al., 2019; ELKEILSH et al., 2019). Alao, Odigie e Yahaya (2012) reportaram que a floração é o período mais sensível dessa cultura. Essa sensibilidade foi observada por vários estudos que examinam a redução da produção de matéria fresca e seca afetada pelo déficit hídrico (FERRARA et al., 2011; ZOTARELLI et al., 2011; SEZEN; YAZAR; TEKIN, 2019; ABDELKHALIK et al., 2020). Diante dessas dificuldades, o sistema agrícola mundial necessita urgentemente de avanços tecnológicos modernos e estratégias com soluções eficazes.

Para mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico, os pesquisadores adotaram diferentes medidas, como o uso de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs) e nanofertilizantes. As BPCPs garantem o suprimento de água suficiente durante o ciclo de crescimento, aumentando assim os rendimentos agrícolas. Onde é uma estratégia para fornecer nitrogênio às plantas, possivelmente até mesmo em combinação devido à fixação biológica de

nitrogênio (FBN), produção de fitohormônios de crescimento, indução de tolerância ao estresse (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2016; LEITE et al., 2018).

Os nanofertilizantes são definidos como “os meios mais recentes, tecnologicamente avançados, ecologicamente corretos e econômicos de fornecer nutrientes às plantas de forma sustentável e lenta para melhorar seu crescimento, rendimento e parâmetros de qualidade, com o benefício de maior eficiência hídrica e nutrientes”, minimizando os efeitos do déficit hídrico (VINOD; MATHEW; RADHAKRISHNAN, 2022). Se tem nanofertilizantes que podem atuar como alternativas promissoras aos fertilizantes tradicionais, as nanopartículas de óxido de zinco (NPs ZnO).

Estudos recentes mostraram que as plantas também têm a capacidade de absorver nanopartículas de óxido de zinco (NPs ZnO) e o fator mais importante para essa absorção é o tamanho dessas nanopartículas (ZHAO et al., 2012; RALIYA et al., 2015; LV; CHRISTIE; ZHANG, 2019). Vários autores relataram que o aumento da reatividade superficial das nanopartículas pode ampliar os poros da raiz ou criar novos poros, aumentando assim o fluxo de água e minerais da raiz (LARUE et al., 2012; RALIYA et al., 2015). Assim, aumenta a absorção de nutrientes e aumenta o comprimento da raiz (RUFFINI CASTIGLIONE et al., 2011). Raliya et al. (2015) observou que as NPs ZnO tendem a se acumular nas raízes, brotos e folhas das plantações de tomate. Em estudo realizado por Almendros et al. (2022) mostrou que após a absorção inicial de nanopartículas por plantas de tomate-cereja (via raiz ou células foliares), eles foram biodistribuídos por toda a planta, transportados através de seu sistema vascular. As NPs ZnO podem ser usadas para alcançar maior produtividade e biofortificação adequada de zinco em culturas de tomate-cereja, pois dependem das propriedades do solo. Contudo, de acordo com García et al. (2019) estudando pimentas habanero, observou que as nanopartículas de zinco na concentração de 1000 mg L⁻¹ promoveram o crescimento das plantas, aumentando o número e o peso médio dos frutos.

Estes resultados evidenciam a viabilidade da aplicação de BPCP e nanofertilizantes em diversas culturas, promovendo a redução do impacto ambiental no solo e agregação do valor dessas culturas, gerado bons resultados para a agricultura. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência de nanopartículas contendo micronutrientes de zinco, associados a bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP), na qualidade pós-colheita do pimentão cultivado sob déficit hídrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

A caracterização da área experimental foi idêntica ao capítulo I.

2.2 Definição dos experimentos e delineamento experimental

A definição do experimental foram idênticas ao capítulo I, exceto a área experimental constituída de 22,8 m de comprimento por 14,8 m de largura, totalizando 337,44 m² (Figura 1). A distância entre plantas da mesma fileira é de 0,80 m. A distância entre parcelas é 1,2 m. A distância entre fileiras 1,2 m e a distância entre os blocos é 2,0 m (Figura 2) A figura mostra o croqui detalhado da área experimental com pimentão ‘Kolima’ sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). T1 = controle, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via solo + Bio.

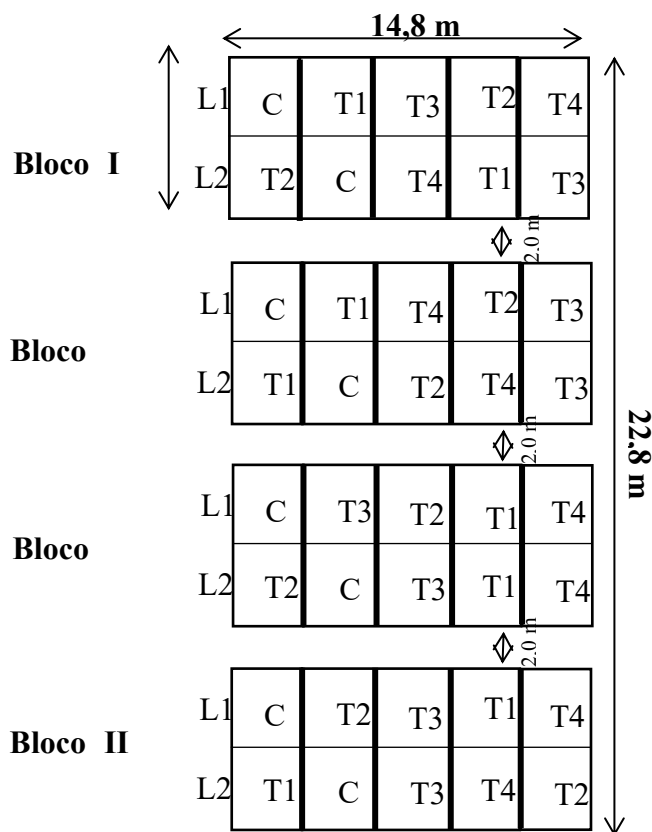


Figura 1. Croqui detalhado da área experimental com pimentão. Espaçamento entre parcelas = 1,2; T1= ZnSO₄ via foliar; T2 = NPZnO foliar; T3 = NPZnO foliar + Bio; T4 = ZnSO₄ via solo + Bio, são os produtos a serem testados e C o tratamento controle. L1 e L2 são os produtos a serem testados e C o tratamento controle. L1 e L2 são as lâminas de irrigação (L1= 50% e L2= 100% da ETc).

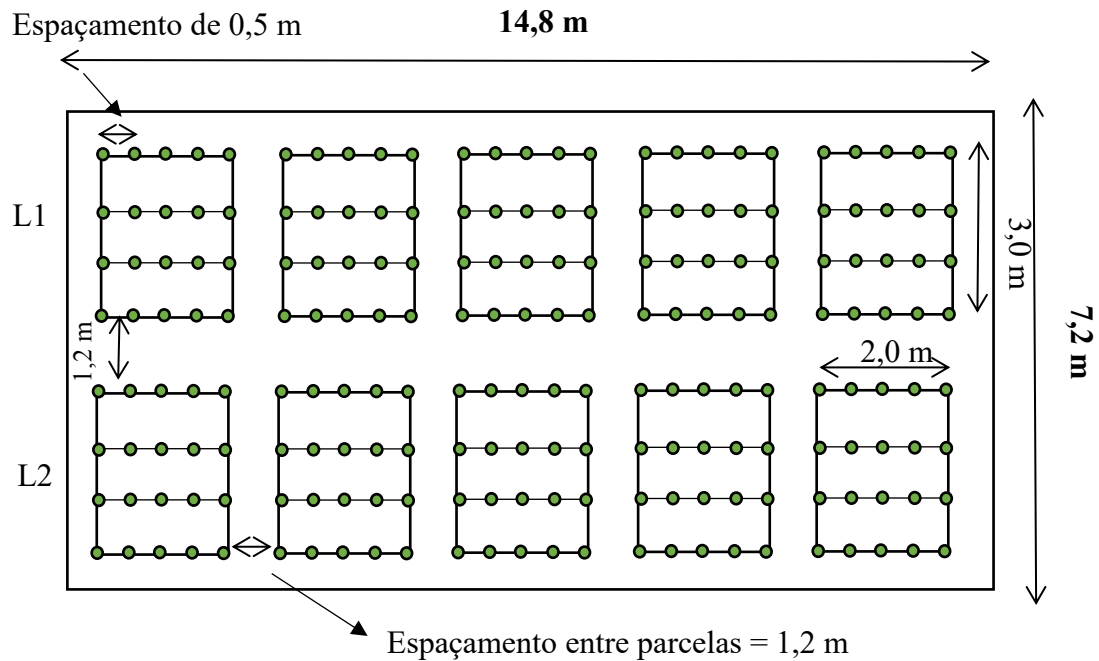


Figura 2. Esquema de uma parcela.

2.3 Preparo da área, caracterização do solo e plantio

O preparo da área, caracterização do solo e plantio foram idênticas ao capítulo I.

As mudas do pimentão (*Capsicum annuum* L.), 'Kolima', foram produzidas na casa de vegetação da Universidade Federal de Campina Grande – Campus Pombal.

2.4 Controle fitossanitário

O controle sanitário foi idêntico ao capítulo I.

2.5 Transplântio das mudas

As mudas de pimentão foram transplântas no dia 20 de outubro de 2022.

2.6 Componentes dos tratamentos e sua aplicação

Os componentes dos tratamentos e sua aplicação foram idênticos ao capítulo I.

2.7 Tratos culturais

Os tratos culturais foram idênticos ao capítulo I.

2.8 Colheita

A colheita foi realizada idêntica ao capítulo I, exceto que ocorreu no dia 27 de dezembro de 2022.

2.9 Pós-colheita

A pós-colheita foi realizada idêntica ao capítulo I.

3.0 Variáveis analisadas

As variáveis analisadas foram idênticas ao capítulo I, exceto a firmeza de polpa e açúcares solúveis totais.

3.1 Análise estatística

A análise estatística foi feita idêntica ao capítulo I.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise da qualidade pós-colheita do pimentão

Na tabela 1 está contida os tratamentos utilizados e as médias para as variáveis pH, sólidos solúveis(°Brix), acidez titulável(g 100g⁻¹) e razão SS/AT, que não tiveram efeito significativo na qualidade pós-colheita do pimentão ‘Kolima’, utilizando nanopartículas de zinco (NPs ZnO) e bionoculantes, cultivadas sob déficit hídrico.

Tabela 1. Médias para as variáveis, pH, sólidos solúveis (° Brix), acidez titulável (g 100-1) e razão SS/AT do pimentão ‘Kolima’

T1= controle (C); T2= ZnSO₄ via foliar; T3 = NPZnO foliar; T4 = NPZnO foliar + Bio; T5 = ZnSO₄ via solo + Bio, L1 e L2 são as lâminas de irrigação (L1=50% e L2=100% da ETc).

Tratamento	Lâmina de irrigação (%)			
	50	100	50	100
	pH		Sólidos solúveis(°Brix)	
C	5,443	5,392	4,858	5,233
ZnSO ₄ via foliar	5,437	5,246	5,167	5,042
NPZnO foliar	5,432	5,438	4,975	4,992
NPZnO foliar + Bio	5,370	5,350	4,767	5,054
ZnSO ₄ via solo + Bio	5,443	5,282	4,792	5,183
	Acidez titulável (g 100g ⁻¹)		Razão SS/AT	
C	0,109	0,119	45,622	44,246
ZnSO ₄ via foliar	0,103	0,125	50,674	41,123
NPZnO foliar	0,109	0,114	45,820	44,029
NPZnO foliar + Bio	0,130	0,109	36,782	46,549
ZnSO ₄ via solo + Bio	0,119	0,114	40,710	46,568

As variáveis de pH, García-López et al. (2019) descobriram que os tratamentos com NPs ZnO e ZnSO₄ afetaram o pH de pimentas ($p \leq 0,01$). Não houve diferenças significativas entre os tratamentos à base de Zn com diferentes concentrações; o tratamento controle obteve o valor mais alto ($5,63 \pm 0,114$), enquanto os NPs ZnO alcançaram o menor pH ($5,40 \pm 0,040$). A acidez está correlacionada com o pH da fruta, e o principal ácido orgânico encontrado na maioria das frutas é o ácido cítrico (WANG; LIN, 2002). Davarpanah et al. (2016) relata que a fertilização foliar com NPs ZnO na concentração de 120 mg L⁻¹ melhorou significativamente a qualidade dos frutos de romã, incluindo um aumento no pH do suco de 0,28 a 0,62%.

O teor de sólidos solúveis (SS) está correlacionado com a quantidade de açúcares e, portanto, com o sabor dos frutos, o que resulta em um produto de melhor qualidade

(CHITARRA; CHITARRA, 2005). Normalmente aumentam ao longo do processo de maturação dos frutos, seja devido à biossíntese, da degradação de polissacarídeos ou da perda de água, o que resulta em uma maior concentração. Além disso, como os SS são substratos usados no processo respiratório, sua redução varia com a taxa de respiração (LIDSTER et al., 1980). As alterações fisiológicas e o comprometimento da qualidade final do produto são medidos através da porcentagem de SS ao longo do armazenamento, entre outros parâmetros. O teor de SS do fruto também é afetado pelas características genéticas (TEIXEIRA et al., 2001).

Hernández et al. (2017) usou nanopartículas de cobre (NPs Cu) em tomates. Eles descobriram que nenhum dos tratamentos com NPs Cu superou o controle para SS. O tratamento com 0,02 mg de NPs Cu aumentou o teor de SS em 11% em comparação com o controle após oito dias de armazenamento. Como afirmado por Mustafa et al. (2014), o aumento dos SS pode ser atribuído ao acúmulo maior de fotoassimilados na fruta para a produção de frutose e glicose.

El-Nasr et al. (2021) examinou as NPs ZnO visando melhorar as características comerciais das uvas de mesa. Eles demonstraram que a pulverização foliar de NPs ZnO aumentou os SS e diminuiu a acidez. O papel do Zn na manutenção da estabilidade estrutural das membranas celulares e na transferência e síntese de proteínas e carboidratos pode ser a causa desses efeitos. O zinco também participa de várias reações bioquímicas (Song et al., 2016). Song et al. (2015) afirmaram que, embora os tratamentos com Zn tenham aumentado o acúmulo de SS, também reduziram a concentração de acidez titulável. Davarpanah et al. (2016) explicou que a pulverização foliar com NPs ZnO aumentou a qualidade dos frutos de romã, incluindo maior SS e menor acidez titulável (AT). Além disso, Singh e Usha (2001) e Abou-Zaid e Shaaban (2019) relatam que os SS e a AT das uvas foram melhorados pelo zinco.

Da mesma forma, a qualidade nutricional de outras culturas é significativamente influenciada pelo fertilizante com $ZnSO_4$. Além disso, o uso de $ZnSO_4$ pode aumentar o nível de SS na goiaba (MISHRA et al., 2003). Sendo assim, Singh et al. descobriram que a aplicação de $ZnSO_4$ aumentou o número, o peso, e o SS (SING et al., 2002). Quando uma mistura de Zn (0,8%) e B (0,8%) foi aplicada à árvore Cape Gooseberry, a qualidade do fruto melhorou em comparação com o controle. A acidez, o SS e o teor de ácido ascórbico aumentaram (NARAHARI et al., 2018).

O índice de maturação, também conhecido como ratio, é a razão entre SS/AT e pode influenciar a decisão do consumidor sobre o que comprar. Isso se deve ao fato de que a acidez e a doçura são importantes para avaliar a qualidade sensorial dos produtos (GUNDUZ; OZDEMIR, 2014). Porque as duas variáveis teor de sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (%)

de ácido cítrico) se comportam de maneira inversa, a relação SS/AT é mais útil para determinar os estádios de maturação, de acordo com Dantas (2009).

Existem padrões de qualidade definidos para o equilíbrio entre o teor de sólidos solúveis e o ácido cítrico (SS/AT), mas o pimentão não tem (OLIVEIRA, 2012). No entanto, Mattedi et al. (2011) relatam que os valores altos da relação SS/AT resultam em um sabor mais forte, enquanto os valores baixos resultam em um sabor mais ácido. A relação SS/AT, que mostra o equilíbrio entre ácidos orgânicos e açúcares, é crucial para avaliar o sabor dos frutos; quanto mais forte for, mais representativo é (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Na tabela 2 está contida os tratamentos utilizados e as médias para as variáveis vitamina C ($\text{g} \cdot 100^{-1}$), luminosidade (L^*), cromaticidade (C^*) e angulo hue (Hue°), que não tiveram efeito significativo na qualidade pós-colheita do pimentão 'Kolima', utilizando nanopartículas de zinco (NPs ZnO) e bionoculantes, cultivadas sob déficit hídrico.

Tabela 2. Médias para as variáveis, vitamina C ($\text{g} \cdot 100^{-1}$), luminosidade (L^*), cromaticidade (C^*) e angulo hue (Hue°) do pimentão 'Kolima'.

Tratamento	Lâmina de irrigação (%)			
	50	100	50	100
	Vitamina C ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$)		L^*	
C	43,802	28,911	36,453	35,676
ZnSO ₄ via foliar	38,258	22,020	37,410	38,766
NPZnO foliar	38,020	42,535	37,895	36,496
NPZnO foliar + Bio	39,525	38,416	38,399	38,121
ZnSO ₄ via solo + Bio	37,386	39,208	37,168	38,813
	C^*		Hue	
C	19,314	19,341	50,673	50,311
ZnSO ₄ via foliar	21,161	23,012	50,692	50,230
NPZnO foliar	62,622	21,630	59,173	50,755
NPZnO foliar + Bio	21,514	21,911	50,670	50,959
ZnSO ₄ via solo + Bio	20,298	22,170	50,859	49,863

T1= controle (C); T2= ZnSO₄ via foliar; T3 = NPZnO foliar; T4 = NPZnO foliar + Bio; T5 = ZnSO₄ via solo + Bio, L1 e L2 são as lâminas de irrigação (L1=50% e L2=100% da ETc).

Aminzade et al. (2022) estudaram a qualidade da romã usando NPs ZnO e ZnSO₄. Eles descobriram que os arilos tratados com 0,8% de ZnSO₄ tinham atividade antioxidante. Meena et al. (2015) descobriu parâmetros importantes de qualidade do tomate. Eles descobriram que a aplicação de 100 ppm de zinco registrou o teor de ácido ascórbico. A aplicação de Zn a 250 ppm aumentou o teor de ácido ascórbico dos frutos de tomate em 62,39% em comparação com o controle, atingindo 25,29 mg/100 g e 24,41 mg/100 g, respectivamente. Ahmed et al. (2021)

aplicaram $ZnSO_4$ a 500 ppm para avaliar a pulverização foliar com NPs ZnO em tomates, eles encontraram valores de ácido ascórbico de 26,67 mg/100 g de suco de fruta.

Como os NPs Cu e Se aumentam os compostos antioxidantes nos frutos de tomate, onde se têm mais glutathione, flavonoides e vitamina C. O sistema enzimático antioxidante protege o fruto dos danos oxidativos durante os estágios iniciais de amadurecimento (verde amarelo). Em seguida, esses danos diminuem à medida que o amadurecimento avança (vermelho maduro) (MONDAL et al., 2004). A glutathione e o ascorbato também diminuem com o amadurecimento dos frutos (JIMENEZ et al., 2002). O desenvolvimento de carotenoides, incluindo licopeno e betacaroteno, é responsável por essa redução, que ocorre principalmente durante a fase de quebra de maturação (DEL GIUDICE et al., 2015). A dieta humana depende desses antioxidantes. As frutas são a principal fonte de vitamina C, pois os humanos não podem sintetizá-la (CARR; PULLAR; VISSERS, 2017). É fundamental aumentar a quantidade de antioxidantes presentes nos frutos obtidos do manejo pré-colheita.

Nisar et al. (2022) investigam o impacto das NPs ZnO em pepinos, onde os dados sobre a cor dos frutos mostram que, em comparação com o controle, todos os tratamentos tiveram um impacto significativo no valor L^* da cor. Os frutos tratados com a aplicação foliar pré-colheita de NPs ZnO a 20 ppm apresentaram valores máximos de L^* (32,91), a^* (-3,89) e b^* (8,42). Os valores mínimos de L^* foram observados nas plantas de controle, com valores de 29,84, (-7,76) e 5,32.

Por outro lado, a cor de pimentão é principalmente determinada pela composição e concentração de carotenoides (LIGHTBOURN et al., 2008). Diversos fatores, incluindo mecanismos de defesa contra uma variedade de estresse biótico e abiótico, afetam a biossíntese desses compostos e seu acúmulo nas frutas (ALONI et al., 2008; PARK et al., 2012). Como resultado da aplicação foliar de NPs ZnO nas plantas de pimenta Habanero, a coloração dos frutos aumenta devido ao aumento da produção de carotenoides como resposta ao estresse. Os carotenoides desempenham sua principal função de proteger células e organelas contra danos oxidativos por meio da interação com moléculas de oxigênio singlete (O_2), remoção de radicais peróxidos ($LOO\cdot$) e prevenindo o acúmulo (SANDMANN et al., 1999). A pesquisa sobre o impacto da aplicação de NPs ZnO nas características cromáticas da fruta, é muito limitada. No entanto, o papel desse parâmetro contra o estresse induzido por NPs metálicos permanece incerto (CAO; RUI; YANG, 2017).

Na tabela 3 está contida os tratamentos utilizados e as médias para as variáveis frutos comerciais (und), frutos não comerciais (und), peso de frutos comerciais (kg), peso de frutos não comerciais (kg) e comprimento longitudinal(cm), que não tiveram efeito significativo na

qualidade pós-colheita do pimentão ‘Kolima’, utilizando nanopartículas de zinco (NPs ZnO) e bionoculantes, cultivadas sob déficit hídrico.

Tabela 3. Médias para as variáveis frutos comerciais (und), frutos não comerciais (und), peso de frutos comerciais (kg), peso de frutos não comerciais (kg) e comprimento longitudinal(cm) do pimentão ‘Kolima’.

Tratamento	Lâmina de irrigação (%)			
	50	100	50	100
	Frutos comerciais		Frutos não comerciais	
C	13,75	15,75	16,00	13,75
ZnSO ₄ via foliar	14,75	15,75	9,75	10,25
NPZnO foliar	17,25	21,25	12,00	9,75
NPZnO foliar + Bio	15,00	10,50	11,50	12,25
ZnSO ₄ via solo + Bio	13,00	18,25	16,75	13,50
	Peso comercial (kg)		Peso não comercial(kg)	
C	1,924	2,083	0,866	0,978
ZnSO ₄ via foliar	2,296	2,115	0,739	0,791
NPZnO foliar	2,271	2,868	0,981	0,711
NPZnO foliar + Bio	2,026	1,423	0,753	0,788
ZnSO ₄ via solo + Bio	1,640	2,213	0,951	0,869
	Comprimento do fruto(mm)			
C	74,731	72,872		
ZnSO ₄ via foliar	76,864	73,627		
NPZnO foliar	76,510	77,681		
NPZnO foliar + Bio	76,603	74,286		
ZnSO ₄ via solo + Bio	70,242	74,780		

T1= controle (C); T2= ZnSO₄ via foliar; T3 = NPZnO foliar; T4 = NPZnO foliar + Bio; T5 = ZnSO₄ via solo + Bio, L1 e L2 são as lâminas de irrigação (L1=50% e L2=100% da ETc).

A produtividade agrícola pode ser influenciada pelas nanopartículas de zinco (NPs ZnO). A espécie, a idade e as características das NPs ZnO influenciam o efeito das NPs nas culturas (Ahmed et al., 2021). Um dos elementos de qualidade é o peso dos frutos. Os nanofertilizantes melhoram o rendimento e, conseqüentemente, o peso dos frutos. Isso pode ser alcançado por uma variedade de técnicas práticas, incluindo irrigação deficitária (ROBY et al., 2004; WALKER et al., 2005). Song et al. (2015) examinou os efeitos do zinco e sua deficiência no solo nas uvas e descobriu que os grupos tratados com Zn tiveram um peso maior dos frutos, o que coincidia com uma fotossíntese maior na maturidade. Portanto, o maior peso provavelmente resultou de um acúmulo maior de matéria seca. Além disso, a síntese de auxina (AIA) requer Zn (ALLOWAY, 2008), que tem sido ligada ao alongamento e à divisão de

células (BOTTCHER et al., 2010). O teor AIA mais alto nas bagas tratadas com Zn pode estar relacionado ao peso mais alto.

Em seu estudo com a aplicação de NPs ZnO em pimentas Habanero, García-López et al. (2019) descobriram diferenças significativas na produtividade para todas as variáveis testadas ($p \leq 0,01$). As plantas expostas à aplicação foliar de 1000 mg L⁻¹ de NPs ZnO produziram mais frutos do que o tratamento controle em 15,3% e 8,6%, respectivamente. As plantas tratadas com ZnSO₄ também produziram mais frutos. Por outro lado, houve pequenas reduções em comparação com o tratamento controle em 2.000 mg L⁻¹ de NPs ZnO e ZnSO₄ (13,6% e 7,3%). De forma semelhante, NPs de ZnO a 1000 mg L⁻¹ alcançaram o peso médio máximo dos frutos, superando o tratamento controle em 7% e o tratamento de ZnSO₄ em 3,6%. Na dose de 2.000 mg L⁻¹ de NPs ZnO e ZnSO₄, há reduções de 5,8% e 3,8% em relação ao tratamento controle, respectivamente. O peso total dos frutos teve uma tendência semelhante. Os NPs ZnO a 1000 mg L⁻¹ tiveram o peso mais alto, superando o controle em 21,2% e o tratamento com ZnSO₄ em 11,8%. Ambos os tratamentos (NPs ZnO e ZnSO₄) apresentaram reduções de 18,6% e 10,8%, respectivamente, na dose de 2.000 mg L⁻¹.

Uresti-Porras et al. (2021) em seu estudo usando NPs ZnO em plantas de pimentão enxertadas, descobriram que a aplicação de NPs ZnO na concentração de 30 mg L⁻¹ levou a um aumento no peso, no número de frutos, no diâmetro transversal e no comprimento longitudinal dos frutos. Esses resultados corroboram os achados de Du et al. (2019) e Servin et al. (2015), que afirmaram que em um estudo de Elizabeth et al. (2017), os fertilizantes de óxido de zinco aumentaram o rendimento e o crescimento das cenouras em comparação com o tratamento de controle. Saadati et al. (2016) descobriram que os frutos com Zn tiveram um peso maior, com uma média de 3,16 kg. O zinco aumenta a produção de fitohormônios, aumentando o desenvolvimento e a produção de frutos. O tratamento de controle tinha 3,08 kg, mas o zinco fez uma diferença significativa (Elizabeth et al., 2017). Os hormônios endógenos, como auxinas, giberelinas e melatonina, são aumentados pela aplicação de Zn, o que beneficia o crescimento, o desenvolvimento e a produção de frutos (Zhu et al., 2020).

A absorção adequada de micronutrientes pelas árvores frutíferas aumenta o crescimento, o rendimento e a qualidade dos frutos (MARSCHNER, 2011; AHMED et al., 2020; TARIQ et al., 2020; RAHI et al., 2021). Em um estudo de Khan et al. (2022), que utilizou Zn em pomares de manga, os autores observaram que, a partir das estações de tratamento de controle, fica claro que os micronutrientes são essenciais para crescimento e rendimento. Entre cada tratamento, a testemunha mostra o comprimento e a largura do fruto mais baixos. O fruto aumentou significativamente de comprimento. Estudos anteriores mostraram que o Zn é essencial para a

biossíntese do triptofano. O ácido indol acético é produzido a partir deste triptofano (ALI et al., 2012). Além disso, como resultado do equilíbrio da absorção de zinco, a atividade da enzima desidrogenase e protease aumenta lentamente. A maturidade precoce dos frutos foi causada por essas enzimas, o que resultou em uma retenção menor e qualidade baixa (CHANDRA; SINGH 2015).

O diâmetro transversal dos frutos foi afetado pelos tratamentos atenuantes do déficit hídrico nem pelas lâminas de irrigação (Figura 1). Existe diferença estatística significativa entre os tratamentos, o T3 (NPZnO foliar) foi superior em relação aos demais e diferiu estatisticamente do T5 (ZnSO₄ via solo + Bio) que obteve a menor média para esta variável.

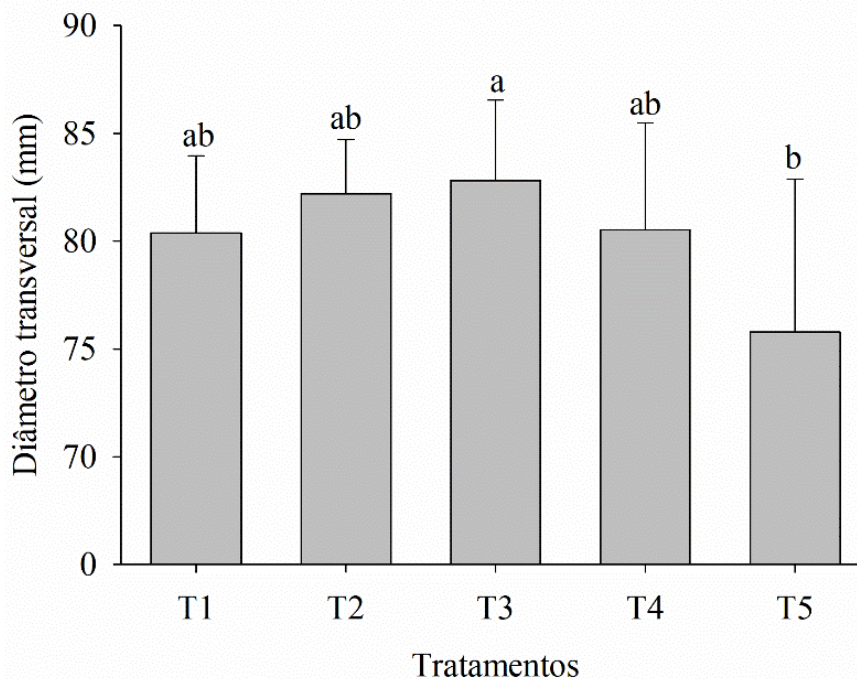


Figura 3. Diâmetro transversal do pimentão ‘Kolima’ em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico. T1 = controle, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via solo + Bio, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na figura 2 é mostrado o gráfico de análise de componentes principais (PCA) obtidos a partir das análises pós-colheita do pimentão sobre influência de nanopartículas de óxido de zinco (NPs ZnO) e bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP). A partir dos resultados do diâmetro transversal (DT), o comprimento longitudinal (CL), peso comercial (PC), peso não comercial (PNC), frutos comerciais (FC), frutos não comerciais (FNC), luminosidade (L*), cromaticidade (C*), ângulo hue, vitamina C (Vit C), potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS) e a relação SS/AT, nota-se

que na figura as amostras são separadas em sete grupos diferentes. Nota-se que mais de 30% da variância total está contida na primeira componente principal (CP1). Com isso pode-se distinguir que as lâminas de irrigação foram quase que exclusivamente pela projeção dos pontos no eixo x.

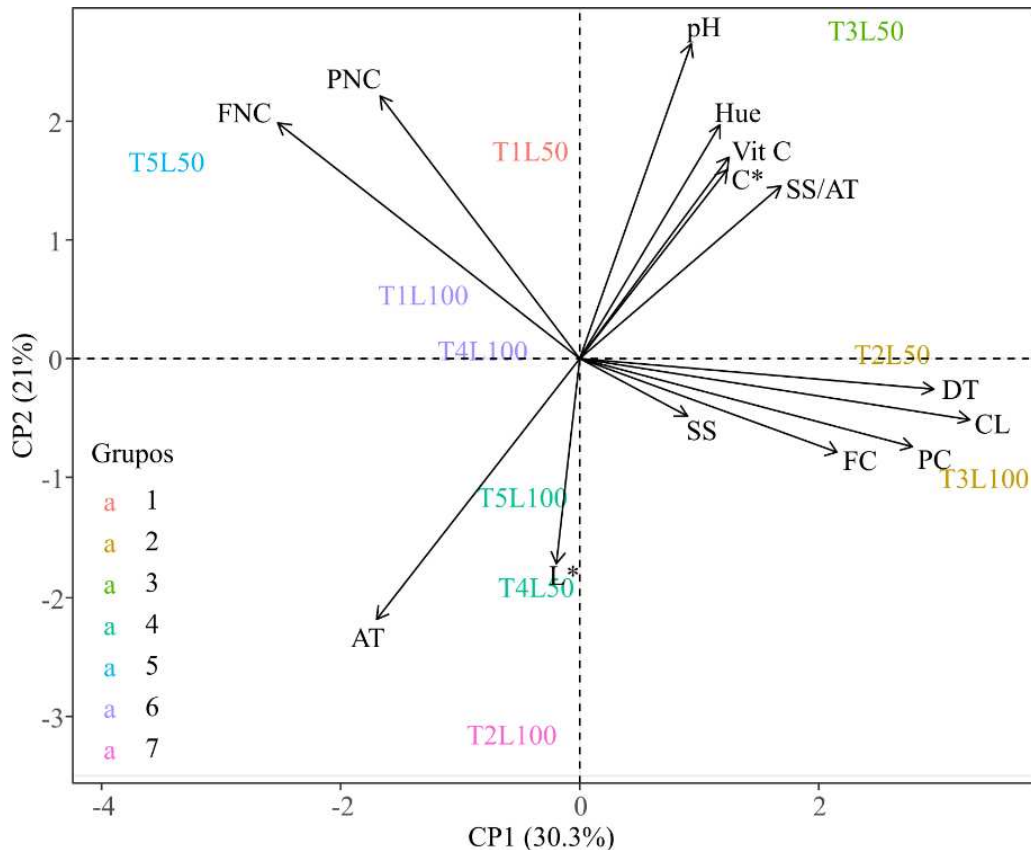


Figura 4. Variáveis pós-colheita do pimentão ‘Kolima’ em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). T1 = controle, T2 = ZnSO₄ via foliar, T3 = NPZnO via foliar, T4 = NPZnO via foliar + Bio, T5 = ZnSO₄ via solo + Bio, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O primeiro grupo é composto pela lâmina e tratamento que é 50% de evapotranspiração potencial (Eto) para o tratamento T1 (controle). Os frutos não comerciais (FNC) correlaciona-se negativamente com os sólidos solúveis. O segundo grupo que compõe a lâmina de irrigação de 50% de Eto para o tratamento T2(ZnSO₄ via foliar) e 100% de Eto para o tratamento T3(NPZnO foliar). Onde mostra que o tratamento 100T3(NPZnO foliar) apresentou uma maior tendência de se deslocar para a direita. Neste grupo há uma forte correlação positiva entre o diâmetro transversal (DT), comprimento longitudinal (CL) e o peso comercial (PC). O PC está correlacionado negativamente com o FNC.

O terceiro grupo, que compõe apenas a lâmina de 50% para o tratamento T3 (NPZnO foliar), evidencia que há uma forte correlação entre a cromaticidade (C*) a vitamina C (Vit C).

Onde estão negativamente correlacionados com a acidez titulável (AT). Assim, a vitamina C é um ácido orgânico, pois a respiração aumenta sob estresse hídrico. Esses ácidos ajudam a atuar como substrato no fenômeno respiratório. Isso resulta em uma redução da acidez, e conseqüentemente resulta em uma redução da vitamina C devido à seca (SHARMA et al., 2014). Com grupos OH livres ligados ao anel aromático, onde os antioxidantes protegem as plantas do estresse oxidativo eliminando ROS e metais quelantes (MEDRANO-MARCÍAS et al., 2018).

Em geral, as respostas celulares ao estresse e atividade antioxidante das frutas é melhorada pelo aumento dos metabólitos secundários, o que resulta em uma melhor qualidade das frutas. García-Gómez et al. (2017) estudaram como as NPs ZnO e ZnSO₄ afetaram as defesas antioxidantes dos tomateiros. Os resultados mostraram que as NPs ZnO aumentaram a toxicidade e aumentaram as concentrações de carotenóides e marcadores biológicos de estresse (ROS). Pérez-Labrada et al. (2019) descobriram que a aplicação foliar de NPs Cu aumentou os níveis de vitamina C nos frutos em comparação com o tratamento controle.

A perda de ácido ascórbico pode ser atribuída à atividade da ascorbato oxidase, que promove a oxidação do ácido ascórbico em ácido dehidroascórbico (AGAR; STREIF; BANGERTH, 1997). Pode-se supor que o uso de tratamentos com NPs ZnO pode reduzir a difusão de oxigênio e, portanto, a taxa de respiração. Isso retardará a reação de oxidação destrutiva do ácido ascórbico da fruta. Por outro lado, há evidências de que o aumento da oxidação pode acelerar a perda de ácido ascórbico (NUNES et al., 1998; MAFTOONAZAD; RAMASWAMY, 2005). Portanto, ao alterar o teor de água dos frutos, os tratamentos com NPs ZnO provavelmente afetam a quantidade de vitamina C presente nos morangos.

Segundo Lee e Kader (2000), a fertilização com Zn e outros fatores pré-colheita melhoraram o teor de ácido ascórbico dos frutos de tomate. Muitas culturas podem obter mais vitamina C com irrigação menos frequente. O componente mais crucial para manter a vitamina C nas frutas e vegetais após a colheita é a gestão da temperatura, pois as perdas aumentam com temperaturas mais altas e períodos de armazenamento mais longos.

O parâmetro de cromaticidade (C*) também está correlacionada positivamente neste grupo, a cromaticidade (C*) é um parâmetro que representa a saturação, ou seja, quanto mais alto o valor, mais vivas e intensas serão as cores. Isso representa a intensidade da cor, ou saturação em termos de pigmentos desta cor. Valores de croma próximos de zero são indicativos de cores neutras ou cinzas. Por outro lado, valores próximos de 60 são indicativos de cores intensas (MENDONÇA et al., 2003; PINHEIRO, 2009). O parâmetro a* mostra a variação da cor verde para vermelho. Os valores mais baixos, inclusive negativos, mostram tonalidades

mais esverdeadas e os valores mais altos, inclusive positivos, mostram tonalidades mais vermelhas. O parâmetro b^* mostra como o azul tende para o amarelo. Valores mais baixos, inclusive negativos, mostram que a cor tende para o azul, enquanto valores mais altos e positivos mostram que a cor tende para o amarelo (OLIVEIRA et al., 2020).

O amadurecimento da maioria dos frutos envolve uma mudança na cor, que frequentemente varia do verde quando imaturo para uma cor diferente quando maduro. Esta mudança está relacionada ao conteúdo de pigmentos totais, como clorofilas a, b e carotenoides, que são degradados ou sintetizados durante o processo de amadurecimento (BOHN; WALCZYK, 2004).

Ao examinar os fatores de cor, Paixão et al. (2016) descobriu que os pimentões não mudaram de cor e permaneceram verdes em todos os armazenamentos submetidos; esta é uma característica intrínseca do fruto. Vários autores demonstraram que a síntese e acúmulo de carotenóides (b-caroteno, xantofilas, b-criptoxantina, zeaxantina, violaxantina e capsantina) está muito correlacionada (HERNÁNDEZ-ORTEGA et al., 2012; CARES et al., 2015; DA SILVEIRA AGOSTINI-COSTA et al., 2017). A concentração desses carotenóides é fortemente influenciada pela intensidade ou ausência de várias práticas de manejo da cultura, como irrigação, fontes de fertilização, uso de coberturas plásticas no solo, dentre outras. (PÉREZ-LÓPEZ et al., 2007; CHÁVEZ-SERVIA et al., 2016).

Ferrer e Costa (1991) sustentam que, em diferentes estágios de amadurecimento dos frutos, o valor da cromaticidade verde diminui como resultado do desaparecimento da clorofila e do aumento gradual dos cromoplastos ou compostos polifenólicos presentes nos tecidos. Mudanças no valor da cromaticidade levam a diferentes graus de escurecimento enzimático. (HO, 1992).

O quarto grupo compõe as lâminas de 50% para o tratamento T4 (NPZnO foliar + Bio) e 100% para o tratamento T5 (ZnSO₄ via solo + Bio). Onde mostra que o tratamento 100T5 (ZnSO₄ via solo + Bio) apresentou uma maior tendência de se deslocar para a direita. Neste grupo há uma forte correlação entre os parâmetros de acidez titulável (AT) e luminosidade (L*). A AT está correlacionada negativamente com a cromaticidade (C*).

No quinto grupo que compõe apenas a lâmina de irrigação 50% para o tratamento T5 (ZnSO₄ via solo + Bio), onde neste grupo apresenta uma correlação negativa entre os frutos não comerciais (FNC) e os sólidos solúveis (SS). Já no sexto grupo, onde compõe as lâminas de irrigação de 100% para o tratamento T1 (controle) e T4 (NPZnO foliar + Bio), a lâmina de 100% para o T4(NPZnO foliar + Bio) apresentou uma tendência de se deslocar para a direita. E não apresenta nenhuma forte correlação entre os parâmetros e nem correlação negativa. O

sétimo e último grupo, composto apenas pela lâmina de irrigação 100% para o T2(ZnSO₄ via foliar), assim como no sexto grupo, ele não apresenta correlação positiva entre os parâmetros e nem correlação negativa.

4. CONCLUSÕES

- 1- O tratamento T3 (NPZnO foliar) teve o diâmetro transversal pouco afetado pelo déficit hídrico, tratamentos contendo sulfato de zinco, nano óxidos de zinco (NPZnO) e bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP).
- 2- A vitamina C e a cromaticidade tiveram uma forte correlação positiva no déficit de irrigação.
- 3- Os tratamentos contendo $ZnSO_4$, NPZnO e BPCP não atenuaram o déficit hídrico imposto ao pimentão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELAAL, Khaled A. et al. Treatment of sweet pepper with stress tolerance-inducing compounds alleviates salinity stress oxidative damage by mediating the physio-biochemical activities and antioxidant systems. **Agronomy**, v. 10, n. 1, p. 26, 2019.

ABDELKHALIK, A. et al. Effects of deficit irrigation on the yield and irrigation water use efficiency of drip-irrigated sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under Mediterranean conditions. **Irrigation science**, v. 38, p. 89-104, 2020.

ABOU-ZAID, Eman AA; SHAABAN, Mokhtar M. Growth, yield and berries quality in Red Roomy grapevines improved under different foliar application of Spirulina algae, zinc and boron. **Middle East J. Agric. Res**, v. 8, n. 2, p. 654-661, 2019.

AGAR, I. T.; STREIF, J.; BANGERTH, F. Effect of high CO₂ and controlled atmosphere (CA) on the ascorbic and dehydroascorbic acid content of some berry fruits. **Postharvest Biology and Technology**, v. 11, n. 1, p. 47-55, 1997.

AHMED, Niaz et al. Micronutrients status of mango (*Mangifera indica*) orchards in Multan region, Punjab, Pakistan, and relationship with soil properties. **Open Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 271-279, 2020.

AHMED, Razu et al. Recent trends in the foliar spraying of zinc nutrient and zinc oxide nanoparticles in tomato production. **Agronomy**, v. 11, n. 10, p. 2074, 2021.

ALI, Attarad et al. Synthesis, characterization, applications, and challenges of iron oxide nanoparticles. **Nanotechnology, science and applications**, p. 49-67, 2016.

ALI, R. I. et al. Diversification of rice-based cropping systems to improve soil fertility, sustainable productivity and economics. **Journal of Animal and plant sciences**, v. 22, n. 1, p. 108-12, 2012.

ALLOWAY, Brian J. Zinc in soils and crop nutrition. published by IZA and IFA. **Brussels, Belgium and Paris, France**, v. 139, 2008.

ALMENDROS, Patricia et al. Both Zn biofortification and nutrient distribution pattern in cherry tomato plants are influenced by the application of ZnO nanofertilizer. **Heliyon**, v. 8, n. 3, p. e09130, 2022.

ALONI, B. et al. Changes in ascorbic acid concentration, ascorbate oxidase activity, and apoplastic pH in relation to fruit development in pepper (*Capsicum annuum* L.) and the occurrence of blossom-end rot. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 83, n. 1, p. 100-105, 2008.

AMINZADE, Reihaneh et al. Maintenance of pomegranate arils quality by zinc enrichment, a comparison between zinc sulfate and nano zinc oxide. **Postharvest Biology and Technology**, v. 184, p. 111757, 2022.

BOHN, Torsten; WALCZYK, Thomas. Determination of chlorophyll in plant samples by liquid chromatography using zinc-phthalocyanine as an internal standard. **Journal of chromatography A**, v. 1024, n. 1-2, p. 123-128, 2004.

BÖTTCHER, Christine et al. Sequestration of auxin by the indole-3-acetic acid-amido synthetase GH3-1 in grape berry (*Vitis vinifera* L.) and the proposed role of auxin conjugation during ripening. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 13, p. 3615-3625, 2010.

CARES, Inés Eradia Figueroa et al. Capacidad antioxidante en variedades de pimiento morron (*Capsicum annum* L.). **Interciencia**, v. 40, n. 10, p. 696-703, 2015.

CHANDRA, Ramesh; SINGH, K. K. Foliar application of zinc sulphate, magnesium sulphate and copper sulphate on the yield and quality of aonla (*Emblica officinallis* Gaerth L.) cv. "NA-7" under Garhwal Himalaya. **Himalaya Journal of Medicinal Plants Studies**, v. 3, n. 5, p. 42-45, 2015.

CHITARRA, Maria Isabel Fernandes et al. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005.

COMAN, Vasile et al. Bioactive potential of fruit and vegetable wastes. **Advances in food and nutrition research**, v. 91, p. 157-225, 2020.

DA SILVEIRA AGOSTINI-COSTA, Tânia et al. Carotenoid and total vitamin C content of peppers from selected Brazilian cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 57, p. 73-79, 2017.

DANTAS, Ana Montserrat Treitler. Características físicas e físico-químicas de frutos de genótipos de maracujazeiro-azedo, em diferentes épocas de colheita, no Distrito Federal. 2009.

DAVARPANA, Sohrab et al. Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. **Scientia horticulturae**, v. 210, p. 57-64, 2016.

DE LIMA, Priscila A. et al. Efeito do manejo da irrigação com água moderadamente salina na produção de pimentão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 1, n. 1, p. 73-80, 2006.

DEL GIUDICE, Rita et al. Antioxidant bioactive compounds in tomato fruits at different ripening stages and their effects on normal and cancer cells. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 83-94, 2015.

DU, Wei et al. Comparison study of zinc nanoparticles and zinc sulphate on wheat growth: From toxicity and zinc biofortification. **Chemosphere**, v. 227, p. 109-116, 2019.

ELIZABATH, Ambily et al. Effect of different concentrations of iron oxide and zinc oxide nanoparticles on growth and yield of carrot (*Daucus carota* L.). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 6, n. 4, p. 1266-1269, 2017.

ELKEILSH, Amr et al. Exogenous application of β -sitosterol mediated growth and yield improvement in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*) involves up-regulated antioxidant system. **Journal of plant research**, v. 132, p. 881-901, 2019.

EL-NASR, Abou et al. Using Zinc Oxide Nanoparticles to Improve the Color and Berry Quality of Table Grapes Cv. Crimson Seedless. **Plants** (2223-7747), v. 10, n. 7, 2021.

EUROPEIA, Comissão. Fechar o ciclo–plano de ação da UE para a economia circular. **Official Journal of the European Union, COM (2015)**, v. 24, 2015. Disponível online: <<https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>> Acesso em: 10 dezembro 2022.

FERRARA, A. et al. Flowering, growth and fruit setting in greenhouse bell pepper under water stress. **Journal of Agronomy**, v. 10, n. 1, p. 12-19, 2011.

FERRER, C.; COSTA, J. C. Contenido en clorofilas durante el desarrollo y maduración de frutos de *Capsicum annuum* L. **Actas de Horticultura**, v. 8, p. 269-274, 1991.

FONSECA, Sarah Nadja Araújo et al. Características físicas e químicas de pimentões comercializados em supermercados de Janaúba-MG. 2014.

GARCÍA-LÓPEZ, Josué I. et al. Foliar application of zinc oxide nanoparticles and zinc sulfate boosts the content of bioactive compounds in habanero peppers. **Plants**, v. 8, n. 8, p. 254, 2019.

GIUFFRIDA, Francesco et al. Effects of nutrient and NaCl salinity on growth, yield, quality and composition of pepper grown in soilless closed system. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, n. 9, p. 1455-1474, 2014.

GÜNDÜZ, Kazim; ÖZDEMİR, Emine. The effects of genotype and growing conditions on antioxidant capacity, phenolic compounds, organic acid and individual sugars of strawberry. **Food chemistry**, v. 155, p. 298-303, 2014.

HERNÁNDEZ, Hipólito Hernández et al. Cu Nanoparticles in chitosan-PVA hydrogels as promoters of growth, productivity and fruit quality in tomato. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 29, n. 8, p. 573-580, 2017.

HERNÁNDEZ-ORTEGA, Marcela et al. Antioxidant, antinociceptive, and anti-inflammatory effects of carotenoids extracted from dried pepper (*Capsicum annuum* L.). **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, v. 2012, 2012.

HO, C. T. Phenolic Compounds in Food and their Effects on Health I. Ho, CT, Lee, CY, and Huang, MT, Eds. 1992.

HUNGRIA, Mariangela; NOGUEIRA, Marco Antonio; ARAUJO, Ricardo Silva. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: an environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 221, p. 125-131, 2016.

Isla Sementes Ltda. Pimentão All Big. <http://www.isla.com.br/cgi-bin/detalhe.cgi?id=206>. Acesso em: 9 maio 2023.

JACOMINO, Angelo Pedro; MELHEM, Thiago Xerfan; KLUGE, Ricardo Alfredo. Kiára MENDONÇA. Concentration of Ethylene and Exposure Time for De-Greening of ‘Siciliano’ Lemons. **Braz. J. Food Technol**, v. 6, n. 2, p. 179-183, 2003.

JIMENEZ, Ana et al. Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. **Planta**, v. 214, p. 751-758, 2002.

KHAN, Muhammad Mehboob Hassan et al. Synchronization of zinc and boron application methods and rates for improving the quality and yield attributes of *Mangifera indica* L. on sustainable basis. **Journal of King Saud University-Science**, v. 34, n. 8, p. 102280, 2022.

KRASNOW, Charles; ZIV, Carmit. Non-chemical approaches to control postharvest gray mold disease in bell peppers. **Agronomy**, v. 12, n. 1, p. 216, 2022.

LANA, Milza M. et al. Identificação das causas de perdas pós-colheita de pimentão no varejo. 2006.

LARUE, Camille et al. Comparative uptake and impact of TiO₂ nanoparticles in wheat and rapeseed. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A**, v. 75, n. 13-15, p. 722-734, 2012.

LEE, Seung K.; KADER, Adel A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest biology and technology**, v. 20, n. 3, p. 207-220, 2000.

LEITE, Rubson da C. et al. Productivity increase, reduction of nitrogen fertiliser use and drought-stress mitigation by inoculation of Marandu grass (*Urochloa brizantha*) with *Azospirillum brasilense*. **Crop and Pasture Science**, v. 70, n. 1, p. 61-67, 2018.

LIDSTER, P. D.; FORSYTH, F. R.; LIGHTFOOT, H. J. Low oxygen and carbon dioxide atmospheres for storage of McIntosh apples. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 60, n. 1, p. 299-301, 1980.

LIGHTBOURN, Gordon J. et al. Effects of anthocyanin and carotenoid combinations on foliage and immature fruit color of *Capsicum annuum* L. **Journal of heredity**, v. 99, n. 2, p. 105-111, 2008.

LV, Jitao; CHRISTIE, Peter; ZHANG, Shuzhen. Uptake, translocation, and transformation of metal-based nanoparticles in plants: recent advances and methodological challenges. **Environmental Science: Nano**, v. 6, n. 1, p. 41-59, 2019.

MAFTOONAZAD, N.; RAMASWAMY, H. S. Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. **LWT-Food science and technology**, v. 38, n. 6, p. 617-624, 2005.

MARSCHNER, Horst (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Academic press, 2011.

MATTEDI, André Pugal et al. Qualidade dos frutos de genótipos de tomateiro do Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa. **Revista Ceres**, v. 58, p. 525-530, 2011.

MEDINA, P.V.L. Manejo pós-colheita de pimentões e pimentas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.10, n.113, p.72-76, maio 1984.

- MEDRANO-MACÍAS, Julia et al. The use of iodine, selenium, and silicon in plant nutrition for the increase of antioxidants in fruits and vegetables. **Antioxid. In Foods Its Appl**, p. 155-168, 2018.
- MEENA, D. C. et al. Improvement of growth, yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Azad T-6 with foliar application of zinc and boron. **International Journal of Bio-resource and Stress Management**, v. 6, n. Oct, 5, p. 598-601, 2015.
- MELO, RA de C. et al. Desempenho produtivo de pimentão cultivado em vasos com substrato utilizando mudas formadas com hidrogel nanocompósito incorporado com ureia. 2019.
- MENDONÇA, K. et al. Concentração de etileno e tempo de exposição para desverdecimento de limão'siciliano'. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 2, p. 179-183, 2003.
- MISHRA, L. N. et al. Effect of micronutrients and rootstocks on fruit yield and quality of Kinnow under high density planting. **Indian Journal of Horticulture**, v. 60, n. 2, p. 131-134, 2003.
- MONDAL, K. et al. Antioxidant systems in ripening tomato fruits. **Biologia Plantarum**, v. 48, p. 49-53, 2004.
- MOTTA, Jedman Dantas et al. Índice de cor e sua correlação com parâmetros físicos e físico-químicos de goiaba, manga e mamão. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p. 74-82, 2015.
- MUSTAFA, Maysoun A. et al. Ultrasound-assisted chitosan–surfactant nanostructure assemblies: towards maintaining postharvest quality of tomatoes. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, p. 2102-2111, 2014.
- NARAHARI, Sudha; RAO, K. P.; BAHADUR, Vijay. Effect of Zinc (Zn) and Boron (B) on Growth, Yield and Quality of Cape Goose Berry (*Physalis peruviana* L.). **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, v. 7, n. 9, p. 817-823, 2018.
- NISAR, Samia Nisar et al. Effect of zinc nanoparticles on seed priming, growth and production of cucumber. **Journal of Agriculture and Veterinary Science**, v. 1, n. 2, p. 45-52, 2022.
- NUNES, M. C. N. et al. Controlling temperature and water loss to maintain ascorbic acid levels in strawberries during postharvest handling. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 6, p. 1033-1036, 1998.
- OLIVEIRA, Francisco de Assis de. **Cultivo de pimentão em ambiente protegido utilizando diferentes manejos de fertirrigação**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- OLIVEIRA, Lorena Carolina da Silva et al. Avaliação físico-química do abacate (*persea americana* mill.) com uso de revestimento comestível produzido à base da pectina do pomelo (*Citrus grandis*). 2020.
- PAIXÃO, Airles Regina da Costa et al. Ação da pectina metil esterase e cloreto de cálcio no armazenamento e controle da podridão-mole em pimentão. 2016.

- PARK, Semin et al. Determination of polyphenol levels variation in *Capsicum annuum* L. cv. Chelsea (yellow bell pepper) infected by anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) using liquid chromatography–tandem mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 130, n. 4, p. 981-985, 2012.
- PÉREZ-LABRADA, Fabián et al. Responses of tomato plants under saline stress to foliar application of copper nanoparticles. **Plants**, v. 8, n. 6, p. 151, 2019.
- PÉREZ-LÓPEZ, Antonio José et al. Effects of agricultural practices on color, carotenoids composition, and minerals contents of sweet peppers, cv. Almuden. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 20, p. 8158-8164, 2007.
- PINHEIRO, J. M. S. **Tecnologia pós-colheita para a conservação de bananas da cultivar tropical. 59f.** 2009. Tese de Doutorado. Dissertation (Master's Degree), State University of Montes Claros.
- PULLAR, Juliet M.; CARR, Anitra C.; VISSERS, Margreet. The roles of vitamin C in skin health. **Nutrients**, v. 9, n. 8, p. 866, 2017.
- RAHI, Ashfaq Ahmad et al. Yield enhancement and better micronutrients uptake in tomato fruit through potassium humate combined with micronutrients mixture. **Agriculture**, v. 11, n. 4, p. 357, 2021.
- RALIYA, Ramesh et al. Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant. **Metalomics**, v. 7, n. 12, p. 1584-1594, 2015.
- ROBY, GASPAR et al. Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 10, n. 2, p. 100-107, 2004.
- ROCHA, Pablo A. et al. Cultivo do pimentão sob diferentes estratégias de irrigação em solo com e sem cobertura. **Horticultura Brasileira**, v. 36, p. 453-460, 2018.
- RUFFINI CASTIGLIONE, Monica et al. The effects of nano-TiO₂ on seed germination, development and mitosis of root tip cells of *Vicia narbonensis* L. and *Zea mays* L. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 13, p. 2443-2449, 2011.
- SAADATI, S. et al. Foliar applications of zinc and boron on fruit set and some fruit quality of olive. **Crop Research**, 2016.
- SAGAR, N. A. et al. Fruit and vegetable waste: bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 17: 512–531. 2018.
- SAMTIYA, Mrinal et al. Potential health benefits of plant food-derived bioactive components: An overview. **Foods**, v. 10, n. 4, p. 839, 2021.
- SANDMANN, Gerhard et al. The biotechnological potential and design of novel carotenoids by gene combination in *Escherichia coli*. **Trends in biotechnology**, v. 17, n. 6, p. 233-237, 1999.

SCOMA, Alberto et al. High impact biowastes from South European agro-industries as feedstock for second-generation biorefineries. **Critical reviews in biotechnology**, v. 36, n. 1, p. 175-189, 2016.

SERVIN, Alia et al. A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 17, p. 1-21, 2015.

SEZEN, Semih Metin; YAZAR, Attila; TEKIN, Servet. Physiological response of red pepper to different irrigation regimes under drip irrigation in the Mediterranean region of Turkey. **Scientia Horticulturae**, v. 245, p. 280-288, 2019.

SHARMA, Sat Pal et al. Root growth, yield, and fruit quality responses of reticulatus and inodorus melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 136, p. 75-85, 2014.

SILVA, M.C.P; GROppo, G.A.; NETO, J. T. Manual das culturas. CIAGRO/NÚCLEO DE AGRONEGÓCIOS. 2011.

SINGH, B.; USHA, K. Effect of macro and micro-nutrient spray on fruit yield and quality of grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette. In: **International Symposium on Foliar Nutrition of Perennial Fruit Plants 594**. 2001. p. 197-202.

SINGH, Chokha et al. Effect of macro and micronutrients on physico-chemical characters of grape cv. Perlette. **Indian Journal of Horticulture**, v. 59, n. 3, p. 258-260, 2002.

SOLIMAN, Mona H. et al. Acetylsalicylic acid enhance tolerance of *Phaseolus vulgaris* L. to chilling stress, improving photosynthesis, antioxidants and expression of cold stress responsive genes. **Botanical studies**, v. 59, n. 1, p. 1-17, 2018.

SONG, Chang-Zheng et al. Influence of foliage-sprayed zinc sulfate on grape quality and wine aroma characteristics of Merlot. **European Food Research and Technology**, v. 242, p. 609-623, 2016.

SONG, Chang-Zheng et al. Promoting effect of foliage sprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics in berries of *Vitis vinifera* cv. Merlot growing on zinc deficient soil. **Molecules**, v. 20, n. 2, p. 2536-2554, 2015.

TARAN, Songul; GARIP, Ali Kemal; ARSLAN, Haydar. Theoretical study of the structures and chemical ordering of CoPd nanoalloys supported on MgO (001). **International Journal of Modern Physics C**, v. 27, n. 12, p. 1650146, 2016.

TARIQ, M. et al. Effect of micronutrients foliar supplementation on the production and eminence of plum (*Prunus domestica* L.). **Quality Assurance and Safety of Crops & Foods**, v. 12, n. SP1, p. 32-40, 2020.

TEIXEIRA, GUSTAVO HENRIQUE DE ALMEIDA et al. Caracterização pós-colheita de seis cultivares de carambola (*Averrhoa carambola* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, p. 546-550, 2001.

URESTI-PORRAS, Jose G. et al. Foliar application of zinc oxide nanoparticles and grafting improves the bell pepper (*Capsicum annuum* L.) productivity grown in NFT system. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 49, n. 2, p. 12327-12327, 2021.

VICENTINI, Nívea Maria; CEREDA, Marney Pascoli; CÂMARA, Francisco Luís de Araújo. Revestimentos de fécula de mandioca, perda de massa e alteração da cor de frutos de pimentão. **Scientia Agrícola**, v. 56, p. 713-716, 1999.

VILLAS BOAS, R. L. et al. Efeito de doses de nitrogênio aplicado de forma convencional através da fertirrigação na cultura do pimentão. **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. sSuplemento, 2000.

VINOD, TN Vipina; MATHEW, Jyothis; RADHAKRISHNAN, E. K. Nano-based biofertilizers for horticulture. In: **Sustainable Horticulture**. Academic Press, 2022. p. 437-459.

WALKER, ROB R. et al. Shiraz berry size in relation to seed number and implications for juice and wine composition. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 11, n. 1, p. 2-8, 2005.

WANG, Shiow Y.; LIN, Shin-Shan. Composts as soil supplement enhanced plant growth and fruit quality of strawberry. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 10, p. 2243-2259, 2002.

YAHAYA, O.; ALAO, F.; ODIGIE, C. J. Yield, crop-water-use evaluation for pepper production under irrigated cultivation in Akure, Nigeria. **Global Journal of Science Frontier Research Agriculture & Biology**, v. 12, n. 1, p. 18-22, 2012.

YANG, Jie; CAO, Weidong; RUI, Yukui. Interactions between nanoparticles and plants: phytotoxicity and defense mechanisms. **Journal of plant interactions**, v. 12, n. 1, p. 158-169, 2017.

ZHAO, Li Juan et al. Transport and retention behavior of ZnO nanoparticles in two natural soils: effect of surface coating and soil composition. In: **Journal of Nano Research**. Trans Tech Publications Ltd, 2012. p. 229-242.

ZHU, Jiahui et al. Mechanism of zinc oxide nanoparticle entry into wheat seedling leaves. **Environmental Science: Nano**, v. 7, n. 12, p. 3901-3913, 2020.

ZOTARELLI, L. et al. Irrigation scheduling for green bell peppers using capacitance soil moisture sensors. **Journal of irrigation and drainage engineering**, v. 137, n. 2, p. 73-81, 2011.