



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**FRANCISCO MACELO NASCIMENTO DA COSTA**

**INFLUÊNCIA DE NANOPARTÍCULAS DE ZINCO E BIOINOCULANTES NA  
FITOMASSA E PRODUÇÃO DE BERINJELA SOB DÉFICIT HÍDRICO**

**POMBAL-PB  
JUNHO\ 2023**

**FRANCISCO MACELO NASCIMENTO DA COSTA**

**INFLUÊNCIA DE NANOPARTÍCULAS DE ZINCO E BIOINOCULANTES NA  
FITOMASSA E PRODUÇÃO DE BERINJELA SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias (UAGRA) – CCTA/UFCG, Curso de Agronomia, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.  
Orientador: Prof. Dra. Adriana Silva Lima.

**POMBAL-PB**

**JUNHO\ 2023**

C837i Costa, Francisco Macelo Nascimento da.

Influência de nanopartículas de zinco e bioinoculantes na fitomassa e produção de berinjela sob déficit hídrico / Francisco Macelo Nascimento da Costa. – Pombal, 2023.

55 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Profa. Dra. Adriana Silva Lima, Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha.”

Referências.

1. Cultura de berinjela. 2. Nano óxido de zinco. 3. Bactérias benéficas. 4. Estresse hídrico. 4. Eficiência nutricional. I. Lima, Adriana Silva. II. Rocha, Josinaldo Lopes Araújo. III. Título.

CDU 635.646(043)

**FRANCISCO MACELO NASCIMENTO DA COSTA**

**INFLUÊNCIA DE NANOPARTÍCULAS DE ZINCO E BIOINOCULANTES NA  
FITOMASSA E PRODUÇÃO DE BERINJELA SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias (UAGRA) – CCTA/UFCG, Curso de Agronomia, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.  
Orientadora: Prof. Dra. Adriana Silva Lima.

**Aprovado em: 14/07/2023**

**BANCA EXAMINADORA**



Orientadora – Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Adriana Silva Lima  
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA – UAGRA)



Co-orientador – Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha  
(Universidade Federal de Campina Grande – CTRN – UAEA)



Membro – Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Railene Hérica Carlos Rocha Araújo  
(Universidade Federal de Campina Grande – CTRN – UAEALI)



Membro – Prof. Francisco Hevilásio Freire Pereira  
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA – UAGRA)

*A Deus que toda honra e toda gloria seja  
dada ao seu nome.*

*DEDICO!*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, sem ele nada eu seria, meu amigo de todos os momentos, onde sempre acho forças para prosseguir.

Aos meus pais Valquimar Ferreira da Costa e Antonia de Maria Nascimento da Luz Costa. Por sempre acreditarem em me e dividirem esse sonho comigo. Meus maiores exemplos. Se me tornei a pessoa que sou hoje foi por vocês. Que em algum dia eu possa retribuir o muito que fizeram por mim.

As minhas irmãs Estafani e Tainara. Por todas as palavras de apoio, e por me motivarem a nunca desistir.

A minha namorada Tais Fernandes por todo o companheirismo, sempre estando ao meu lado me apoiando. Me ajudando com os desafios da vida e compartilhando sonhos comigo.

A meus avós Paternos Francisca Ferreira e Mamedio Ferreira (In memorian) e maternos José Antônio e Maria Nascimento. Por ajudarem em minha educação, e por todo amor e carinho que um neto poderia receber.

A meu tio João Mamedio (In memorian), uma excelente pessoa a qual tiver a oportunidade de conviver.

A meu co-orientador professor Josinaldo Lopes, pela a oportunidade de trabalhar com pesquisa a campo. Agradeço por todo o conhecimento repassado, paciência e por me fazer um profissional melhor.

A minha orientadora professora Adriana Silva Lima, por todos os ensinamentos, dedicação. De fundamental importância para conclusão de minha graduação.

A meus amigos da graduação e residência universitária. Pedro Francisco, Rafael Pereira, Rodolfo Barbosa, João Carlos, Albertine Felipe, Elson Costa, Ebson Janoca, Emanuel Sales, Arthur Fernandes Rudson Brito, Rosilvado Junior,

Rubens Sousa, Isabel Almeida, Leticia Silva, Djailton Gonçalves, Jardel Gonçalves, Pedro Elias, Darley de Oliveira, Matheus Sanchez, Anderson Felipe, Marcos de Melo, Ranieri. Pedro Renan, André Silva. E a todos que contribuíram de forma direta ou indireta com esse sonho.

A todo o grupo docente da UFCG-CCTA. Aos terceirizados do campus, fazenda experimental e grupo de administração do campus. Ao CNPq por me fornecer a bolsa de estudos, assistência estudantil da UFCG. E a Fapesq devido ao apoio financeiro Outorga 3071/2021-Fapesq/PB Edital Universal 09/2021 SEECT/Fapesq.

## RESUMO

A baixa disponibilidade hídrica que atinge a região Nordeste do Brasil é um fator limitante que pode reduzir a produção e a qualidade da berinjela. Para minimizar esse problema a utilização de tecnologias como o nanóxido de zinco e bioinoculantes que atuam como atenuantes do déficit hídrico podem promover resultados positivos na cultura da berinjela. O estresse hídrico é uma realidade presente nas áreas agrícolas de todo o Brasil, e de forma mais desafiadora nas regiões semiáridas. Estas condições climáticas põem à prova a produção das espécies olerícolas, diminuindo acentuadamente o seu desempenho em baixa disponibilidade hídrica, o que limita a expressão de todo o seu potencial produtivo. Neste trabalho objetivou-se investigar a influência de nanopartículas nano óxido de zinco associado ou não a bioinoculantes sobre a produção de fitomassa aérea e produção de berinjela. O experimento foi instalado em parcelas subdivididas no espaço, onde as parcelas compreenderam dois níveis de irrigação (50% e 100% da evapotranspiração da cultura-ETc) e as subparcelas, cinco tratamentos compostos pela combinação de nanopartículas de nanóxido de zinco (NZnO) e, ou bioinoculantes (Bio) contendo bactérias promotoras de crescimento de plantas (C = controle, T1 = ZnSO<sub>4</sub> via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> via solo + Bio, com quatro blocos (repetições). Na fase de produção foi avaliada a produtividade de frutos comerciais e não comerciais em duas colheitas e a produção de fitomassa seca. Os produtos à base de nanopartículas de zinco e sulfato de zinco, associados ou não a bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) não interferiram na produção de massa seca da berinjela. A produção total de frutos foi negativamente afetada pelo déficit hídrico imposto pela lâmina de 50% da ETc. Por sua vez, a aplicação via foliar de nanopartícula de zinco associado à BPCP via radicular (T3) incrementou a produção de frutos comerciais por ocasião da segunda colheita sob déficit hídrico. Perante condições adequadas de suprimento de água (100% da ETc), os melhores desempenhos em termos de frutos comerciais foram observados nos tratamentos T3 (T3 NPZnO via foliar + Bio) e T4 (ZnSO<sub>4</sub> via solo, com aplicação de BPCP via radicular).



**Palavras-chave:** Nano óxido de zinco. Bactérias benéficas. Estresse hídrico. Eficiência nutricional.

## ABSTRACT

The low water availability that affects the Northeast region of Brazil is a limiting factor that can reduce eggplant production and quality. To minimize this problem, the use of technologies such as zinc nanoxide and bioinoculants that act as attenuator of the water deficit can promote positive results in the eggplant culture. Water stress is a reality present in agricultural areas throughout Brazil, and in a more challenging way in semi-arid regions. These climatic conditions put the production of vegetable species to the test, sharply reducing their performance in low water availability, which limits the expression of all their productive potential. This work aimed to investigate the influence of zinc oxide nanoparticles associated or not with plant growth-promoting bacteria on the production of aerial phytomass and eggplant production. The experiment was installed in subdivided plots in space, where the plots comprised two levels of irrigation (50% and 100% of the evapotranspiration of the culture-ET<sub>c</sub>) and the subplots, five treatments composed by the combination of nanoparticles of zinc nanoxide (NZnO) and ,or bioinoculants (Bio) containing plant growth-promoting bacteria (C = control, T1 = ZnSO<sub>4</sub> via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> via soil + Bio, with four blocks ( In the production phase, the productivity of commercial and non-commercial fruits was evaluated in two harvests and the production of dry mass. Products based on zinc nanoparticles and zinc sulfates, associated or not with plant growth-promoting bacteria (BPCP) did not interfere with eggplant dry mass production. Total fruit production was negatively affected by the water deficit imposed by the 50% ET<sub>c</sub> depth. (T3) increased the production of commercial fruits during the second harvest under water deficit. Given adequate water supply conditions (100% of ET<sub>c</sub>), the best performances in terms of commercial fruits were observed in treatments T3 (T3 NPZnO via foliar + Bio) and T4 (ZnSO<sub>4</sub> via soil, with application of BPCP via root.

Keywords: Nano zinc oxide. Beneficial bacteria. Hydrical stress. Nutritional efficiency.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>15</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
2.1. Exigências hídricas e influência do déficit hídrico sobre o crescimento e produtividade da berinjela.....	18
2.2. Bactérias promotoras do crescimento vegetal como atenuantes do estresse hídrico.....	19
2.3. Nanofertilizantes como atenuantes do estresse hídrico.....	21
<b>3. MATERIAS E METÓDOS.....</b>	<b>23</b>
3.1. Localização e caracterização da área experimental.....	23
3.2. Tratamentos e delineamento estatístico.....	24
3.3 Produção de mudas.....	25
3.4. Preparo da área caracterização do solo e transplântio.....	26
3.5. Aplicação dos tratamentos.....	28
3.6. Manejo das lâminas de irrigação.....	28
3.7. Tratos culturais.....	30
3.8. Adubação de cobertura.....	31
3.9. Controle fitossanitário.....	32
3.10. Variáveis analisadas.....	32
3.11. Análise estatística.....	34
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Dados climatológicos de temperatura e umidade relativa do ar do experimento em campo .....	24
<b>Figura 2.</b> Produtos utilizados como forma de tratamentos, com objetivo de mitigar o estresse hídrico, aumentando a produção. Nanopartícula óxido de zinco (A), Biobaci contendo <i>Bacillus subtilis</i> (B), No-Nema contendo <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (C), Sulfato de zinco (D) .....	25
<b>Figura 3.</b> Disposição das bandejas após a semeadura (A), emergência das plântulas (B), aplicação de solução nutritiva (C) .....	26
<b>Figura 4.</b> Preparo da área com grade aradora e levantamento das leiras (A), adubação de plantio ou fundação (B), instação do sistema de irrigação (C) .....	28
<b>Figura 5.</b> Estacas de sabiá (A), varas de marmeleiro (B), Plantas já tutoradas (C, D) .....	31
<b>Figura 6.</b> Pesagem dos fertilizantes (A), tanque de mistura para fertirrigação (B) .....	32
<b>Figura 7.</b> Beringelas colhidas (A), beringelas dispostas na bancada para avaliação (B) .....	33
<b>Figura 8.</b> Massa seca das folhas de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). 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 .....	36
<b>Figura 09.</b> Massa seca do caule de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). 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 .....	37

**Figura 10.** Massa seca da parte aérea de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). 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 ..... 38

**Figura 11.** Produção total da 1ª colheita de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). 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 ..... 39

**Figura 12.** Produção total da 2ª colheita de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). 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 ..... 40

**Figura 13.** Produção de frutos comerciais da 1ª colheita de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). 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 ..... 41

**Figura 14.** Produção de frutos comerciais 2ª colheita de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). 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 ..... 42

**Figura 15.** Produção de frutos não comerciais da 1ª colheita de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). 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..... 43

**Figura 16.** Produção frutos não comerciais da 2ª colheita de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). 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..... 44

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-20 cm do solo PLANOSSOLO HÁPLICO utilizado no experimento .....	26
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância referente à massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule (MSC), massa seca da parte aérea (MSPA), produção total de frutos da 1ª colheita (FTOTAL 1), 2ª colheita (FTOTAL 2), produção de frutos não comerciais da 1ª colheita (FNC1), da 2ª colheita (FNC) e frutos comerciais da 1ª (FC1) e 2ª colheita (FC2) .....	35

## 1. INTRODUÇÃO

Os agricultores do sertão Paraibano têm como fonte de renda a prática de cultivo da olericultura por ser uma importante atividade econômica a região, por suas características, gera emprego e renda na região. Contudo, uma das dificuldades dos olericultores desta região é a escassez hídrica e a falta de adoção de novas tecnologias de produção, ocasionado perda de produtividade e de qualidade do produto colhido.

Um das hortaliças que melhor se adapta a região é a berinjela, em específico, a variedade Ciça que apresenta plantas de alto vigor; e ciclo de 90-110 dias. De forma geral, os frutos adquirem formato oblongo, coloração roxa escura brilhante e pedúnculo verde, com comprimento de 20 cm, diâmetro de 7cm e peso médio de 350 g, respectivamente (EMBRAPA, 2022).

Segundo o último censo agropecuário do instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE 2017), o Brasil obteve uma produção de berinjela estimada em 71.914 toneladas, sendo o estado de São Paulo o maior produtor, com produção de 27.961 toneladas.

A berinjela é uma das hortaliças mais apreciadas no mundo inteiro, em especial nas culinárias mediterrânea e árabe. De baixo valor calórico, contém pequenas quantidades de cálcio, ferro e fósforo e de vitaminas A e B1 (EMBRAPA, 2020).

O estresse hídrico é um dos fatores que mais contribuem para a diminuição do crescimento e produtividade das hortaliças, principalmente as de frutos como a berinjela (*Solanum melongena* L.), que apresenta elevado índice de área foliar e conseqüentemente, elevada taxa de evapotranspiração (DAMASCENO et al., 2022). O déficit hídrico ocorre quando o conteúdo de água no tecido ou na célula vegetal está abaixo do conteúdo de máxima hidratação, e após longo prazo de estresse, a água na planta não é recuperada, causando fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e abscisão das folhas (XU et al., 2018) e, por conseguinte, decréscimo na produção.

O uso de produtos biológicos como atenuantes do estresse hídrico nas culturas, pode contribuir para aumentar a eficiência do uso da água pelas plantas especialmente aqueles contendo microrganismos na sua composição (LIN et al.,



2018; MATOS et al., 2019; ZAREI et al., 2019), denominados genericamente de bactérias promotoras de crescimento de plantas.

As bactérias promotoras de crescimento vegetal, que interagem com as raízes das plantas, têm a capacidade de aumentar a produtividade e conferir as plantas características de imunidade e tolerância induzida por fatores abióticos, como salinidade e a seca (LIMA e al., 2019).

O uso de nanotecnologia na agricultura tem ganhado relevância nos últimos anos, especialmente devido às pesquisas com nanopartículas (materiais com tamanho entre 1 e 100 nm) contendo micronutrientes zinco (GARCIA-LÓPEZ et al., 2019; AHMADIAN et al., 2021). Alguns trabalhos demonstraram que a aplicação de nanofertilizantes à base de micronutrientes como zinco e ferro em milho, trigo e em soja, pode diminuir os efeitos estressantes do déficit hídrico (GHOLINEZHAD 2017; AHMADIAN et al., 2021; SUN et al., 2021). Entretanto, em hortaliças de frutos os trabalhos desta natureza são escassos (GARCIA-LÓPEZ et al., 2019).

Assim, o entendimento das interações entre microrganismos e plantas, bem como de nanofertilizantes, em ambientes com déficit hídrico pode proporcionar o desenvolvimento de novas tecnologias que mitiguem os efeitos adversos desse tipo estresse, aumentando a produtividade das culturas agrícolas. Por outro lado, estudos com essa temática são escassos e precisam ser ampliados de forma a gerar mais informações acerca destas interações sob clima semiárido.

Neste trabalho objetivou-se investigar a influência de nanopartículas de óxido de zinco, associado ou não a bactérias promotoras do crescimento de plantas no crescimento e produção da berinjela submetidas ao estresse hídrico.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Exigências hídricas e influência do déficit hídrico sobre o crescimento e produtividade da berinjela**

O clima semiárido é caracterizado pelo contraste entre alta temperatura e baixa umidade relativa do ar e por apresentar alta variabilidade espacial e temporal das chuvas, que ocorrem por um curto e concentrado período no ano, além de ser comum a ocorrência de anos sem chuvas (JÚNIOR et al., 2020).

No semiárido paraibano os recursos hídricos são limitados, sendo necessário práticas de cultivo que reduzam o consumo de água, possibilitando uma agricultura economicamente viável ao produtor.

A berinjela (*Solanum melongena* L.) é uma cultura distinta em todo o mundo, com uma área cultivada de 1,86 milhões de hectares, produzindo aproximadamente 54 milhões de Mg (SEMIDA et al., 2021).

Estudos mostram que a redução da irrigação em até 60% da ET<sub>c</sub> pode resultar na exposição da berinjela a um déficit hídrico severo e contínuo. Este estresse hídrico induziu perdas na integridade da membrana e deficiência de água nos tecidos, bem como perturbou a capacidade fotossintética do PSII e reduziu o conteúdo relativo de clorofila, que por sua vez produziu prejuízo substancial de características relacionadas ao crescimento (SEMIDA et al., 2021).

Deficiências na absorção e transporte de nutrientes devido ao estresse hídrico resultaram em perda de rendimento da cultura. Além disso, sob condições de solo alcalino, a absorção e a transferência de nutrientes das raízes para as folhas diminuem, especialmente os micronutrientes (VAGHAR et al., 2020).

Estudos mostram que a cultura da berinjela mostrou-se ser adversamente afetada pela seca em termos de altura de planta, peso seco total e produção de frutos. Redução na taxa de transpiração, condutância estomática e taxa fotossintética de berinjela também foram observadas após a exposição a diferentes durações de estresse hídrico (AMIRI et al., 2020).

O ciclo fenológico da cultura da berinjela pode variar dependendo do genótipo, durando de 100 a 130 dias, estendendo-se a cinco meses. Isso ocorre em virtude da existência de ramos com flores e ramos com frutos no mesmo momento, em uma única planta (Félix, 2017). Além disso, o consumo hídrico da planta é influenciado por cada fase fenológica.

Segundo Carvalho et al. (2012) foram encontradas consumos de água durante o ciclo de berinjela de aproximadamente 388,1 mm. Sendo que as fases de desenvolvimento foram divididas em relação ao coeficiente de cultura (Kc) definidas, os coeficientes de cultura (Kc) são os seguintes: fase inicial até 30 dias após o transplântio Kc de 0,75; na fase vegetativa que considera de 31 a 64 dias é de 0,85; na fase frutificação, dos 65 a 72 dias o Kc é 1,20; e finalmente na fase de colheita que vai dos 73 a 100 dias o Kc é igual a 0,90.

## **2.2. Bactérias promotoras do crescimento vegetal como atenuantes do estresse hídrico**

Dentre as possíveis estratégias para atenuar o estresse hídrico nas culturas, tem recebido atenção da pesquisa, as bactérias promotoras do crescimento de plantas (VURUKONDA et al., 2016; CHANDRA et al., 2018; OJUEDERIE et al., 2019; Lima et al., 2019; AKHTAR et al., 2020). O Uso de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) na agricultura é uma tecnologia ambientalmente amigável, uma vez que pode aumentar a produtividade das culturas, a fertilidade do solo, a exemplo dos solublizadores de fosfato, sem exercer nenhum efeito tóxico no ambiente. Além disso, podem diminuir a disponibilidade de substâncias tóxicas e metais pesados no solo (RAMAKRISHNA et al., 2019).

A grande diversidade de bactérias promotoras de crescimento vegetal na rizosfera depende das condições fisiológicas do solo e da disponibilidade de nutrientes. As bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) conferem vários benefícios promotores de crescimento à planta, colonizando as raízes. Quimiotaxia, motilidade, presença de proteínas de membrana como lipopolissacarídeos e exopolissacarídeos, existência de apêndices como pili e fímbrias e capacidade de utilizar exsudatos radiculares são algumas das

características que permitem a colonização radicular (KABIRAJ et al., 2020; PATHANIA et al., 2020).

Estudos dirigidos por RAJA et al., (2020) relataram que as concentrações de clorofila e carotenóides diminuíram em 80% e 57%, respectivamente em plantas de tomate sob a influência da seca e do estresse térmico. Deste modo as funções mais proeminentes dos BPCV para o desenvolvimento de plantas, envolvem fixação de nitrogênio, solubilização de fosfato, aclimação de micronutrientes, liberação de fitormônios, manutenção da composição do solo, biorremediação de solo poluído, resistência sistêmica induzida contra pragas, insetos e patógenos fúngicos e mitigação de estresses abióticos como salinidade e seca (NOVO et al., 2018; PATHANIA et al., 2020). Com os efeitos benéficos desses microrganismos no solo ocorre uma interação com enzima nitrogenase permite que os BPCV fixem o nitrogênio atmosférico e o disponibilizem para as plantas na forma de amônia e nitrato (HAKIM et al., 2021).

Da mesma forma, as BPCV realizam a solubilização do fosfato por meio da produção de ácidos orgânicos que formam complexos com o fosfato, aumentando sua disponibilidade para a planta (KABIRAJ et al., 2020; PATHANIA et al., 2020). As BPCV também aumentam a disponibilidade de micronutrientes como o ferro pela produção de sideróforos, que são de baixo peso molecular, e quelantes de ferro de alta afinidade (SINGH, 2020).

As bactérias promotoras de crescimento vegetal liberam hormônios e enzimas como citocinas, auxinas, giberelinas, ACC desaminase, que ajudam a planta a manter taxas de crescimento de brotos quase normais, realizando mecanismos como alongamento de tecidos e células e mitigando os efeitos prejudiciais do etileno. Por exemplo, plantas de trigo estressadas pela seca quando inoculadas com *Pseudomonas* spp. Mostraram-se melhor no comprimento da parte aérea e biomassa seca em contraste com plantas não inoculadas (TARIQ et al., 2020).

### **2.3. Nanofertilizantes como atenuantes do estresse hídrico**

A utilização de nanofertilizantes na agricultura tem colaborado com efeitos positivos para atenuar o estresse hídrico nas culturas é o uso da nanotecnologia, que tem revolucionado a agricultura em diversas áreas do conhecimento, a

exemplo dos nanofertilizantes (GHOLINEZHAD, 2017; AHMADIAN et al., 2021). Os nanofertilizantes são constituídos por nanopartículas contendo macro e, ou micronutrientes de plantas, com tamanho entre 1 e 100 nm, estes materiais possuem características físicas e químicas distintas dos fertilizantes convencionais, a exemplo de sua elevada superfície específica, reatividade e capacidade de interação com biomoléculas, podendo resultar numa maior absorção de nutrientes como ferro (Fe), zinco (Zn) e elementos benéficos como o selênio (Si) (MOSA et al., 2021).

Neste sentido, os nanofertilizantes são classificados com base na categorização de nutrientes. Portanto, existem dois tipos de nanofertilizantes, ou seja, nanofertilizantes de micronutrientes e nanofertilizantes de macronutrientes (SANZARI et al., 2019). Além disso, a associação de nanofertilizantes com BPCP também tem sido considerado como uma outra estratégia importante e frequentemente tem sido considerado como nano-biofertilizante (MARDALIPOUR, 2014; KUMARI & SINGH, 2020).

Uma das vantagens dos nanofertilizantes é o aumento da biodisponibilidade de micronutrientes para as plantas como o Fe e Zn, com taxa de liberação gradual. Estes nutrientes geralmente são encontrados em baixa concentração em áreas cultivadas com hortaliças de regiões semiáridas devido aos processos de precipitação química devido ao pH elevado (geralmente superior a 6,5), nestas áreas, os nanofertilizantes podem atuar como produtos de biofortificação eficazes e eficientes, melhorando a qualidade nutricional do produto colhido (AHMADIAN et al., 2021). Outra vantagem, é que estes materiais não agredem o ambiente, uma vez que não deixam resíduos tóxicos no solo, água, planta ou qualquer outro compartimento ambiental (ZULFIQAR et al., 2019). A eficiência dos nanofertilizantes tem sido comprovada em algumas pesquisas. Garcia-Lopez et al. (2019) observaram um significativo aumento do número de frutos, massa de frutos e sólido solúveis em pimenta (*Capsicum chinense* Jacq.) com a aplicação foliar de nanopartículas de ZnO na concentração de 1,0 g/L de Zn em comparação com a mesma concentração de Zn na forma de sulfato de zinco (fonte usual de Zn).

O efeito atenuante do estresse hídrico dos nanofertilizantes foram observados em algumas pesquisas. Gholinezhad (2017) observaram, em

plantas de endro (*Anethum graveolens* L.) que aplicação de nanofertilizante de ferro aumentou a produção de biomassa seca e o rendimento de óleo essencial, assim como diminuiu os efeitos negativos do estresse hídrico sobre a cultura.

Da mesma forma, Ahmadian et al. (2021) avaliaram o efeito de nanopartículas de silício, zinco e boro quando aplicado via foliar na cultura do trigo, na concentração de 2g/L, em condição de adequado suprimento de água (100% da necessidade hídrica e de déficit hídrico (50% da necessidade hídrica). Neste estudo, as nanopartículas promoveram aumento da produtividade de grãos, altura de plantas e promoveram um aumento da atividade de enzimas relacionadas com a atenuação do estresse hídrico como a SOD (superóxido dismutase). Neste sentido, a atenuação do estresse hídrico por nanopartículas de zinco (100 mg/L) tem sido atribuído ao aumento da atividade de enzimas antioxidantes como a SOD, catalase e peroxidases e pela modulação dos níveis de hormonais associados com os estresses abióticos, como observado por Sun et al. (2021) em plantas de milho, aliviando os danos na mitocôndria e nos cloroplastos provocados pela seca. Nesta direção, Linh et al. (2020) observaram que nanopartículas de Fe, Zn, Cu e Co foram capazes de atenuar o estresse hídrico em soja pelo aumento da transcrição de genes induzidos pelo déficit hídrico que codificam para biomoléculas atenuantes deste estresse abiótico.

Reduzindo de forma significativa os efeitos ocasionados em decorrência do estresse hídrico nas células vegetal, as NP de ZnO aplicadas via foliar em plantas de milho melhorou a taxa líquida de fotossíntese, auxiliou no movimento estomático, aumentou o teor de água e clorofila e também melhorou as atividades de enzimas envolvidas na biossíntese de amido e sacarose e no metabolismo da glicose nas folhas de plantas de milho SOL et al. (2021).

De acordo com ABASSIFAR et al. (2020) a pulverização com ZnO NP em combinação com Cu NP e Mn NP aumentou o crescimento da planta de manjerição, o teor de clorofila, bem como aumentou a atividade antioxidante. O ZnO NP corrigiu a planta de sorgo estressada pela seca, aumentou o rendimento verde em até 183% e melhorou a aquisição total de N e K pela planta (DIMKPA et al., 2019).

Uma combinação de irrigação deficitária com aplicação de nanofertilizantes pode proporcionar uma economia significativa de água e

melhorar o WP em berinjela. Em escala de campo, as respostas da berinjela ao déficit combinado de irrigação e aplicação foliar de ZnO NP cultivadas em solo alcalino salino ainda não foram totalmente investigadas (SEMIDA et al., 2021).

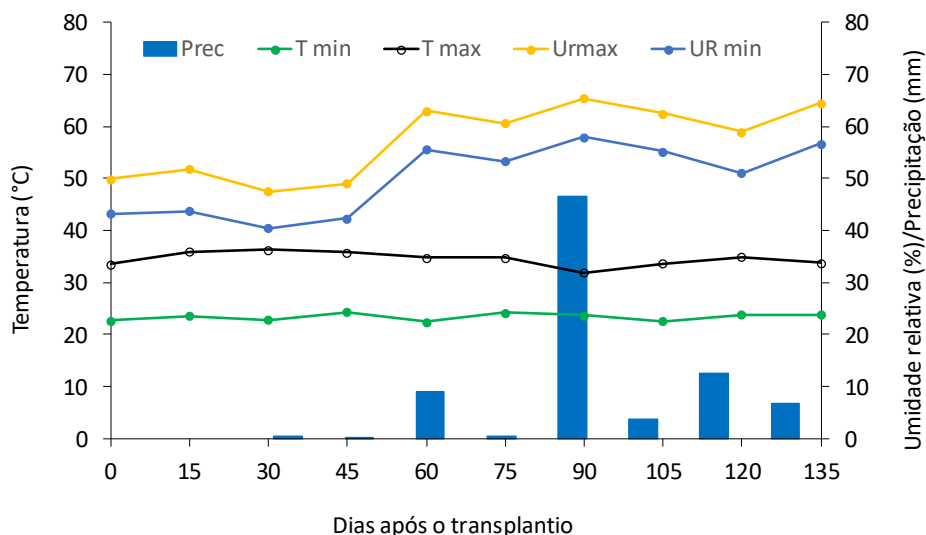
### **3. MATERIAL E METÓDOS**

#### **3.1. Localização e caracterização da área experimental**

O experimento foi realizado em condições de campo, em área pertencente a Fazenda Experimental 'Rolando Enrique Rivas Castellón' do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), *Campus* de Pombal-PB.

A sede da Fazenda Experimental localiza-se no município de São Domingos, à 30 km do município de Pombal (PB). O município situa-se na região Oeste do Estado da Paraíba, mesorregião do Sertão Paraibano e microrregião de Sousa. Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é o Aw', quente e úmido com chuvas de verão-outono, precipitações pluviométricas anuais em torno de 800 mm e amplitude térmica sempre inferior a 5°C. A Fazenda Experimental situa-se à 190 m altitude sob as coordenadas: Latitude 6° 50' 4" Sul, Longitude 37° 53' 9" Oeste. Segundo a classificação de Gaussen, prevalece o bioclima do tipo Mediterrâneo, ou nordestino de seca média, com estação seca de 4 a 6 meses. A vegetação do entorno é do tipo caatinga hiperxerófila, em avançado estágio de degradação. O solo da área experimental foi classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO (Embrapa, 2019).

Durante o período experimental dados meteorológicos foram obtidos da estação de São Gonçalo, distrito de Sousa (PB) (AGRITEMPO, 2023).



Fonte: Autor 2023

**Figura 1.** Dados climatológicos de temperatura (C°), umidade relativa do ar e (%) precipitação (mm) durante o período experimental no campo (AGRITEMPO, 2023).

### 3.2. Tratamentos e delineamento estatístico

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas no espaço, onde as parcelas compreenderam dois níveis de irrigação (50% e 100% da evapotranspiração potencial - Eto) e as subparcelas por cinco tratamentos compostos pela combinação de nanopartículas de óxido de zinco (NPZnO) e, ou bioinoculantes (Bio) contendo bactérias benéficas (C; controle, T1; ZnSO<sub>4</sub> via foliar, T2; NPZnO via foliar, T3; NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> via solo + Bio, com quatro blocos (repetições).





**Figura 2.** Produtos utilizados como forma de tratamentos, com objetivo de mitigar o estresse hídrico, aumentando a produção. Nanopartícula óxido de zinco (A), Biobaci contendo *Bacillus subtilis* (B), No-Nema contendo *Bacillus amyloliquefaciens* (C), Sulfato de zinco (D)

### 3.3. Produção de mudas

As mudas de berinjela (*Solanum melongena* L.), cv 'Ciça', foram produzidas em bandejas plásticas com 200 células cada uma com volume, volume de 18 cm<sup>3</sup>, substrato comercial Basaplant<sup>®</sup>. Após o processo de sanitização das bandejas com detergente e hipoclorito de sódio, as bandejas foram lavadas em água corrente e secas. Posteriormente, foi adicionado o substrato nas células, e em seguida o semeio com uma semente por célula, que foram levadas para casa de vegetação situada no Campus do CCTA e ficaram sob uma bancada (Figura 1).

A emergência ocorreu aos 8 dias após o semeio (Figura C). Aos 22 dias após a emergência as plântulas receberam a aplicação de solução nutritiva com sulfato de amônio: 1,3g/10L e fosfato de potássio: 1,72g/10L, sendo aplicada nas mudas dia sim dia não até a data de transplântio (Figura D). Com 29 dias após a emergência foi aplicado uma segunda solução nutritiva (Figura E). Uma vez por semana até o dia do transplântio contendo:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  - 12 g/10L;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  - 0,25 g/L; mais 10 mL da solução estoque de micronutrientes (10mL/10L) contendo:  $\text{H}_3\text{BO}_3$  - 2,86 g/L;  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  - 1,8 g/L;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  - 0,22 g/L, todas as aplicações das soluções foram realizadas na água de irrigação com o irrigador manual.



**Figura 3.** Disposição das bandejas após a semeadura (A), emergência das plântulas (B), aplicação de solução nutritiva (C)

### 3.4. Preparo da área, caracterização do solo e transplântio

O preparo da área constituiu-se de uma aração e uma gradagem, com o intuito de eliminar as plantas daninhas, deixar a área mais plana e livre de torrões. Antes do preparo do solo, uma amostra composta por 15 subamostras foi obtida na camada de 0 a 20 cm para sua caracterização química e física (Tabela 1) conforme procedimento descritos em Embrapa (2009).

**Tabela 1.** Atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-20 cm do solo PLANOSSOLO HÁPLICO utilizado no experimento.

Atributos químicos								
pH	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	P	M.O	V

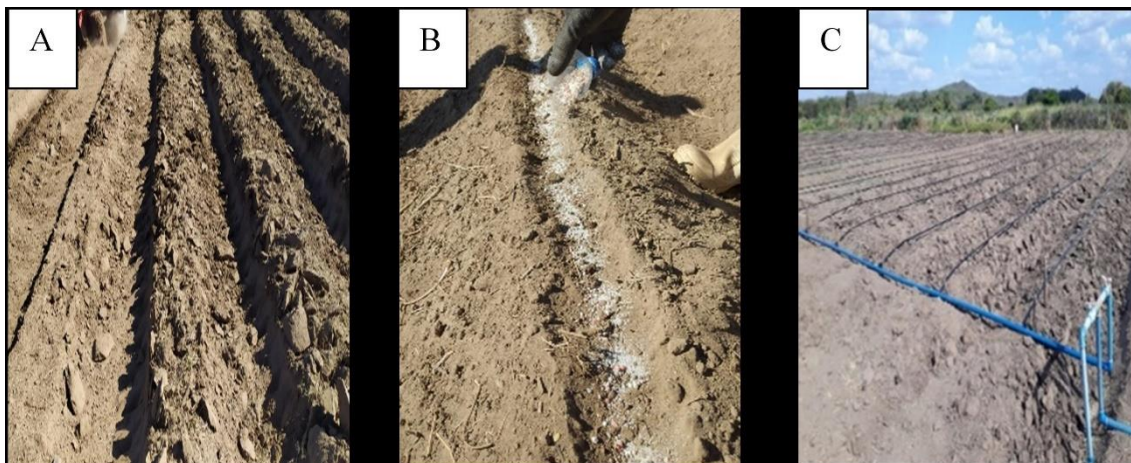
(CaCl <sub>2</sub> ) -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	%
6,20	1,19	0,54	5,80	3,40	2,30	291	6,40	83
Atributos físicos								
Areia	Silte	Argila	DS	DP	Pt	CC	PMP	AD
-----g kg <sup>-1</sup> -----			---g cm <sup>-3</sup> ---	-----%-----				
444	353	203	1,4	2,65	47	12,87	5,29	7,58

P, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>: Extrator Mehlich<sup>-1</sup>; H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>: Extrator acetato de Ca<sup>+2</sup> 0,5 mol/L a pH 7; Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>: Extrator KCl 1mol L<sup>-1</sup>; Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade de partícula; Pt = Porosidade total; Mo = Matéria orgânica; V (%) = valor desaturação por bases (100 × SB / CTC); PST (%) = Porcentagem de sódio trocável (100 × Na<sup>+</sup>/CTC). CC = capacidade de campo; PPM = Ponto de murcha permanente; AD = água disponível.

As mudas de berinjela (*Solanum melongena* L.), cv 'Ciça', foram produzidas em bandejas de plástico, com 200 células, as quais preencheu-se com substrato comercial Basaplant (Figura 3C). Após o levantamento das leiras foram confeccionadas as placas de identificação dos blocos e parcelas, logo depois instaladas no campo, facilitando assim o manejo nas aplicações e avaliações.

As mudas foram transplantadas 45 dias após o semeio no espaçamento de 1,2 m entre linhas e 0,8 m entre plantas da fileira. Cada subparcela foi constituída de quatro linhas de 3,6 m de comprimento nas quais foram cultivadas 20 plantas. A parcela útil consistiu de uma área de uma área de 3,0 m x 3,0 m na parte central da parcela, onde vieram a ser avaliadas 6 plantas. Na instalação dos experimentos, houve um espaço de 1,2 m entre subparcelas e 2,0 m entre os blocos.

A adubação básica de plantio e de cobertura, com base na análise do solo, foram realizadas de acordo com as recomendações do Manual de Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco (Cavalcante, 2008), a partir da interpretação da análise de solo da área do experimento. As adubações nitrogenadas e potássicas, em cobertura foram aplicadas via fertirrigação, seguindo um cronograma de aplicação das fontes de acordo com as recomendações técnicas para as culturas, que consideram a marcha de absorção e a relação N/K ao longo do seu ciclo.



**Figura 4.** Preparo da área com grade aradora e levantamento das leiras (A), adubação de plantio ou fundação (B), instação do sistema de irrigação (C)

### 3.5. Aplicação dos tratamentos

Para os tratamentos contendo nanofertilizante empregou-se no preparo do nanofertilizante óxido de zinco, produto p.a nano-óxido de zinco (NZnO) da marca Sigma-Aldrich® que tem 97% de pureza, granulometria de tamanho menor que  $<100$  nm e superfície específica de  $10,8$  m<sup>2</sup>/g, sendo utilizado no experimento a concentração  $0,125$ g/L,  $35$ ml de calda ml/planta,  $50$ g de NPZnO/ha.

No tratamento com ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O utilizou-se a fonte p.a, sendo utilizado a concentração de  $4,54$ g/L,  $35$ ml de calda/planta,  $378$ g/ha, considerando uma população de  $10.416$  plantas por hectare.

Os tratamentos referentes a bioinoculação, foram aplicados utilizando-se os produtos comerciais Biobaci® contendo *Bacillus subtilis* BV-09 na concentração nominal de  $1,0 \times 10^8$  UFC/mL o produto No-Nema® contendo *B. amyloliquefaciens* foi na concentração de  $1,0 \times 10^9$  UFC/mL. Ambos os produtos foram aplicados na zona radicular, cada um na dose de  $3$  L/ha. Antes de sua aplicação, os produtos foram diluídos em água na razão de  $45$  mL/L. As suspensões obtidas diluição foi aplicada na zona radicular das plantas dos tratamentos com Bio, na dose de  $50$  mL por planta.

### 3.6. Manejo das lâminas de irrigação

Após o transplântio, a cultura foi irrigada por gotejamento (Figura 3D), com gotejadores espaçados de  $0,20$  m e com vazão real de  $1,5$  L/h, sendo a lâmina

de 100% ligada por 2 horas e a de 50% (Figura C), ligada por 45 minutos. Após a padronização do número de plantas por subparcela aplicou-se os tratamentos, as plantas foram irrigadas por dois níveis de irrigação (50% e 100% da evapotranspiração cultura-ETc). A irrigação total necessária (ITN) será calculada pela seguinte expressão:

$$ITN = \frac{(Cc - Pm) \times Z \times Ds \times f}{10}$$

Em que:

ITN - corresponderá a lâmina total inicial de água a ser aplicada em mm;

Cc – Umidade do solo correspondente a capacidade de campo, %;

Pm – Umidade do solo correspondente ao ponto de murcha, %;

Z - profundidade efetiva do sistema radicular da berinjela (50 cm);

Ds - densidade do solo, g/cm<sup>3</sup>, e;

f – fator de disponibilidade de água para a berinjela (0,5).

Os testes de uniformidade de aplicação de água foram realizados de acordo com a metodologia de avaliação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942).

O controle do volume de água fornecido em cada lâmina foi realizado diariamente, em horário padronizado, de acordo com a razão da vazão dos gotejadores pelo tempo para atingir as proporções da evaporação de referência (ETo). À medida que atingido o intervalo de tempo para cada volume das respectivas lâminas, foram feitos os sucessivos desligamentos das fitas de gotejadores, correspondentes a cada lâmina. A lâmina de irrigação correspondente a 100% foi obtida por meio do cálculo da ETc, conforme a seguinte expressão (JESSEN, 1968):

$$ETc = Kc * ETo$$

Em que:

ETc - Evapotranspiração da cultura, mm/dia;

ETo - Evaporação de referência, mm/dia, e;

Kc - Coeficiente de cultura (adimensional).

Os valores de Kc adotados para cada cultura em função das suas fases fenológicas, e os valores diários da ETo foram coletados de acordo com o

modelo FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Durante a condução do experimento os dados meteorológicos foram obtidos da estação meteorológica automática do município de São Gonçalo, Paraíba, por ser a mais próxima ao local do experimento, através do site (AGRITEMPO, 2019; SISDAGRO, 2021).

O fornecimento diário das lâminas de irrigação deu-se por meio do tempo de irrigação considerando as características do sistema de cultivo e do sistema de irrigação conforme a seguinte expressão:

$$T_i = \frac{E_{to} \cdot K_c \cdot A}{E_a \cdot n \cdot q}$$

Em que:

T<sub>i</sub> - tempo de irrigação, horas;

E<sub>To</sub> - Evaporação de referência, mm/dia;

K<sub>c</sub> - Coeficiente de cultura (adimensional);

A - área ocupada por uma planta, m<sup>2</sup>;

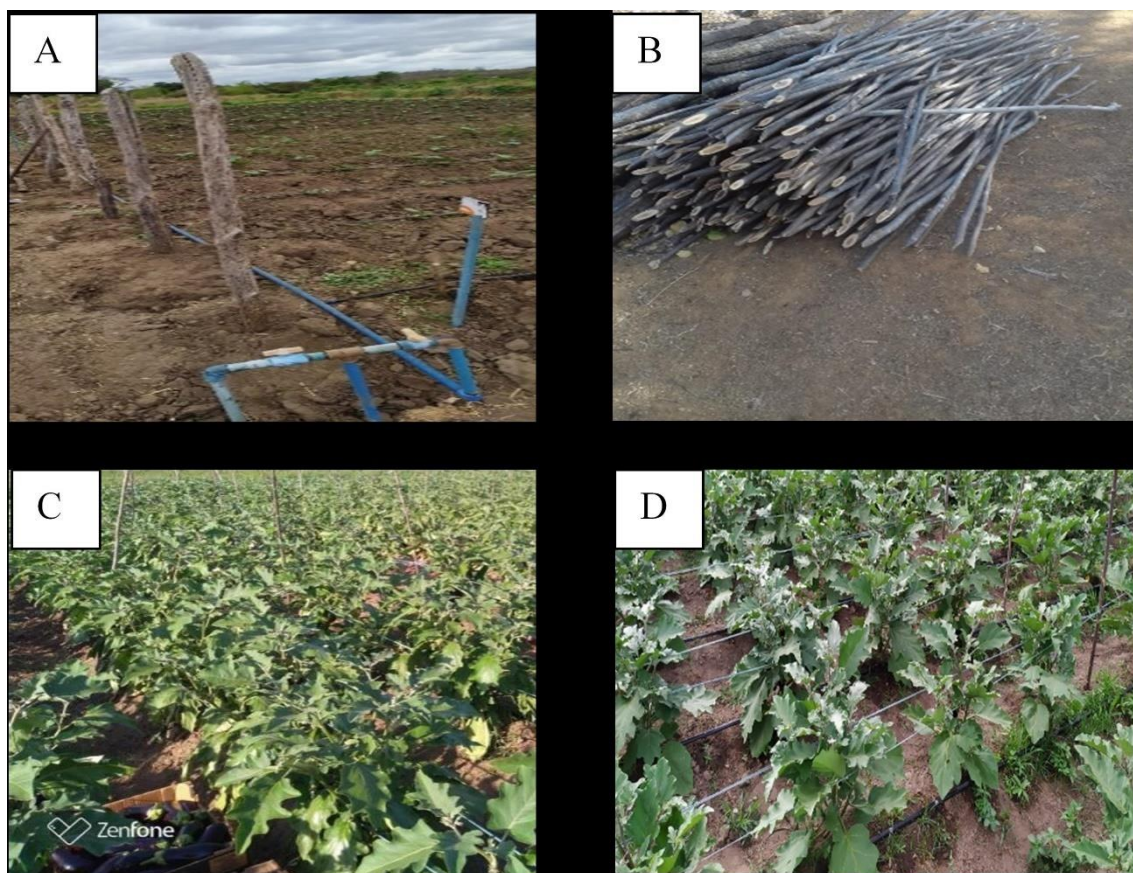
n - número de gotejadores por planta;

q - vazão do gotejador, L/h, e;

E<sub>a</sub> – eficiência da aplicação (0,90).

### 3.7. Tratos culturais

O controle das plantas daninhas foi de forma manual. Para o tutoramento horizontal, utilizou-se estacas de sabiá (Figura 6A) e varas de marmeleiro (Figura 6B) medindo em média 1,60 m de comprimento. As varas foram espalhadas nas linhas, deixando as estacas nas pontas, totalizando 2 estacas e 4 varas sendo colocadas a cada 5 metros ao longo do bloco. Aos 45 dias após o transplante foi realizado a amarração dos fitilhos nas varas finalizando o tutoramento das plantas (Figura 6C), proporcionando uma melhor sustentação das plantas, no período da frutificação.



**Figura 5.** Estacas de sabiá (A), varas de marmeleiro (B), Plantas já tutoradas (C, D)

### 3.8. Adubação de cobertura

A adubação de cobertura iniciou-se no dia de transplante, quatro aplicações foram feitas ao longo do ciclo da cultura, na adubação de cobertura foram utilizadas como fonte de nitrogênio ureia e potássio KCl, as doses foram recomendadas para todos os blocos de modo uniforme quinzenalmente via fertirrigação com o intuito de não haver perda de nutrientes por volatilização ou lixiviação, sendo melhor aproveitado por as plantas. Com doses de 3 kg de ureia ou 34,5 kg/ha e 2,6 kg ou 30 kg/ha de KCl.



**Figura 6.** Pesagem dos fertilizantes (A), tanque de mistura para fertirrigação (B)

### **3.9. Controle fitossanitário**

Evitou-se o uso de produtos químicos fitossanitários para não haver qualquer interferência sobre a ação dos produtos contendo bactérias promotoras do crescimento vegetal, que foram testados. O controle de plantas daninhas principalmente a tiririca (*Cyperus rotundus*) foi realizado mecanicamente, de forma manual e com o uso de enxadas manuais. Para o controle de pragas e doenças não houve aplicação de produtos químicos ou biológicos. A cultura apesar de se mostrar rústica, apresentou alguns danos provocados por percevejos da ordem (*Hemiptera*), e lagartas da hordem (*lepdoptera*). Foi possível visualizar algumas doenças como antracnose que conferiu apodrecimento de frutos, nematoide de galhas da espécie *Meloidogyne javanica* em alguns tratamentos que não continha o tratamento a base de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV).

### **3.10. Variáveis analisadas**

As avaliações foram realizadas a partir de uma amostra de seis plantas coletadas por área útil no período do florescimento com 42 dias e no período de produção com 57 dias, tendo as seguintes variáveis analisadas.



### a) Produtividade

Após a colheita, os frutos foram encaminhados para o laboratório de pós-colheita do CCTA/UFCG para a realização da separação e pesagem (Figura 6). Foram realizadas duas colheitas. A primeira realizada dia 13\12\2022 e a segunda 13\01\2023. Em cada colheita, considerou-se a produtividade de frutos comerciais, frutos não comerciais e produtividade total. A produtividade de cada tipo de fruto (comerciais e não comerciais) foi obtida pela soma dos pesos dos frutos de cada parcela útil, obtido nas duas colheitas, extrapolando-se os valores da área útil para um hectare. Foi utilizada balança eletrônica com precisão de 0,001 kg. Foram considerados frutos comerciais (15 a 20 cm) com características bem definidas, bem formadas, limpa, com coloração uniforme, livre de danos mecânicos, fisiológicos de pragas e doenças (MEIRELIES, 1998).

### b) Produção de fitomassa seca

Por ocasião da última colheita de frutos, a parte aérea de duas plantas da parcela útil foram separadas em caule e folhas para as avaliações. As partes coletadas foram secas em estufa com ar forçado (65-70 °C) até peso constante, para obtenção da massa seca produzida. Pela soma dos dados de massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule (MSC) foi obtida a massa seca da parte aérea (MSPA).



**Figura 7.** Beringelas colhidas (A), beringelas dispostas na bancada para avaliação (B).

### **3.11. Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias de Tukey ao nível de 5% de significância utilizando-se o programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

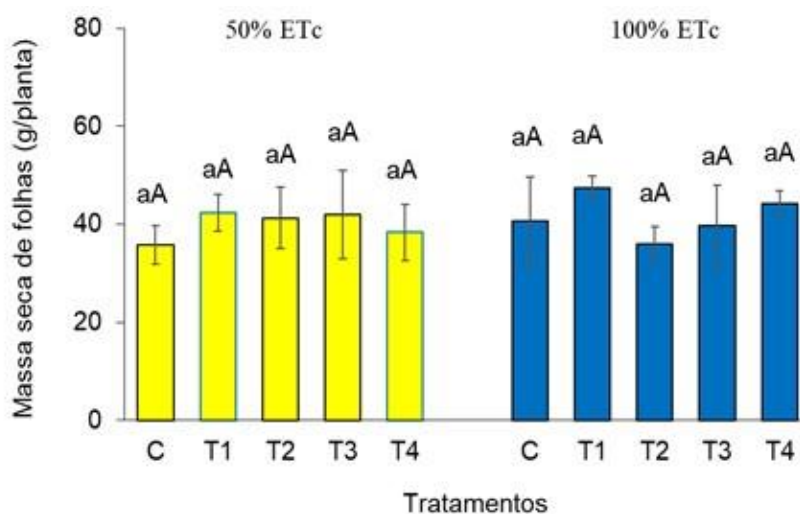
De acordo com a análise de variância (Tabela 2), os tratamentos atenuantes do déficit hídrico, assim como as lâminas de irrigação (L), não expressaram interação sobre a produção de massa seca de folhas, caule e parte aérea. Já a produção total de frutos relativo à primeira (FTOTAL 1) e segunda (FTOTAL 2) colheitas foram influenciados pelas lâminas de irrigação e pelos tratamentos atenuantes do déficit hídrico (T), mas não sofreram efeito da interação entre estes fatores. A produção de frutos não comerciais (FNC) da primeira colheita foi influenciada apenas pelos tratamentos T, enquanto na segunda colheita a produção de FNC não foi influenciada pelos fatores em estudo nem pela sua interação. A produção de frutos comerciais (FC) da primeira colheita foi influenciado pelosos tratamentos T e pela interação L x L, enquanto na segunda colheita esta variável sofreu efeito dos fatores em estudo (L e T), mas não de sua interação.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância referente à massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule (MSC), massa seca da parte aérea (MSPA), produção total de frutos da 1ª colheita (FTOTAL 1), 2ª colheita (FTOTAL 2), produção de frutos não comerciais da 1ª colheita (FNC1), da 2ª colheita (FNC2) e frutos comerciais da 1ª (FC1) e 2ª colheita (FC2).

Fator de variação	GL	Quadrado médio		
		MSF	MSC	MSPA
Blocos	3	650,97 <sup>ns</sup>	4.392,35 <sup>ns</sup>	6.526,96 <sup>ns</sup>
Lâmina (L)	1	115,85 <sup>ns</sup>	1.309,04 <sup>ns</sup>	646,02 <sup>ns</sup>
Erro 1	3	1.534,73	14.696,76	25.726,58
Tratamentos (T)	4	374,10 <sup>ns</sup>	1.765,55 <sup>ns</sup>	3.088,78 <sup>ns</sup>
L x T	4	1.158,10 <sup>ns</sup>	7.342,82 <sup>ns</sup>	12.790,90 <sup>ns</sup>
Erro 2	24	684,78	6.254,35	9.595,24
CV 1 (%)	-	20,91	18,53	17,41
CV 2 (%)	-	28,29	34,88	30,68
		FTOTAL1	FTOTAL2	FNC1
Blocos	3	0,987946	2,663591	0,122331
Lâmina (L)	1	1,290604 <sup>**</sup>	22,556062 <sup>*</sup>	0,049255 <sup>ns</sup>
Erro 1	3	0,076131	1,114369	0,025610
Tratamentos (T)	4	1,827720 <sup>**</sup>	4,049602 <sup>*</sup>	0,679652 <sup>**</sup>
L x T	4	0,914897 <sup>ns</sup>	2,643294 <sup>ns</sup>	0,054934 <sup>ns</sup>
Erro 2	24	0,439184	1,318947	0,125673
CV 1 (%)	-	9,24	13,88	12,35
CV 2 (%)	-	23,87	15,10	27,36
		FNC2	FC1	FC2
Blocos	3	0,595540	0,513060	0,698035
Lâmina (L)	1	0,006827 <sup>ns</sup>	0,251448 <sup>ns</sup>	16,896681 <sup>**</sup>
Erro 1	3	0,525885	0,329526	0,183559
Tratamentos (T)	4	1,069850 <sup>ns</sup>	0,882611 <sup>*</sup>	2,959497 <sup>**</sup>
L x T	4	3,374562 <sup>ns</sup>	0,989990 <sup>**</sup>	0,504381 <sup>ns</sup>
Erro 2	24	1,330932	0,227401	0,390070
CV 1 (%)	-	12,74	38,64	21,39
CV 2 (%)	-	20,28	32,10	31,18

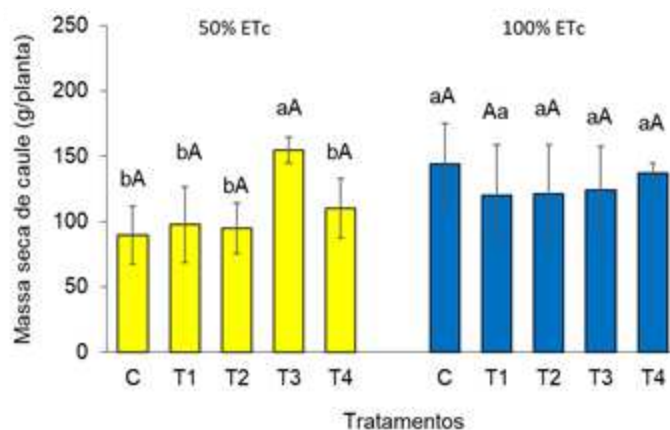
GL- grau de liberdade; CV (%) - coeficiente de variação; \*significativo em nível de 0,05 de probabilidade; \*\* significativo em nível de 0,01 de probabilidade; ns não significativo.

Com os valores analisados de massa seca das folhas de berinjela, observa-se que não houve interação significativa entre os tratamentos e lâminas de irrigação com relação aos produtos testados nanobiofertilizantes (Figura 8). Mas estudos dirigidos por (SABOOR et al., 2021) mostraram que o biofertilizante (com nanopartículas de Zn) reduz os efeitos tóxicos do Zn e é um fertilizante eficaz com propriedade de liberação lenta. Aumenta o número de folhas, a altura da planta, respectivamente. Também aumenta a taxa de fotossíntese, condutância estomática e transpiração.



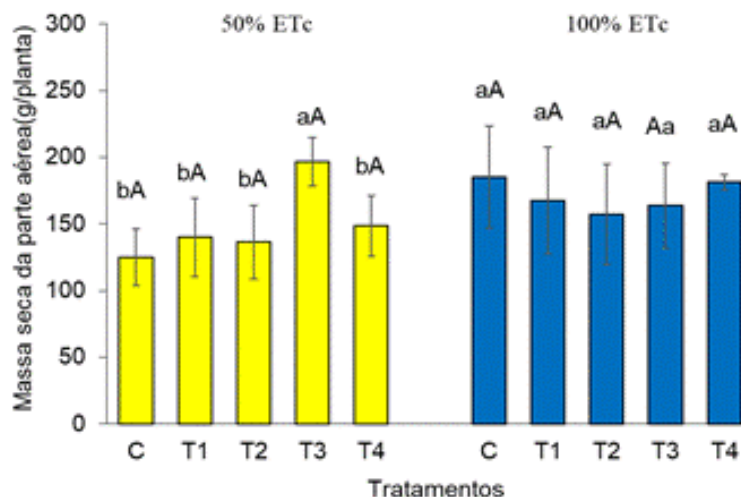
**Figura 8.** Massa seca das folhas de berinjela cultivar *çica* em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Com relação aos valores de massa seca do caule, observou-se que houve diferença significativa entre tratamentos na lâmina de irrigação 50% da ETc (Figura 9). O tratamento T3 (NPsZnO via foliar + Bio) foi superior aos demais tratamentos. Descobertas recentes mostraram que a aplicação de de ZnO NP via foliar pode aumentar a estabilidade da integridade da membrana sob déficit hídrico, bem como ao aumentar da absorção de macro e micronutrientes (SEMIDA et al., 2021).



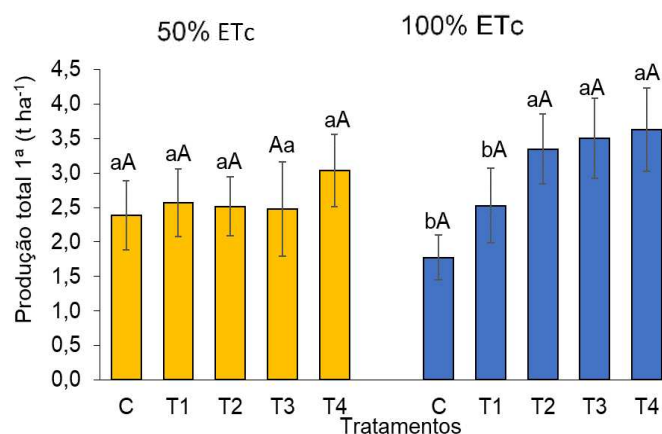
**Figura 09.** Massa seca do caule de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Para a massa seca da parte aérea (Figura 10) os resultados foram semelhantes ao observado para massa seca do caule (Figura 9), ou seja, com diferença significativa entre tratamentos T na lâmina de 50% da ETc com o tratamento T3 (NPZnO via foliar + Bio) com os maiores resultados. O maior aumento de massa seca do caule com aplicações de nanopartículas de zinco tem efeitos diretos e indiretos na interação planta-micróbio, como relatados por (TIMMUSK et al., 2018) revela que os efeitos diretos incluem a disponibilidade de nutrientes na rizosfera, enquanto os efeitos indiretos incluem os efeitos estimulantes sobre as cepas bacterianas



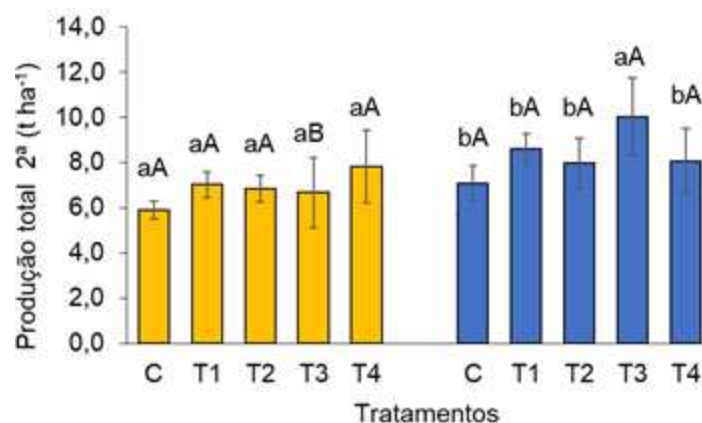
**Figura 10.** Massa seca da parte aérea de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Em relação a produção total de frutos da primeira colheita (Figura 11) observa-se que houve interação significativa apenas entre tratamentos na lâmina de irrigação 100 % da ETc sendo que o tratamento T4 ( $ZnSO_4$  via solo + Bio) apresentou o resultado mais expressivo, porém não diferindo do tratamento T3 e T2, sendo o menor valor observado oriundo do tratamento C (controle). Os maiores valores na produção de berinjela com a aplicação de nanofertilizantes foram resultados da atividade enzimática que a mesma proporciona com o aumento da taxa fotossintética bem como auxilia na translocação de nutrientes pouco móvel no floema. Já os efeitos da aplicação de biofertilizante que possui microrganismos benéficos como por exemplo rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (PGPR) (VAFA et al., 2021), atua de forma direta na liberação substâncias promotoras do crescimento vegetal, realizando a solubilização de fosfato (SHARMA et al., 2013; AHMED et al., 2021), e potássio (BABA et al., 2021), fixam o nitrogênio atmosférico no solo (KUSALE et al., 2021).



**Figura 11.** Produção total da 1ª colheita de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETC) e déficit de irrigação (50% da ETC). 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.

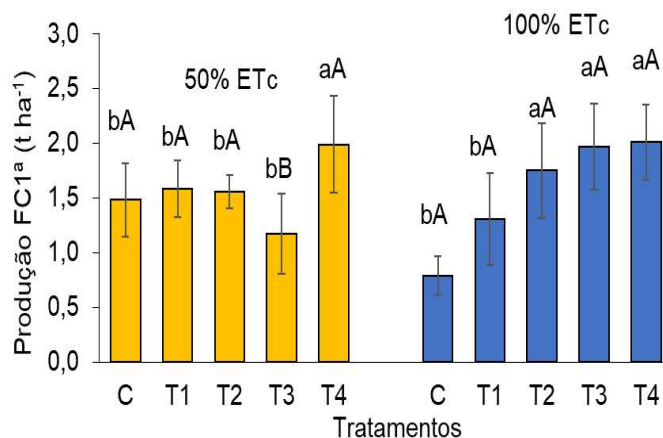
Examinado os resultados da produção total da segunda colheita (Figura 12) observa-se que houve interação significativa entre tratamentos e entre lâminas de irrigação com a aplicação dos produtos testados, os tratamentos diferiram entre si na lâmina que não sofreu irrigação deficitária 100% da ETC, consistindo o tratamento (T3 NPsZnO via foliar + Bio) com o maior valor expressivo, superior a todos os demais. O tratamento T3 na lâmina de 100% da ETC se mostrou superior a lâmina de irrigação deficitária 50% da ETC. Algumas pesquisas mostraram que a aplicação de nanobiofertilizantes pode aumentar a concentração de vários fitohormônios, como ácido indol-3-acético, giberelinas, citocinas, ácido abscísico, etc (HAMID et al., 2021), que ajudam no crescimento e desenvolvimento das plantas (FASUSI et al., 2021; SUMBUL et al., 2020).



**Figura 12.** Produção total da 2ª colheita de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). 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.

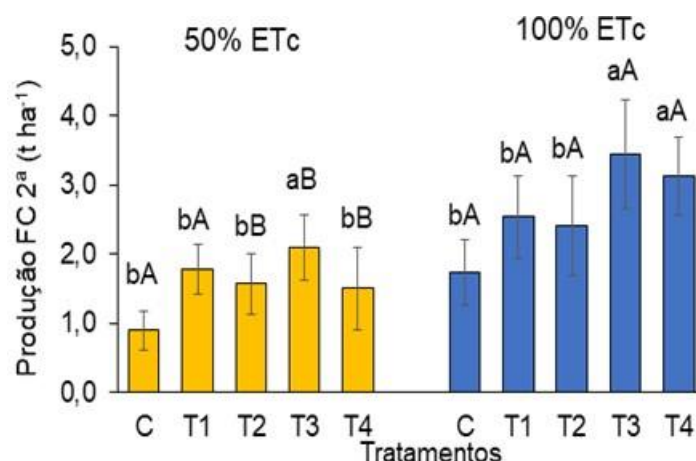
Apartir dos resultados obtidos na produção de frutos comerciais da primeira colheita (Figura 13), indicam que houve diferença significativa entre tratamentos na lâmina de 50% da ETc, com o tratamento T4 (ZnSO<sub>4</sub> via solo + Bio) revelando maior resultado com superioridade aos demais. Já na lâmina de 100% da ETc o tratamento T4 (ZnSO<sub>4</sub> via solo + Bio) dado que mostrou também o maior resultado, porém não diferiu significativamente do tratamento T2 (NPsZnO via foliar) e T3, sendo o tratamento controle C expondo menor resultado. Aferindo os tratamentos dentro das lâminas de irrigação observou-se que o tratamento T3 se mostrou superior na lâmina de 100% da ETc em comparação a lâmina de irrigação deficitária 50% da ETc, ressaltando o trabalho feito por (PASCHALIDIS et al., 2021) mostrando que a melhoria na qualidade dos frutos de berinjela pode ser influenciada por que a absorção de ZnO NP, vem a ocasionar aumento na produção de metabólitos secundários, como antioxidantes enzimáticos (catalase, superóxido dismutase e peroxidase) e não enzimáticos (fenóis e flavonoides). Esses metabólitos aumentam a vida útil de vegetais e frutas e trazem vários benefícios à saúde.





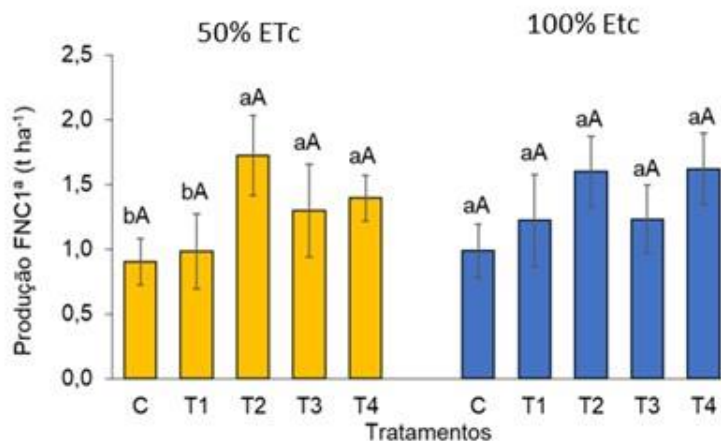
**Figura 13.** Produção de frutos comerciais da 1ª colheita de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Em relação a produção de frutos comerciais da segunda colheita (Figura 14), foi possível observar resultados significativos em relação aos produtos testados entre tratamentos e lâminas de irrigação. Sob irrigação deficitária 50% da ETc, observou-se diferença significativamente entre tratamentos, sendo o tratamento T3 (NPsZnO via foliar + Bio) foi superior a todos os demais tratamentos, com relação a lâmina de 100% da ETc da mesma indicou maior resultado o tratamento T3, porém não diferiu do tratamento T4 (ZnSO<sub>4</sub> via solo + Bio), ao mesmo tempo que nas duas lâminas o tratamento C (controle) se mostrou com o menor resultado. Comparando os produtos dentro das lâminas de irrigação observou-se que os tratamentos na lâmina de 100 % da ETc contendo a associação de NP de zinco + bio foram superiores os tratamentos das lâminas que foi aplicado irrigação deficitária. Produção com nanobiofertilizantes mostram que as plantas quando recebem esses tratamentos, seus sistemas antioxidantes tornam-se ativos, protegendo a membrana celular e as organelas dos efeitos adversos do estresse. Eles também aumentam seus níveis de hormônios de crescimento, incluindo ácido indol acético e citocinina, enquanto reduzem a produção de hormônios do estresse (ácido abscísico). Essas mudanças tornam a planta tolerante ao estresse e aumentam as chances de estabelecimento da cultura em condições ambientais desfavoráveis (BIBI et al., 2022).



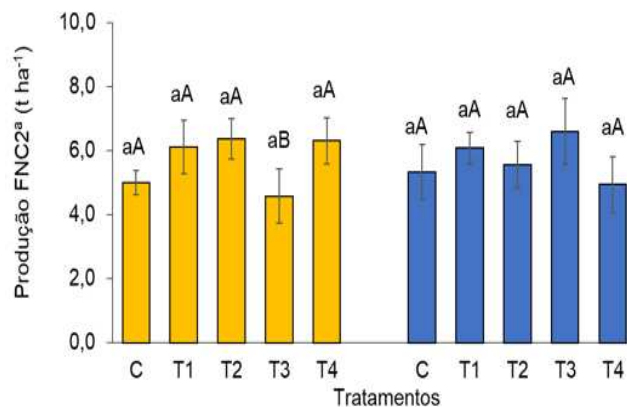
**Figura 14.** Produção de frutos comerciais da 2ª colheita de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Para a produção de frutos não comerciais da primeira colheita (Figura 15) observou-se que houve diferença significativa apenas na lâmina que sofreu irrigação deficitária 50% da ETc entre tratamentos em relação aos produtos testados, com o tratamento T2 (NPZnO via foliar) com o maior resultado, mas não diferindo estatisticamente dos tratamentos T3 e T4, ficando o tratamento controle C com o menor resultado. Há indicações que os nanobiofertilizantes podem regular positivamente os genes responsáveis pela produção de antioxidantes, osmólitos e proteínas relacionadas ao estresse, reduzem os efeitos prejudiciais das ROS nas plantas e mantêm a estrutura e a função da célula (VENDAMURTHY et al., 2021). Eles também preservam a produção hormonal aumentada dos transportadores de membrana e suas atividades (VENDAMURTHY et al., 2021; SHCHERBAKOVA et al., 2017).



**Figura 15.** Produção de frutos não comerciais da 1ª colheita de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). 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.

A produção de frutos não comerciais da segunda colheita (Figura 16), nas circunstâncias da pesquisa não mostrou diferença significativa entre tratamentos, mas em contra partida as lâminas de irrigação diferiram estatisticamente, ficando o tratamento T3 (NPZnO via foliar + Bio) na lâmina de 100% da ETc com o maior resultado. Nossos resultados se assemelham (ALI et al., 2021) que analisou uso de nanobiofertilizante melhora significativamente o crescimento das plantas. O revestimento de nanopartículas com biofertilizantes aumenta a eficiência dos biofertilizantes e provoca a liberação sustentada e lenta de nanopartículas na rizosfera da planta. Eles mantêm a dissolução do fertilizante e reduzem as chances de lixiviação.



**Figura 16.** Produção de frutos não comerciais da 2ª colheita de berinjela cultivar ciça em função dos tratamentos como atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETc) e déficit de irrigação (50% da ETc). 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.

## 5. CONCLUSÃO

Os produtos à base de nanopartículas de zinco e sulfato de zinco, associados ou não a bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) não interferiram na produção de massa seca da berinjela.

A produção de frutos total da primeira colheita (FTOTAL1) e segunda colheita (FTOTAL 2), foram afetadas de forma positiva com a aplicação dos produtos testados a base de nanóxido de zinco + bio aumentando de forma significativa a produção na lâmina 100% da Etc.

A produção total de frutos da (FTOTAL 2) foi negativamente afetada pelo déficit hídrico imposto pela lâmina de 50% da Etc.

Em contra partida, a aplicação via radicular de nanopartícula de zinco associado à BPCP via radicular (T4) incrementou a produção de frutos comerciais por ocasião da primeira colheita sob déficit hídrico, assim como aplicação via foliar de nanopartícula de zinco associado à BPCP via radicular (T3) potencializou a produção sob déficit hídrico.

Sob condições adequadas de suprimento de água (100% da Etc), os melhores desempenhos em termos de frutos comerciais na primeira (FC1) e segunda colheita (FC2) foi obtido com o tratamento T3 (NPZnO via foliar + Bio) ou com T4 (ZnSO<sub>4</sub> via solo, com aplicação de BPCP via radicular.

Com a aplicação de irrigação deficitária a produção de frutos não comerciais da primeira colheita sofreu influência dos produtos à base de nano de zinco + bio sobre a produção.

## 6. REFERENCIAS

ABBASIFAR, A.; Shahrabadi, F.; ValizadehKaji, B. Efeitos de zinco verde sintetizado e nano-fertilizantes de cobre nos atributos morfológicos e bioquímicos da planta de manjeriço. *J. Plant Nutr.* **2020**, 43, 1104–1118.

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: 15/12/2019.

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

Ahmadi-Majd, M.; Nejad, AR; Mousavi-Fard, S.; Fanourakis, D. A aplicação pós-colheita de nanotubos de carbono simples e de paredes múltiplas e óxido de nanografeno melhora a qualidade da manutenção da rosa. *J. Hort. ciência Biotecnologia*. **2021**, 1–15.

Ahmed, S.; Choudhury, AR; Roy, SK; Choi, J.; Sayyed, RZ; Sa, utilização minuciosa de T. Biomolecular e assimilação de fósforo sob estágio indigente em colheitas agrícolas. Em *Antioxidantes na Interação Planta-Microbra* ; Springer: Cingapura, 2021; pp. 565–588.

Ali, SS; Darwesh, OM; Kornaros, M.; Al-Tohamy, R.; Manni, A.; El-Shanshoury, AE-RR; Metwally, MA; Elsamahy, T.; Sun, J. Nano-biofertilizantes: Síntese, vantagens e aplicações. Em *Biofertilizantes* ; Woodhead Publishing: Cambridge, MA, EUA, 2021; pp. 359–370.

AKHTAR, S.S. et al. *Bacillus licheniformis* FMCH001 increases water use efficiency via growth stimulation in both normal and drought conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. 297, 2020. doi: 10.3389/fpls.2020.00297.

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.

Baba, ZA; Hamid, B.; Sheikh, TA; Alotaibi, SH; El Enshasy, HA; Ansari, MJ; Zuan, ATK; Sayyed, RZ Psychrotolerant *Mesorhizobium* sp. isolado de regiões desérticas temperadas e frias, solubiliza o potássio e produz vários metabólitos que promovem o crescimento de plantas. *Molecules* **2021** , 26 , 5758.

Bibi, F.; Ilyas, N.; Arshad, A.; Khalid, A.; Saeed, M.; Ansar, S.; Batley, J. Formulação e teste de eficácia de fertilizante bio-orgânico produzido por fermentação em estado sólido de resíduos agrícolas por *Burkholderia cenocepacia* . *Chemosphere* **2022** , 291 , 132762.

CARVALHO, J. A.; SANTANA, M. J. D.; PEREIRA, G. M.; PEREIRA, J. R. D.; QUEIROZ, T. M. D. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura da berinjela (*Solanum melongena* L.). *Engenharia Agrícola*, v. 24, n. 2, p. 320- 327, 2004.

CHANDRA, D. et al. Drought-tolerant *Pseudomonas spp.* improve the growth performance of finger millet (*Eleusine coracana* (L.) gaertn.) under non-stressed and drought-stressed conditions. **Pedosphere**, v.28, n.2, p. 227–240, 2018.

DAMASCENO, L.F.; COVA, A.M.W.; GHEYI, H.; ALMEIDA, W.F.; DIAS, J.A.L.; RIBEIRO, S.V. Production and water consumption of eggplant under salt stress and continuous drip and pulse drip irrigation. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 2, p. 450 – 459, 2022.

Dimkpa, CO; Singh, U.; Bindraban, PS; Elmer, WH; Gardea-Torresdey, JL; White, JC As nanopartículas de óxido de zinco aliviam as alterações induzidas pela seca no desempenho do sorgo, na aquisição de nutrientes e na fortificação dos grãos. *ciência Ambiente Total*. **2019**, 688, 926–934.

EMBRAPA HORTALIÇAS. Como plantar berinjela. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/berinjela/botanica>. Acesso em: 06 out de 2022.

EMBRAPA HORTALIÇAS. Comp comprar, conservar e construir.2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/216800/1/CCCC-14-Berinjela-2020.pdf>. Acesso em: 12 maio de 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa em solo. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro. 2011. 225p.

Enrico, JM; Piccinetti, CF; Barraco, MR; Agosti, MB; Eclésia, RP; Salvagiotti, F. Fixação biológica de nitrogênio em ervilhaca e ervilhaca: Resposta à inoculação e efeito residual em milho na região pampeana. *EUR. J. Agron.* **2020** , 115 , 126016.

Fasusi, O.; Cruz, C.; Babalola, O. Sustentabilidade agrícola: Biofertilizantes microbianos no manejo da rizosfera. *Agricultura* **2021**, 11, 163.

FÉLIX, M. J. D. Produção de berinjela sob irrigação por gotejamento. 2017. 50p. Dissertação (Mestrado em Irrigação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Ceres, Goiás, 2017.

FERREIRA, D.F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), Lavras, v.35, p.1039-1042, 2011.



GARCIA-LÓPEZ, J.I. et al. Foliar Application of zinc oxide nanoparticles and zinc sulfate boosts the content of bioactive compounds in *Habanero Peppers*. **Plants**, 2019, v.8, 254, 2019. doi:10.3390/plants8080254.

GHOLINEZHAD, E. Effect of Drought Stress and Fe Nanofertilizer 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. doi:10.1080/0972060X.2017.1362999.

Hakim, S., Naqqash, T., et al., 2021. Engenharia da rizosfera com microrganismos promotores do crescimento vegetal para agricultura e sustentabilidade ecológica. *Frente. Sustentar. Sist. Alimentar* 5 (16).

Hamid, B.; Zaman, M.; Farooq, S.; Fátima, S.; Sayyed, R.; Baba, Z.; Sheikh, T.; Reddy, M.; El Enshasy, H.; Gafur, A.; e outros Bioestimulantes de plantas bacterianas: uma maneira sustentável de melhorar o crescimento, a produtividade e a saúde das culturas. *Sustentabilidade* **2021**, 13, 2856.

IBGE. Censo produção de berinjela. 2027. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/berinjela/sp>. Acesso em: 12 maio de 2023.

JÚNIOR, R.L.R.: SILVA, S.D.F.: COSTA, L.R. **Mudança de Longo Prazo e Regionalização da Evapotranspiração de Referência no Nordeste Brasileiro**, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. Especial, 891-902, 2020 DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786355012>.

Kabiraj, A., Majhi, K., et al., 2020. Papel das rizobactérias promotoras do crescimento vegetal (PGPR) no manejo do estresse da cultura. In: *Agricultura Sustentável na Era das Mudanças Climáticas*. Springer, Cham, Suíça, pp. 367–389.

KUMARI, R.; SINGH, D.P. Nano-biofertilizer: An Emerging Eco-friendly Approach for Sustainable Agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.90, n.4, p.733–741, 2020. doi:10.1007/s40011-019-01133-6.

Kusale, S.; Attar, Y.; Sayyed, R.; Malek, R.; Ilyas, N.; Suriani, N.; Khan, N.; El Enshasy, H. Produção de metabólitos benéficos e antioxidantes de plantas por *Klebsiellavariicola* sob estresse de salinidade. *Molecules* **2022**, *26*, 1894.

LIM, J-H & KIM, S-D. Induction of drought stress resistance by multi-functional PGPR *Bacillus licheniformis* K11 in pepper. **The Plant Pathology Journal**, v. 29, n.2, p. 201-208, 2013. <http://dx.doi.org/10.5423/PPJ.SI.02.2013.0021>.

LIMA, B.C. *Bacillus subtilis* ameliorates water stress tolerance in maize and common bean. *Journal of Plant Interactions*, v.14, p. 432–439, 2019.

LIN, Y. et al. Influence of plant growth promoting rhizobacteria on corn growth under different fertility sources. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.49, p.1239–1255, 2018.

MARDALIPOUR, M.; ZAHEDI, H.; SARGHI, Y. Evaluation of Nano biofertilizer efficiency on Agronomic traits of spring wheat at different sowing date **Biological Forum – An International Journal**, v. 6, n.2, p. 349-356, 2014.

MATOS, C.C. et al. Competitive capacity and rhizosphere mineralization of organic matter during soil-herb microbiota interactions. **Planta Daninha**, v.37, 2019. doi:10.1590/s0100-83582019370100007.

MEIRELLES, J.C.S. **Classificação de berinjela**, Programa paulista para melhoramento dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros, SP, 1998, p.06. Disponível em: [http://minas1.ceasa.mg.gov.br/ceasainternet/\\_lib/file/docagroqcartilhas/BERINJELA.pdf](http://minas1.ceasa.mg.gov.br/ceasainternet/_lib/file/docagroqcartilhas/BERINJELA.pdf). Acesso em: 19/05/2023.

MOSA, W.F.A. et al. Productivity performance of peach trees, insecticidal and antibacterial bioactivities of leaf extracts as affected by nanofertilizers foliar application. **Scientific Reports**, v.11, p.10205, 2021.[doi:10.1038/s41598-021-89885-y](https://doi.org/10.1038/s41598-021-89885-y).

OJUEDERIE, O.B.; OLANREWAJU, O.S.; BABALOLA, O.O. Plant growth promoting rhizobacterial mitigation of drought stress in crop plants: Implications for sustainable agriculture. **Agronomy**, v.9, 712, 2019. [doi:10.3390/agronomy9110712](https://doi.org/10.3390/agronomy9110712).

Paschalidis, K.; Fanourakis, D.; Tsaniklidis, G.; Tzanakakis, VA; Biliás, F.; Samara, E.; Kalogiannakis, K.; Debouba, FJ; Ipsilantis, I.; Tsoktouridis, G.; e outros Cultivo piloto do vulnerável cretense endêmico *Verbascum arcturus* L. (scrophulariaceae): Efeito da fertilização no crescimento e nas características de qualidade. **Sustentabilidade** 2021, 13 , 14030.

Pathania, P., Rajta, A., et al., 2020. Papel das bactérias promotoras do crescimento vegetal em Agricultura sustentável. **Biocatal. Agrícola Biotecnologia**. 30, 101842.

Raja, V., Qadir, SU, et al., 2020. Impacto da seca e do estresse térmico individualmente e em combinação em parâmetros físico-bioquímicos, respostas antioxidantes e expressão gênica em *Solanum lycopersicum*. **3 Biotech** 10, 208.

RAMAKRISHNA, W. 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**, 2019. [doi:10.1016 / j.scitotenv.2019.135062](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135062).

RODAN, A.M.; HASSANDOKHT, R.M.; AHARI, S.D.; MOUSAVI, A. **Mitigação do estresse hídrico em berinjela por palha de tâmaras e coberturas plásticas.** Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences Volume 19, Issue 7, outubro de 2020 , páginas 492-498.

Saboor, A.; Ali, M.; Ahmed, N.; Skalicky, M.; Dinamarquês, S.; Fahad, S.; Hassan, F.; Hassan, M.; Brestic, M.; EL Sabagh, A.; e outros A aplicação de zinco à base de biofertilizante aumenta o crescimento do milho, os atributos de troca gasosa e o rendimento em solo deficiente em zinco. *Agricultura* **2021** , *11* , 310.

SANZARI, I.; LEONE, A. AMBROSONE, A. Nanotechnology in Plant Science: To Make a Long Story Short. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology.** v.7, 120, 2019. doi: 10.3389/fbioe.2019.0012.

SEMIDA, Wael M. et al. Aplicação foliar de nanopartículas de óxido de zinco promove tolerância ao estresse hídrico em berinjela (*Solanum melongena* L.). **Plantas** , v. 10, n. 2, pág. 421, 2021. See More.

Sharma, SB; Sayyed, RZ; Trivedi, MH; Gobi, TA Fosfato solubilizando micróbios: Abordagem sustentável para o manejo da deficiência de fósforo em solos agrícolas. *SpringerPlus* **2013** , *2* , 587.

Shcherbakova, EN; Shcherbakov, AV; Andronov, E.; Gonchar, LN; Kalenska, S.; Chebotar, VK O tratamento pré-semente combinado com inoculantes microbianos e nanopartículas de Mo altera a composição de exsudatos radiculares e a estrutura do microbioma da rizosfera de plantas de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). *Simbiose* **2017** , *73* , 57–69.

Singh, SK, 2020. Micróbios para remediação de clorose férrica em Peach. Em: Mirmajlessi, S., Radhakrishnan, R. (Eds.), *Biostimulants in Plant Science.* IntechOpen, Londres.

SISDAGRO (Brasília). Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet. **Sistema de Suporte à Decisão** aided by NMR and GC-MS based metabolomics. **Plant Soil**, v. 429, p.437–450, 2018. doi:10.1007/s11104-018-3701-y.

Sol, L.; Canção, F.; Guo, J.; Zhu, X.; Liu, S.; Liu, F. Tolerância à Seca Induzida por Nano-ZnO Está Associada à Síntese e Metabolismo da Melatonina no Milho. *Int. J. Mol. ciência* **2020** , 21 , 782.

Sumbul, A.; Ansari, RA; Rizvi, R.; Mahmood, I. Azotobacter: Um potencial biofertilizante para solo e manejo fitossanitário. *Saudita J. Biol. ciência* **2020** , 27 , 3634–3640.

Sun, Luying, Fengbin, Song, et al., 2021. Nano-ZnO alivia o estresse hídrico por meio da modulação do uso da água pela planta e do metabolismo de carboidratos no milho. *Arco. Agron. ciência do solo* 67(2), 245-259.

Tariq, A., Ahmed, A., et al., 2020. Bioestimulantes PGPR como agentes eficazes de mitigação da seca. *Technium: romano. J. Appl. ciência Tecnol.* 2 (7), 246–257.

Timmusk, S.; Seisenbaeva, G.; Behers, L. Titania (TiO<sub>2</sub>) nanopartículas aumentam o desempenho de rizobactérias promotoras de crescimento. *ciência Rep.* **2018** , 8 , 617.

Vedamurthy, AB; Bhattacharya, S.; Das, A.; Shruthi, SD Explorando nanomateriais com rizobactérias no cenário agrícola atual. Em *Avanços em Nano-Fertilizantes e Nano-Pesticidas na Agricultura*; Elsevier: Amsterdã, Holanda, 2021; pp. 487–503.

Vafa, Z.; Sohrabi, Y.; Sayyed, R.; Suriani, NL; Datta, R. Efeitos das combinações de rizobactérias, micorrizas e algas marinhas e irrigação suplementar no crescimento e rendimento em cultivares de trigo. *Plants* **2021**.

Vaghar, MS; Sayfzadeh, S.; Zakerin, RH; Kobraee, S.; Valadabadi, SA A aplicação foliar de nanoquelatos de ferro, zinco e manganês melhora os indicadores fisiológicos e a produtividade da soja sob estresse hídrico. *J. Plant Nutr.* 2020 , 43 , 2740–2756.

VURUKONDA, S.S.K.P.; VARDHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; Skz, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, 184, p.13-24, 2016. doi: 10.1016/j.micres.2015.12.003.

XU, C. et al. Physiological and transcriptomic responses of reproductive stage soybean to drought stress. **Plant Cell Reports**, v.37, p.1611-1624, 2018. doi: 10.1007/s00299-018-2332-3.

ZAREI, T. et al. Melhorando o crescimento e o rendimento do milho doce (*Zea mays* L. var saccharata) usando a inoculação de *Pseudomonas fluorescens* sob regimes de rega variados. **Agricultural Water Management**, v. 226. 2019.

ZULFIQARA, F. et al. Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations Faisal Zulfiqara, Míriam Navarrob,c, Muhammad Ashrafd, Nudrat Aisha Akrame, Sergi Munné-Bosch. **Plant Science**, v. 289, 110270, 2019.doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110270> na **Agropecuária**. 2020. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/index>. Acesso em: 15 nov. 2020.

## ANEXOS

### ANEXO A -Volumes aplicados via foliar e via solo

Em que:

Área de uma planta:  $0,8 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} = 0,96 \text{ m}^2$ ;

Parcela =  $20 \text{ plantas} \times 0,96 = 19,2 \text{ m}^2$ ;

1ha = 10.416 plantas;

Volume de calda: 35 ml/planta;

Volume por parcela via foliar:  $20 \text{ plantas} \times 35 = 700 \text{ ml}$ ;

Volume por parcela via solo:  $20 \text{ plantas} \times 35 = 700 \text{ ml}$ ;

Volume por tratamento:  $20 \text{ plantas} \times 4 \text{ blocos} \times 35 \text{ ml} \times 2 \text{ níveis de irrigação} = 5.600 \text{ ml} = 5,6 \text{ L/Tratamento}$ .

### ANEXO B - Volumes aplicados no tratamento (T1)

Concentração de 1,0g de Zn via foliar = 4,54 g de  $\text{ZnSO}_4/\text{L} \Rightarrow 5,6 \text{ L} \times 4,54 = 25,4 \text{ g}$  para 5,6 litros de solução  $\Rightarrow$  foi aplicado 700 ml por parcela de 20 plantas via foliar (35 ml por planta, em média).

### ANEXO C - Volumes aplicados nos tratamentos (T2 e T3)

Nos tratamentos T2 e T3 foi utilizado a concentração de 0,1 g de Zn via  $\text{NPZnO} = 0,125\text{g}$  de  $\text{NPZnO}/\text{L} \Rightarrow 5,6 \text{ L} \times 0,125 \times 2 = 1,4\text{g}$  de  $\text{NPZnO}$  para 11,6 litros de solução (suspensão)  $\Rightarrow$  obtendo a aplicação via foliar 700 ml por parcela de 20 plantas (35 ml por planta, em média).

No tratamento T3 foram aplicados 3 L/ha de Biobaci + 3 L/ha de No-nema, sendo aplicados 50 ml/planta de uma suspensão diluída. A suspensão diluída foi composta de 45 ml de Biobaci e 45 ml de No-nema em 8 L de água. Aplicou-se 50ml próximo ao caule da planta de forma individualizada, juntamente com as suspensões contendo Bio. Para as aplicações foliares adicionar 1 ml/L de detergente neutro na calda de aplicação (5 ml para 10 litros de calda).

### ANEXO D - Volumes aplicados no tratamento (T4)

Solução de Zn na concentração de 1,0 g Zn = 4,54 g de  $\text{ZnSO}_4/\text{L} \Rightarrow 5,6 \text{ L} \times 4,54 = 25,4\text{g}$  para 5,6 litros de solução. Na solução de e  $\text{ZnSO}_4$  45 ml de Bobaci e 45

ml de No-nema. Aplicou-se 50ml próximo ao caule da planta de forma individualizada, juntamente com as suspensões contendo Bio.