



**I WORKSHOP DE HORTICULTURA NO SEMIÁRIDO  
& VIII SEMANA DE AGRONOMIA  
02 a 06 de setembro de 2024**

**Mecanismos fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico em plantas de  
berinjela tratadas com nanofertilizantes e bioinoculantes**

*Filipe de Paula Vieira BARROSO<sup>1</sup>; Jose Ebson Janoca de SOUZA<sup>1</sup>; Francisco Hevilásio Freire PEREIRA<sup>1</sup>;  
Carlos Sávio Gomes RAMOS<sup>1</sup>; Francisco Marcelo Nascimento da COSTA<sup>1</sup>; Whashington Idalino da SILVA<sup>1</sup>.*

I Workshop de Horticultura no semiárido & VIII Semana de Agronomia

<sup>1</sup>Universidade Federal de Campina Grande, Pombal – PB. \*E-mail: [fpvb2017@gmail.com](mailto:fpvb2017@gmail.com)

**RESUMO:** A deficiência hídrica é um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento da olericultura como importante atividade econômica do sertão paraibano. Sendo assim, o trabalho teve como objetivo, avaliar os mecanismos fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico em plantas de berinjela tratadas com nanofertilizantes. O experimento foi realizado em condições de campo na Fazenda Experimental do CCTA/UFCG, *Campus* de Pombal-PB, utilizando a berinjela cultivar ‘Ciça’. Os tratamentos foram arrançados no esquema de parcela subdividida 2 × 5, onde foram combinados dois níveis de irrigação (50% e 100% da evapotranspiração potencial - ETp) e cinco tratamentos relativos à aplicação foliar de nanofertilizantes (sulfato de Zn; nano-ZnO foliar; nano-ZnO foliar + Bio; sulfato de Zn + Bio e controle). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os parâmetros fisiológicos avaliados foram: pigmentos (clorofila a e b) e potencial osmótico do caule e da folha. Portanto, observamos que os tratamentos compostos por NPZnO foliar e NPZnO foliar com bioinoculantes proporcionaram os maiores valores na quantidade de pigmentos e potencial osmótico da folha e caule.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estresse hídrico; olericultura; fisiologia.

## **INTRODUÇÃO**

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 nanopartículas (materiais com tamanho entre 1 e 100 nm) na agricultura tem se tornando cada vez mais frequente, especialmente aquelas contendo micronutrientes de plantas, com o óxido de zinco (GARCIA-LÓPEZ et al., 2019; AHMADIAN et al., 2021). Alguns trabalhos demonstraram que a aplicação de nanofertilizantes 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).

Nesta perspectiva, objetivou-se investigar a influência de nanopartículas contendo o micronutriente de zinco sobre os mecanismos fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico em plantas de berinjela cultivadas no sertão paraibano. Assim, o entendimento das interações entre nanofertilizantes e plantas 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.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado em condições de campo, em área pertencente a Fazenda Experimental 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 na cidade de São Domingos, à 30 km de

Pombal (PB). O experimento consta de um arranjo fatorial  $5 \times 2$ , onde foram combinados cinco tratamentos relativos à aplicação foliar de nanofertilizantes (T1 =  $ZnSO_4$  via solo; T2 = NPZnO foliar; T3 = NPZnO foliar + Bio; T4 =  $ZnSO_4$  via solo + Bio e, Controle) e dois níveis de irrigação (50% da evapotranspiração potencial - ETp e 100 % da Etp).

O preparo da área consistiu-se de uma aração e uma gradagem com grade aradora. Após esta etapa foi realizado uma amostragem de solo na área, na camada de 0 – 20 cm para sua caracterização química e física. As mudas de berinjela cultivar ‘Ciça’ foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido (Isopor), com 128 células, as quais foram preenchidas com substrato comercial Baseplant. No solo foram levantadas leiras, medindo 0,4 m de largura e 0,30 m de altura.

A berinjela foi cultivada no espaçamento de 1,2 metros entre linhas e 0,7 metros entre plantas da fileira. Cada parcela foi espaçada em 1 metro entre elas constituída de quatro linhas de 4,5 m de comprimento nas quais foram cultivadas 20 plantas. A parcela útil consistiu de uma área de 9 m<sup>2</sup> na parte central da parcela, onde foram avaliadas 2 plantas.

O controle de plantas daninhas foi realizado, de forma manual. 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 experimental. As adubações nitrogenadas e potássicas foram realizadas via fertirrigação, seguindo um cronograma de aplicação das fontes de acordo com as recomendações técnicas para as culturas, que consideram a curva de absorção de N e K ao longo do seu ciclo.

Foi empregado no preparo do nanofertilizantes de zinco o produto p.a nano-óxido de zinco (NPZnO) da marca Sigma-Aldrich® que tem 97% de pureza, nanopartículas de tamanho menor que 50 nm e superfície específica de 10,8 m<sup>2</sup>/g. As suspensões de trabalho de NPZnO foram preparadas na concentração de 50 g/L. Antes da sua aplicação foliar estas suspensões foram diluídas em água na proporção de 500 ml/100 L os quais foram empregados na dose de 100 L/ha. Para os tratamentos com fontes convencionais de Zn, foi utilizado o reagente p.a  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ .

As plantas foram irrigadas por gotejamento, com gotejadores espaçados de 0,20 m e com vazão nominal de 1,6 L/h. Após o transplantio e estabelecimento das mudas, iniciou-se a irrigações, seguindo os diferentes níveis de lâminas de água, a partir da irrigação total necessária (ITN), calculada pela seguinte expressão:  $ITN = ((C_c - p_m) \times Z \times D_s \times f) / 100$ . A lâmina de irrigação correspondente a 100% foi obtida por meio do cálculo da ETc, conforme a seguinte expressão (JESSEN, 1968):  $ET_c = K_c \cdot E_{to}$ .

A avaliação do potencial osmótico foi realizada a partir de 10 ml de extrato de cada amostra retirado com prensa manual e levados para centrifugação e depois utilizando o microsmômetro automático Roebing. Os valores fornecidos em miliosmol (mosm) foram convertidos para MegaPascal (MPa) (SOUZA et al., 2012). Para os pigmentos, clorofilas a e b, foram extraídos em acetona pura e gelada, filtrados em papel de filtro de 0,45 µm e quantificados por espectrofotometria (LICHTENTHALER, 1987)

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).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o quadro análise de variância verificou-se interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre lâminas de irrigação e tratamentos para as características potencial osmótico da folha ( $\psi_oF$ ), potencial osmótico do caule ( $\psi_oC$ ), clorofila a (Cl a), b (Cl b) e clorofila total (Cl T) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância para potencial osmótico da folha ( $\psi_oF$ ), potencial osmótico do caule ( $\psi_oC$ ), clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b) e clorofila total (Cl T).

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios				
		$\psi_oF$ (Mpa)	$\psi_oC$ (Mpa)	CL a (g m <sup>-2</sup> )	CL b (g m <sup>-2</sup> )	CL T (g m <sup>-2</sup> )
Bloco	3	0,0009	0,0028	0,0061	0,0026	0,0168
Lâmina (L)	1	0,0030	0,0083 <sup>ns</sup>	0,0069 <sup>ns</sup>	0,0014 <sup>ns</sup>	0,0643 *
Resíduo (A)	3	0,0003	0,0017	0,0056	0,0009	0,0028
Tratamento (T)	4	0,0163 **	0,0066	0,2452 **	0,0047 *	0,2265 **
Interação (L x T)	4	0,0083 **	0,0114 *	0,0840 **	0,0079 **	0,1436 **
Resíduo (B)	24	0,0010	0,0026	0,0061	0,0014	0,0068
CV <sub>1</sub> (%)		2,21	6,27	11,33	16,38	7,06
CV <sub>2</sub> (%)		4,03	7,66	11,77	20,31	11,04

GL - Grau de liberdade. (ns) não significativo, (\*) e (\*\*), significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Para potencial osmótico da folha verificou-se efeito significativo entre os tratamentos para as lâminas de 50 e 100% da ETp (Tabela 2). Para a lâmina de 50%, o tratamento 2 (NPZnO foliar) obteve o menor valor (maior acúmulo de solutos), não diferindo, contudo, do tratamento 3 (NPZnO foliar + Bio). Para a lâmina de 100% o maior valor foi observado para o tratamento 3, não diferindo do tratamento 5 (Testemunha). Os tratamentos relativos a aplicação de NPZnO foliar e NPZnO foliar + Bio proporcionaram um melhor ajustamento osmótico em relação aos demais tratamentos. O ajustamento osmótico é definido como diminuição do potencial osmótico em resposta ao déficit hídrico ou à salinidade (TURNER, 1986).

**Tabela 2.** Efeitos da aplicação foliar de nanopartículas de (NPZnO) no potencial osmótico da folha ( $\psi_oF$ ), e potencial osmótico do caule ( $\psi_oC$ ) da berinjela cultivada sob irrigação plena (100 % da ETp) e deficitária (50% da ETp).

Tratamento	$\psi_oF$ (Mpa)		$\psi_oC$ (Mpa)	
	50	100	50	100
1	-0,7325 c	-0,7869 bc	-0,662260 a	-0,610325 c
2	-0,8478 a	-0,7719 bc	-0,669665 a	-0,662235 bc
3	-0,8264 ab	-0,9056 a	-0,680630 a	-0,747245 a
4	-0,7649 c	-0,7431 c	-0,591860 a	-0,733210 ab
5	-0,7715 bc	-0,8233 a	-0,655475 a	-0,651605 c
CV(%)	4,03		7,66	

Para potencial osmótico do caule, verificou-se efeito significativo entre os tratamentos apenas para a lâmina de irrigação de 100% da ETp (Tabela 2). O maior valor foi observado para o tratamento 3 (NPZnO foliar + Bio), não diferindo dos tratamentos 4 (ZnSO<sub>4</sub> via solo + Bio). Quando a planta é submetida a estresse salino e hídrico, ocorre a inibição do seu crescimento, pois reduz o potencial osmótico da solução nutritiva do cultivo, ocasionando toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional, devido ao excesso de sais nos tecidos vegetais. Para não reduzir a água por transpiração, a planta fecha os estômatos, resultando menor taxa fotossintética e provocando redução no desenvolvimento e crescimento das plantas (FLOWERS, 2004). Assim, o potencial osmótico da folha houve um ajustamento osmótico na lamina de irrigação de 50% onde foram submetidas ao deficit hídrico.

Para clorofila a verificou-se efeito significativo entre os tratamentos para as lâminas de 50 e 100% da ETp (Tabela 3). Para lâmina de 50% os tratamentos 2 (NPZnO foliar) e 3 (NPZnO foliar + Bio) obtiveram os maiores resultados. Para lâmina de 100% o tratamento 3 proporcionou maior desempenho, mas não diferindo do tratamento 4 (ZnSO<sub>4</sub> via solo + Bio).

**Tabela 3.** Efeitos da aplicação foliar de nanopartículas de (NPZnO) na clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b) e clorofila total (Cl T) da berinjela cultivada sob irrigação plena (100% da ETp) e deficitária (50% da ETp).

Tratamento	Cl a (g m <sup>-2</sup> )		Cl b (g m <sup>-2</sup> )		Cl T (g m <sup>-2</sup> )	
	50	100	50	100	50	100
1	0,333 c	0,539 c	0,134 b	0,166 a	0,317 c	0,731 a
2	0,883 a	0,636 bc	0,251 a	0,173 a	0,733 b	0,784 a
3	0,938 a	0,867 a	0,246 a	0,160 a	1,158 a	0,826 a
4	0,482 b	0,733 ab	0,156 b	0,194 a	0,631 b	0,773 a
5	0,628 b	0,619 bc	0,166 b	0,197 a	0,716 b	0,840 a
CV(%)	11,77		20,31		11,04	

Para clorofila b verificou-se efeito significativo entre os tratamentos apenas para a lâmina de 50% (Tabela 3), assim como em clorofila total (Tabela 3). Em clorofila b os tratamentos 2 e 3 obtiveram os maiores valores e para clorofila total o maior valor foi obtido no tratamento 3. A clorofila é o pigmento responsável por captar a luz e garantir que organismos fotossintetizantes consigam produzir seu alimento por meio do processo da fotossíntese. (SANTOS, 2024), desse modo houve uma correlação proporcional nos tratamentos 2 e 3 em relação a quantidades de pigmentos e a eficiência fotossintética da cultura, ou seja, o NPZnO foliar e NPZnO foliar mais bioinoculante proporcionaram maior eficácia das atividades fisiológicas.

## CONCLUSÕES

O tratamento composto pela aplicação de NPZnO via foliar e NPZnO foliar mais bioinoculante, proporcionaram os maiores resultados na quantidade de pigmentos no tecido foliar e translocação de solutos, com isso podendo ser usados para atenuar o estresse hídrico em plantas de berinjela na lâmina de irrigação de 50% da ETp.

## REFERÊNCIAS

- AHMADIAN, K.; JULILIAN, J.; PIRZAD, A. Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, v.244, n.1, p. 106544, 2021.
- DAMASCENO, L. F.; COVA, A. M. W.; GHEYI, H.; ALMEIDA, W. F.; DIAS, J. A. L.; RIBEIRO, S. V. Produção e consumo hídrico de berinjela sob estresse salino e irrigação por gotejamento contínuo e pulsado. *Revista Caatinga*, v.35, n.2, p. 450-459, 2022.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um sistema de análise estatística por computador. *Ciência e Agrotecnologia (UFPA)*, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, v.55, n.1, p.307-319, 2004.
- GÁRCIA-LÓPEZ, J. I.; MEDINA-NIÑO, G.; OLIVARES-SÁENZ, E.; LIRA-SALDIVAR, R.; BARRIGA-CASTRO, E. D.; VÁZQUEZ-ALVARADO, R.; RODRIGUEZ-SALINAS, P. A.; ZAVALA-GARCÍA, F. Foliar Application of Zinc Oxide Nanoparticles and Zinc Sulfate Boosts the Content of Bioactive Compounds in Habanero Peppers. *Plants*, v.8, n.8, p.1-20, 2019.
- GHOLINEZHAD, E. 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.106-1017, 2017.
- JESEN, M. E. Consumo de água por plantas agrícolas. Em: KOZLOWSKI, T.T. et al. vol.1. Déficit hídrico rowth. Nova York, Imprensa Acadêmica, 1968. p.1-19.
- LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: COLOWICK, S.P.; KAPLAN, N.O. (Eds). *Methods in enzymology*, San Diego, v.148, p.350-382, 1987.
- SANTOS, V. S. dos. Carotenoides; *Biologia Net*. Disponível em: <https://www.biologianet.com/botanica/carotenoides.htm>. Acesso em 19 de agosto de 2024.
- SOUZA, E. R. de; FREIRE, M. B. G. dos S.; CUNHA, K. P. V. da; NASCIMENTO, C. W. A. do; RUIZ, H. A.; LINS, C. M. T. Biomassa, alteração anatômica e potencial osmótico em *Atriplex numulária* L. *indl*. Cultivada em solo salino sódico sob estresse hídrico. *Botânica Ambiental e Experimental*, v.82, p.20-27, 2012.
- SUN, L.; SONG, F.; GUO, J.; ZHU, X.; LIU, S.; LIU, F.; LI, X. Nano-ZnO-Induced Drought Tolerance Is Associated with Melatonin Synthesis and Metabolism in Maize. *International Journal of Molecular Sciences*. V. 21, n.278, p. 1-18, 2020.
- TURNER, N. C. Adaptation to water deficits: a changing perspective. *Functional Plant Biology*, v.13, n.1, p.175-190, 1986.
- XU, C.; XIA, C.; XIA, Z.; ZHOU, X.; HUANG, J.; HUANG, Z.; LIU, Y. J. Y.; CASTEEL, S.; ZHANG, C. Physiological and transcriptomic responses of reproductive stage soybean to drought stress. *Plant Cell Reports*, v.37, n.1, p.1611-1624, 2018.