

## DINÂMICA DO CRESCIMENTO E TERMORREGULAÇÃO FOLIAR DO COENTRO SOB ESTRESSE HÍDRICO E APLICAÇÃO DE SILÍCIO

Sirleide Maria de Menezes<sup>1</sup>, Ana Célia Meireles Oliveira<sup>2</sup>, Carlos Wagner Oliveira<sup>2</sup>, Jaqueline de Melo Santos Silva<sup>3</sup>, Ana Clarisse da Silva Maia<sup>3</sup>, Carlos Almi Nogueira Gomes<sup>3</sup>

**RESUMO:** O estresse hídrico é responsável por grandes perdas na agricultura, sendo o silício um bioinsumo com grande potencial para atenuar essas perdas. O objetivo do trabalho foi analisar o desenvolvimento e o estado térmico das plantas de coentro sob estresse hídrico e aplicação silício. O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade (CCAB) da Universidade Federal do Cariri (UFCA), Crato, CE. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema 4 x 2, sendo quatro níveis de reposição da evapotranspiração da cultura (50, 75, 100 e 125% da ETc) e duas doses de silício (0,0 e 6,0 mM), com quatro repetições. Analisou-se a altura da planta (AP), número de folhas (NF) e temperatura foliar (TF) ao 20, 26, 32 e 38 dias após a semeadura. A lâmina ótima de irrigação para a AP foi de 103% da ETc, já para o NF a resposta foi linear ao aumento da ETc. Houve redução da AP e do NF com a aplicação de silício. A concentração de 6,0 mM pode ser elevada para cultura do coentro, o que pode ter contribuído para efeitos negativos no crescimento das plantas. Mais estudos são necessários para compreender melhor esses efeitos e definir concentrações ideais de silício.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lâminas de irrigação, *Coriandrum sativum*, ácido salicílico.

## GROWTH DYNAMICS AND LEAF THERMOREGULATION IN CORIANDER UNDER WATER STRESS AND SILICON APPLICATION

**ABSTRACT:** Water stress is responsible for significant losses in agriculture, and silicon is a bioinput with great potential to mitigate these losses. This study aimed to analyze the development and thermal state of coriander plants under water stress and silicon application.

<sup>1</sup> Pós-Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER) CCAB/ UFCA, CEP: 63130-025, Crato, CE, sirleidemeneses@hotmail.com.

<sup>2</sup> Docentes do curso de Agronomia, CCAB/UFCA, Crato, CE.

<sup>3</sup> Discente de Agronomia, CCAB/UFCA, Crato, CE.

The experiment was conducted at the Center for Agricultural Sciences and Biodiversity (CCAB) of the Federal University of Cariri (UFCA), Crato, CE. A completely randomized design was used in a 4 x 2 scheme, with four levels of crop evapotranspiration replacement (50, 75, 100, and 125% of ET<sub>c</sub>) and two silicon doses (0.0 and 6.0 mM), with four replicates. Plant height (AP), number of leaves (NF), and leaf temperature (TF) were analyzed at 20, 26, 32, and 38 days after sowing. The optimal irrigation depth for AP was 103% of ET<sub>c</sub>, while for NF, the response was linear to the increase in ET<sub>c</sub>. There was a reduction in AP and NF with silicon application. The 6.0 mM concentration may be too high for coriander crops, which may have contributed to negative effects on plant growth. Further studies are needed to better understand these effects and define optimal silicon concentrations.

**KEYWORDS:** Irrigation blades, *Coriandrum sativum* L., salicylic acid.

## INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica irregular é um dos fatores limitantes que mais restringem a expansão da agricultura intensiva e sustentável. Nesse contexto, são discutidas estratégias para aumentar a eficiência do uso na água nos cultivos agrícolas. Segundo Farooq et al. (2019), a estratégia de irrigação deficitária é uma abordagem agrônômica para melhorar a eficiência do uso da água e o gerenciamento da água na agricultura irrigada. Contudo, essa técnica requer um manejo adequado, e um bom conhecimento das condições ambientais do local, pois se mal administrada, pode levar ao estresse hídrico excessivo (Vila et al., 2024).

O coentro (*Coriandrum sativum* L.) é uma hortaliça folhosa da família Apiaceae, com um ciclo que varia entre 30 e 40 dias. A cultura é muito sensível ao estresse hídrico, sendo o estágio reprodutivo o mais afetado pela limitação hídrica (Filintas et al., 2021). De acordo com Seleiman et al. (2021), o déficit hídrico compromete o desempenho morfológico, produtivo, fisiológico, bioquímico e molecular das plantas.

O uso de bioestimulantes na agricultura tem crescido nos últimos anos, devido aos benefícios como atenuantes do estresse vegetal. A indústria caracteriza os produtos bioestimulantes como solução e alternativa para a agricultura sustentável, em função dos efeitos positivos que proporcionam à fisiologia vegetal (Zandonadi et al., 2018). Dentre as opções de bioestimulantes tem-se o silício. Em condições de déficit hídrico, melhorias no desempenho das plantas foram associadas a aplicação de silício, devido a manutenção da maior fotossíntese e transpiração, bem como da melhor absorção de água pelas raízes (Chen et al., 2018; Teixeira

et al., 2022). Logo, as plantas adquirem a capacidade de tolerar estresses abióticos mediante a utilização de silício, mantendo, assim, seu crescimento e sua resistência tanto estruturais, quanto mecânica.

A quantidade de silício é baixa em áreas como raízes, porém, é elevada em partes da planta onde há maiores taxas de transpiração, como as folhas (Singh, 2023). Contudo, é importante estudos para verificar concentrações ideais de silício e analisar seus efeitos no desenvolvimento e no desempenho produtivos das plantas. A aplicação do ácido salicílico como mitigador do estresse hídrico é uma alternativa que vem ganhando destaque. Trata-se de um hormônio fenólico que tem função de regulador vegetal contra estresses bióticos e abióticos (Carvalho, 2020).

O ácido salicílico em concentrações ideais, condições ambientais favoráveis e forma de aplicação correta pode aumentar a capacidade fotossintética, resultando em uma maior produtividade da cultura (Taveira et al., 2016). Diante do exposto, objetivou-se analisar o desenvolvimento e o estado térmico das plantas de coentro sob estresse hídrico e aplicação foliar de silício.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, no Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade (CCAB) da Universidade Federal do Cariri (UFCA), Crato, CE (7° 14' S, 39° 22' O e 423 m), no período de abril a maio de 2025. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro níveis de reposição da evapotranspiração da cultura (50, 75, 100 e 125% da ETc) e duas doses de silício (0,0 e 6,0 mM), com quatro repetições. A fonte de silício utilizada foi o ácido salicílico e a aplicação foi via foliar com auxílio de um borrifador manual.

As parcelas experimentais foram constituídas de vasos de polietileno com capacidade de 5 L, inicialmente preenchidos com uma camada de drenagem composta por 0,4 kg de brita, 0,4 kg de areia lavada e uma manta geotêxtil, utilizada para evitar a sedimentação de partículas de solo. A massa de solo utilizada no preenchimento dos vasos foi de 4,0 kg, inicialmente seca ao ar, destorroada e peneirada. Segundo a classificação da FUNCEME (2012), o solo é do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abrupto (característico da região do Cariri Cearense).

Segundo a análise física do solo, realizada antes do preenchimento dos vasos, o solo é textura arenosa, sendo os teores de areia, silte e argila de 89,9; 1,7 e 8,4%, respectivamente. As densidades do solo e de partículas foram de 1,56 e 3,1 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Os limites de armazenamento de água do solo foram de 0,43 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (capacidade de campo) e 0,05 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (ponto de murcha permanente). A análise química do solo apresentou os seguintes resultados: pH (água 1:2,5) = 5,3; Ca<sup>2+</sup> = 2,10 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 0,49 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,1 cmolc dm<sup>-3</sup>; Na<sup>2+</sup> = 0,17 cmolc dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 0,15 cmolc dm<sup>-3</sup>; P = 5,9 mg dm<sup>-3</sup>; M.O = 2,3 g kg<sup>-1</sup>; (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>) = 1,6 cmolc dm<sup>-3</sup>.

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi obtida de forma direta por meio do balanço hídrico diário de seis lisímetros de drenagem instalados na área experimental. Os lisímetros foram constituídos do mesmo material das parcelas experimentais e possuíam um sistema de drenagem com coleta e armazenamento do volume excedente da irrigação. A irrigação diária de cada tratamento foi aplicada de forma manual com o auxílio de uma proveta graduada. A lâmina de irrigação total aplicada foi de 49,8; 74,8; 99,7 e 124,6 mm, correspondentes aos níveis de 50, 75, 100 e 125% da ETc, respectivamente.

A cultivar de coentro utilizada foi a Verdão. Antes da semeadura foi realizado uma calagem com calcário dolomítico, na dose de 0,885 Mg ha<sup>-1</sup>, para elevação do pH e dos teores de Mg<sup>2+</sup>, bem como para a neutralização do Al<sup>3+</sup> trocável. A semeadura foi realizada deixando-se 20 sementes por vaso para garantir a germinação desejada. A adubação de plantio e de cobertura foi realizada de acordo com recomendação para a cultura, proposta por Cavalcanti et al. (2008).

Aos 12 dias após a semeadura (DAS) foi realizado o desbaste, deixando-se as 12 plantas mais vigorosas por vaso. Da semeadura até a diferenciação dos tratamentos (14 DAS) foi aplicado um volume fixo de água (50 mL por vaso dia<sup>-1</sup>) para garantir homogeneidade para todos os tratamentos. As aplicações de silício foram realizadas aos 15, 22, 29 e 36 DAS, sempre no final da tarde. O tratamento correspondente a 0,0 mM de silício era composto apenas por água destilada.

O monitoramento do crescimento das plantas foi realizado por meio das análises da altura das plantas (AP), obtida com auxílio de uma régua, e do número de folhas por planta (NF) por contagem direta. A termoregulação das plantas foi acompanhada por meio da temperatura foliar (TF), obtida com auxílio de um termômetro digital no horário fixo entre as 11:00 e 12:00 horas. Essas análises foram realizadas aos 20, 26, 32 e 38 DAS, em três plantas por parcela.

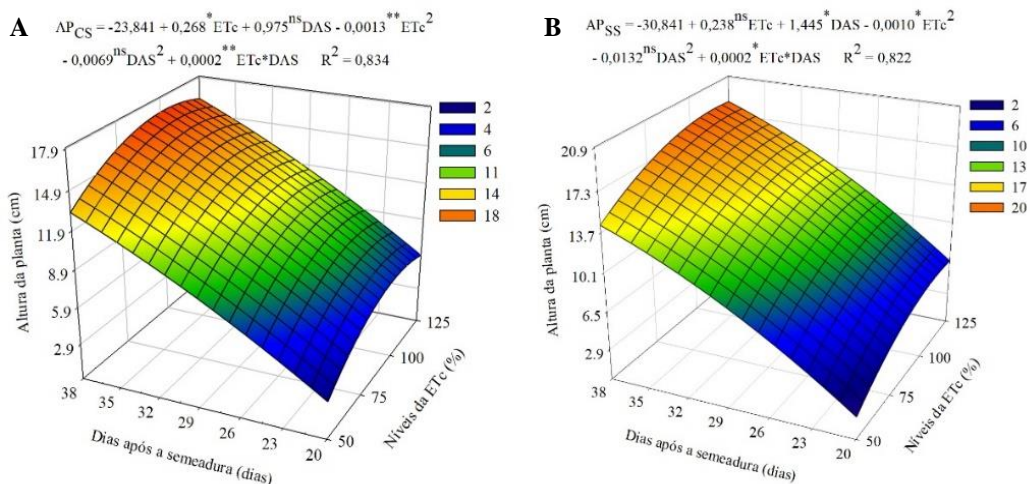
A colheita foi realizada aos 38 DAS, quando as plantas apresentavam ponto ótimo de consumo. A análise estatística foi realizada empregando-se o modelo de parcelas subdivididas

ao longo do tempo para as variáveis coletadas durante o ciclo, aplicando-se o teste de esfericidade de Mauchly ( $p \leq 0,05$ ). Quando um efeito significativo foi encontrado, os tratamentos foram ajustados usando modelos de regressão múltipla (superfície de resposta), considerando o tempo (15, 22, 29 e 36 DAS) e o nível de reposição da ETc (50, 75, 100 e 125%) como variáveis independentes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise multivariada, os fatores tempo, níveis da ETc e doses de silício, apresentaram interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) para as variáveis de crescimento: número de folhas (NF) e altura da planta (AP). Já para a variável temperatura foliar, houve efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) apenas da interação entre DAS e níveis da ETc.

A variável AP com e sem a aplicação de silício (Figura 1A e 1B) apresentou acréscimo de 0,98 e 1,45 cm, respectivamente, para cada aumento unitário de tempo. Com a aplicação de silício (Figura 1A), a AP máxima foi de 17,8 cm na lâmina de irrigação equivalente a 103% da ETc aos 38 DAS.



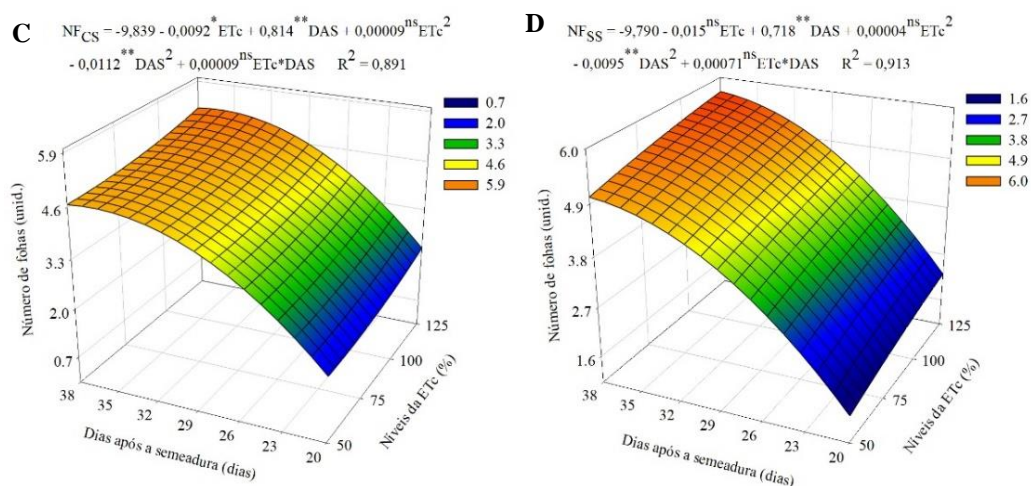
**Figura 1.** Superfície de resposta para a altura da planta do coentro em função de lâminas de irrigação com aplicação de silício (A) e sem aplicação de silício (B), respectivamente.

Observa-se que a cultura requer um suprimento hídrico adequado, sendo o estresse hídrico um fator que limita fortemente seu crescimento, fato que pode estar associado as implicações metabólicas e fisiológicas decorrentes da insuficiência hídrica aplicada no estudo. Dlamini (2021) afirma que, a disponibilidade de água para as plantas é um dos fatores fundamentais e responsáveis pelo processo de regulação da abertura ou fechamento dos estômatos, o que

restringe as trocas gasosas das plantas. De acordo com Menezes et al. (2024), plantas em condição de limitação hídrica tendem a reduzir a sua área foliar e, conseqüentemente seu crescimento, devido a mudanças metabólicas realizadas como mecanismo para reduzir as perdas de água para a atmosfera.

Já para a condição sem a aplicação de silício, o valor máximo para a AP foi de 20,1 cm, obtido na reposição de 119% da ETc, aos 38 DAS. Constata-se uma redução de 13% na AP quando houve a aplicação de silício. Tal efeito pode inferir que a concentração de silício aplicada está acima do limiar tolerado pela cultura, o que pode ter causado um distúrbio nutricional contribuído para a intensificação do estresse hídrico nas plantas. Ferraz (2012), em seu estudo com 3 cultivares de algodoeiro constatou que houve uma redução de 29,2% na altura da planta, cultivar 'BRS Topázio', conforme aumentava a concentração de silício.

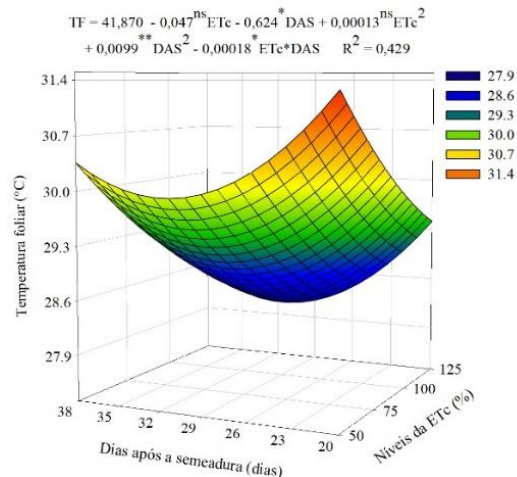
Para a variável NF com a aplicação de silício (Figura 2A) e sem a aplicação de silício (Figura 2B), o número de folhas aumentou linearmente 0,01 e 0,02 respectivamente, para cada aumento unitário nos níveis da ETc. Com a aplicação de silício, NF máximo foi de 5,5 unid. aos 36 DAS, já para a condição sem a aplicação de silício o NF máximo foi de 6 unid. aos 38 DAS, acréscimo de 9,1% sobre a variável analisada. Em seu estudo com plantas de alface, Neves et al. (2020), observaram que o aumento da concentração de silício reduziu o crescimento e o desenvolvimento da cultura, interferindo no tamanho e na produção de biomassa das plantas. Tal fato ressalta a necessidade de estudos para definir concentrações ideais de silício, com máximo de benefícios para as diferentes culturas e condições de cultivos.



**Figura 2.** Superfície de resposta para o número de folhas do coentro em função de lâminas de irrigação com aplicação de silício (A) e sem aplicação de silício (B), respectivamente.

Em relação a TF (Figura3), constata-se que, com o aumento unitário dos níveis da ETc há uma redução (0,05 °C) na TF do coentro. O que evidência o estresse térmico induzido pela

intensificação do estresse hídrico. Com o desenvolvimento das plantas, também observa-se uma redução na TF, sendo o valor mínimo de 28 °C obtido aos 32 DAS, 15% inferior ao valor obtido aos 20 DAS (31,2 °C). O aumento da temperatura foliar pode estar relacionado com a redução da transpiração e da condutância estomática das plantas, mecanismo que geralmente acontece sob condições de limitação hídrica como meio de adaptação das plantas.



**Figura 3.** Superfície de resposta para a temperatura foliar do coentro em função de lâminas de irrigação e dos dias após a semeadura.

O aumento da temperatura foliar está diretamente relacionado com a redução dos processos de transpiração e condutância estomática nas plantas, mecanismos esses, associados a processos adaptativos desenvolvidos pelas plantas sob efeito de estresse por déficit hídrico (Endres et al., 2019; Dingre & Gorantiwar, 2021). Em seus estudos, Ramírez (2015) e Menezes et al. (2024), afirmaram que o aumento do estresse hídrico aumenta a temperatura foliar das plantas e reduz a produtividade.

## CONCLUSÕES

A lâmina ótima de irrigação para a AP foi de 103% da ETc, já para o NF a resposta foi linear ao aumento da ETc. Houve redução da AP e do NF com a aplicação de silício. A concentração de 6,0 mM pode ser elevada para cultura do coentro, o que pode ter contribuído para efeitos negativos no crescimento das plantas. Mais estudos são necessários para compreender melhor esses efeitos e definir concentrações ideais de silício.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao grupo de pesquisa LEMGE (Laboratório de Estatística, Modelagem e Geoprocessamento) e a Universidade Federal do Cariri (CCAB/UFCA, Crato, CE) pelo apoio, orientação e logística na realização dos trabalhos. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo seu apoio financeiro aos bolsistas participantes desta pesquisa e ao PROJETO: Edital n.162022, PDPG – Pós-doutorado Estratégico.

## REFERÊNCIAS

- Carvalho, J. S. B.; Silva, J. P. R.; Batista, R. D. C. M. Uso do ácido salicílico como atenuador aos efeitos do déficit hídrico em plantas de manjeriço. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1561-1574, 2020.
- Cavalcanti, F. L. A.; Santos, J. C. P.; Pereira, J. R.; Leite, J. P.; Silva, M. C. L.; Freire, F. J.; Silva, D. J.; Sousa, A. R.; Messias, A. S.; Faria, C. M. B.; Burgos, N.; Lima Júnior, M. A.; Gomes, R. V.; Cavalcanti, A. C.; Lima, J. F. V. F. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**. 2008. 212p.
- Chen, D.; Wang, S.; Yin, L.; Deng, X. (2018). How does silicon mediate plant water uptake and loss under water deficiency? **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 281, 2018.
- Dingre, S. K.; Gorantiwar, S. D. Soil moisture based deficit irrigation management for sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in semiarid environment. **Agricultural Water Management**, v. 245, n. 9, p. 106549, 2021.
- Dlamini, P. J. Drought stress tolerance mechanisms and breeding effort in sugarcane: A review of progress and constraints in South Africa. **Plant Stress**, v. 2, n. 6, p. 100027, 2021.
- Endres L.; Santos, C. M.; Silva, J. V.; Barbosa, G. S.; Silva, A. L. J.; Froehlich, A.; Teixeira, M. M. Inter-relationship between photosynthetic efficiency,  $\Delta 13 C$ , antioxidant activity and sugarcane yield under drought stress in field conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 205, p. 433-446, 2019.

Farooq, M.; Hussain, M.; Ul-Allah, S.; Siddique, K. H. Physiological and agronomic approaches for improving water-use efficiency in crop plants. **Agricultural Water Management**, v. 219, p. 95-108, 2019.

Ferraz, R. L. S. **Crescimento, fisiologia e produção do algodoeiro sob efeito do silício via foliar**. 2012. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, 2012.

Filintas, A.; Wogiatzi, E.; Gougoulas, N. Rainfed cultivation with supplemental irrigation modelling on seed yield and oil of *Coriandrum sativum* L. using Precision Agriculture and GIS moisture mapping. **Water Supply**, v. 21, n. 6, p. 2569-2582, 2021.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos-Mesorregião do Sul Cearense**. FUNCEME. 2012.

Menezes, S. M.; Silva, G. F.; Silva, M. M.; Oliveira Filho, R. A.; Jardim, A. M. R. F.; Silva, J. R. I.; Silva, J. V.; Santos, M. A. L. Pulse drip irrigation improves yield, physiological responses, and water-use efficiency of sugarcane. **Water Conservation Science and Engineering**, v. 9, n. 1, p. 25, 2024.

Neves, G. M.; Pinheiro, S. M. G. P.; Cardoso, F. L.; Machado, R. S.; Mambri, A. P. S.; Andriolo, J. L. Silício no crescimento e desenvolvimento de plantas de alface em cultivo fora do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 2330-2337, 2020.

Ramírez, A. J. F.; Coelho, R. D.; Pizani, M. A. M.; Silva, C. J. (2015). Determinação do índice de estresse hídrico em tomateiros cereja (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme.) com câmara infravermelha. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 4, p. 218-224, 2015.

Seleiman, M. F.; Al-Suhaibani, N.; Ali, N.; Akmal, M.; Alotaibi, M.; Refay, Y.; Dindaroglu, T.; Abdul-Wajid, H. H.; Battaglia, M. L. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. **Plants**, v. 10, n. 2, p. 259, 2021.

Singh, P.; Kumar, V.; Sharma, A. Interaction of silicon with cell wall components in plants: a review. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 15, n. 2, 2023.

Taveira, M. R. D.; Suassuna Filho, J. F.; RCJ, C. R.; Araújo, E. D. Crescimento de plantas de gergelim sob déficit hídrico induzido e tratamento com ácido salicílico. In: I Congresso **Internacional da Diversidade do Semiárido**. Anais... I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido. Campina Grande, PB, 2016.

Teixeira, G. C. M.; Prado, R. M.; Rocha, A. M. S.; Oliveira Filho, A. S. B.; Sousa Junior, G. S.; Gratão, P. L. Action of silicon on the activity of antioxidant enzymes and on physiological mechanisms mitigates water deficit in sugarcane and energy cane plants. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 17487, 2022.

Villa, V. V.; Marques, P. A. A.; Gomes, T. M.; Nunes, A. F.; Montenegro, V. G.; Wenneck, G. S.; Franco, L. B. Deficit Irrigation with Silicon Application as Strategy to Increase Yield, Photosynthesis and Water Productivity in Lettuce Crops. **Plants**, v. 13, n. 7, p. 1029, 2024.

Zandonadi, D. B. **Bioestimulantes e produção de hortaliças. Embrapa Hortaliças**. Artigo de divulgação na mídia. INFOTECA-E, 2018. Acesso em 13 de agosto de 2025. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/78557069.pdf>.