

## RELAÇÕES HÍDRICAS DO COENTRO EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO E APLICAÇÃO EXÓGENA DE SILÍCIO

Antônia Raquel de Moraes Alcântara<sup>1</sup>, Ana Alice Cardoso Carneiro<sup>2</sup>, Everton Alencar Patrício<sup>1</sup>,  
José Lucas dos Santos Souza<sup>1</sup>, Ana Célia Meireles Oliveira<sup>3</sup>, Carlos Wagner Oliveira<sup>3</sup>

**RESUMO:** O estresse hídrico é um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento das culturas agrícolas, sobretudo as hortaliças que possuem alta exigência hídrica. Nesse contexto, o uso de silício como bioinsumo tem ganhado destaque pelos benefícios as plantas em condições de estresse. Assim, objetivou-se avaliar a atuação do silício como atenuante do estresse hídrico sobre as relações hídricas do coentro. 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. A produtividade da água (PA) bem como o teor de água (TA) na planta (ambas na parte aérea e raízes), respondem de forma linear crescente ao aumento da disponibilidade hídrica, reforçando a redução nas relações hídricas das plantas quando submetidas a estresse hídrico. A dose de 6,0 mM de silício reduziu a PAPA e o TAPA, no entanto, aumentou a relação raiz/parte aérea na reposição de 75% da ETc. É necessários maiores estudos para definir concentrações ideais de silício para a cultura considerando os diferentes níveis de estresse hídrico.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Coriandrum sativum* L. lisímetros, bioestimulante.

## WATER RELATIONS OF CORIANDER UNDER WATER STRESS CONDITIONS AND EXOGENOUS APPLICATION OF SILICON

**ABSTRACT:** Water stress is one of the main factors limiting crop development, especially vegetables, which have high water requirements. In this context, the use of silicon as a bioinput

<sup>1</sup> Discente de Agronomia, CCAB/UFCA, Crato, CE.

<sup>2</sup> Discente de Agronomia, Bolsista FUNCAP, CCAB/UFCA, CEP: 63130-025, Crato, CE, ana.cameiro@aluno.ufca.edu.br

<sup>3</sup> Docentes do curso de Agronomia, CCAB/UFCA, Crato, CE.

has gained prominence due to its benefits to plants under stress. Thus, the objective was to evaluate the role of silicon in mitigating water stress on the water relations of coriander. 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. Water productivity (WP) and water content (WT) in plants (both shoots and roots) respond in a linearly increasing manner to increased water availability, reinforcing the reduction in plant water relations when subjected to water stress. A 6.0 mM silicon dose reduced WP and WT, but increased the root/shoot ratio when replenishing 75% of ET<sub>c</sub>. Further studies are needed to define optimal silicon concentrations for crops considering different levels of water stress.

**KEYWORDS:** *i* L., lysimeters, biostimulant.

## INTRODUÇÃO

No Brasil o coentro (*Coriandrum sativum* L.) está entre as hortaliças mais utilizadas para o preparo de condimentos e temperos, além de usos medicinais. O estudo de Santana et al. (2023) revelou que o coentro é amplamente utilizado em pratos típicos das regiões Norte e Nordeste do Brasil. As características morfofisiológicas dessa cultura a tornam mais adaptada a climas quentes, sendo menos tolerantes as baixas temperaturas. 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.

A determinação da demanda hídrica de uma cultura é indispensável para que seja possível o uso da irrigação de forma mais eficiente. Um sistema de irrigação eficiente é composto por diversos fatores que vão desde a forma de aplicação até a quantidade de água usada. A adoção dessas práticas de irrigação mais conscientes é fundamental para evitar excesso ou falta de água que podem comprometer o desenvolvimento das plantas trazendo como consequência uma redução de produtividade e menor rentabilidade do produtor (Silva, 2019).

Nesse contexto de controle aos estresses hídricos a aplicação de silício tem surgido como uma estratégia complementar para mitigar os efeitos negativos do estresse causado nas culturas contribuindo para manutenção da fotossíntese e transpiração mais elevadas tornando maior a absorção de água pelas raízes (Ullah et al., 2024; Chen et al., 2018a). De acordo com Seleiman

et al. (2021), o déficit hídrico compromete o desempenho morfológico, produtivo, fisiológico, bioquímico e molecular das plantas.

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., 2018b; Teixeira et al., 2022). Embora não seja considerado um elemento essencial, o silício tem demonstrado diversos benefícios fisiológicos, como a redução da transpiração, o aumento do teor de clorofila e o fortalecimento das paredes celulares, o que proporciona folhas mais eretas, maior taxa fotossintética e maior absorção de CO<sub>2</sub> (Machado., 2020).

Considerando os possíveis benefícios que a aplicação de silício pode vir a proporcionar para as plantas de coentro em condição de déficit hídrico, objetivou-se avaliar a atuação do silício como atenuante do estresse hídrico sobre as relações hídricas do coentro.

## 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;  $\text{Ca}^{2+} = 2,10 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ;  $\text{Mg}^{2+} = 0,49 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ;  $\text{Al}^{3+} = 0,1 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ;  $\text{Na}^{2+} = 0,17 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ;  $\text{K}^{+} = 0,15 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ;  $\text{P} = 5,9 \text{ mg dm}^{-3}$ ;  $\text{M.O} = 2,3 \text{ g kg}^{-1}$ ;  $(\text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}) = 1,6 \text{ cmolc dm}^{-3}$ .

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  $0,885 \text{ Mg ha}^{-1}$ , para elevação do pH e dos teores de  $\text{Mg}^{2+}$ , bem como para a neutralização do  $\text{Al}^{3+}$  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 ( $50 \text{ mL por vaso dia}^{-1}$ ) 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  $0,0 \text{ mM}$  de silício era composto apenas por água destilada.

A colheita foi realizada aos 38 DAS, quando as plantas apresentavam ponto ótimo de consumo. As relações hídricas das plantas foram avaliadas por meio das variáveis: temperatura foliar – TF, obtida com auxílio de um termômetro digital no horário entre as 11:00 e 12:00 horas ( $^{\circ}\text{C}$ ); a produtividade de água na massa fresca – PAMF ( $\text{g L}^{-1}$ ), e na massa seca – PAMS ( $\text{g L}^{-1}$ ), obtida de acordo com metodologia de Zamora et al. (2019); o teor de água na parte aérea – TAPA (%), e na raiz – TAR (%), obtidos segundo metodologia de Benincasa (1988); e a relação raiz/parte aérea - R/PA, obtida segundo metodologia de Magalhães (1979)

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste F ( $p < 0,05$ ), utilizando-se o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2019). Quando constatado efeito significativo dos fatores, esses foram avaliados mediante análise de regressão polinomial e teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância (Tabela 1), houve efeito significativo da interação entre os fatores tempo, níveis da ETc e doses de silício para as variáveis PAMF ( $p \leq 0,01$ ), TAPA ( $p \leq 0,05$ ), e R/PA ( $p \leq 0,05$ ). Para a variável TAR o efeito significativo constatado ( $p \leq 0,01$ ) foi dos fatores de forma isolada. Já para as variáveis TF e PAMS, foram influenciadas apenas pelos níveis da ETc ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 1.** Análise de variância para a temperatura foliar (TF), produtividade de água na massa fresca (PAMF) e na massa seca (PAMS), teor de água na parte aérea (TAPA) e na raiz (TAR) e relação raiz/parte aérea (R/PA) da cultura do coentro cv. Verdão, em função de lâminas de irrigação com e sem a aplicação de silício

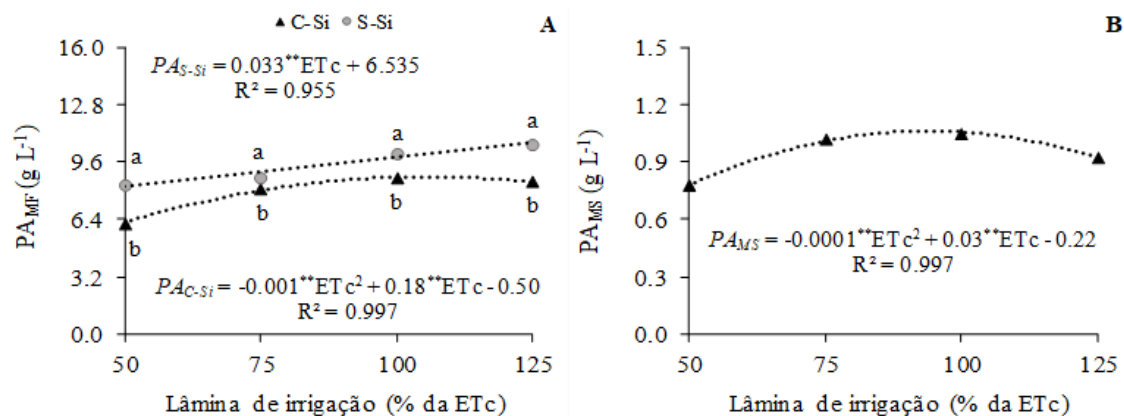
FV	GL	Quadrado Médio		
		TF	P <sub>AMF</sub>	P <sub>AMS</sub>
Lâminas de irrigação (L)	3	10,522 <sup>**</sup>	8,956 <sup>**</sup>	0,118 <sup>**</sup>
Silício (Si)	1	2,210 <sup>ns</sup>	19,500 <sup>**</sup>	0,010 <sup>ns</sup>
L x Si	3	0,226 <sup>ns</sup>	0,969 <sup>**</sup>	0,021 <sup>ns</sup>
Repetição	3	1,102 <sup>ns</sup>	0,174 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>
Resíduo	21	0,779	0,095	0,008
CV	%	12,99	3,57	9,37

FV	GL	Quadrado Médio		
		T <sub>APA</sub>	T <sub>AR</sub>	R/PA
Lâminas de irrigação (L)	3	28,862 <sup>**</sup>	33,701 <sup>**</sup>	43,888 <sup>**</sup>
Silício (Si)	1	15,919 <sup>**</sup>	146,890 <sup>**</sup>	0,670 <sup>ns</sup>
L x Si	3	3,672 <sup>*</sup>	0,901 <sup>ns</sup>	6,554 <sup>*</sup>
Repetição	3	1,299 <sup>ns</sup>	1,015 <sup>ns</sup>	0,873 <sup>ns</sup>
Resíduo	21	1,029	4,186	1,827
CV	%	11,15	20,31	10,61

ns: não significativo; \*\* e \*: significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

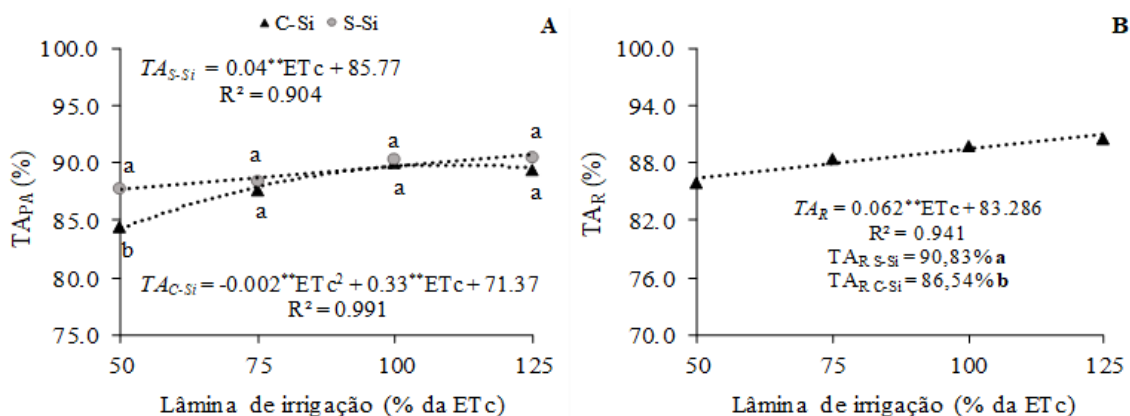
Na Figura 1A é possível observar os efeitos dos tratamentos com e sem silício e da lâmina de irrigação para a variável PAMF, sendo a variável sem silício melhor representada por uma equação linear, enquanto a com silício por uma equação quadrática, apresentando aumentos de 30 e 26,6% respectivamente, até seus pontos de máximas.



**Figura 1.** Produtividade de água na massa fresca (A) e produtividade de água na massa seca (B) do coentro em função da interação entre lâminas de irrigação com e sem a aplicação de silício, e apenas das lâminas de irrigação, respectivamente. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as condições com e sem a aplicação de silício pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). \*\* - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Já na Figura 2B, podemos observar o comportamento da PAMS em relação a lâmina de irrigação utilizada, onde a variável demonstrou um comportamento quadrático, com aumento de aproximadamente 25% até seu ponto de máxima (90 % ETc).

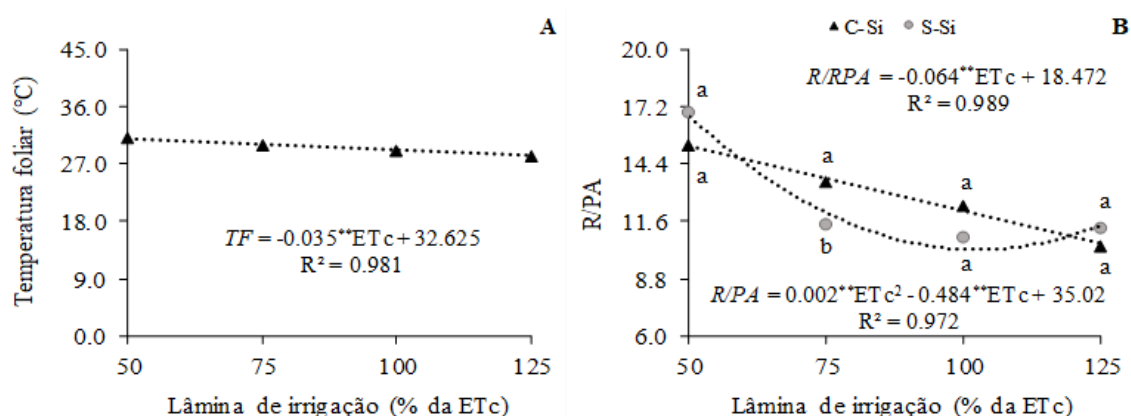
De acordo com a Figura 2B, também é possível observar a interação de ambos os tratamentos com a variável (TAPA), a qual apresentou um crescimento linear de 4,35% para o tratamento sem silício no intervalo de 50 a 125 % da ETc. Já para o tratamento com silício a variável apresentou um crescimento quadrático com seus maiores valores acima de 100 % da ETc, com uma pequena redução próximo a 125 % da ETc. Resultados semelhantes foram observados por Neves et al., (2020), em que, o aumento da concentração de silício reduziu o crescimento e o desenvolvimento da cultura da alface, 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.** Teor de água na parte aérea (A) e teor de água na raiz (B) do coentro em função da interação entre lâminas de irrigação com e sem a aplicação de silício, e apenas das lâminas de irrigação, respectivamente. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as condições com e sem a aplicação de silício pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). \*\* - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Em relação ao teor de água na raiz (Figura 2B), foi possível observar um acréscimo de 0.062 % para cada lâmina de irrigação utilizada, com diferença significativa para os tratamentos com e sem silício, havendo uma diferença percentual entre elas de 4,95 %.

Conforme a Figura 3A, a TF apresentou um valor de 30,87 °C, para a lâmina de irrigação de 50 % da ETc, tendendo a reduzir 0,035 °C para cada lâmina aplicada, o que resultou em uma redução total de aproximadamente 8,5% até a lâmina de 125 % da ETc. Colaborando com o resultado encontrado por Carvalho et al., (2020), onde o déficit hídrico influenciou diretamente no aumento da temperatura foliar, em plantas de manjeriço.



**Figura 3.** Temperatura foliar (A) e relação raiz/parte aérea (B) do coentro em função apenas das lâminas de irrigação, e interação entre lâminas de irrigação com e sem a aplicação de silício, respectivamente. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as condições com e sem a aplicação de silício pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). \*\* - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Já para a R/PA (Figura 3B) na lâmina de 50 % da ETc a condição sem silício foi superior em 9 % a condição com silício, já na lâmina de 75 % da ETc a condição com silício superou a sem silício apresentando melhores resultados.

## CONCLUSÕES

O aumento da lâmina de irrigação contribuiu com o desenvolvimento e a quantidade de água nos tecidos da cultura do coentro. Apesar do silício demonstrar efeitos significativos, não atuou como atenuante ao estresse hídrico. Tal comportamento pode estar ligado a alta concentração de silício utilizada no estudo. Sendo, portanto, fundamental o desenvolvimento de novas pesquisas voltadas a analisar diferentes doses de aplicação desse elemento, em relação ao estresse hídrico.

## 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) e ao grupo de ensino tutorado PETagronomia, pelo apoio, orientação e logística na realização dos trabalhos. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

## REFERÊNCIAS

- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Noções Básicas. Jaboticabal: FUNEP/FCAV-UNESP. 1988, 42p.
- CARVALHO, J. S. B.; SILVA, J. P. R.; BATISTA, R. 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, 2018b.
- CHEN, D.; WANG, S.; YIN, L.; DENG, X. Como o silício medeia a absorção e perda de água da planta sob deficiência de água? Frente. **Planta Sci**. v. 9, p. 281, 2018a.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: Um sistema computacional de análise para delineamentos de parcelas subdivididas com efeitos fixos. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- FILINTAS, A.; WOGIATZI, E.; GOUGOULIAS, 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.

MACHADO, M. S. **Aplicação de silicato de potássio em coentro e cebolinha sobre estresse salino da solução nutritiva**. 2020. 80 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, MG (ed). **Fisiologia vegetal**. São Paulo: USP. p.331-350, 1979.

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.

SANTANA, M. V. P.; ALMEIDA, D. T. R. G. F.; OLIVEIRA, L. S.; DANTAS, R. L.; MARTINS, J. C. R.; JESUS, K. N. Pós-colheita do coentro (*coriandrum sativum* l.) sob diferentes períodos de armazenamento. **Revista de Ciências da Saúde Nova Esperança**, [S. l.], v. 21, n. Esp2, p. 486–504, 2024.

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.

SILVA, F. S. N. **Efeito de diferentes lâminas de irrigação na produção de pimenta-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacq.)**. 2019. Dissertação - AM. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA. AM.

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.

ULLAH, M. S.; MAHMOOD, A.; AMEEN, M. **Papel multidimensional do silício para mitigar estresses bióticos e abióticos em plantas: uma revisão abrangente**. Silício, 2024.

ZAMORA, V. R. O.; SILVA, M. M.; SILVA, G. F.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MENEZES, D.; MENEZES, S. M. Pulse drip irrigation and fertigation water depths in the water relations of coriander. **Horticultura Brasileira**, v. 37, p. 022-028, 2019.