

Pigmentos foliares no tomateiro em função da reposição hídrica e aplicação de silício na cultura

FOLIAR PIGMENTS IN TOMATO PLANTS IN RESPONSE TO WATER REPLENISHMENT AND SILICON APPLICATION

Eduarda Fiais de Lima¹, Roberto Rezende²

Os pigmentos foliares apresentam relação com a condição de desenvolvimento das plantas, expressando principalmente condições de estresse pela dinâmica do teor de clorofila e carotenoides nas folhas. Ao considerar a função que desempenham nas plantas, os pigmentos foliares também apresentam reflexo no rendimento da cultura. O estudo tem como objetivo analisar a influência do manejo hídrico e aplicação de silício sobre os pigmentos foliares na cultura do tomateiro. O experimento foi conduzido em ambiente protegido, sendo adotado delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4, sendo dois níveis de reposição hídrica (60 e 100% da evapotranspiração da cultura –ETc) e quatro formas de aplicação de silício (sem aplicação, aplicação no solo em dose total, aplicação no solo de forma parcelada e aplicação foliar) com quatro repetições. A determinação dos pigmentos foliares foi realizada aos 75 dias após o transplante das mudas. A determinação foi realizada em folhas do terço superior das plantas. A aplicação de silício influenciou positivamente os teores de pigmentos foliares no tomateiro, especialmente nas condições de déficit hídrico.

Palavras-chave: Elemento benéfico. Manejo hídrico. *Solanum lycopersicum*.

Leaf pigments are related to the developmental conditions of plants, primarily reflecting stress conditions through the dynamics of chlorophyll and carotenoid contents in the leaves. Considering their functional roles in plants, leaf pigments also have an impact on crop yield. This study aims to analyze the influence of water management and silicon application on leaf pigments in tomato plants. The experiment was conducted in a protected environment using a completely randomized design in a 2x4 factorial scheme, with two levels of water replenishment (60% and 100% of crop evapotranspiration – ETc) and four silicon application methods (no application, total dose applied to the soil, split-dose soil application, and foliar application), with four replications. Leaf pigment determination was performed 75 days after seedling transplanting, using leaves from the upper third of the plants. Silicon application positively influenced the leaf pigment contents in tomato plants, especially under water deficit conditions.

Keywords: Beneficial element. Water management. *Solanum lycopersicum*.

Autor Correspondente:
Eduarda Fiais de Lima

E-mail: eduardafiais18@gmail.com

Declaração de Interesses:
Os autores certificam que não possuem implicação comercial ou associativa que represente conflito de interesses em relação ao manuscrito.

¹ Universidade Estadual de Maringá

² Universidade Estadual de Maringá

INTRODUÇÃO

Os pigmentos foliares, principalmente clorofilas, são responsáveis pela absorção da luz e realização da fotossíntese em plantas. As clorofilas podem ser divididas em clorofila a e clorofila b. Conforme Taiz et al. (2017) a clorofila a é responsável pela utilização da energia na fotossíntese, enquanto a clorofila b permite a utilização da luz em uma faixa maior e transfere energia para clorofila a. Durante o desenvolvimento da cultura a determinação da clorofila permite analisar o estado nutricional e presença de estresse por condições adversas no cultivo, que apresenta potencial de impacto no rendimento da cultura (Nogueira et al., 2018; Li et al., 2019). Enquanto a clorofila a atua diretamente na conversão de energia luminosa em energia química, a clorofila b tem função acessória, ampliando a faixa de absorção espectral. Os carotenoides, por sua vez, estão associados à dissipação de energia em excesso e atuam como antioxidantes, protegendo os cloroplastos contra espécies reativas de oxigênio geradas em situações de estresse abiótico (Taiz et al., 2017; Ferrández-Gomez et al., 2024).

A determinação do conteúdo de clorofila nas folhas pode ser realizada por método direto com a extração e quantificação por espectrometria (Lichtenthaler, 1987) e de forma indireta com equipamentos que determinam a refletância das folhas sob comprimentos de onda específicos, como o SPAD 502 (Villa et al., 2022). Além das clorofilas, as folhas ainda apresentam a presença de carotenoides, sendo pigmentos presentes em maior concentração em plantas submetidas ao estresse durante o cultivo (Wenneck et al., 2021).

O tomateiro apresenta diferenças nas concentrações de pigmentos foliares em função de fatores genéticos, entretanto em condições de estresse salino há redução, em diferentes níveis, nos teores de pigmentos foliares (Shin et al., 2020). A redução da concentração pode estar relacionada a redução na síntese e/ou degradação dos pigmentos. De acordo com Zhang et al. (2018) fatores hídricos na cultura do tomateiro como estresse hídrico, perda de turgor e alteração nas trocas gasosas apresenta relação direta com a concentração e fluorescência da clorofila.

Em condições adversas de cultivo, principalmente relacionadas ao estresse hídrico a aplicação do elemento benéfico silício (Si) apresenta resultados positivos (Lozano et al., 2018; Nocchi et al., 2021; Santos et al., 2021). Estudo desenvolvido na região noroeste do Paraná demonstram que a cultura do tomate apresenta sensibilidade ao manejo hídrico (Silva et al., 2023), com atenuação parcial do estresse por meio da aplicação de silício verificado em termos de rendimento (Wenneck et al., 2023). Entretanto, o efeito da interação do manejo hídrico e da aplicação de silício na cultura do tomate é pouco conhecido. O estudo teve como objetivo determinar a dinâmica dos pigmentos foliares na cultura do tomateiro sob diferentes manejos hídricos e formas de aplicação de silício.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em casa de vegetação no Centro Técnico de Irrigação (CTI), pertencente à Universidade Estadual de Maringá (UEM), em Maringá-PR (23° 23' 57" S, 51° 57' 07" O e altitude de 542 m). O local apresenta clima Cfa, conforme Koppen, com temperatura entre 21,1 e 22 °C, radiação solar entre 14,5 a 15 MJ m⁻² por dia e evapotranspiração potencial entre 1.000 a 1.100 mm ano⁻¹ (Nitsche et al., 2019).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4, sendo dois níveis de reposição hídrica (60 e 100% da evapotranspiração da cultura – ETc) e quatro formas de aplicação de silício (sem aplicação, aplicação no solo em dose total, aplicação no solo de forma parcelada e aplicação foliar) com quatro repetições.

Para determinar as quantidades e formas de aplicação do elemento benéfico (silício) foram considerados os resultados obtidos por Lozano et al. (2018), Nocchi et al. (2021) e Wenneck et al. (2021) relacionados à aplicação de silício em culturas de interesse agrônomo. Como fonte de silício

será utilizado óxido de silício (SiO_2), visando fornecer somente o elemento de interesse através das aplicações controladas. A aplicação foliar foi realizada de forma direcionada as folhas do tomateiro na quantidade de 100 mL planta⁻¹ (1 g de Si L⁻¹ de água) com intervalo de aplicações de 15 dias. Para aplicações no solo foi adotada a dosagem de 100 kg ha⁻¹ sendo aplicado sob a superfície do solo.

O cultivo será conduzido de forma semelhante à produção comercial, com mudas enxertadas, condução em haste dupla de forma tutorada, espaçamento de 0,75 m entre plantas. O manejo nutricional foi realizado de acordo com recomendações técnicas para a cultura (Pauletti; Motta, 2019). A reposição hídrica foi realizada com mangueiras de gotejamento com espaçamento de 0,5 m entre emissores e vazão nominal de 4 L h⁻¹ e pressão de serviço de 20 mca. O volume de água evapotranspirado (ETc) foi determinado por meio de lisímetros de lençol freático de nível constante instalados no interior do ambiente protegido.

A determinação dos pigmentos foliares foi realizada aos 75 dias após o transplântio das mudas. A determinação foi realizada em folhas do terço superior das plantas. Foi realizada a determinação por método direto. Pelo método direto os pigmentos foliares (clorofila a, clorofila b, clorofila total (a+b) e carotenoides) serão quantificados por meio de espectrometria utilizando acetona como extrator, conforme Lichtenthaler (1987). Para quantificação foram coletadas amostras de tecido foliar (150 mg), sendo posteriormente submersa em 2 mL de acetona pura e mantida em local escuro com baixa temperatura até a completa despigmentação do tecido. A solução após a despigmentação foi inserida em cubetas de quartzo (2 mL) para determinação de absorvância em espectrofotômetro (AJX-6100PC) nos comprimentos de onda de 661,6, 644,8 e 470 nm.

Os dados serão submetidos à análise de variância, e as médias comparadas por teste de comparação de médias (Tukey) com 5% de significância e análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos pigmentos foliares demonstrou que a concentração de clorofilas e carotenoides no tomateiro foi influenciada tanto pela reposição hídrica quanto pela forma de aplicação de silício (Tabela 1). Os valores médios de clorofila a variaram entre 17,31 e 19,51 $\mu\text{g g}^{-1}$ de matéria fresca (MF), enquanto a clorofila b oscilou entre 17,31 e 19,51 $\mu\text{g g}^{-1}$ MF, com clorofila total (a + b) atingindo até 31,69 $\mu\text{g g}^{-1}$ MF no tratamento com aplicação foliar de silício sob reposição hídrica de 60% da evapotranspiração da cultura (ETc). Os teores de carotenoides variaram de 45,98 a 50,50 $\mu\text{g g}^{-1}$ MF, com os maiores valores também associados à aplicação de silício.

Tabela 1. Teores de pigmentos foliares na cultura do tomateiro.

Lâmina	Silício	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$ MF)	Clorofila <i>b</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$ MF)	Clorofila <i>a+b</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$ MF)	Carotenóides ($\mu\text{g g}^{-1}$ MF)
60	Sem aplicação	19,51 a	19,51 a	28,53 c	48,04 b
100		18,97 ab	18,97 a	27,01 c	45,98 b
60	Foliar	18,80 ab	18,81 a	31,69 a	50,50 a
100		19,11 a	19,11 a	31,05 a	50,17 a
60	Solo - dose única	17,48 b	17,84 b	30,35 b	48,20 b
100		18,87 ab	18,87 a	31,62 a	50,49 a
60	Solo - parcelado	19,09 a	19,09 a	31,41 a	50,50 a
100		17,31 b	17,31 b	30,36 b	47,66 b
	Média	18,64	18,69	30,25	48,94
	CV (%)	4,30	3,92	5,50	3,49

A aplicação foliar e a aplicação no solo de forma parcelada apresentaram os maiores teores de clorofila total, independentemente da lâmina de irrigação, indicando que a suplementação com silício promoveu estabilidade nos pigmentos fotossintéticos. Segundo Lozano et al. (2018), o silício exerce função estrutural na parede celular e contribui para a integridade dos cloroplastos, favorecendo a preservação das clorofilas, especialmente sob condições de estresse abiótico.

O manejo com reposição hídrica de 60% da ETc reduziu os teores de clorofila em relação à irrigação plena (100% da ETc) apenas quando não houve aplicação de silício. Nos tratamentos com aplicação foliar e no solo, mesmo sob déficit hídrico, os teores de clorofila total foram mantidos ou até elevados, sugerindo que o silício atenuou os efeitos negativos do déficit hídrico. Esses resultados corroboram os dados de Santos et al. (2021), que observaram maior acúmulo de pigmentos e menor degradação de clorofila em plantas de tomateiro submetidas ao estresse hídrico com aplicação foliar de silício.

No caso dos carotenoides, observou-se maior concentração nos tratamentos com aplicação foliar e aplicação parcelada no solo, independentemente da lâmina. Os pigmentos fotossintéticos, como as clorofilas e carotenoides, desempenham papel essencial na eficiência fisiológica e no desempenho produtivo das plantas, uma vez que estão diretamente associados à absorção e conversão da energia luminosa em energia química, além de atuarem na proteção contra estresses oxidativos (Taiz et al., 2017; Ferrández-Gomez et al., 2024).

A manutenção de teores elevados desses pigmentos, mesmo sob condições de estresse, pode resultar em maior eficiência do aparato fotossintético, refletindo diretamente sobre o crescimento vegetativo, a alocação de fotoassimilados e, conseqüentemente, sobre a produtividade. Estudos realizados por Santos et al. (2021) demonstraram correlação positiva entre teores de clorofila e rendimento de frutos em tomateiro cultivado sob restrição hídrica, sendo a preservação da integridade dos cloroplastos um dos fatores determinantes para a estabilidade fotossintética em ambientes adversos.

A disponibilidade hídrica exerce forte influência sobre a síntese e estabilidade dos pigmentos foliares. A redução do conteúdo de água no tecido vegetal pode limitar a atividade de enzimas envolvidas na biossíntese de clorofila, promover a geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) e acelerar a degradação dos pigmentos, levando à senescência precoce (Qiao et al., 2024). No presente estudo, a reposição de 60% da ETc resultou em redução dos teores de clorofila nos tratamentos sem aplicação de silício, evidenciando o impacto negativo do déficit hídrico na fisiologia do tomateiro. No

entanto, a presença do silício, tanto na forma foliar quanto no solo, contribuiu para a manutenção dos teores de pigmentos sob essa condição, indicando um efeito mitigador do estresse hídrico.

Esse efeito pode ser explicado pela capacidade do silício de atuar na manutenção da integridade da membrana celular, redução da peroxidação lipídica, aumento da atividade de enzimas antioxidantes e estabilização dos cloroplastos (Liang et al., 2007). A aplicação foliar permite rápida absorção do silício por estruturas epidérmicas, enquanto a aplicação parcelada no solo contribui para o suprimento contínuo ao longo do desenvolvimento da planta, o que justifica os resultados superiores observados nessas formas de manejo.

Portanto, a interação positiva entre silício e reposição hídrica intermediária (60% da ETc) indica que é possível obter plantas com metabolismo fotossintético preservado mesmo com menor consumo de água, o que representa uma estratégia agronomicamente viável para regiões com limitação hídrica. Os efeitos positivos do silício sobre os pigmentos foliares reforçam seu potencial como bioestimulante funcional em programas de manejo sustentável da cultura do tomateiro.

Esses resultados indicam que o silício, especialmente quando aplicado de forma fracionada no solo ou via foliar, pode ser uma ferramenta eficiente no manejo fisiológico do tomateiro, sendo importante a continuidade de estudos que avaliem o impacto dessas estratégias sobre parâmetros fotossintéticos, rendimento de frutos e composição nutricional.

CONCLUSÃO

A aplicação de silício influenciou positivamente os teores de pigmentos foliares no tomateiro, especialmente nas condições de déficit hídrico. Os tratamentos que envolveram a aplicação foliar e a aplicação parcelada no solo promoveram os maiores teores de clorofila total e carotenoides, demonstrando sua eficácia na mitigação dos efeitos adversos da restrição hídrica sobre a fisiologia vegetal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) FERRÁNDEZ-GOMEZ, B.; JORDÁ, J.D.; CERDÁN, M.; SÁNCHEZ-SÁNCHEZ, A. Enhancing drought tolerance of *Solanum lycopersicum* L. plants by using silicon under saline soil conditions. **Plants**, v. 13, n.10, p.1415, 2024.
- (2) KAUSHIK, O.; SAINI, D.K. Silicon as a vegetable crops modulator- a review. **Plants**, v.8, n.6, p.1-18, 2019.
- (3) LI, R.; CHEN, J.; QIN, Y.; FAN, M. Possibility of using a SPAD chlorophyll meter to establish a normalized threshold index of nitrogen status in different potato cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v.42 n.8, p.834-841, 2019.
- (4) LIANG, Y.; SUN, W.; ZHU, Y.G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-enhanced resistance to abiotic stresses in plants: A review. **Environmental Pollution**, v. 147, n.2, p.422-428, 2007.
- (5) LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v.148, p.350-382, 1987.
- (6) LOZANO, C.S.; REZENDE, R.; HACHMANN, T.L.; SANTOS, F.A.S.; LORENZONI, M.Z.; SOUZA, Á.H.C. Produtividade e qualidade de melão sob doses de silício e lâminas de irrigação em ambiente protegido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.48, n.2, p.140-146, 2018.
- (7) NITSCHKE, P.R.; CARAMORI, P.H.; RICCE, W. da S.; PINTO, L.F.D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2019.
- (8) NOCCHI, R.C.F.; WENNECK, G.S.; REZENDE, R.; FURLANI-JUNIOR, E.; VILA, V.V.; VIEIRA, N.C.S.; PAIXÃO, A.P.; SAATH, R. Cotton fiber quality affected by water availability and silicon application. **Colloquium Agrariae**, v.17, n.6, p.80-86, 2021.
- (9) NOGUEIRA, B.B.; IGLESIAS, L.; MESQUITA, J.V.; NAKATANI, M.C.; PUTTI, F.F. Índice SPAD em plantas de tomateiro cultivado em fibra de coco e submetido a pulsos de fertirrigação. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.12, n.1, p.1-6, 2018.
- (10) PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V. **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. 2.ed. Curitiba: SBCS-NEPAR, 2019.

- (11) QIAO, M.; HONG, C.; JIAO, Y.; HOU, S.; GAO, H. Impacts of drought on photosynthesis in major food crops and the related mechanisms of plant responses to drought. **Plants**, v.13, n.13, e1808, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13131808>
- (12) SANTOS, L. L.; FERNANDES, D. M.; MENEZES, R. S. C.; SOUZA, B. A. Response of tomato plants to silicon application under water deficit conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 5, p. 303–308, 2021.
- (13) SHIN, Y.K.; BHANDARI, S.R.; CHO, M.C.; LEE, J.G. Evaluation of chlorophyll fluorescence parameters and proline content in tomato seedlings grown under different salt stress conditions. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v.61, p.433-443, 2020.
- (14) SILVA, L.H.M.; REZENDE, R.; ANDREAN, A.F.B.; WENNECK, G.S.; TERASSI, D.S.; NOCCHI, R.C.F.; VILLA E VILA, V. Eficiência da utilização de água e energia na produção de tomate em diferentes condições hídricas. **Comunicata Scientiae**, v. 14, p. e3926, 2023.
- (15) TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- (16) WENNECK, G. S.; SAATH, R.; REZENDE, R.; VILA, V. V. E.; NOCCHI, R. C. F.; SILVA, L. H. M. Leaf pigments in cauliflower cultivated with different water conditions and silicon applications. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.20, p.236-241, 2021.
- (17) WENNECK, G. S.; SAATH, R.; REZENDE, R.; TERASSI, D.S.; VILA, V.V.; OLIVEIRA, K. M.; MORO, A.L.; FREITAS, P.S.L. Performance of tomato grown under different water replacement depths and silicon application forms. **Semina-Ciencias Agrarias**, v.44, p.2147-2162, 2023.
- (18) ZHANG, Y.; SHI, Y.; GONG, H.J.; ZHAO, H.; LI, H.; HU, Y.; WANG, Y. Beneficial effects of silicon on photosynthesis of tomato seedlings under water stress. **Journal of Integrative Agriculture**, v.17, n.10, p.2151-2159, 2018.

Recebido: 29 de maio de 2025

Versão Final: 05 de junho de 2025

Aprovado: 23 de junho de 2025



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.