

BIOFORTIFICAÇÃO DO SELÊNIO SOBRE A FISIOLOGIA DO QUIABEIRO IRRIGADO COM ÁGUAS SALOBRAS

ALLESSON RAMOS DE SOUZA¹, GEOVANI SOARES DE LIMA², LAURIANE ALMEIDA DOS ANJOS SOARES³, ANDRÉ ALISSON RODRIGUES DA SILVA⁴ e VERA LÚCIA ANTUNES DE LIMA⁵

¹Doutorando em Eng. Agrícola, PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, alleson13@outlook.com;

²Dr. em Eng. Agrícola, Prof. assistente CCTA, UFCG, Pombal-PB, geovanisoareslima@gmail.com;

³Dra. em Eng. Agrícola, Profa. titular CCTA, UFCG, Pombal-PB, laurispo.agronomia@gmail.com;

⁴Dr. em Eng. Agrícola, Prof. titular, UFOPA, Juruti-PA, andrealisson_cgpb@hotmail.com;

⁵Dra. em Eng. Agrícola, Profa. titular PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, vera.antunes.ufcg@gmail.com.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
6 a 9 de outubro de 2025

RESUMO: Práticas que possam atenuar os efeitos da irrigação com águas salobras e/ou viabilizar a sua utilização, são de extrema importância para produção em áreas semiáridas. Neste sentido, objetivou-se avaliar a biofortificação com selênio na fisiologia do quiabeiro irrigado com águas salobras. Os tratamentos consistiram-se em quatro níveis de condutividade elétrica da água – CEa (0,4; 1,3; 2,2 e 3,1 dS m⁻¹) e quatro concentrações de selênio – Se (0,0; 5,0; 10,0 e 15,0 g L⁻¹), distribuídos em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 × 4, com três repetições. O selênio na concentração de 8,30 mg L⁻¹ influenciou positivamente o conteúdo relativo de água de plantas de quiabeiro, independentemente do nível de condutividade elétrica na água de irrigação. A aplicação da concentração de 11,0 mg L⁻¹ proporcionou menor extravasamento de eletrólitos no limbo foliar até uma CEa de 3,1 dS m⁻¹. A irrigação com águas salobras com CEa de 3,1 dS m⁻¹ ocasionou redução para eficiência instantânea no uso da água e a eficiência instantânea da carboxilação das plantas de quiabeiro aos 35 dias após a semeadura.

PALAVRAS-CHAVE: *Abelmoschus esculentus* L.; semiárido nordestino; composto mineral; elicitor

SELENIUM BIOFORTIFICATION ON THE PHYSIOLOGY OF OKRA PLANT IRRIGATED WITH BRAZILIAN WATER

ABSTRACT: Practices that can mitigate the effects of brackish water irrigation and/or enable its use are extremely important for production in semiarid areas. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of selenium biofortification on the physiology of okra plants irrigated with brackish water. The treatments consisted of four levels of water electrical conductivity (ECw) (0.4, 1.3, 2.2, and 3.1 dS m⁻¹) and four selenium concentrations (Se) (0.0, 5.0, 10.0, and 15.0 g L⁻¹), distributed in a randomized block design, in a 4 × 4 factorial arrangement, with three replicates. Selenium at a concentration of 8.30 mg L⁻¹ positively influenced the relative water content of okra plants, regardless of the level of electrical conductivity in the irrigation water. The application of a concentration of 11.0 mg L⁻¹ provided less electrolyte extravasation in the leaf blade up to an ECw of 3.1 dS m⁻¹. Irrigation with brackish water with an ECw of 3.1 dS m⁻¹ caused a reduction in the instantaneous water use efficiency and the instantaneous carboxylation efficiency of okra plants at 35 days after sowing.

KEYWORDS: *Abelmoschus esculentus* L.; semiarid northeast; mineral compound; elicitor

INTRODUÇÃO

O quiabeiro (*Abelmoschus esculentus* L.) é uma planta cultivada normalmente em regiões com climas tropicais e subtropicais, encontrada geralmente na África, Ásia e América do sul (Pashazadeh et al., 2025). O Brasil destaca-se por ser um dos maiores produtores de quiabo do mundo, com uma produção total de cerca de 111.967 toneladas da hortaliça. No entanto, a região do Semiárido Nordeste contribui com apenas 28,74% (32.186 toneladas) desse volume. O estado da Paraíba

corresponde à menos de 1% de todo esse patamar produtivo, evidenciando assim uma baixa expressividade na produção nacional (IBGE, 2017).

A distribuição irregular das chuvas nesta região, tanto em termos temporais quanto espaciais, somada às altas taxas de evapotranspiração e aos solos jovens, frequentemente ricos em sais em solução e com baixa capacidade de retenção de água, impõe limitações e desafios à produtividade agrícola (Ramos et al., 2024). A salinidade é um dos principais problemas, podendo causar um acúmulo excessivo de íons sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) nos tecidos vegetais, afetando assim a homeostase osmótica e iônica da planta, reduzindo a absorção de nutrientes vitais, como potássio (K^+) e cálcio (Ca^{2+}), além de interromper funções metabólicas e enzimáticas das culturas, levando a produção em excesso de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Gupta et al., 2025).

Compreender e desenvolver estratégias para amenizar os efeitos do estresse salino nas plantas tem se tornando um desafio na agricultura, onde a aplicação de produtos, que atuam como moléculas sinalizadoras e osmoprotetoras contra este estresse veem destacando-se (Khan et al., 2022). O selênio (Se) apresenta-se como um elemento benéfico que pode atuar na atenuação dos efeitos deletérios da salinidade na planta (Elkelish et al., 2019). O composto atua principalmente no sistema antioxidantes, auxiliando na desintoxicação de espécies reativas de oxigênio, quebrando superóxido (O_2^-) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2), a neutralização direta de íons O_2^- e hidróxido (OH^-) (Ameen et al., 2024).

Objetivou-se avaliar os efeitos da adubação com selênio na fisiologia do quiabeiro irrigado com águas salobras.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), situada no município de Campina Grande – PB. As plantas foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade de 20 L, adaptados com lisímetros de drenagem. Cada vaso foi perfurado na base e equipado com dois drenos transparentes de 20 mm de diâmetro para permitir o escoamento da solução.

Os tratamentos consistiram em quatro níveis de condutividade elétrica da água – CEa: (0,4; 1,3; 2,2 e 3,1 dS m^{-1}) e quatro concentrações de selênio – Se: (0,0; 5,0; 10,0 e 15,0 g L^{-1}), distribuídos em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 4×4 , com três repetições e uma planta por parcela. Os níveis de condutividade elétrica foram baseados e adaptados conforme estudo conduzido por Soares et al. (2020), com a cultura do quiabeiro. As concentrações de selênio, por sua vez, foram adaptadas conforme metodologia de Amerian et al. (2024), em experimentos com a cultura do pepino irrigado com águas salobras.

A adubação nitrogenada (ureia – 45% de N), fosfatada (monoamônio fosfato – 60% de P_2O_5 e 12% de N) e potássica (cloreto de potássio – 51,5% de K_2O e 17% de S) foi iniciada aos 12 dias após o transplante e aplicada quinzenalmente via fertirrigação. Os micronutrientes foram fornecidos por pulverizações foliares a cada 15 dias, utilizando-se uma solução de Dripsol Micro Rexene® na concentração de 1,0 g L^{-1} , aplicada com pulverizador costal. A irrigação com água salina teve início aos 22 dias após a semeadura (DAS). A aplicação foliar das diferentes concentrações de selênio foi iniciada aos 21 DAS, sendo realizada a cada 15 dias, totalizando três aplicações ao longo do ciclo.

Os efeitos dos tratamentos foram avaliados com base no conteúdo relativo de água (CRA%) e na taxa de extravasamento de eletrólitos do limbo foliar (EE%). As variáveis de troca gasosa foram analisadas a partir das relações das seguintes variáveis fisiológicas: concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e taxa de assimilação líquida de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Com base nesses dados, foram calculadas a eficiência instantânea no uso da água ($EiUA = A/E$) - eficiência instantânea no uso da água - $EiUa (A/E) [(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}]$ e a eficiência instantânea da carboxilação - $A/Ci (EiCi) [(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}]$. As medições foram realizadas com o analisador portátil de fotossíntese LCPro+ (ADC BioScientific Ltda), sob temperatura controlada de 25 °C, irradiância de 1200 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, fluxo de ar de

200 mL min⁻¹ e concentração de CO₂ ambiente, conforme curva de saturação luminosa. As leituras foram realizadas na terceira folha completamente expandida, contada a partir do ápice.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (Levene). Nos casos de significância ($p \leq 0,05$), aplicou-se o teste F para os fatores CEa e concentrações de selênio. Quando identificado efeito significativo, foram ajustados modelos de regressão linear e/ou quadrática, utilizando-se o software estatístico R-Studio (versão 4.1.0). Nos casos de interação significativa entre os fatores, as superfícies de resposta foram geradas por meio do software SigmaPlot (versão 14.5).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa ($p \leq 0,01$) entre os fatores analisados (CEa \times Se) para o teor relativo de água e o extravasamento de eletrólitos (Tabela 1). A salinidade na água de irrigação influenciou isoladamente a eficiência instantânea no uso da água e eficiência instantânea da carboxilação.

Tabela 1. Conteúdo relativo de água (CRA), extravasamento de eletrólitos do limbo foliar (EE%), eficiência instantânea no uso da água (*EiUa*) e eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*) do quiabeiro irrigado com águas salobras e aplicação foliar de selênio, aos 35 dias após a semeadura (DAS).

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		CRA (%)	EE (%)	<i>EiUa</i>	<i>EiCi</i>
Condutividade elétrica (CEa)	1	143,50***	445,38***	5,14***	1,0x10 ^{-4**}
Regressão linear	1	421,79**	1304,64**	15,65***	6,30x10 ^{-4*}
Regressão polinomial	1	4,88 ^{ns}	7,30 ^{ns}	0,49 ^{ns}	9,81x10 ^{-3ns}
Selênio (Se)	3	64,15**	34,48 ^{ns}	1,20 ^{ns}	4,39x10 ^{-5ns}
Regressão linear	1	22,09 ^{ns}	63,38 ^{ns}	1,08 ^{ns}	1,30x10 ^{-3ns}
Regressão polinomial	1	163,18***	27,18 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,00x10 ^{-6ns}
Interação (CEa \times Se)	3	36,82**	32,36***	0,27 ^{ns}	1,66x10 ^{-5ns}
Bloco	2	26,97 ^{ns}	3,54 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,00x10 ^{-3ns}
Resíduo	30	10,47	14,36	0,42	1,40 x10 ⁻³
CV (%)		4,32	9,97	10,86	19,26

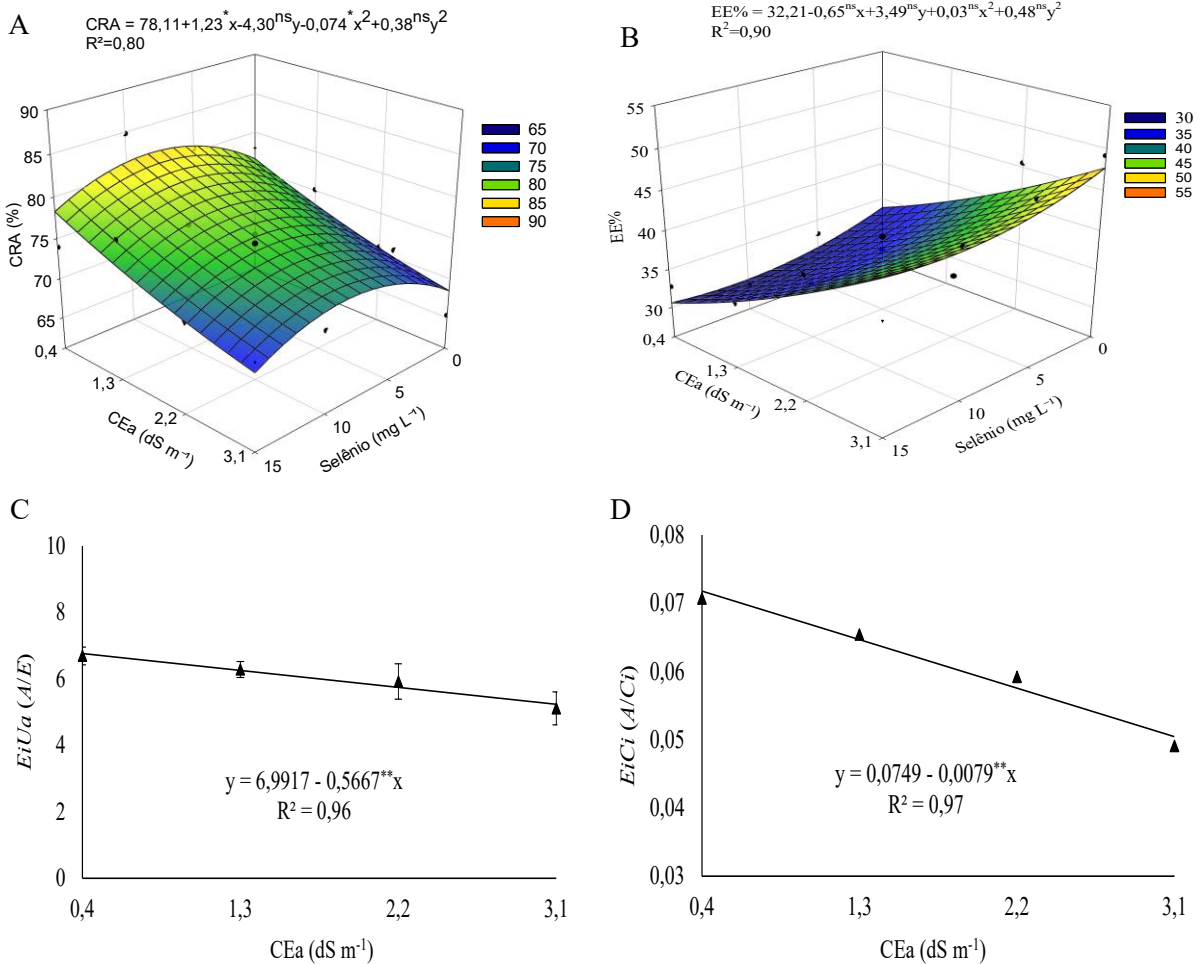
GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; *, **, ***, ^{ns} - Significativo a $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$, $p \leq 0,001$ e não significativo, respectivamente.

A salinidade influenciou negativamente o conteúdo relativo de água (Figura 1A) plantas de quiabeiro, proporcionando uma redução de 10,63% entre as plantas irrigadas com CEa de 0,4 dS m⁻¹ e de 3,1 dS m⁻¹. No entanto, a aplicação de selênio na concentração de 8,30 mg L⁻¹ proporcionou os maiores valores para o CRA independentemente da condutividade elétrica na água de irrigação, onde o maior valor estimado de 81,55% para a variável foi constatado em plantas irrigadas com CEa de 0,4 dS m⁻¹. O menor valor médio de 68,47% foi observado em plantas irrigadas com CEa de 3,1 dS m⁻¹ submetidas a aplicações de 0,0 mg L⁻¹ da substância, o que representa uma redução de 6,94% ao comparar plantas pulverizadas com 8,3 mg L⁻¹ de Se sobre as mesmas condições de irrigação.

Houve um aumento de 41,46% para o extravasamento de eletrólitos (Figura 1B) ao comparar plantas de quiabeiro irrigadas com o menor nível salino (0,4 dS m⁻¹) com o maior nível salino (3,1 dS m⁻¹). A aplicação do selênio na concentração de 11,0 mg L⁻¹ em plantas irrigadas com 0,4 dS m⁻¹ proporcionou o menor valor de 30,09% para a variável e ao ser comparado com a testemunha irrigada com o mesmo nível salino (0,4 dS m⁻¹), constata-se decréscimos de 10,91%. O maior valor de 47,64% para EE% foi observado em plantas irrigadas com CEa de 3,1 dS m⁻¹ que não foram submetidas a aplicação do composto (0,0 mg L⁻¹), retratando um aumento de 8,14% em relação as plantas de quiabeiro pulverizadas com 11,0 mg L⁻¹ de Se sobre a mesma CEa.

Figura 1. Conteúdo relativo de água – CRA (A), extravasamento de eletrólitos – EE (B), eficiência instantânea da carboxilação – *EiCi* (C) e eficiência instantânea no uso da água – *EiUa* (D) de plantas

de quiabeiro, em função da interação entre os níveis de condutividade elétrica na água de irrigação – CEa e das concentrações de selênio – Se aos 35 dias após o semeio.



X e Y - Concentração de selênio e Condutividade elétrica da água, respectivamente; *, ** e ^{ns} Significativo a p ≤ 0,05, 0,01 e não significativo, mutualmente.

A salinidade da água proporcionou uma redução na eficiência no uso de água (Figura 4D) de plantas de quiabeiro, cujo decréscimo foi de 10,55% por unidade de CEa. Em termos relativos ao comparar plantas de quiabeiro irrigadas com CEa de 0,4 dS m⁻¹ com o maior nível salino (3,1 dS m⁻¹), tem-se uma diminuição de 29,73% (0,0504[(μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) (mol CO₂ m⁻² s⁻¹)⁻¹]) para a *EiCi*. Este resultado pode estar atrelado a uma maior instabilidade da membrana ocasionada pela irrigação com águas salinas (Figura 1B), acarretando uma maior geração de espécies reativas de oxigênio, trazendo danos ao aparato fotossintético, fazendo com que o carbono fixado não seja assimilado pela RuBisCO, afetando diretamente a eficiência instantânea de carboxilação (Figura 4C) de plantas de quiabeiro irrigadas com águas salobras.

De forma semelhante ao observado para eficiência instantânea de carboxilação (Figura 4C), observa-se que a salinidade na água de irrigação influenciou negativamente a eficiência instantânea no uso de água (Figura 1D), sendo a redução de 8,11% por incremento unitário de CEa. Ao comparar em termos relativos a *EiCi* de plantas irrigadas com uma menor salinidade (0,4 dS m⁻¹) com as de maior salinidade (3,1 dS m⁻¹), observa-se uma redução de 22,62% (1,53[(μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) (mol H₂O m⁻² s⁻¹)⁻¹]) para a variável. Este resultado pode estar associado ao efeito negativo da salinidade no conteúdo relativo de água (Figura 1A) e no extravasamento de eletrólitos (Figura 1B), afetando o conteúdo de água no meio celular e a estabilidade da membrana, ocasionando assim em um fechamento parcial dos

estômatos e instabilidades na fotossíntese, afetando diretamente a eficiência no uso de água (Figura 1D).

CONCLUSÃO

O selênio na concentração de 8,30 mg L⁻¹ influencia positivamente o conteúdo relativo de água de plantas de quiabeiro, independentemente do nível de condutividade elétrica na água de irrigação. A aplicação de selênio na concentração de 11,0 mg L⁻¹ proporciona menor extravasamento de eletrólitos no limbo foliar até uma condutividade elétrica de 3,1 dS m⁻¹. A irrigação com água de condutividade elétrica de 3,1 dS m⁻¹ ocasiona redução na eficiência instantânea no uso da água e na eficiência instantânea da carboxilação do quiabeiro, aos 35 dias após a semeadura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro por meio da concessão de bolsa. Estendo meus agradecimentos ao Grupo de Pesquisa MASP e a todos os seus integrantes pelo suporte técnico, contribuições científicas e constante colaboração ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Ameen, M.; Zia, M. A.; Najeeb Alawadi, H. F.; Naqve, M.; Mahmood, A.; Shahzad, A. N.; Khan, A. N.; Alhammad, B. A.; Aljabri, M.; Seleiman, M. F. Exogenous application of selenium on sunflower (*Helianthus annuus* L.) to enhance drought stress tolerance by morpho-physiological and biochemical adaptations. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, e 1427420, 2024.
- Amerian, M.; Palangi, A.; Gohari, G.; Ntatsi, G. Enhancing salinity tolerance in cucumber through Selenium biofortification and grafting. *BMC Plant Biology*, v. 24, p. 24, 2024.
- Elkelish, A. A.; Soliman, M. H.; Alhaithloul, H. A.; El-Esawi, M. A. Selenium protects wheat seedlings against salt stress-mediated oxidative damage by up-regulating antioxidants and osmolytes metabolism. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 137, p. 144-153, 2019.
- Gupta, S.; Groen, S. N.; Zaidem, M. L.; Sajise, A. G. C.; Calic, I.; Natividad, M.; McNally, K.; Vergana, G. V.; Purugganan, M. D. Systems genomics of salinity stress response in rice. *Elife*, v. 13, p. RP99352, 2025.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- Khan, M. I. R.; Poor, P.; Janda, T. Salicylic acid: A versatile signaling molecule in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 41, n. 5, p. 1887-1890, 2022.
- Pashazadeh, H.; Redha, A. A.; Johnson, J. B.; Koca, I. Extraction optimization and microencapsulation of anthocyanins from okra flowers: Utilizing plant waste as a source of bioactive compounds. *Food Bioscience*, v. 63, e 105710, 2025.
- Ramos, J. G.; Lima, V. L. A. de; Lima, G. S. de; Torres, R. A. F.; Silva, F. A. da; Oliveira Pereira, M. de; Soares, L. A. dos A. Irrigation with saline water and foliar application of H₂O₂ alter the ionic homeostasis of sour passion fruit. *Revista Caatinga*, v. 37, p. e12122-e12122, 2024.
- Soares, L. A. dos A.; Silva, R. G. da; Lima, G. S. de; Sales, G. N. B.; Costa, F. B. da; Neta, A. M. de S. S.; Moreira, R. C. L. M.; Gomes, J. P. Lactic preservation and physicochemical characterization of okra produced under water salinity and potassium fertilization. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 41, p. 2495-2508, 2020.