

## DESEMPENHO FISIOLÓGICO DA SOJA SOB APLICAÇÃO FOLIAR E VIA SOLO DE ATENUADORES DA SALINIDADE NO STATUS HÍDRICO E INTEGRIDADE CELULAR FOLIAR

Leonardo Angelo Mendonça<sup>1</sup>, Enoch de Souza Ferreira<sup>2</sup>, João Luiz Lima<sup>3</sup>, Francisco Éder Rodrigues de Oliveira<sup>4</sup>, Fred Augusto Louredo de Brito<sup>5</sup>, Paulo Ricardo Chagas Oliveira<sup>6</sup>

**RESUMO:** A elevada demanda hídrica na região semiárida tem aumentado o uso de águas marginais pelos produtores de grãos, sendo necessário o manejo dessas águas para amenizar os efeitos salinos nas culturas. Com isso, objetivou-se com o trabalho avaliar a influência do uso de atenuantes em soja irrigada com água salobra. O estudo foi desenvolvido na Universidade Federal Rural do Semiárido, entre os meses de abril e junho de 2025, utilizando a cultivar Olympia de soja. Foi utilizado delineamento em blocos casualizados, com 4 blocos e 10 tratamentos, sendo constituídos de quatro atenuantes, duas formas de aplicação e duas testemunhas. A irrigação com água salobra iniciou a partir dos 29 DAS ocorreu à aplicação com água salobra (4,0 dS m<sup>-1</sup>). Ao fim do experimento foram coletados discos foliares, e realizadas análises de extravasamento de eletrólitos, conteúdo relativo de água e perda de massa. Para análise estatística, foi realizada análise de variância, teste de Dunnett e Análise de Componentes Principais através do R Studio. Não houve diferença significativa entre os atenuantes utilizados para nenhum dos parâmetros, quanto ao manejo de aplicação, observou-se que via solo o extravasamento de eletrólitos mitigou os efeitos, reduzindo a perda de íons.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estresse salino. Semiárido. Atenuantes.

---

<sup>1</sup> Mestrando em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caixa Postal 137, CEP: 59625-900, Mossoró/RN, Fone: (84) 99922-3058;

<sup>2</sup> Doutorando em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN

<sup>3</sup> Doutorando em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN

<sup>4</sup> Doutorando em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN

<sup>5</sup> Professor do Programa de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN

<sup>6</sup> Graduando em Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN

## **PHYSIOLOGICAL PERFORMANCE OF SOYBEAN UNDER FOLIAR AND SOIL APPLICATION OF SALINITY ATTENUATORS ON WATER STATUS AND LEAF CELL INTEGRITY**

**ABSTRACT:** The high-water demand in the semi-arid region has increased the use of marginal water by grain producers, making it necessary to manage these waters to mitigate the effects of salinity on the cultures. The study aimed to evaluate the influence of the use of mitigating factors on soybeans irrigated with brackish water. The study was conducted at the Federal Rural University of the Semi-Arid Region between April and June 2025, using the Olympia soybean cultivar. The randomized block design was used, with four blocks and ten treatments, consisting of four attenuants, two forms of application, and two controls. Irrigation with saline water began on day 29 DAP and was carried out using brackish water ( $4.0 \text{ dS m}^{-1}$ ). At the experimental end, leaf discs were collected, and analyses of electrolyte leakage, relative water content, and mass loss were performed. For statistical analysis, analysis of variance, Dunnett's test, and principal component analysis were performed using R Studio. No significant difference was observed between the mitigating factors used for any of the parameters in terms of application management. It was observed that, via soil, the overflow of electrolytes mitigated the effects, reducing ion loss.

**KEYWORDS:** Saline stress. Semiarid. Mitigants.

### **INTRODUÇÃO**

As regiões semiáridas do planeta apresentam elevada demanda hídrica, contribuindo para o aumento da irregularidade na disponibilidade desse recurso ao longo dos anos. Alterações climáticas causadas pelo aquecimento global e ações antrópicas têm intensificado problemas na qualidade e quantidade dos recursos naturais no planeta (Balasundram et al., 2023).

Com isso, nessas regiões o uso de águas marginais, como águas com altas quantidades de sais, ganham espaço entre o cultivo de grãos, porém o uso destas águas pode causar diversos efeitos negativos para as plantas (Gois et al., 2022; Sousa et al., 2023). O estresse salino prejudica o crescimento e desenvolvimento da planta, além de afetar os mecanismos fisiológicos, bioquímicos e moleculares, reduzindo a área foliar, altura, raiz, parte aérea e o rendimento (Zorb, Geilfus & Dietz, 2019).

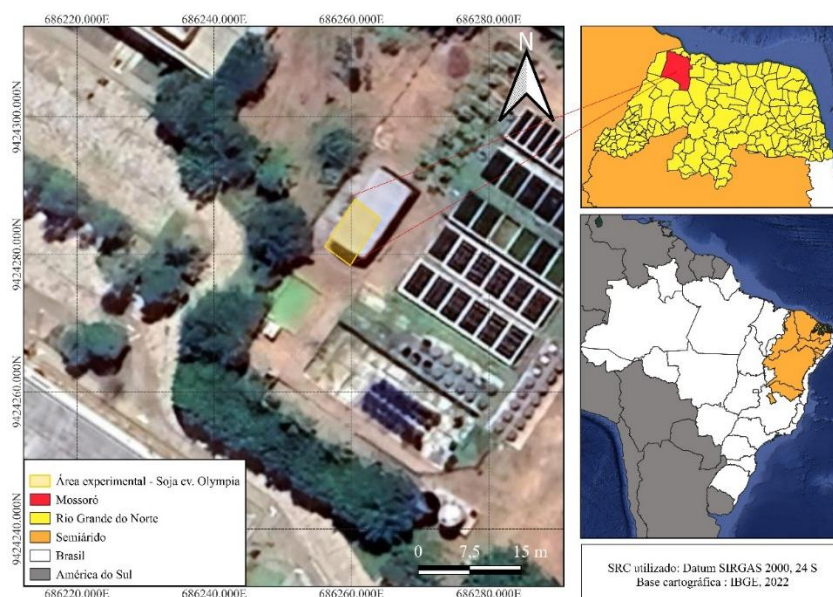
Devido a esses problemas, a busca por formas de mitigar os efeitos causados pelo estresse salino é de alto interesse, principalmente nas regiões semiáridas. Dentre as alternativas para mitigação, destaca-se o uso crescente de atenuantes aplicados via foliar e solo, que favorecem o desenvolvimento fisiológico das plantas em condições de salinidade. (Oliveira et al., 2024, Silva et al., 2025).

Diversas substâncias como o ácido bórico, prolina (Lima et al., 2025), ácido pirolenhoso (Ferreira et al., 2025) têm sido exploradas com esse propósito, refletindo o avanço nas estratégias de manejo do estresse salino. Considerando que a soja possui salinidade limiar em água de irrigação de aproximadamente  $1,5 \text{ dS m}^{-1}$  (Ayers & Westcot, 1999) acima da qual já pode ocorrer redução significativa nos parâmetros celulares.

Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho verificar a influência do uso de atenuantes no estado hídrico e integridade celular foliar das membranas de plantas de soja irrigadas com água salobra.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em casa de vegetação na Universidade Federal Rural do Semiárido, município de Mossoró - RN, sob as coordenadas  $5^\circ 12' 30'' \text{ S}$  e  $37^\circ 19,08' 40'' \text{ W}$ , a 18 m de altitude (Figura 1). O clima da região é classificado como BSh (semiárido) conforme Köppen, com temperatura e precipitação média anual de  $27,4^\circ \text{ C}$  e 695 mm (Alvares et al., 2013).



**Figura 1.** Mapa da área de estudo, destacando o local do experimento no município de Mossoró, RN.

O experimento foi conduzido entre os meses de abril a junho de 2025, utilizando o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro blocos e dez tratamentos, totalizando 40 unidades experimentais. Os tratamentos foram constituídos de quatro inibidores de estresse salino em dois posicionamentos, e duas testemunhas, ficando distribuídos da seguinte forma: T1 – ácido nicotínico (foliar); T2 – ácido nicotínico (solo); T3 – ácido fúlvico (foliar); T4 – ácido fúlvico (solo); T5 – ácido láctico (foliar); T6 – ácido láctico (solo); T7 – ácido salicílico (foliar); T8 – ácido salicílico (solo); T9 – testemunha com água salobra (4,0 dS m<sup>-1</sup>), e T10 – testemunha com água de abastecimento (0,5 dS m<sup>-1</sup>).

Foi utilizada água salobra com 4,0 dS m<sup>-1</sup>, baseada na tolerância da salinidade da cultura da soja (Oliveira et al., 2024) tendo os autores relatados que a cultura da soja é moderadamente tolerante a 3,0 dS m<sup>-1</sup>. A produção da água salobra foi obtida pela adição de cloreto de sódio (Na<sup>+</sup>), cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) e cloreto de magnésio (MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O) em proporção 7:2:1, seguindo a recomendação proposta por Medeiros (1992), e medida com auxílio de condutivímetro portátil.

Para semeadura, foi utilizada a soja cv. Olympia, em vasos de polietileno de 3,8 L, sendo colocadas cinco sementes por vaso, que estava preparado com solo coletado próximo à área do experimento. O desbaste ocorreu aos 11 e 15 DAS, deixando três e duas plantas por vaso, respectivamente. A irrigação foi realizada através da lisimetria de drenagem com água de abastecimento até o início dos tratamentos, que começou aos 29 DAS, com aplicações sendo realizadas aos 36, 42 e 48 DAS, utilizando 50 mL dos inibidores de estresse, aplicados via foliar e via solo.

Ao fim do experimento, foram coletados 25 discos foliares das folhas mais jovens, e foram realizadas análises de extravasamento de eletrólitos (Lutts et al., 1996) (eq. 1), conteúdo relativo de água (Cairo, 1995) (eq.2), e perda de peso (eq. 3). Após a obtenção dos dados, estes foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste de F ( $p \leq 0,05$ ) e posteriormente ao teste de Dunnett para realizar comparações entre os atenuantes, formas de aplicação e a testemunha, com auxílio do software R Studio® (R, 2018).

$$EE = (CE_i/CE_f) * 100 \quad (1)$$

$$CRA = (MF - MS) / (MT - MS) \quad (2)$$

$$PP = (PU - PS) \quad (3)$$

Em que:

CE<sub>i</sub> = Condutividade elétrica inicial;

CE<sub>f</sub> = Condutividade elétrica final;

MF = Massa fresca do disco;

MS = Massa seca do disco;

MT = Massa túrgida do disco;

PU = Peso úmido;

PS = Peso seco.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As informações sobre valores médios de extravasamento de eletrólitos, conteúdo relativo de água e perda de peso das plantas estão dispostos na Tabela 1. O extravasamento de eletrólitos não apresentou diferença estatística entre os tratamentos com atenuantes, no entanto ao avaliarmos as duas testemunhas adicionais, verificou-se que as plantas irrigadas com água salobra apresentaram valores inferiores dessa variável, demonstrando a relevância do uso de materiais na inibição dos íons que entram nas plantas.

O manejo de aplicação de atenuantes e às duas testemunhas, apresentaram diferença significativa entre ambas, com a aplicação via foliar e a testemunha salobra apresentando maiores teores (18,28 e 17,44%, respectivamente). Dessa forma, podemos deduzir que os teores maiores de extravasamento de eletrólitos indicam desestabilização na membrana celular, causando perda de íons e prejudicando o metabolismo da planta (Parkash & Singh, 2020).

**Tabela 1.** Extravasamento de eletrólitos, conteúdo relativo de água e perda de peso dos diferentes manejos, ácidos aplicados e testemunha com água salobra e água de abastecimento

Tratamentos	Médias		
	EE	CRA	PP
Foliar	18,28 A	77,31 A	21,69 A
Solo	15,53 B	76,94 A	22,49 A
Ácido salicílico	18,41 a	75,56 a	21,77 a
Ácido nicotínico	16,81 a	79,30 a	22,45 a
Ácido fúlvico	16,40 a	78,05 a	23,56 a
Ácido láctico	16,01 a	75,59 a	20,58 a
Testemunha salobra	17,44 *	77,73 <sup>n.s</sup>	21,22 <sup>n.s</sup>
Testemunha comum	12,37 <sup>n.s</sup>	72,11 <sup>n.s</sup>	17,98 *
CV (%)	20,57	8,85	13,99

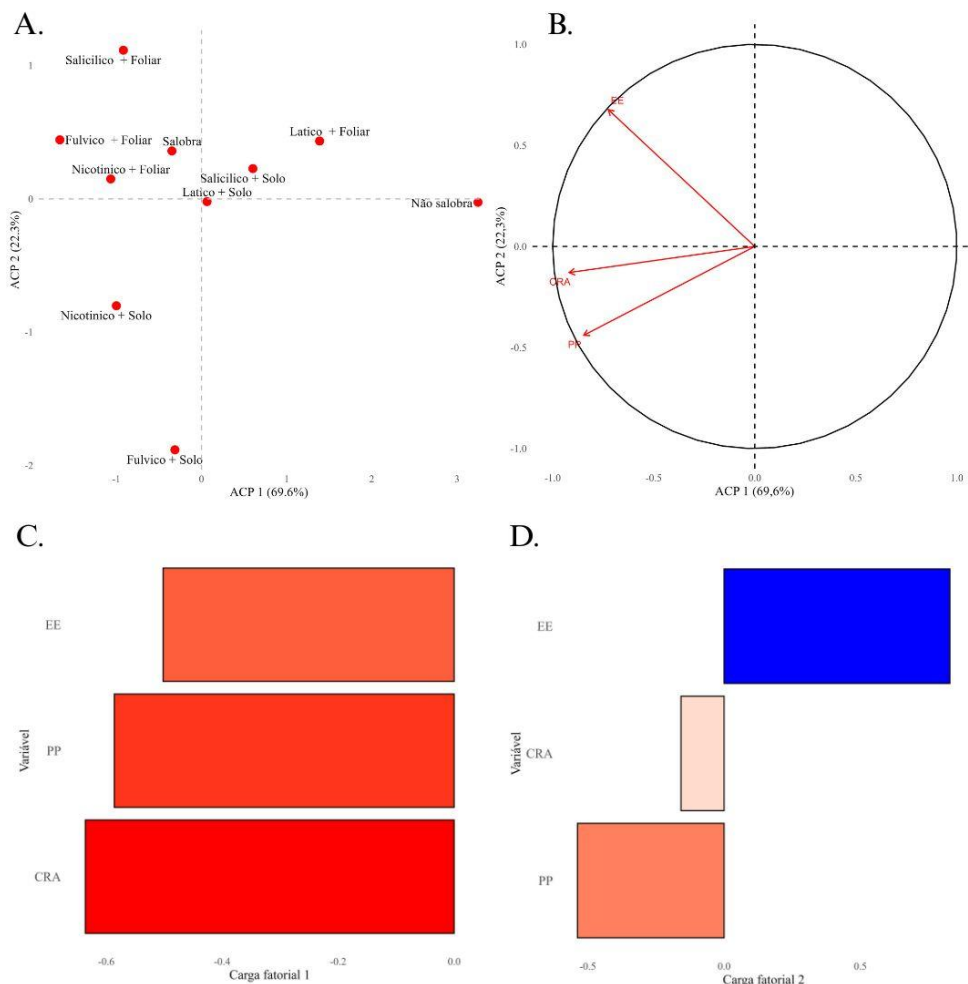
<sup>1</sup>Extravasamento de eletrólitos (EE); Conteúdo relativo de água (CRA); Perda de peso (PP).

O conteúdo relativo de água (CRA) não diferenciou estatisticamente entre os tratamentos avaliados (Tabela 1), variando entre 72,11 a 79,30, indicando que as plantas não estão passando por estresse hídrico. Oliveira et al. (2024), estudando o CRA em condições semelhantes de

salinidade ( $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ ), encontrou resultados diferentes, com teores chegando a abaixo de 60%, necessitando de doses altas do inibidor melatonina para mitigação dos efeitos causados pelo estresse salino.

Em relação a perca de massa observou-se que não houve diferença significativa entre os manejos e tratamentos utilizados, variando apenas entre a testemunha salobra (21,22) e a controle (17,98). No entanto, nota-se uma diferença de 12,56% entre os valores dos atenuantes de ácido láctico e ácido fúlvico, que apresentaram o maior e menor valor de massa seca (Tabela 1).

A análise de componentes principais (ACP) demonstrou que os dois primeiros eixos (ACP 1 e ACP 2) explicam 91,9% da variabilidade total dos dados (69,6% e 22,3%, respectivamente) (Figura 2).



**Figura 2.** (A) Análise de componentes principais (ACP) dos status hídrico e integridade celular foliar, (B) Círculo de correlações dos parâmetros de EE, CRA e PP, (C) Contribuições dos parâmetros do componente principal 1, (D) Contribuições dos parâmetro do componente principal 2.

No gráfico relacionado aos tratamentos, a distribuição no espaço multivariado refletiu essas relações: Não salobra posicionou-se no extremo positivo de ACP 1, o que indica maior

associação com CRA e PP em seus máximos valores, o que comprova que não houve diferença significativa entre os valores da testemunha com água salobra e os valores encontrados nos tratamentos onde se usaram os atenuantes.

Por outro lado, tratamentos como Fúlvico + Solo e Nicotínico + Solo apresentaram coordenadas negativas para ACP 1, alinhando-se a mínimos valores dessas variáveis. O tratamento Salicílico + Foliar destacou-se no quadrante superior esquerdo, próximo ao vetor de EE, dessa forma sugere maior desempenho nesta variável. Isso indica que o tratamento não conseguiu mitigar os efeitos da salinidade, que compromete a integridade de membranas e favorece o extravasamento de eletrólitos (Turan et al., 2022). Já os tratamentos Fúlvico + Foliar, Salobra e Nicotínico + Foliar agruparam-se próximos, indicando resposta semelhante no padrão de variação captado pelo ACP 2.

Desta forma a variação entre tratamentos foi fortemente influenciada por CRA e PP ao longo do ACP 1 e por EE ao longo do ACP 2, permitindo identificar agrupamentos e contrastes claros no desempenho sob diferentes combinações de produto e modo de aplicação.

## CONCLUSÕES

A aplicação de diferentes atenuantes foi capaz de mitigar os efeitos do estresse salino para extravasamento de eletrólitos, com exceção do ácido salicílico, bem como para o conteúdo relativo de água. Estatisticamente, não houve diferença significativa entre os atenuantes em nenhum dos parâmetros analisados. O manejo de aplicação apresentou diferença estatística para o parâmetro de extravasamento de eletrólitos, tendo a aplicação via fertirrigação se mostrado mais eficaz. As variáveis CRA e PP foram fortemente influenciadas pelo componente principal 1, com maior explicação dos resultados, enquanto EE foi melhor explicado pelo componente principal 2.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p. 711-728, 2013.

BALASUNDRAM, S. K.; SHAMSHIRI, R. R.; SRIDHARA, S.; RIZAN, N. The role of digital agriculture in mitigating climate change and ensuring food security: an overview. **Sustainability**, v.15, p.1-23, 2023.

CAIRO, P. A. R. Curso básico de relações hídricas de plantas. Vitória da Conquista: UESB, 1995. 32p.

FERREIRA, A. D. S., MENDONÇA, V., SOUTO, A. G. D. L., SÁ, F. V. D. S., RIBEIRO, J. E. D. S. Pyroligneous acid extract as an attenuator of salt stress in Surinam cherry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 29, n. 8, p. e291047, 2025.

GOIS, D. V.; MELO, F. P.; MELO, R. Risco à desertificação nos municípios de Canindé de São Francisco e Poço Verde (SE). **Revista Ciência Geográfica**, v. 26, p. 103-126, 2022.

LUTTS, S.; KINET, J. M.; BOUHARMONT, J. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. **Annals of botany**, v. 78, n. 3, p. 389-398, 1996.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB e CE**. 1992. 196f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba - Campus de Campina Grande - Brasil, 1992. Acesso em: 08 de abril de 2025.

OLIVEIRA, P. H. D. A.; SÁ, S. A. D.; RIBEIRO, J. E. D. S.; SILVA, J. P.; LIMA, F. F. D.; SILVA, I.; JÚNIOR, A. P. B. Exogenous application of melatonin mitigates salt stress in soybean. **Revista Caatinga**, v. 38, 2024.

PARKASH, V.; SINGH, S. A review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. **Sustainability**, v. 12, n. 10, p. 3945, 2020.

SOUSA, G. G. D.; SOUSA, H. C.; LESSA, C. I.; GOES, G. F.; FREIRE, M. H. D. C.; SOUZA, M. V.; GOMES, S. P.; SCHNEIDER, F. Production of watermelon seedlings in different substrates under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, p. 343-351, 2023.

SILVA, A. R., DA SILVA, W. A., OLIVEIRA, P. H. D. A., DA SILVA, H. M., RIBEIRO, M. A., DANTAS, D. D. S., BRITO, F.A.L., SIMÕES A. N., RIBEIRO, J. E. D. S. Ascorbic acid as a mitigator of salt stress effects radish. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, v. 29, n. 12, p. e293088, 2025.

TURAN, M.; EKINCI, M.; KUL, R.; BOYNUEYRI, FG; YILDIRIM, E. Mitigation of salinity stress in cucumber seedlings by exogenous hydrogen sulfide. **Journal of Plant Research**, v. 135, p. 517-529, 2022.

ZÖRB, C.; GEILFUS, C. M.; DIETZ, K. J. Salinity and crop yield. **Plant Biology**, v. 21. P. 31-38, 2019.