

QUALIDADE DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO PRECOSE SOB SALINIDADE E BIOESTIMULANTES

EVANILSON SOUZA DE ALMEIDA¹ VALÉRIA FERNANDES DE OLIVEIRA SOUSA²
LAURIANE ALMEIDA DOS ANJOS SOARES³ GEOVANI SOARES DE LIMA³
VALESKA KAROLINI NUNES OLIVEIRA¹

¹Mestrando em Engenharia Agrícola, PPGEA, UFCG, Campina Grande, PB, Brasil. Evanilson46@gmail.com

²Pós-Doutoranda, PPGHT, UFCG, Pombal, PB, Brasil. valeriafernandesbds@gmail.com

³Professor, UAGRA, CCTA, UFCG, Pombal, PB, Brasil. geovani.soares@professor.ufcg.edu.br e laurispo.agronomia@gmail.com

⁴Doutoranda em engenharia Agrícola, PPGEA, UFCG, Campina Grande, PB. valeska.karoline2015@gmail.com

RESUMO: A salinidade da água de irrigação prejudica o desenvolvimento do cajueiro, tornando necessária a busca por estratégias que atenuem seus efeitos deletérios na fase de formação de mudas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de mudas de cajueiro sob salinidade e aplicação de bioestimulantes. O experimento foi conduzido em casa de vegetação sob delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2×4 , sendo dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação ($0,3$ e $3,1 \text{ dS m}^{-1}$) e quatro tipos de bioestimulantes (Controle, *B. aryabhattai*, *T. harzianum* e *A. nodosum*). Aos 75 dias após a semeadura, foram avaliados o extravasamento de eletrólitos (EE), a fitomassa seca total (FST) e o índice de qualidade de Dickson (IQD). Os resultados indicaram efeito interativo significativo entre os fatores para todas as variáveis analisadas. Sob estresse salino ($3,1 \text{ dS m}^{-1}$), o tratamento com TH destacou-se ao mitigar o dano celular à membrana, apresentando a menor média de EE (14,41%), o que representou uma redução de 28,98% em relação ao controle. Por outro lado, o bioestimulante BA proporcionou os melhores resultados de crescimento sob salinidade, destacando-se com as maiores médias de FST (5,47 g) e IQD (0,70), superando o controle em 45,87% e 55,56%, respectivamente. Conclui-se que o *Bacillus aryabhattai* é recomendado para maximizar a biomassa e o padrão de qualidade das mudas de cajueiro sob estresse salino, enquanto o *Trichoderma harzianum* é indicado para a proteção celular e mitigação do estresse oxidativo.

PALAVRAS-CHAVE: *Anacardium occidentale* L.; *Ascophyllum nodosum*; *Bacillus aryabhattai*; *Trichoderma* spp.; estresse abiótico

QUALITY OF EARLY DWARF CASHEW SEEDLINGS UNDER SALINITY AND BIOSTIMULANTS

ABSTRACT:

Irrigation water salinity impairs cashew seedling development, necessitating strategies to mitigate its deleterious effects during the seedling establishment phase. This study aimed to evaluate cashew seedling quality under salinity stress and biostimulant application. The experiment was conducted in a greenhouse using a randomized block design in a 2×4 factorial arrangement, comprising two irrigation water electrical conductivity levels (0.3 and 3.1 dS m^{-1}) and four biostimulant types (Control, *B. aryabhattai*, *T. harzianum* and *A. nodosum*). At 75 days after sowing, electrolyte leakage (EL), total dry biomass (TDB), and the Dickson Quality Index (DQI) were evaluated. Results showed a significant interaction between factors for all analyzed variables. Under salinity stress (3.1 dS m^{-1}), the *T. harzianum* (TH) treatment stood out by mitigating cellular membrane damage, exhibiting the lowest mean EL (14.41%), a 28.98% reduction compared to the control. Conversely, the *B. aryabhattai* (BA) biostimulant yielded the best growth results under salinity, achieving the highest mean values for TDB (5.47 g) and DQI (0.70), surpassing the control by 45.87% and 55.56%, respectively. It is concluded that *Bacillus aryabhattai* is recommended to maximize biomass and quality standards in cashew seedlings under salinity stress, whereas *Trichoderma harzianum* is indicated for cellular protection and the mitigation of oxidative stress.

KEYWORDS: *Anacardium occidentale* L.; *Ascophyllum nodosum*; *Bacillus aryabhattai*; *Trichoderma* spp.; abiotic stress

INTRODUÇÃO

O acúmulo de sais solúveis em áreas cultiváveis constitui um dos principais entraves para a sustentabilidade agrícola do mundo. Esse cenário é severo em regiões áridas e semiáridas, onde a baixa precipitação e as altas taxas de evapotranspiração impedem a lixiviação natural dos sais, concentrando-os na zona radicular (GHARIBIYAN *et al.*, 2023). No cajueiro, a salinidade compromete drasticamente o desenvolvimento vegetal. O processo inicia-se com o decréscimo do potencial osmótico da solução do solo, o que restringe a absorção de água, e evolui para distúrbios fitotóxicos severos, como o desequilíbrio nutricional, a desorganização de membranas celulares e o estresse oxidativo, culminando na inibição da divisão e expansão celular (PEREIRA *et al.*, 2025).

Diante desse desafio, a fase de formação de mudas configura-se como uma etapa biológica determinante, uma vez que o vigor inicial da planta reflete diretamente no seu potencial de estabelecimento e produtividade futura em campo (OLIVEIRA *et al.*, 2026). Para a triagem e identificação de materiais tolerantes a esse estresse na fase inicial, a avaliação de variáveis morfofisiológicas associadas ao crescimento, tais como a área foliar, o número de folhas e o acúmulo de fitomassa fresca e seca da parte aérea e radicular tem se consolidado como um conjunto de índices de seleção preciso e eficiente na qualidade de mudas (ALAM *et al.*, 2021; TAO *et al.*, 2021).

Como estratégia para atenuar esses efeitos deletérios e viabilizar a produção, o uso de bioinsumos e bioestimulantes surge como uma alternativa promissora e ecologicamente correta. Entre os agentes biológicos, bactérias do gênero *Bacillus* atuam induzindo a síntese de solutos compatíveis (como prolina e açúcares solúveis), mecanismo de osmorregulação que protege as células contra a desidratação e preserva a integridade das membranas plasmáticas (AZEEM *et al.*, 2025). De forma complementar, a inoculação com fungos do gênero *Trichoderma* otimiza a captação de água e nutrientes essenciais, além de potencializar o sistema antioxidante da planta na eliminação de espécies reativas de oxigênio (CHENG *et al.*, 2023). Adicionalmente, o uso de bioestimulantes à base do extrato da alga *Ascophyllum nodosum* tem demonstrado alta eficácia na regulação metabólica sob estresse abiótico, estimulando as defesas nativas da planta e fortalecendo sua resiliência frente à salinidade (AHMED *et al.*, 2024).

Nessa perspectiva devido a lacuna de estudos científicos voltados para avaliar o efeito desses bioestimulantes na produção de mudas de cajueiro, o presente trabalho objetiva avaliar a qualidade de mudas de cajueiro sob salinidade e aplicação de bioestimulantes.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em casa de vegetação do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar – CCTA da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, localizado no município de Pombal – PB, nas coordenadas geográficas 6°47'20" de latitude e 37°48'01" de longitude, a uma altitude de 194 m.

O delineamento utilizado foi em bloco casualizado, em esquema fatorial de 2 x 4, referentes a dois níveis da condutividade elétrica da água de irrigação (0,3 e 3,1 dS m⁻¹) baseado em Lima *et al.*, 2020 e 4 tipos de bioestimulantes (TC – Controle; BA – *Bacillus aryabhattai*; TH – *Trichoderma harzianum* e NA – *Ascophyllum nodosum*).

A semeadura foi realizada diretamente em sacos de polietileno com capacidade de 1,5 dm³, utilizando uma semente de cajueiro-anão precoce “LP 06” por recipiente. O substrato foi preparado a partir de uma mistura de solo (50%), areia (25%) e esterco bovino (25%).

A adubação foi iniciada aos 15 dias após a semeadura (DAS). Sendo ureia como fonte de nitrogênio (45% de N), fósforo e potássio, utilizando fosfato monoamônico (9% de N e 48% de P₂O₅) e sulfato de potássio (48% de K₂O; 15% de S), conforme recomendações estabelecidas por Novais *et al.* (1991). A suplementação com micronutrientes foi realizada via aplicação foliar, utilizando uma solução de Dripsol Micro® na concentração de 1,0 g L⁻¹, cuja composição é: Mg (1,1%), B (0,85%), Cu-EDTA (0,5%), Fe-EDTA (3,4%), Mn-EDTA (3,2%), Mo (0,05%) e Zn (4,2%).

A aplicação dos tratamentos teve início aos 25 dias após a semeadura. Foram utilizados os tratamentos controle, sem aplicação, 0,004 g de *Bacillus aryabhattai*, 0,002 g de *Trichoderma harzianum* e 0,06 g de *Ascochyllum nodosum*. Cada bioestimulante foi previamente dissolvido em 50 mL de água de baixa condutividade elétrica e aplicado ao solo, na projeção da copa de cada muda.

Aos 28 dias após a semeadura, teve início a diferenciação da água de irrigação. Foram utilizadas água de baixa condutividade elétrica (CEa de 0,3 dS m⁻¹) e água salina (CEa de 3,1 dS m⁻¹). A irrigação foi realizada diariamente, conforme a demanda hídrica da cultura, determinada pelo princípio da lisimetria de drenagem, conforme Bernardo et al. (2019). A cada 15 dias, aplicou-se uma fração de lixiviação de 10% do volume total de irrigação, com o objetivo de reduzir o acúmulo de sais na zona radicular das mudas.

O extravasamento de eletrólitos foi determinado a partir de cinco discos foliares da terceira folha completamente expandida, conforme Scotti-Campos et al. (2013). As condutividades elétricas inicial e final foram medidas em condutivímetro e os valores calculados pela Equação (1).

$$EE = \frac{X_i}{X_f} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

Em que:

EE - porcentagem de extravasamento de eletrólitos (%);

Xi - condutividade elétrica inicial (dS m⁻¹); e,

Xf - condutividade elétrica final (dS m⁻¹).

Aos 75 dias após a semeadura (DAS), as plantas foram coletadas e separadas em folhas, caule e raízes. Em seguida, o material foi acondicionado em sacos de papel identificados e seco em estufa de circulação forçada de ar a 65 ± 2 °C, por aproximadamente 72 horas, até atingir massa constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas em balança semi-analítica, com precisão de 0,001 g. A fitomassa seca da parte aérea foi obtida pela soma da massa seca das folhas e do caule, enquanto a fitomassa seca total foi determinada pela soma da parte aérea com a massa seca das raízes. No mesmo período, também foi calculado o índice de qualidade de Dickson (IQD), conforme Dickson et al. (1960).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com quadro resumo da análise de variância (Tabela 1) houve efeito interativo significativo entre a condutividade elétrica da água de irrigação e a aplicação de bioestimulantes para extravasamento de eletrólito, fitomassa seca total e índice de qualidade de Dickson mudas de cajueiro.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para extravasamentos de eletrólitos, fitomassa seca total e índice de qualidade de Dickson em função da condutividade elétrica da água (CEa) e da aplicação de bioestimulantes (Bio) de porta-enxertos de cajueiro-anão precoce aos 75 dias após a semeadura.

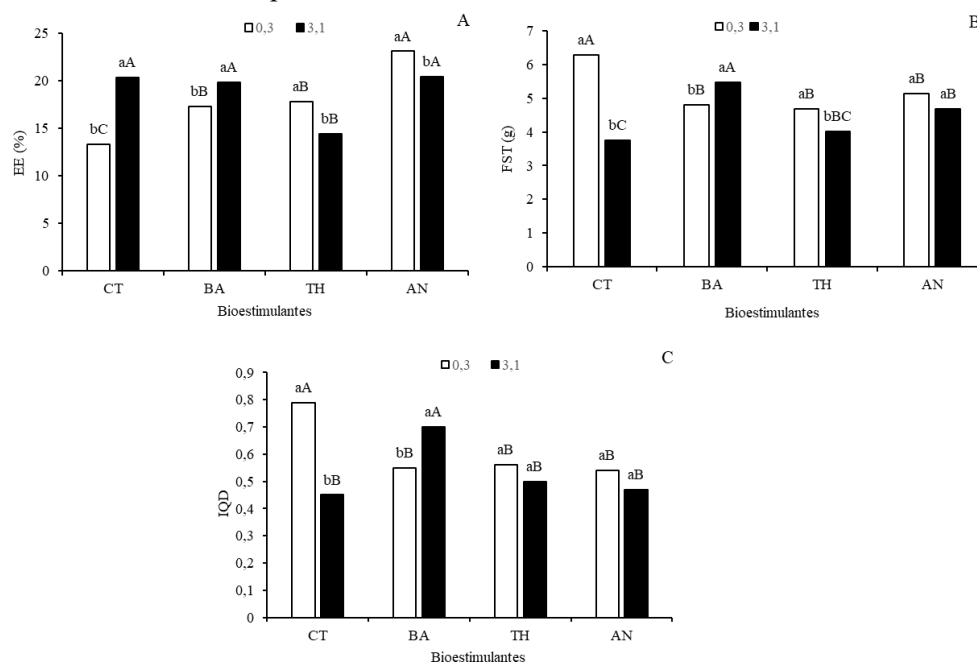
FV	GL	Quadrados médios		
		EE	FST	IQD
Bloco	2	1,48 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Condutividade elétrica (CEa)	1	4,6 ^{ns}	3,34 ^{**}	0,03 ^{**}
Bioestimulantes	3	38,22 ^{**}	0,74 ^{**}	0,02 ^{**}
CEa*Bio	3	35,19 ^{**}	2,62 ^{**}	0,05 ^{**}
Resíduo	14	2,02	0,09	0,002
CV (%)		7,79	6,30	0,57

^{ns} *, ** não significativo, significativo a p≤0,05 e p≤0,01 pelo teste F, respectivamente.

No extravasamento de eletrólitos (Figura 1A), observou-se que na salinidade de 0,3 dS m⁻¹, o CT exibiu o menor valor (13,29%), mostrando-se estatisticamente inferior aos tratamentos com bioestimulantes. Entre estes, o AN registrou o maior extravasamento celular (23,07%), superando o CT em 73,59%, seguido por TH (17,75%) e BA (17,30%), que foram superiores ao controle em 33,56% e

30,17%, respectivamente. Sob estresse salino de 3,1 dS m⁻¹, o tratamento TH destacou-se com a menor média de EE (14,41%), mostrando-se estatisticamente superior aos demais tratamentos por mitigar o dano celular à membrana, o que equivale a uma redução de 28,98% quando comparado ao CT (20,29%) nesta mesma salinidade. Isso ocorre porque o *Trichoderma* reduz o extravasamento de eletrólitos através da regulação positiva das defesas antioxidantes, o que acelera a desintoxicação de espécies reativas de oxigênio e diminui o acúmulo de H₂O₂ e malondialdeído (Sofy et al., 2021).

Figura 1. Extravasamento de eletrólitos (A), fitomassa seca total (B) e índice de qualidade de mudas de Dickson (C) de porta-enxertos de cajueiro em função da condutividade elétrica da água e da aplicação de bioestimulantes aos 75 dias após a semeadura.



CT – Controle; BA – *Bacillus aryabhattai*; TH – *Trichoderma harzianum* e AN – *Ascophyllum nodosum*. Médias seguidas de letra minúscula diferente indicam que há diferença significativa entre os níveis salinos em cada bioestimulante e letras maiúsculas indicam diferença entre bioestimulantes em cada condutividade elétrica da água Tukey p ≤ 0,05.

Em relação à fitomassa seca total (Figura 1B), constatou-se que na menor salinidade (0,3 dS m⁻¹), o tratamento controle (CT) sobressaiu-se com a maior média (6,28 g), superando significativamente as mudas tratadas com os bioestimulantes AN (5,14 g), BA (4,81 g) e TH (4,68 g) em 18,15%, 23,41% e 25,48%, respectivamente, os quais se mostraram estatisticamente semelhantes entre si. Na condição de maior salinidade (3,1 dS m⁻¹), o bioestimulante BA destacou-se com a maior média de FST (5,47 g), mostrando-se estatisticamente superior aos demais tratamentos e superando o controle (CT) em 45,87%.

A irrigação de plantas com água salina frequentemente resulta em redução do crescimento e acúmulo de massa seca (Alam et al., 2021). Em contrapartida, as mudas sob aplicação de BA exibiram um comportamento oposto, isso acontece porque o *Bacillus aryabhattai* aumenta a atividade das enzimas do solo, a biomassa microbiana, o fósforo disponível, enriquecem as bactérias fixadoras de nitrogênio na rizosfera, o que pode indiretamente aumentar o acúmulo de biomassa em condições de salinidade (Azeem et al., 2023).

Para o índice de qualidade de Dickson (Figura 1C), observou-se que na salinidade de 0,3 dS m⁻¹, o tratamento CT expressou a maior média (0,79), superando estatisticamente todos os tratamentos com bioestimulantes. Sob estresse salino de 3,1 dS m⁻¹, o tratamento com BA destacou-se isoladamente com

o maior valor de IQD (0,70), mostrando-se estatisticamente superior e superando o controle (CT) em 55,56%. O *Bacillus aryabhattai* fornece funções promotoras do crescimento vegetal que auxiliam no acúmulo de biomassa sob estresse salino, incluindo a produção de AIA (ácido indolacético), solubilização de fosfato, e exopolissacarídeos, o que provavelmente ajuda as plantas a manter a captação de água e nutrientes em meios salinos (Azeem et al., 2023).

CONCLUSÃO

Para otimizar o estabelecimento de mudas de cajueiro sob estresse salino, o *Bacillus aryabhattai* é recomendado para maximizar o padrão de qualidade e biomassa das mudas de cajueiro, enquanto o *Trichoderma harzianum* é indicado se o objetivo principal for a mitigação do estresse salino e a proteção celular contra os danos oxidativos da salinidade.

REFERÊNCIAS

- Alam, M. S.; Tester, M.; Fiene, G.; Mousa, M. A. A. Early growth stage characterization and the biochemical responses for salinity stress in tomato. *Plants*, v. 10, n. 4, p. 712, 2021.
- Dickson, A.; Leaf, A. L.; Hosner, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.
- Ahmed, M.; Ullah, H.; Himanshu, S. K.; García-Caparrós, P.; Tisarum, R.; Cha-Um, S.; Datta, A. *Ascophyllum nodosum* seaweed extract and potassium alleviate drought damage in tomato by improving plant water relations, photosynthetic performance, and stomatal function. *Journal of Applied Phycology*, v. 36, n. 4, p. 2255-2268, 2024.
- Azeem, M. A.; Khan, S.; Ali, F. et al. Halotolerant *Bacillus aryabhattai* strain PM34 mitigates salinity stress and enhances the physiology and growth of maize. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 44, p. 7000-7018, 2025.
- Cheng, L.; Xu, Z.; Zhou, X. Application of *Trichoderma* species increases plant salinity resistance: a bibliometric analysis and a meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, v. 23, p. 2641-2653, 2023.
- Gharibiyani, P.; Roozban, M. R.; Rahemi, M.; Vahdati, K. Exogenous salicylic acid improves growth and physiological status of two *Pistacia* species under salinity stress. *Erwerbs-Obstbau*, v. 65, p. 1441-1452, 2023.
- Oliveira, A. X.; Linhares, P. C. A.; Rego, G. S. dos S.; Medeiros-Sá, R. C. N.; Barbosa, L. C. S.; Silva Júnior, J. P.; Cavalcante, D. S.; Silva, A. A.; Nunes Júnior, E. S.; Pereira, K. T. O.; Ferreira Neto, M.; Torres, S. B.; Peixoto, T. D. C.; Melo, A. S.; Sá, F. V. Exogenous magnesium application as a salinity mitigator in cashew genotypes. *Plants*, v. 15, n. 1, art. 37, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants15010037>.
- Sofy, M.; Mohamed, H.; Dawood, M.; Abu-Elsaoud, A.; Soliman, M. Integrated usage of *Trichoderma harzianum* and biochar to ameliorate salt stress on spinach plants. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 68, n. 14, p. 2005-2026, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1949709>.
- Tao, R.; Jinfeng, D.; Chunyan, L.; Xinkai, Z.; Wenshan, G.; Min, Z. Evaluating and screening of agro-physiological indices for salinity stress tolerance in wheat at the seedling stage. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, art. 646175, 2021.
- Novais, R. F.; Neves, J. C. L.; Barros, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A. J. et al. (Ed.). *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. Brasília, DF: Embrapa-SEA, 1991. p. 189-253.