

Interação da salinidade e do silício no comportamento morfofisiológico do arroz agulhinha em Imperatriz – MA

Interaction of salinity and silicon on the morphophysiological behavior of agulhinha rice in Imperatriz – MA

Ana Leide Costa Silva Moura ¹⁺, Daniel Carlos Machado ², Mayara Rodrigues Uchôa ³, Wilson Araújo da Silva ¹, Cristiane Matos da Silva ¹, Alinne da Silva ¹, Anatercia Ferreira Alves ¹, Cleane da Costa Paz ³, Arkellau Kenned Silva Moura ³, Jonathan dos Santos Viana ³

¹ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

² Universidade Estadual Paulista

³ Universidade Federal do Ceará

Resumo. O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da interação entre a aplicação foliar de silício e a salinidade nos aspectos morfofisiológicos do arroz agulhinha. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×2 , envolvendo presença e ausência de silício e aplicação ou não de solução salina (6 dS m^{-1}), com sete repetições. Foram analisadas variáveis de crescimento, fisiológicas e de produção de biomassa até 65 dias após a semeadura. Os resultados evidenciaram que a salinidade afetou negativamente o desenvolvimento das plantas, reduzindo significativamente a altura, o número de perfilhos e a biomassa aérea e radicular. Não houve efeito significativo do silício sobre a maioria das variáveis analisadas, nem interação significativa dele com a salinidade para as características de crescimento. Entretanto, observou-se interação significativa entre os fatores para o teor de água foliar, indicando que o silício influenciou a resposta fisiológica das plantas ao estresse salino, promovendo ajustes no balanço hídrico. Concluiu-se que a salinidade compromete o desenvolvimento vegetativo do arroz agulhinha, evidenciando sua sensibilidade ao estresse salino. Embora o silício não tenha sido eficiente em reverter os efeitos negativos sobre o crescimento, demonstrou potencial na modulação de respostas fisiológicas, especialmente relacionadas à homeostase hídrica, sendo necessários novos estudos para melhor compreensão de seu uso na mitigação do estresse salino.

Palavras-chaves Crescimento vegetal, Estresse abiótico, Fisiologia vegetal, Homeostase hídrica, Nutrição vegetal.

Abstract. The aim of this study was to evaluate the effects of the interaction between foliar application of silicon and salinity on the morphophysiological characteristics of 'Agulhinha' rice. The experiment was conducted in a greenhouse using a completely randomised design in a 2×2 factorial layout, involving the presence or absence of silicon and the application or non-application of a saline solution (6 dS m^{-1}), with seven replicates. Growth, physiological and biomass production variables were analysed up to 65 days after sowing. The results showed that salinity negatively affected plant development, significantly reducing plant height, the number of tillers, and above-ground and root biomass. There was no significant effect of silicon on most of the variables analysed, nor was there a significant interaction with salinity for growth characteristics. However, a significant interaction between the factors was observed for leaf water content, indicating that silicon influenced the plants' physiological response to salt stress, promoting adjustments in water balance. It was concluded that salinity impairs the vegetative development of 'agulhinha' rice, highlighting its sensitivity to salt stress. Although silicon was not effective in reversing the negative effects on growth, it demonstrated potential in modulating physiological responses, particularly those related to water homeostasis; further studies are required to better understand its use in mitigating salt stress.

Keywords: Plant growth, Abiotic stress, Plant physiology, Water homeostasis, Plant nutrition.

Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais importantes para a alimentação humana, constituindo a base alimentar de grande parte da população mundial. No Brasil, a estimativa de

produção do arroz em casca para 2026 corresponde a 11,7 milhões de toneladas, segundo dados publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2026). Do ponto de vista econômico, o referido grão apresenta potencial econômico em escala global.

Nessa linha, o Mercado Comum do Sul – MERCOSUL¹, em 2024, apresentou área cultivada de 3,9 milhões de hectares, com produção total de 23,5 milhões de toneladas, correspondendo a 2,3% da área e 2,9% da produção mundial, além de uma produtividade média de 5.669 kg ha⁻¹, o que reforça a importância da rizicultura como uma das principais atividades agrícolas em países em desenvolvimento (Embrapa, 2026).

Contudo, apesar da grande produtividade, importa destacar que, os resultados positivos da produtividade podem ser afetados negativamente por diversos fatores abióticos, entre os quais pode-se destacar a salinidade do solo e da água de irrigação. Nesse sentido, Cordeiro e Mansefú (2001), estudando a degradação de terras por salinidade no Nordeste do Brasil, afirmam que esse é um problema que é frequente, sobretudo, no semiárido nordestino. O déficit hídrico que chega a superar 2.000 mm anuais, no contexto regional, favorece a acumulação de sais solúveis e sódio trocável nos solos. Portanto, a salinidade compromete a fertilidade e qualidade do solo, vulnerabilizando a agricultura local.

Dessa forma, a salinidade pode ser caracterizada a partir do excesso de sais solúveis, de sódio trocável ou de ambas as camadas da superfície do solo, o que pode comprometer o desenvolvimento de plantas (Schossler *et al.*, 2012). Nesse viés, altas concentrações de sais solúveis na solução do solo prejudicam o crescimento das plantas, a expansão da área foliar e o metabolismo primário do carbono, em razão do efeito osmótico, do déficit hídrico, da toxicidade iônica e do desequilíbrio nutricional. Esses efeitos comprometem diversos processos fisiológicos, como a fotossíntese, a transpiração e o metabolismo celular, refletindo diretamente no desenvolvimento morfológico e no rendimento das plantas de arroz (Dias *et al.*, 2016).

Diante desse cenário, estratégias que possam reduzir os efeitos negativos da salinidade tornam-se essenciais para a sustentabilidade da produção agrícola. Assim sendo, o silício tem se destacado como um elemento benéfico para diversas espécies vegetais, especialmente para gramíneas como o arroz, que apresentam elevada capacidade de absorção desse elemento.

O silício pode contribuir para a resistência das plantas a doenças ao se associar aos constituintes da parede celular, dessa forma, torna essa estrutura menos suscetível à ação de enzimas produzidas a partir de agentes patogênicos para degradá-la. Para além desse efeito físico de proteção, o silício também pode atuar na indução de mecanismos de defesa sistêmica, ampliando a proteção da planta contra infecção por fungos (Barbosa *et al.*, 2000).

Destarte, Abdelaal, Mazrou e Hafez (2020), acentuam que, o silício é considerado um dos elementos essenciais na agricultura, particularmente devido a seu importante papel na mitigação dos efeitos do estresse salino, sendo este um dos principais estresses abióticos e que tem gerado impactos negativos para diversas culturas ao redor do mundo.

A aplicação de silício tem se mostrado eficaz na mitigação do estresse salino. Isso ocorre por meio da inibição da absorção de íons Na⁺ e Cl⁻, do fortalecimento das paredes celulares e da melhoria da capacidade osmótica e antioxidativa das plantas, o que colabora para sua adaptação a condições de salinidade (Pires *et al.*, 2024). Portanto, a interação entre silício e salinidade tem despertado crescente interesse científico, principalmente no que se refere aos efeitos sobre características morfofisiológicas das plantas.

Dentro desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da interação do silício via foliar e salinidade nos aspectos morfofisiológicos da cultura do arroz agulhinha em Imperatriz, Maranhão, Brasil.

Material e métodos

Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, casa de vegetação, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, no município de Imperatriz, região Sudoeste do estado do Maranhão, a 5° 33' 45.37" de Latitude Sul, 47° 27' 18.06" de Longitude Oeste, com Altitude média de 121 m.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Aw, tropical com precipitação média anual de 1.221 mm e temperatura média anual de 27,1 °C. O solo utilizado no experimento caracteriza-se por apresentar textura predominantemente arenosa, o que resulta em baixa capacidade de retenção de umidade. Na Tabela 1, é exposto a análise química do solo.

¹ O Mercado Comum do Sul (MERCOSUL) é um processo de integração regional conformado inicialmente pela Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai ao qual recentemente incorporaram-se a Venezuela* e a Bolívia*. Para mais informações, confira: <https://www.mercosur.int/pt-br/sobre-o-mercado/o-que-e-o-mercado>.

Tabela 1 - Características químicas do solo da área experimental. UEMASUL, Imperatriz – MA, 2025.

Camadas (m)	pH	MO	P	S	Ca	Mg	K	Al	H+Al SMP	CTC
	CaCl2	%	--mg/dm ³ --		-----cmolc/dm ³ -----					
0 – 0,20	4,8	1,2	1,2	5	1,0	0,4	0,328	0,20	3,7	5,42

Fonte: Laboratório Acquarius

Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi delineado em blocos inteiramente casualizados (DIC), esquema fatorial 2 x 2, em que o primeiro fator consistiu na presença e ausência do silício, e o segundo fator com aplicação e sem aplicação da solução salina via irrigação, totalizando quatro tratamentos com sete repetições.

Instalação e condução do experimento

Foram utilizados vasos com capacidade de 7 dm³ de solo, onde se fez o preenchimento com solo de textura arenosa, classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO. No mês de outubro de 2025, procedeu-se com a semeadura do arroz agulhinha, sendo utilizados 5 g de sementes por cada unidade experimental.

A emergência aconteceu 5 dias após a semeadura (DAS). Após 22 DAS procedeu-se à aplicação foliar do silício conforme Figura 1, na dosagem de 500g L⁻¹ ha⁻¹, volume de calda 100 L ha⁻¹ no período da manhã, entre 7h e 7h30min, cuja composição foi de silício Mg (6% pp), Mn (1% pp) e 25% de dióxido de silício. Após esse processo de absorção foliar nos tratamentos com silício, se deu a aplicação da solução salina utilizando-se NaCl.

O preparo da solução salina se deu de forma diária, pois devido às grandes variações de temperaturas de um dia para outro, haveria mudança na solução padrão. Estabeleceu-se o uso da condutividade elétrica de 6 dS m⁻¹, pois o arroz apresenta resistência intermediária à salinidade, variando de 3 a 4 dS m⁻¹.

Os tratamentos com solução salina foram conduzidos por meio de irrigação diária, estendendo-se por um período de 15 dias consecutivos (03/11/2025 à 17/11/2025). Em cada aplicação, um volume padronizado de 150 mL de solução salina foi administrado por vaso. É crucial salientar que, nos tratamentos sob estresse, a irrigação com água potável foi suspensa durante a aplicação da solução salina, que constituiu a única fonte de hidratação para as plantas.

Um dia após finalização da aplicação da solução salina nos tratamentos, foi estabelecido dois dias de estresse hídrico severo, a fim de estimular ainda mais a ação do silício na planta bem como tornar o efeito da salinidade mais evidente.

Aos 7 DAS procedeu-se com a adubação de plantio, aplicando-se 300 kg ha⁻¹ do adubo formulado comercial 10-10-10. Após 15 DAS fez-se aplicação em cobertura na cultura do arroz, utilizando 300 kg ha⁻¹ do formulado comercial 20-

00-20. Em 44 DAS fez-se a última adubação de cobertura nitrogenada, aplicando-se Sulfato de Amônia (21% N, 22 a 24% de S) na dosagem de 60 kg ha⁻¹.

Variáveis analisadas

O experimento foi conduzido até aos 65 DAS, correspondente ao final do estágio vegetativo e início da fase reprodutiva. Foram realizadas as seguintes determinações: altura de planta, diâmetro do caule, teor de água na folha, número de folhas e de perfilhos por planta, teor de clorofila total, massa fresca aérea e de raiz e massa seca aérea e de raiz. A altura de plantas foi mensurada medindo-se do colo da planta ao ápice da gema apical, valores expressos em cm planta⁻¹. O diâmetro do caule foi determinado com uso de paquímetro digital, estabelecendo-se uma altura de 4 cm a partir do colo da planta, valores em mm planta⁻¹.

Para determinação do teor de água na folha, foram coletados cinco discos de 6 mm de diâmetro de diferentes folhas de arroz agulhinha por parcela, posteriormente foram obtidas as massas frescas, após submersão em água deionizada por 15 h, obtidas as massas túrgidas, e após secagem em estufa de ventilação forçada por 48 h a 65 °C, obtidas as massas secas. O teor relativo de água na planta foi calculado segundo proposto por González e González-Vilar (2001), equação 1.

$$TRA(\%) = (MF - MS / MT - MS) \times 100$$

eq. 1

Em que: TRA: teor relativo de água, % MF: massa fresca, g MS: massa seca, g MT: massa túrgida, g.

O número de folhas e de perfilhos, foram obtidos por meio da contagem total de folhas por planta, e por parcela experimental, respectivamente. Para a obtenção do índice de clorofila foi utilizado o clorofilômetro portátil Clorofilog Falker. O índice de clorofila foi medido em cinco plantas por parcela, utilizando-se a folha bandeira da mesma (Coelho *et al.*, 2019). A medida foi realizada no centro de cada folha.

A determinação de massa fresca aérea de raiz foi realizada por meio da pesagem em balança semi-analítica, no Laboratório de pesagem da UEMASUL/CCA, sendo essa medida expressa em g planta⁻¹. Para obtenção de massa seca total das plantas de cada tratamento foram acondicionadas em sacos de papel do tipo kraft e transferida para estufa com circulação de ar forçado, regulada para 65 °C até atingirem peso constante (24 h), em

seguida o material foi pesado em balança analítica de precisão (0,001g) e os resultados foram expressos em g plântula⁻¹.

Análise estatística

Os dados obtidos foram testados quanto à normalidade dos erros (Royston, 1995) e homogeneidade de variância (Gastwirth et al., 2009), sendo submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$), e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o software Agroestat, versão 1.0 (Barbosa; Maldonado Júnior, 2009).

Resultados e discussão

De acordo com os resultados estatísticos, foi possível observar que para as variáveis diâmetro do caule, número de folhas, clorofila total, massa fresca raiz, massa seca aérea não se obteve diferença significativa (p -valor $< 0,01$), conforme a Tabela 2 apresenta.

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos para altura de plantas de arroz sob efeito da aplicação de solução salina e adubação com silício. Não houve interação, dos fatores estudados.

Tabela 2. Resumo da análise de variância e comparação de médias para cultura do arroz agulhinha sob efeito da aplicação foliar de silício e salinidade em Imperatriz – MA.

Tratamentos	AP	DC	TAF	NF	NP	CT	MFA	MFR	MSA	MSR
Salinidade (A)	*	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	**	**
Silício (B)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Interação A x B	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	21,9	32,3	21,6	20,4	22,3	23,2	20,6	22,8	19,6	22,2

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de média de comparações múltiplas de Tukey ($p < 0,05$); ** significativo ($p < 0,01$); * significativo ($p < 0,05$); ns (não significativo). AP: altura de planta, DC: diâmetro do caule, TAF: teor de água na folha, NF: número de folhas, PERF: Número de perfilhos, CT: clorofila total, MFA: massa fresca aérea, MFR: massa fresca raiz, MAS: massa seca aérea e MSR: massa seca raiz. CV: coeficiente de variação.

Nota-se que o tratamento controle foi o mais expressivo no incremento altura, com valor de 76,35 cm planta⁻¹, superior ao valor do tratamento com aplicação de solução salina de 6 dS m⁻¹ (62,64 cm). É possível inferir a partir da Figura 2 que a salinidade exerceu efeito negativo sobre o crescimento em altura das plantas de arroz, influenciando negativamente o desenvolvimento vegetativo. O resultado observado pode estar relacionado ao efeito osmótico decorrente do

excesso de sais no solo, o qual reduz o potencial hídrico da solução do solo e dificulta a absorção de água pelas raízes. Além disso, o acúmulo de íons tóxicos, como sódio e cloreto, pode provocar desequilíbrios fisiológicos e metabólicos, comprometendo o crescimento e o desenvolvimento da planta (Dias et al., 2016).

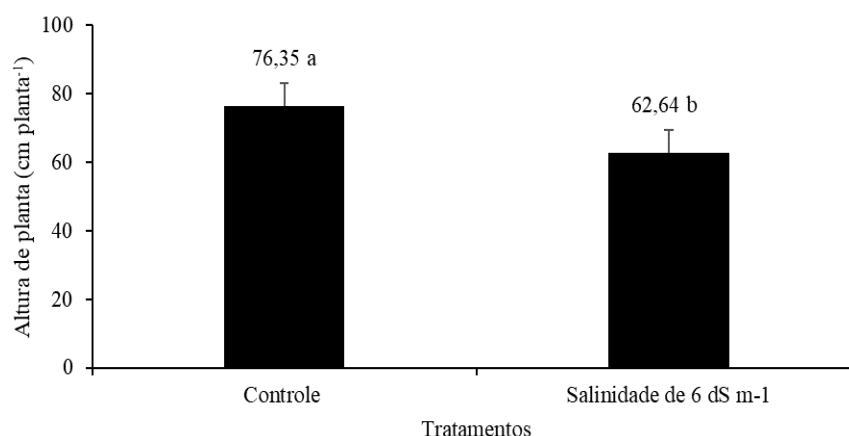


Figura 1. Altura de planta de arroz sob efeito da aplicação de solução salina e silício, Imperatriz – MA, Brasil
*Letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Moura (2026).

Nessa linha, Holanda et al. (2011) ressaltam que os efeitos da salinidade no solo ou água, afeta diretamente processos metabólicos que são considerados vitais, como fotofosforilação, cadeia

respiratória, assimilação do nitrogênio, bem como o metabolismo das proteínas. O que reforça o melhor incremento em altura para o tratamento na ausência do estresse salino, pois as plantas encontram

condições adequadas para expressarem seu potencial de crescimento.

Esse comportamento também reflete em outras variáveis morfofisiológicas da cultura do arroz, o que pode ser observado na Figura 2, onde é expresso o efeito dos tratamentos sobre o número de perfilhos, evidenciando que a salinidade promoveu redução significativa dessa característica. Para a variável número de perfilhos não ocorreu interação significativa entre os fatores estudados (p -valor $>0,01$), sendo apenas significativo o fator isolado, solução salina (p -valor $<0,01$).

Desse modo, observou-se que o tratamento controle apresentou um número significativamente superior de perfilhos, com uma média de 28,64, em contraste com o tratamento sob salinidade, que registrou 15,14 perfilhos. Esta redução no número de perfilhos por unidade experimental pode impactar negativamente o processo de formação de grãos e, conseqüentemente, reduzir a produtividade final da cultura do arroz em campo.

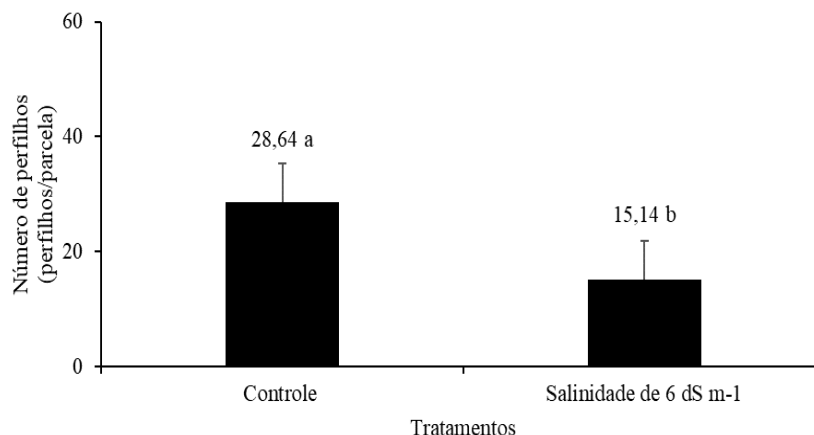


Figura 2. Número de perfilhos de arroz sob efeito da aplicação de solução salina e silício, Imperatriz – MA, Brasil.

**Letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Moura (2026).

Corroborando estes achados, Campos, Ferreira e Assunção (1989) investigaram os efeitos salinos no crescimento de plantas de arroz e constataram que o número de perfilhos, independentemente das condições genéticas, sofreu redução significativa com o aumento da concentração de NaCl, associado à diminuição do volume de água transpirado.

Dessa forma, a redução no número de perfilhos sob condições salinas pode estar relacionada às alterações fisiológicas causadas pelo excesso de sais no solo ou na solução nutritiva, as quais prejudicam a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Esse estresse osmótico e iônico compromete o crescimento e o desenvolvimento vegetal, resultando em menor emissão de perfilhos e redução no desempenho das plantas (Busanello, 2015).

Por sua vez, a superioridade do tratamento controle indica que, em condições sem estresse salino, as plantas de arroz apresentam melhores condições e capacidade de desenvolvimento vegetativo, demonstrando melhor seu potencial de

perfilhamento. Esse resultado é importante pois, o número de perfilhos é um dos componentes agrônômicos importantes, sobretudo, por se relacionar de forma direta com a produção final.

A Figura 3 mostra o efeito de solução salina na matéria seca aérea de plantas de arroz, onde não ocorreu interação entre os fatores analisados (p -valor $>0,01$). O tratamento controle (9,84 g) teve um incremento de 55,89 % em relação ao tratamento com solução salina de 6 dS m⁻¹ (5,50 g).

Os resultados obtidos indicaram que a salinidade reduziu significativamente a produção de biomassa da parte aérea, comprometendo o crescimento e desenvolvimento das plantas de arroz. A inibição no acúmulo de biomassa vegetal sob condição salina decorreu, principalmente, do decréscimo no potencial hídrico da solução do solo e da toxicidade específica provocada pelos íons sódio (Na⁺) e cloro (Cl⁻) (Santos, Cruz e Reinhardt, 2019).

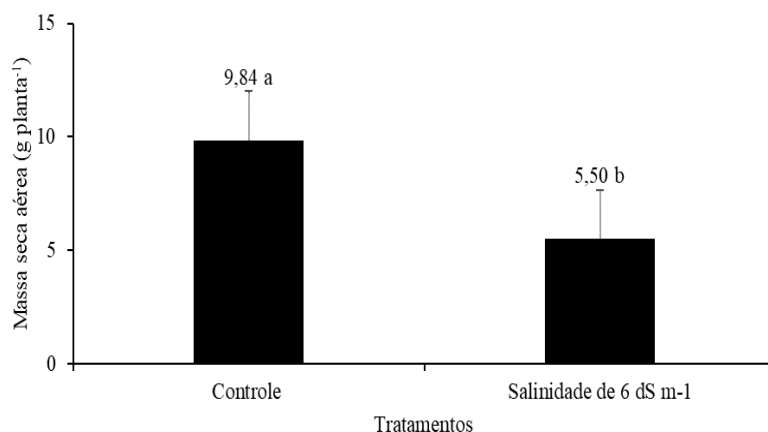


Figura 3. Massa seca aérea de planta de arroz sob efeito da aplicação de solução salina e silício. Imperatriz – MA, Brasil. **Letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Moura (2026).

O desempenho superior do tratamento controle, em comparação com as condições de salinidade, revelou que as plantas apresentaram melhor desenvolvimento vegetativo e maior eficiência na conversão dos recursos absorvidos em matéria seca. Este resultado é relevante, considerando que a biomassa seca da parte aérea constitui um indicador direto do vigor e da capacidade de crescimento vegetativo.

Adicionalmente, o estudo investigou os efeitos da salinidade sobre a biomassa radicular

das plantas de arroz submetidas aos tratamentos estabelecidos. Conforme ilustrado na Figura 4, o tratamento controle apresentou maior acúmulo de biomassa radicular, com média de 46,81 g, contrastando significativamente com o tratamento salino, que registrou 10,38 g. Também não foi constatada interação significativa entre os fatores estudados (p -valor $>0,01$).

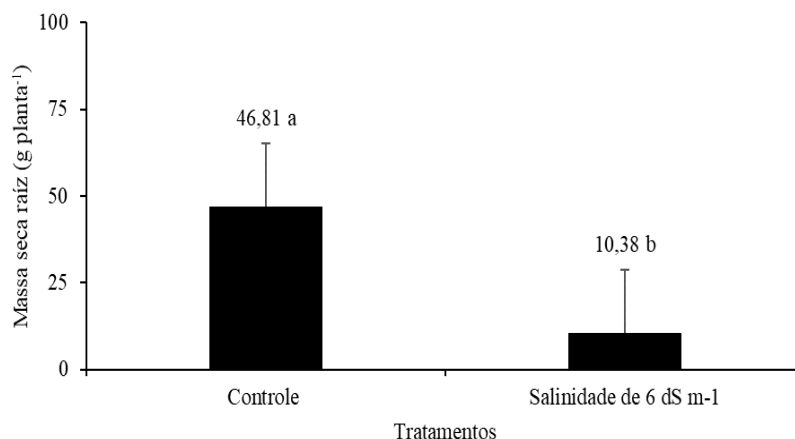


Figure 4. Massa seca de raiz de planta de arroz sob efeito da aplicação de solução salina e silício. Imperatriz – MA, Brasil. **Letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Moura (2026).

Conforme a Figura 4, os efeitos salinos induziram uma redução significativa no desenvolvimento do sistema radicular das plantas, comprometendo criticamente sua funcionalidade na absorção de água e nutrientes. Isso é corroborado no estudo de Yoshida (2002), o qual reportou que a exposição ao estresse salino no solo inibe a absorção de nutrientes essenciais, como K e Ca, pelas raízes, desestabilizando o metabolismo e o balanço fisiológico da planta.

Em contrapartida, o desempenho superior do tratamento controle válida que a ausência de estresse salino favorece a expansão radicular e o acúmulo de biomassa. Isso evidencia que a salinidade impõe restrições significativas ao sistema radicular, de forma análoga aos efeitos reportados na parte aérea da planta.

A Figura 5 coloca em evidência a interação entre o estresse salino e o fornecimento de silício (p -valor $<0,01$), detalhando as variações no teor de

água foliar de plantas de arroz em resposta aos tratamentos.

Na ausência de silício, o tratamento com salinidade de 6 dS m⁻¹ registrou um teor de água foliar de 49,16%, superior ao do tratamento controle

(36,16%). Em contrapartida, com a aplicação de silício na dosagem de 500 g ha⁻¹, o padrão se inverteu, o tratamento controle apresentou o maior teor de água foliar (55,77%), enquanto o tratamento salino exibiu o menor valor (34,35%).

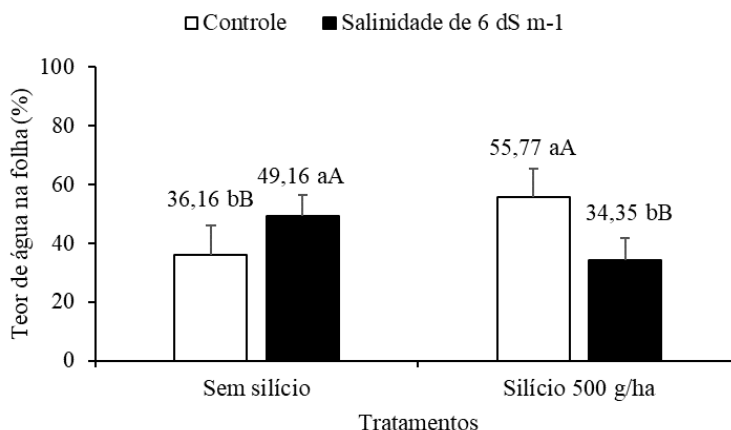


Figura 5. Teor de água na folha de planta de arroz sob efeito da aplicação de solução salina e silício. Imperatriz – MA, Brasil. **Letras minúsculas mostram diferenças entre as salinidades dentro do tratamento controle e com silício, e letras maiúsculas demonstram diferença entre o mesmo tratamento, controle ou salinidade de 6 dS m⁻¹, no tratamento sem silício e silício 500 g h⁻¹. Fonte: Moura (2026).

Na ausência de silício, o aumento do teor de água foliar sob salinidade (49,16%) em comparação ao controle (36,16%) pode indicar um mecanismo de ajuste osmótico das plantas. Em condições salinas, o acúmulo de íons e solutos compatíveis pode favorecer a retenção de água nos tecidos, permitindo a manutenção da turgescência celular mesmo sob estresse. Esse comportamento, embora aparentemente positivo, nem sempre está associado a um melhor desempenho fisiológico, podendo refletir um estado de desequilíbrio metabólico ou uma estratégia de sobrevivência da planta frente ao estresse.

Por outro lado, a aplicação de silício (500 g ha⁻¹) promoveu uma inversão no padrão observado, com maior teor de água no tratamento controle (55,77%) e redução significativa sob salinidade (34,35%). Esse resultado sugere que o silício atua modulando as respostas fisiológicas da planta, possivelmente promovendo maior eficiência no uso da água e melhor controle da perda hídrica. Tais resultados são respaldados por Peña Calzada *et al.* (2023), os quais demonstraram que o silício é capaz de reduzir a absorção de Na⁺, aumentar a concentração de K⁺ e elevar a razão K⁺/Na⁺ em plantas de soja (*Glycine max*).

Diante disso, é razoável supor que a redução na absorção de Na⁺ acompanhada pelo aumento na concentração de K⁺ e a elevação da razão K⁺/Na⁺ promovida pelo silício reduziu diretamente a toxicidade por estresse iônico, o que evitou a necessidade de a planta reter volumes excessivos de água no vacúolo para diluir o excesso de sódio. Ademais, o silício diminui a

peroxidação lipídica, indicando menor dano às membranas, o que pode ser associado ao aumento da atividade de enzimas antioxidantes (Peña Calzada *et al.*, 2023). Isso protege a integridade das membranas celulares, permitindo um controle fisiológico e osmótico mais rigoroso sobre o fluxo hídrico celular. Além disso, o acúmulo de silício na parede celular contribui para a formação de uma barreira física contra a perda de água, favorecendo a conservação hídrica e o aprimoramento da arquitetura vegetal em decorrência da deposição do elemento em tecidos como folhas, caule e raízes (Santos *et al.*, 2021). Como infere Malavolta (2006), a formação de uma camada de sílica abaixo da cutícula nas células epidérmicas atua como uma barreira física, contribuindo para a redução da perda de água pelas plantas por meio da transpiração.

Ademais, a menor retenção de água nas plantas sob salinidade com silício pode indicar uma redução no acúmulo de íons tóxicos e um melhor equilíbrio osmótico, evitando o inchaço celular desordenado observado na ausência do elemento. Dessa forma, o silício pode estar contribuindo para uma resposta mais ajustada ao estresse, favorecendo a homeostase hídrica e metabólica.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a salinidade de 6 dS m⁻¹ prejudica significativamente o desenvolvimento do arroz agulhinha, reduzindo altura, perfilhamento e biomassa aérea e radicular, o que confirma sua sensibilidade ao estresse salino.

A aplicação foliar de silício não reverteu esses efeitos nem promoveu ganhos significativos de crescimento ou biomassa. Contudo, sua interação com a salinidade influenciou o teor de água foliar, indicando possível atuação na regulação hídrica das plantas.

Assim, o silício pode contribuir para ajustes fisiológicos específicos sob estresse salino, embora seus efeitos morfológicos tenham sido limitados nas condições avaliadas. Recomenda-se a realização de novos estudos com diferentes doses, formas de aplicação e níveis de salinidade para melhor compreender seu potencial mitigador.

Referências

- ABDELAAL, K. A. A.; MAZROU, Y. S. A.; HAFEZ, Y. M. Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. *Plants*, v. 9, n. 6, p. 733, 2020. DOI: 10.3390/plants9060733.
- BARBOSA, M. P. F.; SNYDER, G. H.; PRABHU, A. S.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H. Importância do silício para a cultura do arroz: uma revisão de literatura. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 89, p. 1-8, mar. 2000. Encarte técnico.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. AgroEstat: sistema de análises estatísticas de ensaios agronômicos. Versão 1.0. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2009.
- BUSANELLO, R. L. Efeito da salinidade na germinação e vigor de sementes de arroz puitá inta cl sob concentrações crescentes de NaCl. 27 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2015.
- CAMPOS, I. S.; FERREIRA, L. G. R.; ASSUNÇÃO, M. V. Efeitos salinos no crescimento e desenvolvimento do arroz; alterações fisiológicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, p. 1111-1118, 1989.
- COELHO, A.P. Desempenho Agronômico De Aveia-Branca, Avaliado Por Sensoriamento Remoto, Sob Aplicação De Efluente De Esgoto Tratado E Níveis De Irrigação. 76p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2019.
- CORDEIRO, G. G.; MANSEFÚ, A. R. Degradação de terras por salinidade no Nordeste do Brasil e medição instrumental da salinidade. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2001. 32 p.; 14,8 cm. (Embrapa Semi-Árido. Documentos; 175).
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R. de; FERREIRA, J. F.S.; SOUSA NETO, O. N. de; QUEIROZ, Í. S. R. de. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. (ed.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudo básico e aplicado*. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 151-162.
- EMBRAPA. Estatística de produção. Agência de Informação Tecnológica, 2026. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/estatistica-de-producao>>. Acesso em: 1 mai 2026.
- GASTWIRTH, J. L.; GEL, Y. R.; MIAO, W. The impact of Levene's test of equality of variances on statistical theory and practice. *Statistical Science*, v.24, p. 343-360, 2009.
- GONZALEZ, L.; GONZALEZ-VILAR, M. Determination of relative water content. In: REIGOSA ROGER, M. J. (ed.). *Handbook of plant ecophysiology techniques*. Dordrecht: Revista Springer, 2001. p. 207–212.
- HOLANDA, S. J. R.; ARAÚJO, F. S.; GALLÃO, M. I.; MEDEIROS FILHO, S. Impacto da salinidade no desenvolvimento e crescimento de mudas de carnaúba (*Copernicia prunifera* (Miller) HE Moore). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 1, p. 47-52, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Em janeiro, IBGE prevê safra de 342,7 milhões de toneladas para 2026. Agência de Notícias, Rio de Janeiro, 12 fev. 2026. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/45868-em-janeiro-ibge-preve-safra-de-342-7-milhoes-de-toneladas-para-2026>>. Acesso em: 9 mar. 2026.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.
- PEÑA CALZADA, K.; PRADO, R. M.; RODRÍGUEZ, J. C.; HURTADO, A. C.; VICIEDO, D. O.; HABERMANN, E.; OLIVEIRA, R.; AJILA, G.; TENESACA, L. F. L.; GRATÃO, P. L.. Regulatory Role of Silicon on Growth, Potassium Uptake, Ionic Homeostasis, Proline Accumulation, and Antioxidant Capacity of Soybean Plants Under Salt Stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 42, p. 4528–4540, 2023
- PIRES, J. P. M. M.; FERNANDES, F. S.; SOARES, V. C. S.; ALVES, S. B.; LINS, L. K. S.; MESQUITA,

E. F.; MEDEIROS, I. D.. A aplicação de silício mitiga os efeitos da salinidade nas taxas de crescimento de mudas de maracujazeiro-amarelo. Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 13, n. 3, e-10657, 2024.

ROYSTON, J. A remark on algorithm AS-181-The W test for normality (Algorithm R94). Journal of Applied Statistics, v.44, p. 547-551, 1995.

SANTOS, A. A.; CRUZ, J. L.; REINHARDT, D. H. R. C. Efeito da salinidade sobre a fotossíntese e acúmulo de massa seca da bananeira 'Prata Anã Gorutuba'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 26., 2019, Juazeiro, BA/Petrolina, PE. Anais [...]. Petrolina: Embrapa Semiárido; UNIVASF; SBF, 2019.

SANTOS, L. C.; SILVA, G. A. M.; ABRANCHES, M. O.; ROCHA, J. L. A.; RIBEIRO, M. D. S.; GOMES, V. R.; SEVERO, P. J. S.; BRILHANTE, C. L.; SOUSA, F. Q. O papel do silício nas plantas. Research, Society and Development, v. 10, n. 7, p. 247-381, 2021.

SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PIAULINO, A. C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 1563-1578, 2012.

YOSHIDA, K. Plant biotechnology genetic engineering to enhance plant salt tolerance. Journal Bioscience Bioengineering, v.94, p.585–590, 2002.