

APLICAÇÃO FOLIAR DE QUITOSANA COMO MITIGADORA DOS EFEITOS DO ESTRESSE SALINO NAS TROCAS GASOSAS DO QUIABEIRO

ROSANY DUARTE SALES¹, GEOVANI SOARES DE LIMA², HANS RAJ GHEYI³, PEDRO HENRIQUE DUARTE DURVAL⁴ e LUCYELLY DÂMELA ARAÚJO BORBOREMA⁵

¹Mestranda, Eng. Agrícola PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, rdrosany@gmail.com;

²DSc. em Engenharia Agrícola, Prof. Adj. CCTA, UFCG, Pombal-PB, geovani.soares@professor.ufcg.edu.br;

³DSc. em Ciências Agrônomicas, Prof. Titular. CTRN, UFCG, Campina Grande-PB, hgheyi@gmail.com;

⁴Graduando, Eng. Agrícola PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, pedro3durval3@gmail.com;

⁵Doutoranda, Eng. Agrícola PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, lucyellyd@gmail.com

RESUMO: O quiabeiro é uma hortaliça de elevado valor nutricional e adaptada a regiões tropicais, inclusive ao semiárido. No entanto, a irrigação com águas salinas pode causar estresse salino e prejudicar o funcionamento fisiológico das plantas. Este estudo avaliou os efeitos da aplicação foliar de quitosana sobre as trocas gasosas do quiabeiro cultivar Santa Cruz 47, cultivado em sistema hidropônico com substrato sob cinco níveis de salinidade da solução nutritiva – CEs_n (2,1; 2,9; 3,7; 4,5 e 5,3 dS m⁻¹) e duas doses de quitosana – Q (0,0 e 0,25 g L⁻¹), em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Avaliaram-se condutância estomática (*g_s*), concentração interna de CO₂ (*C_i*), taxa de transpiração (*E*) e taxa de assimilação de CO₂ (*A*). A salinidade reduziu significativamente essas variáveis, mas a aplicação de quitosana à 0,25 g L⁻¹ atenuou de forma parcial os efeitos do estresse, especialmente nas plantas de quiabeiro cultivadas sob CEs_n de 2,1 dS m⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: Semiárido, condutividade elétrica, cultivar Santa Cruz 47, bioestimulante.

FOLIAR APPLICATION OF CHITOSAN AS A MITIGATOR OF THE EFFECTS OF SALT STRESS ON GAS EXCHANGE IN THE QUIABEIRO

ABSTRACT: Okra is a vegetable with high nutritional value that is well suited to tropical regions, including semi-arid areas. However, irrigation with saline water can cause salt stress and impair the physiological functioning of plants. This study evaluated the effects of foliar application of chitosan on gas exchange in okra cultivar Santa Cruz 47, grown in a hydroponic system with substrate under five levels of nutrient solution salinity – CEs_n (2.1, 2.9, 3.7, 4.5, and 5.3 dS m⁻¹) and two doses of chitosan – Q (0.0 and 0.25 g L⁻¹), in a completely randomized design with four replicates. Stomatal conductance (*g_s*), internal CO₂ concentration (*C_i*), transpiration rate (*E*), and CO₂ assimilation rate (*A*) were evaluated. Salinity significantly reduced these variables, but the application of chitosan at 0.25 g L⁻¹ partially attenuated the effects of stress, especially in okra plants grown under CEs_n of 2.1 dS m⁻¹.

KEYWORDS: Semi-arid, electrical conductivity, Santa Cruz 47 cultivar, biostimulant.

INTRODUÇÃO

O quiabeiro é uma hortaliça de expressivo valor nutricional, sendo fonte de fibras, proteínas, minerais como cálcio, ferro e fósforo, além das vitaminas A, C e B1 (Liu et al., 2019; Romdhane et al., 2020). Apresenta elevada produtividade em regiões tropicais, especialmente por sua adaptação a temperaturas elevadas (Cruz et al., 2024).

No entanto, o semiárido nordestino enfrenta sérios desafios para a produção agrícola devido à irregularidade das chuvas e às altas taxas de evaporação, fatores que agravam a escassez hídrica e comprometem o abastecimento e a economia regional (Insa, 2022). Diante da limitação hídrica, é comum o uso de águas salobras provenientes de poços e açudes para irrigação. Contudo, quando mal manejadas, essas águas podem induzir ao estresse salino, reduzindo o potencial osmótico, dificultando a absorção de nutrientes e afetando o metabolismo vegetal, o que compromete as trocas gasosas, a fotossíntese e o crescimento das plantas (Santana Júnior et al., 2020).

A salinidade configura-se como um dos principais estresses abióticos da agricultura no século 21, com tendência de agravamento devido às mudanças climáticas, especialmente em zonas semiáridas

(Ahmadi; Souri, 2018; Souana et al., 2020). Assim, torna-se indispensável desenvolver estratégias que permitam o uso eficiente da água, ainda que de qualidade inferior (Sabino et al., 2021).

Entre as alternativas promissoras, destaca-se a aplicação foliar de quitosana, cuja eficácia no alívio dos efeitos negativos da salinidade tem sido amplamente investigada. Essa substância atua na regulação iônica e na indução da atividade de enzimas antioxidantes, promovendo maior tolerância das plantas ao estresse salino (Krupa-Małkiewicz & Smolik, 2019; Safikhan et al., 2018).

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação foliar de quitosana sobre as trocas gasosas do quiabeiro cultivar Santa Cruz 47, cultivado em sistema hidropônico com substrato e irrigado com solução nutritiva salina de condutividade elétrica variada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de março a abril de 2025, em casa de vegetação da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em Campina Grande – PB (7°15'18" S, 35°52'28" O, 550 m de altitude). Adotou-se delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×2 , com cinco níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva – CEsn (2,1; 2,9; 3,7; 4,5 e 5,3 dS m⁻¹) e duas concentrações de quitosana – Q (0 e 0,25 g L⁻¹), com quatro repetições.

Foram usados vasos de 10 L, adaptados como lisímetros, preenchidos com areia lavada tratada com peróxido de hidrogênio a 70%. A base de vaso recebeu manta geotêxtil e 3 cm de brita, com um dreno conectado a garrafa PET. A solução nutritiva foi de Hoagland e Arnon (1950), preparada com água local (CE de 0,4 dS m⁻¹). As soluções salinas foram preparadas mantendo proporção equivalente 7:2:1 de Na:Ca:Mg (Medeiros, 1992), adicionado níveis de sais calculados em base da relação entre CE e concentração de sais (Richards, 1954). A quitosana foi dissolvida em ácido acético 0,1 M (6 mL L⁻¹), no momento da aplicação. As trocas gasosas foram avaliadas aos 33 dias após a germinação, medindo-se condutância estomática (*gs*), concentração interna de CO₂ (*Ci*), transpiração (*E*) e assimilação de CO₂ (*A*), com analisador IRGA (modelo LCpro-SD, ADC Bioscientific, UK), sob fluxo fotossintético de 1.200 μmol m⁻² s⁻¹ e fluxo de ar de 200 mL min⁻¹.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett), seguidos de análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$). Quando significativo, aplicou-se regressão polinomial (linear e quadrática) usando o software SISVAR 5.6 (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se efeito significativo ($p \leq 0,01$) da solução nutritiva salina sobre a concentração interna de CO₂ (*Ci*), a transpiração (*E*) e a condutância estomática (*gs*) das plantas. Por outro lado, as concentrações de quitosana, quando analisadas isoladamente, não influenciaram significativamente as variáveis relacionadas às trocas gasosas.

Houve efeito significativo da interação entre a condutividade elétrica da solução nutritiva e a aplicação de quitosana (CEsn \times Q) sobre a concentração interna de CO₂ (*Ci*) e a condutância estomática (*gs*) ($p \leq 0,01$), bem como sobre a transpiração (*E*) ($p \leq 0,05$) do quiabeiro cultivar Santa Cruz 47, aos 33 dias após a germinação (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para concentração interna de CO₂ (*Ci*), transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*) e taxa de assimilação de CO₂ (*A*) das plantas do quiabeiro cv. Santa Cruz 47 cultivado sob solução nutritiva salina (CEsn) e concentrações de quitosana (Q) em sistema de hidroponia com substrato, aos 33 dias após a germinação.

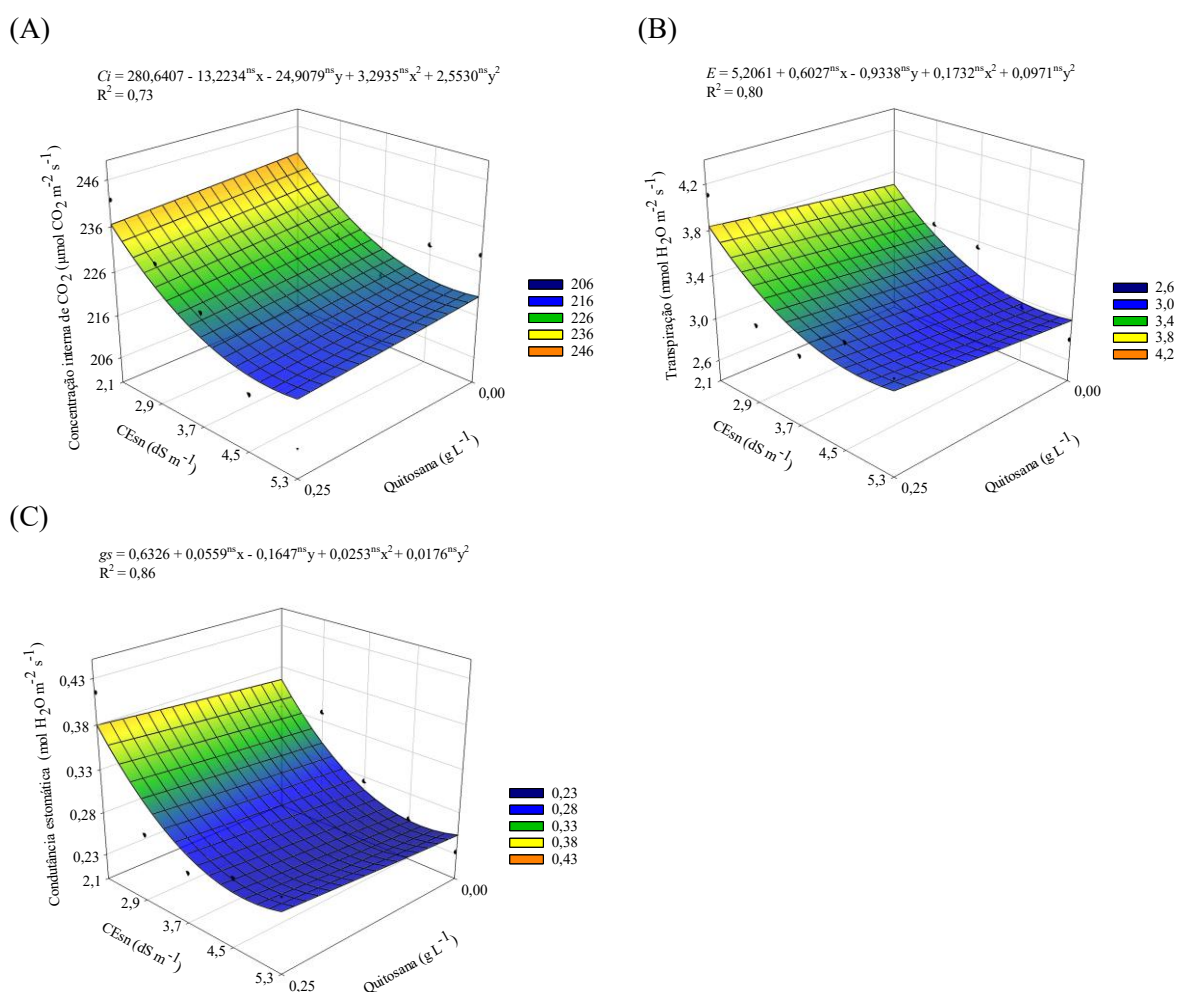
Fontes de variação	Quadrados médios				
	GL	<i>Ci</i>	<i>E</i>	<i>gs</i>	<i>A</i>
Solução nutritiva salina (CEsn)	4	548,96**	0,76**	0,01**	9,63 ^{ns}
Regressão linear	1	1825,81**	2,37**	0,06**	34,02 ^{ns}
Regressão quadrática	1	299,008 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,01**	3,60 ^{ns}
Quitosana (Q)	1	96,10 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,002 ^{ns}	1,25 ^{ns}
Regressão linear	1	96,10 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,002 ^{ns}	1,25 ^{ns}

Regressão quadrática	1	0,00001 ^{ns}	0,00001 ^{ns}	0,00001 ^{ns}	0,00001 ^{ns}
Interação (CESn x Q)	4	466,16 ^{**}	0,38 [*]	0,006 ^{**}	8,96 ^{ns}
Resíduo	30	79,21	0,11	0,001	8,93
CV (%)		3,95	10,22	13,06	16,04

ns, * e ** não significativo, significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. CV: coeficiente de variação. GL: graus de liberdade

A concentração interna de CO₂ (Ci) foi significativamente influenciada pelo aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva (CESn). O maior valor (239,59 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) foi observado na CESn de 2,1 dS m⁻¹, sem aplicação de quitosana (0,0 g L⁻¹) (Figura 1A). Contudo, o menor valor médio (217,15 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) foi registrado sob CESn de 4,5 dS m⁻¹ associada à aplicação de 0,25 g L⁻¹ de quitosana, representando uma redução de 10,33%. Esses resultados indicam que, nas condições avaliadas, a aplicação foliar de quitosana não promoveu melhorias na concentração interna de CO₂.

Figura 1. Concentração interna de CO₂ – Ci (A), Transpiração - E (B) e condutância estomática – gs (C), do quiabeiro cv. Santa Cruz 47 em sistema hidropônico com substrato, em função da interação entre os níveis de CESn e concentrações de quitosana, aos 33 dias após a germinação.



^{ns}, não significativo pelo teste F. X e Y representam concentrações de quitosana e os níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva – CESn.

Devido ao estresse salino, as plantas tendem a promover o fechamento dos estômatos como forma de reduzir a perda de água por transpiração. No entanto, esse fechamento estomático parcial também limita a entrada de CO₂ na câmara subestomática. Quanto menor a abertura dos estômatos, menor é o influxo de CO₂ para essa câmara e, conseqüentemente, para o sítio de carboxilação da enzima RuBisCO, localizado no interior dos cloroplastos. Esse mecanismo resulta na redução da assimilação de CO₂, da fotossíntese e da eficiência no uso da água (Dias et al., 2018).

A transpiração apresentou comportamento semelhante ao da concentração interna de CO₂, com redução progressiva à medida que se elevou a salinidade da solução nutritiva. O maior valor (3,83 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) foi registrado na condutividade elétrica da solução nutritiva (CESn) de 2,1 dS m⁻¹, associada à dose de 0,25 g L⁻¹ de quitosana (Figura 1B). Em comparação, o menor valor (2,97 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) foi observado na CESn de 4,5 dS m⁻¹, sem aplicação de quitosana (0,0 g L⁻¹). Comparando esses dois tratamentos, houve uma redução de 22,45% na transpiração, evidenciando o efeito negativo da salinidade elevada sobre essa variável fisiológica.

A redução da transpiração sob condições de estresse salino também está diretamente relacionada ao fechamento estomático, uma resposta adaptativa das plantas para evitar a desidratação dos tecidos. A transpiração desempenha um papel fundamental na manutenção do potencial hídrico, influenciando diretamente o equilíbrio de água na parede celular, no xilema e nos espaços intracelulares. Esse processo é essencial para a absorção eficiente de água e nutrientes pelas raízes (Taiz et al., 2017).

Com relação à condutância estomática, o maior valor (0,379 mol H₂O m⁻² s⁻¹) foi observado sob CESn de 2,1 dS m⁻¹, associada à aplicação de quitosana na concentração de 0,25 g L⁻¹ (Figura 1C). Em contrapartida, o menor valor médio (0,247 mol H₂O m⁻² s⁻¹) foi registrado na CESn de 4,5 dS m⁻¹, sem aplicação do bioestimulante (0,0 g L⁻¹). Essa diferença representa uma redução de 34,82%, evidenciando o efeito negativo da salinidade elevada sobre a abertura estomática, especialmente na ausência da quitosana.

A diminuição da condutância estomática é considerada um dos principais mecanismos fisiológicos de defesa das plantas sob estresse salino. Esse fechamento parcial dos estômatos limita a perda de água por transpiração para a atmosfera e, simultaneamente, contribui para restringir a absorção excessiva de íons potencialmente tóxicos, como o sódio e o cloreto (Dias et al., 2019).

CONCLUSÃO

O incremento da salinidade na solução nutritiva promoveu efeitos negativos significativos sobre as trocas gasosas do quiabeiro cultivar Santa Cruz 47, com reduções na concentração interna de CO₂, na taxa de transpiração e na condutância estomática. Tais efeitos podem ser atribuídos ao fechamento estomático, mecanismo adotado pelas plantas como resposta ao estresse salino, visando minimizar a perda de água.

No entanto, a aplicação foliar de quitosana, especialmente na dose de 0,25 g L⁻¹, contribuiu para mitigar parcialmente os efeitos deletérios do estresse salino, promovendo melhores desempenhos fisiológicos, principalmente sob condutividade elétrica de 2,1 dS m⁻¹.

REFERÊNCIAS

- Ahmadi, M.; Souri, M. K. Growth and mineral elements of coriander (*Corianderum sativum* L.) plants under mild salinity with different salts. **Acta Physiologia Plantarum**, v. 40, p. 94-99, 2018.
- Cruz, V. C. da; Mariano, D. de C.; Ebling, Ângelo A.; Amaral, V. M.; Viégas, I. de J. M.; Oliveira Neto, C. F. de; Franco, A. A. N.; Okumura, R. S. Aplicação de hidrogel na produção de mudas de quiabo. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 7, p. e5631, 2024.
- Dias, A. S. et al. Gas exchanges and photochemical efficiency of west Indian cherry cultivated with saline water and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 22: 628-633, 2018.

- Dias, A. S.; Lima, G. S. de; Pinheiro, F. W. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A. Gas exchanges, quantum yield and photosynthetic pigments of west indian cherry under salt stress and potassium fertilization. **Revista Caatinga**, v.32, n.2, p.429-439, 2019.
- Ferreira, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split-plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, p. 529-535, 2019.
- Hoagland, D. R.; Arnon, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. Circular. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, v. 347, p. 32, 1950.
- Instituto Nacional do Semiárido. **O semiárido brasileiro**. (2022). Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiario-brasileiro>. Acesso em: 22 julho. 2025.
- Krupa-Malkiewicz, M.; Smolik, B. Alleviative effects of chitosan and ascorbic acid on *Petunia × atkinsiana* D. Don under salinity. **European Journal of Horticultural Science**, v.84 n.6, p.359-365, 2019.
- Liu, Y.; QI, J.; Luo, J.; Qin, W.; Luo, Q.; Zhang, Q.; Wu, D.; LIN, D.; Li, S.; Dong, H.; Chen, D.; Chen, H. Okra in food field: Nutritional value, health benefits and effects of processing methods on quality. **Food Reviews International**, v. 36, p. 1- 24, 2019.
- Medeiros, J. F. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE**. 1992. 196p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba - Campus II Campina Grande - Brasil, 1992.
- Richards, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook No. 60, p. 7-53, 1954. DOI: 10.1097/00010694-195408000-00012.
- Romdhane, M.H.; Chahdoura, H.; Barros, L.; Dias, M.I.; Corrêa, R.C.G.; Morales, P.; Ciudad-Mulero, M.; Flamini, G.; Majdoub, H.; Ferreira, I.C.F.R. Chemical composition, nutritional value, and biological evaluation of tunisian okra pods (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). **Molecules**, v. 25, p. 1-15, 2020.
- Sabino, F. C., Souza, L. S. B., Souza, M. A. G., Barros, J. P. A., Lucena, L. R. R., Jardim, A. M. R. F., Rocha, A. K. P., Silva, T. G. F. Morphological characteristics, biomass accumulation and gas exchange of an important species native for restoration in Semi-arid Brazilian areas affected by salt and water stress. **Plant Stress 2**. 2021.
- Safikhan, S.; Khoshbakht, K.; Chaichi, M. Role of chitosan on the growth, physiological parameters and enzymatic activity of milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.) in a pot experiment. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v.10, p.49- 58, 2018.
- Santana Júnior, E. B.; Coelho, E. F.; Gonçalves, K. S.; Cruz, J. L. Comportamento fisiológico e vegetativo de cultivares de bananeira sob salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 82-88, 2020.
- Souana, K.; Taïbi, K.; Ait Abderrahim, L.; Amirat, M.; Achir, M.; Boussaid, M.; Mulet-Salort, J. M. Salt-tolerance in *Vicia faba* L. is mitigated by the capacity of salicylic acid to improve photosynthesis and antioxidant response. **Scientia Horticulturae**, v. 273, p. 1-12, 2020.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed, Porto Alegre, Brazil, 6.ed. 858p. 2017.