

## TROCAS GASOSAS DO QUIABEIRO SOB ESTRESSE SALINO E APLICAÇÃO DE QUITOSANA EM CULTIVO HIDROPÔNICO COM SUBSTRATO

ROSANY DUARTE SALES<sup>1</sup>, GEOVANI SOARES DE LIMA<sup>2</sup>, HANS RAJ GHEYI<sup>3</sup>,  
THIAGO FILIPE DE LIMA ARRUDA<sup>4</sup>, DENIS SOARES COSTA<sup>4</sup>, KHEILA GOMES NUNES<sup>4</sup>

**RESUMO:** O excesso de sais na água de irrigação afeta negativamente os processos fisiológicos das plantas, comprometendo seu crescimento e produtividade. Desse modo, a identificação de estratégias de mitigação do estresse salino nas plantas é fundamental para produção agrícola. Neste contexto, objetivou-se com esta pesquisa avaliar o efeito da aplicação foliar de quitosana nas trocas gasosas do quiabeiro cv. Santa Cruz 47 em função da solução nutritiva salina com distintos níveis de condutividade elétrica em sistema hidropônico com substrato. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizados em esquema fatorial  $5 \times 4$ , sendo cinco níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva - CEsn (2,1; 2,9; 3,7; 4,5 e 5,3 dS m<sup>-1</sup>) e quatro concentrações de quitosana (0; 0,25; 0,50 e 0,75 g L<sup>-1</sup>), com quatro repetições. As trocas gasosas foram avaliadas aos 36 dias após a germinação (DAG), medindo-se a condutância estomática – *g<sub>s</sub>*, (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), a concentração interna de CO<sub>2</sub> – *C<sub>i</sub>* (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), a transpiração *E* – (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> – *A* (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). As medições foram realizadas com analisador de gás infravermelho (IRGA, modelo LCpro–SD, ADC Bioscientific, UK). Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett) e, posteriormente, foi realizada a análise de variância pelo teste “F” ao nível de  $p \leq 0,05$ . Nos casos em que houve significância para os níveis salinos da solução nutritiva e concentrações de quitosana, foi realizada a análise de regressão (linear e polinomial quadrática), utilizando o software SISVAR 5.6. A salinidade da solução nutritiva com condutividade elétrica a partir de 2,1 dS m<sup>-1</sup> afetou negativamente as trocas gasosas foliares do quiabeiro, aos 36 dias após a germinação. A aplicação foliar de quitosana em concentrações de até 0,75 g L<sup>-1</sup> não afetou as trocas gasosas do quiabeiro cv. Santa Cruz 47.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Abelmoschus esculentus* L., estresse abiótico, semiárido

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

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

<sup>3</sup> DSc. em Ciências Agronômicas, Prof. Titular. CTRN, UFCG, Campina Grande-PB, hgheiy@gmail.com;

<sup>4</sup> Doutorando, Eng. Agrícola PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, thiago.filipe.la@gmail.com;  
deniscosta1313@gmail.com; kheilagomesnunes@gmail.com

## **GAS EXCHANGE IN OKRA UNDER SALINE STRESS AND CHITOSAN APPLICATION IN SUBSTRATE-BASED HYDROPONIC CULTIVATION**

**ABSTRACT:** Excess salts in irrigation water negatively affect plant physiological processes, compromising their growth and productivity. Thus, identifying strategies to mitigate salt stress in plants is essential for agricultural production. In this context, the objective of this research was to evaluate the effect of foliar application of chitosan on gas exchange in okra cv. Santa Cruz 47 as a function of saline nutrient solution with different levels of electrical conductivity in a hydroponic system with substrate. A completely randomized experimental design was used in a  $5 \times 4$  factorial scheme, with five levels of electrical conductivity of the nutrient solution - CEs<sub>n</sub> (2.1; 2.9; 3.7, 4.5, and 5.3 dS m<sup>-1</sup>) and four concentrations of chitosan (0, 0.25, 0.50, and 0.75 g L<sup>-1</sup>), with four replicates. Gas exchange was evaluated 36 days after germination (DAG) by measuring stomatal conductance –  $g_s$ , (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), internal CO<sub>2</sub> concentration –  $C_i$  (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), transpiration  $E$  – (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), and CO<sub>2</sub> assimilation rate –  $A$  (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Measurements were performed with an infrared gas analyzer (IRGA, model LCpro–SD, ADC Bioscientific, UK). The data obtained were submitted to normality (Shapiro-Wilk) and homogeneity (Bartlett) tests, and subsequently, analysis of variance was performed using the “F” test at a level of  $p \leq 0.05$ . In cases where there was significance for the saline levels of the nutrient solution and chitosan concentrations, regression analysis (linear and quadratic polynomial) was performed using SISVAR 5.6 software. The salinity of the nutrient solution with electrical conductivity above 2.1 dS m<sup>-1</sup> negatively affected the gas exchange of the okra plant 36 days after germination. Foliar application of chitosan at concentrations up to 0.75 g L<sup>-1</sup> did not affect the gas exchange of the okra plant cv. Santa Cruz 47.

**KEYWORDS:** *Abelmoschus esculentus* L., abiotic stress, semi-arid

### **INTRODUÇÃO**

O quiabeiro (*Abelmoschus esculentus* L. Moench), da família Malvaceae e originário da África, é amplamente consumido no Brasil, com adaptação ao clima tropical e subtropical (Santos et al., 2019). Dentre as cultivares de quiabeiro, destaca-se a Santa Cruz 47, devido ao seu vigor e internódios curtos, podendo atingir até três metros de altura, dependendo do espaçamento (Filgueira, 2008).

No semiárido brasileiro, nas fontes hídricas é comum a ocorrência de altas concentrações de sais dissolvidos, especialmente de sódio, restringindo o seu uso na agricultura (Walter et al., 2018).

Neste contexto, é essencial a busca por alternativas capazes de amenizar os efeitos do estresse salino sobre as plantas. Dentre as alternativas destaca-se a aplicação foliar de quitosana (Bressanin et al., 2018). A quitosana pode ser aplicada tanto por meio da pulverização foliar quanto pela adição ao solo, visando promover a tolerância das plantas a condições de estresse e aprimorar seu desempenho fisiológico. Tal resposta está associada à indução de enzimas chave envolvidas nos mecanismos de defesa frente aos estresses abióticos (Balusamy et al., 2022). Desse modo, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da aplicação foliar de quitosana sobre as trocas gasosas do quiabeiro cv. Santa Cruz 47, cultivado sob solução nutritiva salina de condutividade elétrica variada em sistema hidropônico com substrato.

## **MATERIAL E MÉTODOS:**

O estudo foi conduzido no período de março a abril de 2025, em casa de vegetação pertencente a Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizada em Campina Grande, Paraíba (PB), com coordenadas geográficas 7°15'18" de latitude Sul, 35°52'28" de longitude Oeste e altitude média de 550 m.

A pesquisa foi realizada em delineamento inteiramente casualizados em esquema fatorial  $5 \times 4$  com cinco níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva CESn - (2,1; 2,9; 3,7; 4,5 e 5,3  $\text{dS m}^{-1}$ ) e quatro concentrações de (0; 0,25; 0,50 e 0,75  $\text{g L}^{-1}$ ) de quitosana, com quatro repetições. As concentrações de quitosana foram estabelecidas a partir do estudo de Borborema (2025). Foi estudado o quiabeiro cv. Santa Cruz 47.

Utilizaram-se vasos de 10 L adaptados como lisímetros de drenagem, preenchidos com areia lavada tratada com peróxido de hidrogênio a 70%. Para coleta e recirculação da solução nutritiva foram utilizadas garrafas plásticas com 2 L de capacidade. A solução nutritiva foi preparada de acordo com recomendação de Hoagland e Arnon (1950), utilizando-se água de abastecimento local com condutividade elétrica – CE de 0,4  $\text{dS m}^{-1}$ , resultando em uma CE final de 2,1  $\text{dS m}^{-1}$ .

No preparo das soluções nutritivas salinas foram consideradas a proporção equivalente de 7:2:1 entre Na;Ca;Mg, respectivamente, conforme Medeiros (1992). No preparo das soluções salinas foi considerada a relação entre a CE e as concentrações de sais (Richards, 1954).

A quitosana foi preparada em cada evento de aplicação, dissolvendo-se o produto em ácido acético 0,1 M (6 mL L<sup>-1</sup>), e visando a quebra da tensão da molécula de água, foi aplicado um espelhante adesivo na proporção de 0,5 ml L<sup>-1</sup>.

As trocas gasosas foram avaliadas aos 36 dias após a germinação (DAG), medindo-se a condutância estomática – *gs*, (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), a concentração interna de CO<sub>2</sub> – *Ci* (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), a transpiração *E* – (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> – *A* (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). As medições foram realizadas com analisador de gás infravermelho (IRGA, modelo LCpro–SD, ADC Bioscientific, UK), sob densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de 1.200 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e fluxo de ar de 200 mL min<sup>-1</sup>.

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett) e, posteriormente, foi realizada a análise de variância pelo teste “F” ao nível de 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ). Nos casos em que houve significância para os níveis salinos da solução nutritiva e concentrações de quitosana, foi realizada a análise de regressão polinomial (linear e quadrática), utilizando o software SISVAR 5.6 (Ferreira, 2019).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) dos níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva salina sobre a condutância estomática (*gs*), a concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), a transpiração (*E*) e a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*) do quiabeiro cv. Santa Cruz 47. As concentrações de quitosana e a interação (CEsn × Q) não influenciaram de forma significativa as variáveis de trocas gasosas do quiabeiro cv. Santa Cruz 47, aos 36 dias após a germinação.

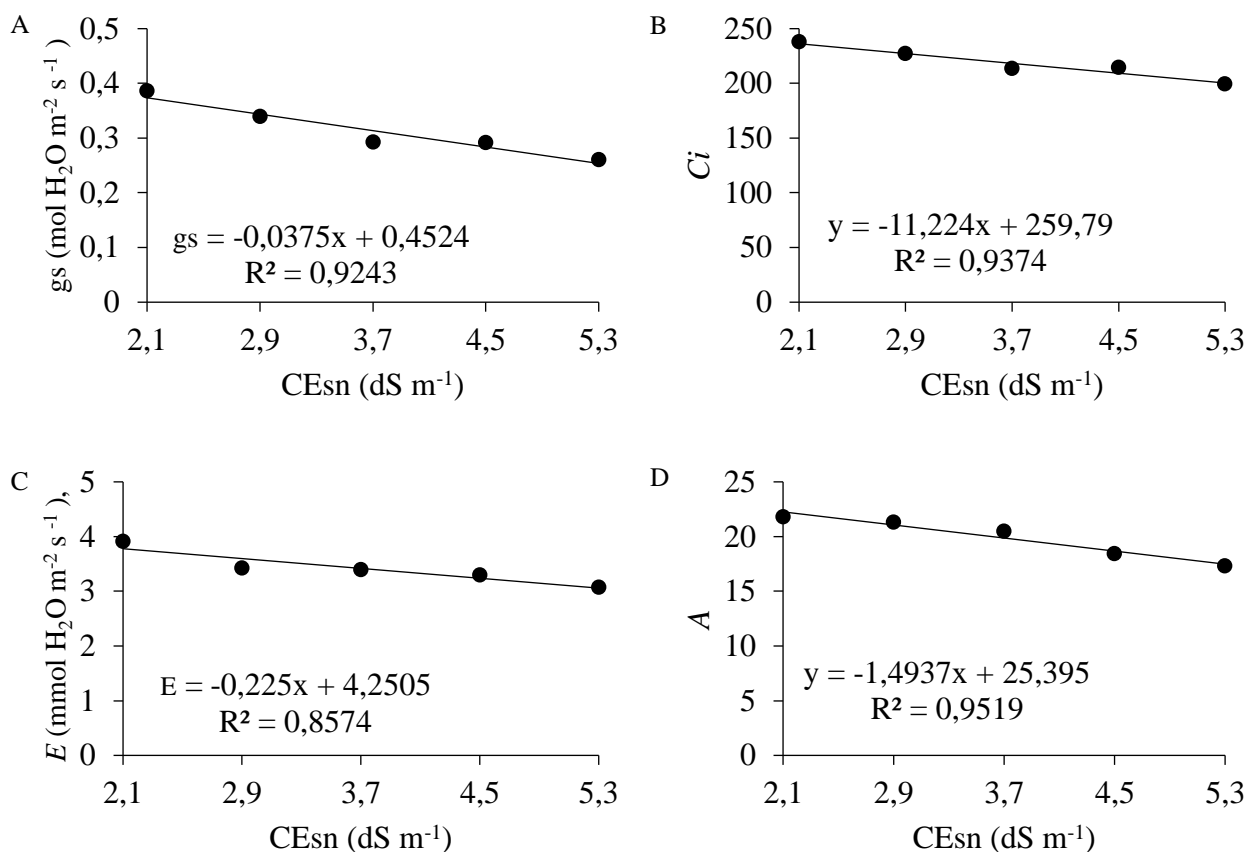
**Tabela 1.** Resumo da análise de variância para condutância estomática (*gs*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), transpiração (*E*) e taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), do quiabeiro cv. Santa Cruz 47 sob soluções nutritivas com distintos níveis de condutividade elétrica (CEsn) e aplicação foliar de quitosana, aos 36 dias após a germinação (DAG).

Fontes de variação	Quadrados médios				
	GL	<i>gs</i>	<i>Ci</i>	<i>E</i>	<i>A</i>
Solução nutritiva salina (CEsn)	4	0,0395**	3446,76**	1,506**	59,83**
Regressão linear	1	0,1464**	12924,025**	5,15**	228,03**
Regressão quadrática	1	0,00708 <sup>ns</sup>	28,571 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	7,06 <sup>ns</sup>
Quitosana (Q)	3	0,000955 <sup>ns</sup>	848,68 <sup>ns</sup>	0,301 <sup>ns</sup>	5,97 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	0,000756 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,141 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	0,00105 <sup>ns</sup>	2289,81 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	9,52 <sup>ns</sup>
Interação (CEsn x Q)	12	0,006516 <sup>ns</sup>	216,65 <sup>ns</sup>	0,322 <sup>ns</sup>	6,57 <sup>ns</sup>
Resíduo	60	0,00189	360,88	0,226	5,85
CV (%)		13,85	8,7	13,92	12,17

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 condutância estomática ( $g_s$ ) das plantas de quiabo diminuiu de forma linear com o incremento dos níveis de CEsn (Figura 1A). sendo o decréscimo de 8,28% por incremento unitário da CEsn. Comparando-se as plantas cultivadas sob CEsn de  $5,3 \text{ dS m}^{-1}$  em relação as que receberam  $2,1 \text{ dS m}^{-1}$ , verifica-se decréscimo de 32,64%. Tais resultados podem estar relacionados ao estresse salino, o qual pode ter desencadeado o fechamento estomático como mecanismo de defesa, visando à redução da perda de água por transpiração. A redução na abertura dos estômatos representa uma estratégia adotada pelas plantas para conservar a água e preservar a hidratação celular (Dias et al., 2019).

Estudos realizado por Lopes (2021) que avaliou a morfofisiologia, a produção, o consumo hídrico e a eficiência no uso da água de quiabeiro sob irrigação com águas de diferentes níveis salinos, também encontrou resultados semelhantes com relação à condutância estomática, onde a variável diminuiu linearmente (4,33%) com o aumento da salinidade da água nas plantas de quiabeiro.



**Figura 1.** Condutância estomática -  $g_s$  (A), concentração interna de  $\text{CO}_2$  -  $C_i$  (B), transpiração -  $E$  (C) e taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  -  $A$  (D), do quiabeiro cv. Santa Cruz 47, em função da solução nutritiva salina - CEsn em sistema hidropônico com substrato, aos 36 dias após a germinação.

O aumento da salinidade da solução nutritiva diminuiu linearmente a concentração interna de CO<sub>2</sub> (Figura 1B), transpiração (Figura 1C) e taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (Figura 1D), cujos decréscimos entre CEs<sub>n</sub> de 2,1 e 5,3 dS m<sup>-1</sup> foram de 15,20%, 19,05% e 21,47%, respectivamente.

A redução na concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*) indica que o carbono assimilado pelas células do mesofilo está sendo efetivamente utilizado na biossíntese de açúcares durante a fotossíntese (Dias et al., 2018). Mesmo que as plantas estejam sendo submetidas ao estresse salino. Além disso, pode estar relacionada à menor difusão de CO<sub>2</sub> até os cloroplastos ou, ainda, a uma resposta fisiológica compensatória, na qual a planta mantém a atividade fotossintética mesmo sob condições ambientais desfavoráveis (Dias et al., 2018; Dantas et al., 2021).

Em experimento conduzido por Dantas et al. (2021), com abobrinha italiana cultivada em sistema hidropônico, sob diferentes níveis de salinidade das soluções nutritivas e aplicação foliar de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, foi observado que a concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*) reduziu-se de forma proporcional ao aumento da salinidade, com decréscimo médio de 4,04% por unidade de incremento na condutividade elétrica da solução nutritiva (CE<sub>s</sub><sub>n</sub>). Resultados semelhante ao que se verificou na presente pesquisa.

Os resultados observados para transpiração e taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> podem ser explicados de forma que, em condições de estresse salino, as plantas costumam realizar o fechamento parcial dos estômatos e diminuir a taxa de transpiração, estratégia eficaz para minimizar a perda de água e limitar a absorção de sais presentes na solução. (Dias et al., 2019).

A redução na assimilação de CO<sub>2</sub> em plantas cultivadas sob elevada salinidade da solução nutritiva reflete a diminuição do consumo de carbono no ciclo de Calvin, causada por limitações na difusão de CO<sub>2</sub> para a câmara subestomática (Pan et al., 2021).

Segundo pesquisa realizada por Torres (2025), ao avaliar os efeitos da aplicação foliar de ácido salicílico na fisiologia, produção e qualidade pós-colheita de frutos de tomate cereja cultivado em sistema hidropônico (Nutrient Film Technique), constatou-se uma diminuição na transpiração e na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> com o aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva.

## CONCLUSÕES

A salinidade da solução nutritiva com condutividade elétrica a partir de 2,1 dS m<sup>-1</sup> afetou negativamente as trocas gasosas foliares (condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub>, transpiração e taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>) do quiabeiro, aos 36 dias após a germinação.

As aplicações foliares de quitosana de até 0,75 g L<sup>-1</sup> não promoveram alterações significativas nas trocas gasosas do quiabeiro cv. Santa Cruz 47.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F. H. A.; PEREIRA, W. E.; MORAIS, R. R.; SILVA, A. F. da; NETO, M. A. B. Effect of phosphorus application on substrate and use of saline water in sugar-apple seedlings. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, p. 190-199, 2018.

BALUSAMY, S. R.; RAHIMI, S.; SUKWEENADHI, J.; SUNDERRAJ, S.; SHANMUGAM, R.; THANGAVELU, L.; MIJAKOVIC, I.; PERUMALSAMY, H. Chitosan, chitosan nanoparticles and modified chitosan biomaterials, a potential tool to combat salinity stress in plants. **Carbohydrate Polymers**, v. 284, e.119189, 2022.

BORBOREMA, L. D. A.; SILVA, A. A. R.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; SOUZA, W. B. B.; MENDONÇA, A. J. T.; NASCIMENTO, F. S. Morfofisiologia de feijão-caupi sob estresse salino e aplicação de quitosana em área semiárida. **Water Resources and Irrigation Management-WRIM**, v. 14, n. 1-3, p. 30-47, 2025.

DANTAS, M. V.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; PINHEIRO, F. W. A.; SILVA, L. de A.; FERNANDES, P. D. Summer squash morphophysiology under salt stress and exogenous application of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in hydroponic cultivation. **Comunicata Scientiae**, v.12, n.1, e3464, 2021.

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.

DIAS, A. S.; LIMA, G. S. de; SÁ, F. V. da S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; FERNANDES, P. D. Gas exchanges, quantum yield and photosynthetic pigments of West Indian cherry under salt stress and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.9, p.628-633, 2018.

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.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2008.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. Circular. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, v. 347, 1950. 32p.

LIMA, G. S. de; SOUZA, C. M. A. de; NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. dos A.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, L. F. et al. Gas exchanges, growth and production of okra cultivated with saline water and silicon fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, p. 1937- 1950, 2020.

LOPES, I. A. P. **Aplicação exógena de peróxido de hidrogênio como atenuante ao estresse salino em quiabeiro**. 2021. 57p. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB.

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.

MELO, A. S de; SILVA JUNIOR, C. D.; FERNANDES, P. D.; SOBRAL, L. F.; BRITO, M. E. B.; DANTAS, J. D. M. Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação. **Ciência Rural**, v.39, p.733-741, 2009.

MENDONÇA, A. J. T. **Ecofisiologia de quiabeiro sob soluções nutritivas salinas e ácido salicílico em cultivo hidropônico**. 2023. 84p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.

MODESTO, F. J. N.; SANTOS, M. A. C. dos; SOARES, T. M.; SANTOS, E. P. M. dos. Crescimento, produção e consumo hídrico do quiabeiro submetido à salinidade em condições hidropônicas. **Irriga**, v. 24, n. 1, p. 86-97, 2019.

PAN, T.; Liu, M.; KRESLAVSKI, V. D.; ZHARMUKHAMEDOV, S. K.; NIE, C.; Yu, M.; SHABALA, S. Non-stomatal limitation of photosynthesis by soil salinity. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 51, p. 791 - 825, 2021.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook No. 60, 1954. 160p. DOI: 10.1097/00010694-195408000-00012.

SANTOS, H. C.; PEREIRA, E. M.; MEDEIROS, R. L. S.; COSTA, P. M. A.; PEREIRA, W. E. Production and quality of okra produced with mineral and organic fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 97-102, 2019.

TORRES, R. A. F. **Cultivo hidropônico de tomate cereja utilizando-se solução nutritiva salobra e aplicação de ácido salicílico**. 2025. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.

WALTER, J.; LÜCK, E.; BAURIEGEL, A.; FACKLAM, M.; ZEITZ, J. Seasonal dynamics of soil salinity in peatlands: A Geophysical Approach, **Geodema**, v. 310, p. 1-11, 2018.