

SALINIDADE DA ÁGUA ALTERA ATIVIDADE DA QUINONA EM PORTA- ENXERTOS SESNÍVEIS DE CITROS

Rebeka dos Anjos Oliveira¹, Kleyton Karlos Correia Santos¹, Tainá Alves da Silva², Celso Fellype Rodrigues Andrade¹, Walter dos Santos Soares Filho³, Marcos Eric Barbosa Brito⁴

RESUMO: A fotossíntese é prejudicada pela salinidade, devido ao acúmulo de íons Na^+ que afetam o metabolismo celular e comprometem a eficiência do fotossistema II (PSII). Assim, objetivou-se avaliar a eficiência fotossintética de genótipos de citros sob diferentes níveis de salinidade, através da fluorescência da clorofila a. Estudou-se cinco genótipos de citros, sendo o híbrido TSKC x CTSW – 033, o BRS Pompeu, o BRS Bravo, o BRS Santana e o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (0,14, 1,5, 3,0, 4,5 e 6,0 dS m^{-1}). Aos 180 dias após a semeadura, realizou-se avaliação de fluorescência por meio do protocolo OJIP para obter as variáveis: fração da fluorescência variável no ponto J (Vj), índice de performance (PI), taxa inicial de fechamento dos centros de reação (Mo) e fração da energia absorvida usada para reduzir QA (TRo/ABS). A salinidade afetou de forma distinta os genótipos avaliados. O híbrido TSKC x CTSW-033 destacou-se com menores valores de Vj e Mo, além de maiores PI e TRo/ABS, indicando maior estabilidade dos centros de reação e melhor aproveitamento da energia luminosa. Os resultados demonstram o potencial desse genótipo em manter elevada eficiência fotossintética mesmo sob condições salinas.

PALAVRAS-CHAVE: *Citrus* spp, Fotossíntese, genótipos.

¹ Graduanda em Engenharia Agrônoma, Departamento de Engenharia Agrônoma (DEAS), Campus do Sertão, Universidade Federal de Sergipe (UFS), CEP 49680-000, Nossa Senhora da Glória, SE, Brasil, e-mail: rebekaoliveira@academico.ufs.br;

² Mestranda em Recursos Hídricos, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe (UFS);

³ Pesquisador A, Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, Brasil, Bolsista de Produtividade do CNPq.

⁴ Prof. Dr. DEAS, CAMPUSSE, UFS, SE, Bolsista de produtividade do CNPq.

SALINE WATER CHANGE QUINONE ACTIVITY IN SENSITIVE CITRUS ROOTSTOKS

ABSTRACT: Photosynthesis can be impaired by salinity due to the accumulation of Na⁺ ions, which affect cellular metabolism and compromise the efficiency of photosystem II (PSII). This study aimed to evaluate the photosynthetic efficiency of citrus genotypes under different salinity levels through chlorophyll a fluorescence analysis. The experiment was conducted in a protected environment using five citrus genotypes (TSKC x CTSW – 033, BRS Pompeu, BRS Bravo, BRS Santana e o ‘Santa Cruz Rangpur’ lime) under five levels of irrigation water electrical conductivity (0.14, 1.5, 3.0, 4.5 and 6.0 dS m⁻¹). At 180 days after sowing, chlorophyll a fluorescence was measured using the OJIP test to obtain the following variables: fraction of variable fluorescence at the J-step (V_j), performance index (PI), initial rate of reaction center closure (M_o), and fraction of absorbed energy used to reduce QA (TR_o/ABS). Salinity differently affected the genotypes evaluated. The hybrid TSKC × CTSW-033 stood out with lower V_j and M_o values and higher PI and TR_o/ABS, indicating greater stability of reaction centers and more efficient use of absorbed light energy. The results highlight the potential of this genotype to maintain high photosynthetic efficiency even under saline conditions.

KEYWORDS: Citrus spp, Photosynthesis, genotypes

INTRODUÇÃO

A fotossíntese é um processo vital para o crescimento vegetal, porém, é prejudicada quando as plantas estão sob ambientes salinos (Barbosa et al., 2017). Isso ocorre porque a absorção excessiva de íons sódio (Na⁺) pelas raízes promove um desequilíbrio hídrico e osmótico na planta, desencadeando estresse fisiológico (Arif et al., 2020).

O acúmulo de Na⁺ nas células interfere em processos bioquímicos, fisiológicos e moleculares, afetando o metabolismo celular (Shahid et al., 2020). Como consequência, há uma diminuição do potencial osmótico e hídrico, o que estimula a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) como o oxigênio singlete (¹O₂), superóxido (O₂⁻), peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e radicais hidroxila (OH), principalmente nos cloroplastos e mitocôndrias (Ahammed et al., 2018; Li et al., 2019; Siddiqui et al., 2020; Yi et al., 2018).

O ambiente oxidativo ocasionado pelo estresse salino compromete a atividade do fotossistema II (PSII), afetando seus centros de reação, prejudicando o complexo responsável

pela evolução do oxigênio e reduzindo a atuação dos aceptores de elétrons como a quinona (Betzen et al., 2019; Kalaji et al., 2018). O PSII, constituído por um conjunto de proteínas e pigmentos, é especialmente vulnerável à salinidade (Messedi et al., 2016). Entre seus componentes, destaca-se a proteína D1, que é frequentemente danificada pelas EROs em ambientes salinos, favorecendo a fotoinibição (Asrar et al., 2017).

O monitoramento do desempenho do PSII via fluorescência da clorofila a, avaliada pelo teste OJIP, é uma técnica eficiente, não destrutiva e bastante utilizada para analisar a atividade fotossintética (Guidi et al., 2019). Além disso, essa abordagem permite observar o fluxo de energia durante o processo fotossintético (Kalaji et al., 2017).

O teste OJIP, que se baseia na análise da fluorescência da clorofila a, tem se mostrado uma ferramenta eficiente para investigar como o sistema fotossintético, e responde a diversos tipos de estresses abióticos (Rastogi et al., 2020a). Por meio desse teste, é possível obter informações detalhadas sobre a organização estrutural e o funcionamento do fotossistema II (PSII), além de avaliar o potencial de transporte eletrônico nas membranas dos tilacoides (Kalaji et al., 2011).

Assim, objetivou-se avaliar a eficiência fotossintética de genótipos de citros por meio de parâmetros da fluorescência da clorofila a, incluindo a fração da fluorescência variável no ponto J (V_j), o índice de performance do aceptor primário QA (PI), a taxa inicial de fechamento dos centros de reação do fotossistema II (M_o) e a fração da energia absorvida utilizada na redução de QA (TR_o/ABs).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em ambiente protegido (casa-de-vegetação) no campo experimental da Embrapa semiárido localizado, em Graccho Cardoso- Se, onde se tem clima do tipo 'As', ou seja, Tropical quente e seco.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com tratamentos formados a partir de parcelas subdivididas, estando nas parcelas cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa), correspondentes a 0,14; 1,5; 3,0, 4,5 e 6,0 dS m^{-1} . Nas subparcelas foram testados cinco genótipos de citros, todos provenientes do programa de melhoramento genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura (PMG-Citros), sendo eles o híbrido de tangerineira Sunki (*Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka) Comum (TSKC) com citrumelo Swingle [*C. ×paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (L.) Raf.] (CTSW) – 033 (TSKC

x CTSW – 033), o BRS Pompeu, o BRS Bravo, o BRS Santana [híbrido trifoliado de laranjeira ‘Pera’ (*C. ×sinensis*) com citrange (*C. ×sinensis* x *P. trifoliata*) ‘Yuma’] e o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (*C. ×limonia* L. Osbeck). A combinação das parcelas com as subparcelas foi repetida em quatro blocos casualizados e a unidade experimental foi constituída por duas plantas.

As sementes dos genótipos de citros foram fornecidas pelo PMG-Citros ao viveiro de mudas Sergipe Citros, que procedeu o trabalho inicial de semeadura e seleção dos seedlings nucelares, de modo a garantir que as plantas fossem todas de origem apogâmica. Aos 60 dias após a semeadura (DAS), as mudas foram levadas ao ambiente protegido da Embrapa Semiárido, onde foram transplantadas em citropotes de 3,7 dm³, após o preenchimento com substrato comercial a base de casca de coco triturada, sendo acrescentado adubo de liberação lenta, conforme recomendações de Mattos Junior et al. (2005) para produção de mudas certificadas.

Até os 90 DAS as plantas receberam águas de baixa condutividade elétrica, proveniente do Rio São Francisco, após esse período iniciou-se as irrigações com águas de diferentes condutividades elétricas, conforme tratamento, que foram preparadas através da dissolução de águas retiradas de poços tubulares com alta concentração de sais em águas de baixa condutividade elétrica do Rio São Francisco, até que fosse atingida a condutividade elétrica desejada, procedendo-se as irrigações por meio de balanço hídrico, calculado por lisimetria de drenagem (Bernardo et al., 2019) e que perdurou por 90 dias, quando as plantas estavam aptas para a enxertia.

Aos 180 dias após a semeadura avaliou-se a fluorescência da clorofila a utilizando um Fluorímetro de pulso modulado modelo OS30P da Opti Science, empregando o protocolo OJIP, afim de determinar as variáveis: Fração da fluorescência variável no ponto J (V_j), Índice de performance de QA (PI); Taxa inicial de fechamento dos centros de reação do PSII (M₀) e a Fração da energia absorvida que é usada para reduzir QA (TR₀/ABs). O que ocorreu após adaptação das folhas ao escuro por um período 40 minutos, usando-se de um clipe do equipamento, de modo a garantir que todos os aceptores primários estivessem oxidados, ou seja, os centros de reação estivessem abertos.

Os dados foram submetidos a análise de variância, seguido por análise de regressão polinomial para a salinidade e teste de médias (Tukey) entre os genótipos, usando-se o software Sisvar, todos até 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A salinidade da água afetou de formas diferentes a atividade fotoquímica dos genótipos de citros (Figura 1), evidenciando-se, na fração da fluorescência variável no ponto J (V_j) tendência de estabilização na maioria dos genótipos, com exceção do genótipo TSKC x CTSW – 033, no qual se nota redução nos valores, enquanto no BRS Bravo, nota-se aumento nos valores com o incremento da salinidade da água.

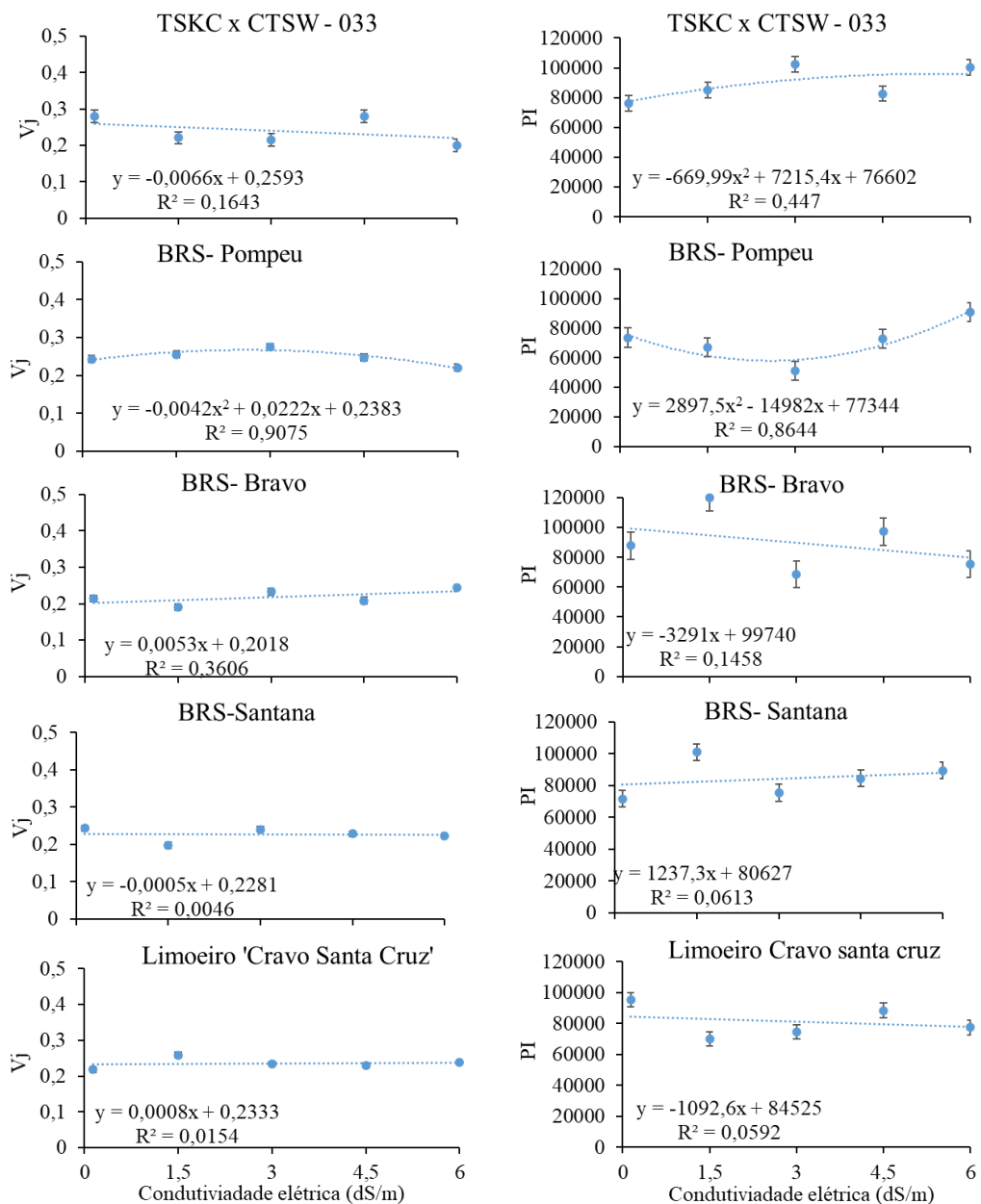


Figura 1: Análise de regressão relativa ao efeito da salinidade nas variáveis Fração da fluorescência variável no ponto J (V_j), Índice de performance de QA (PI) dos porta-enxertos de citros sob diferentes condutividades elétricas da água aos 180 dias após a semeadura. Nossa Senhora da Glória, SE, 2025.

A variável é relacionada ao acúmulo de elétrons no acceptor primário, ou seja, na Quinona, assim, na maioria dos genótipos não houve alteração, mas no TSKC x CTSW – 033, onde se nota redução nos valores do acúmulo de elétrons na quinona significou aumento do índice de performance (PI) do acceptor primário, denotando sensibilidade ao estresse, mas, sobretudo, a necessidade de aumento da eficiência na conversão de energia para garantir a eficiência fotoquímica.

Outra variável analisada é o PI, notando-se que plantas do TSKC x CTSW – 033 podem ter desenvolvido mecanismos para aumentar a eficiência na conversão de energia, denotando a sensibilidade, assim como identificado por Silva et al. (2021).

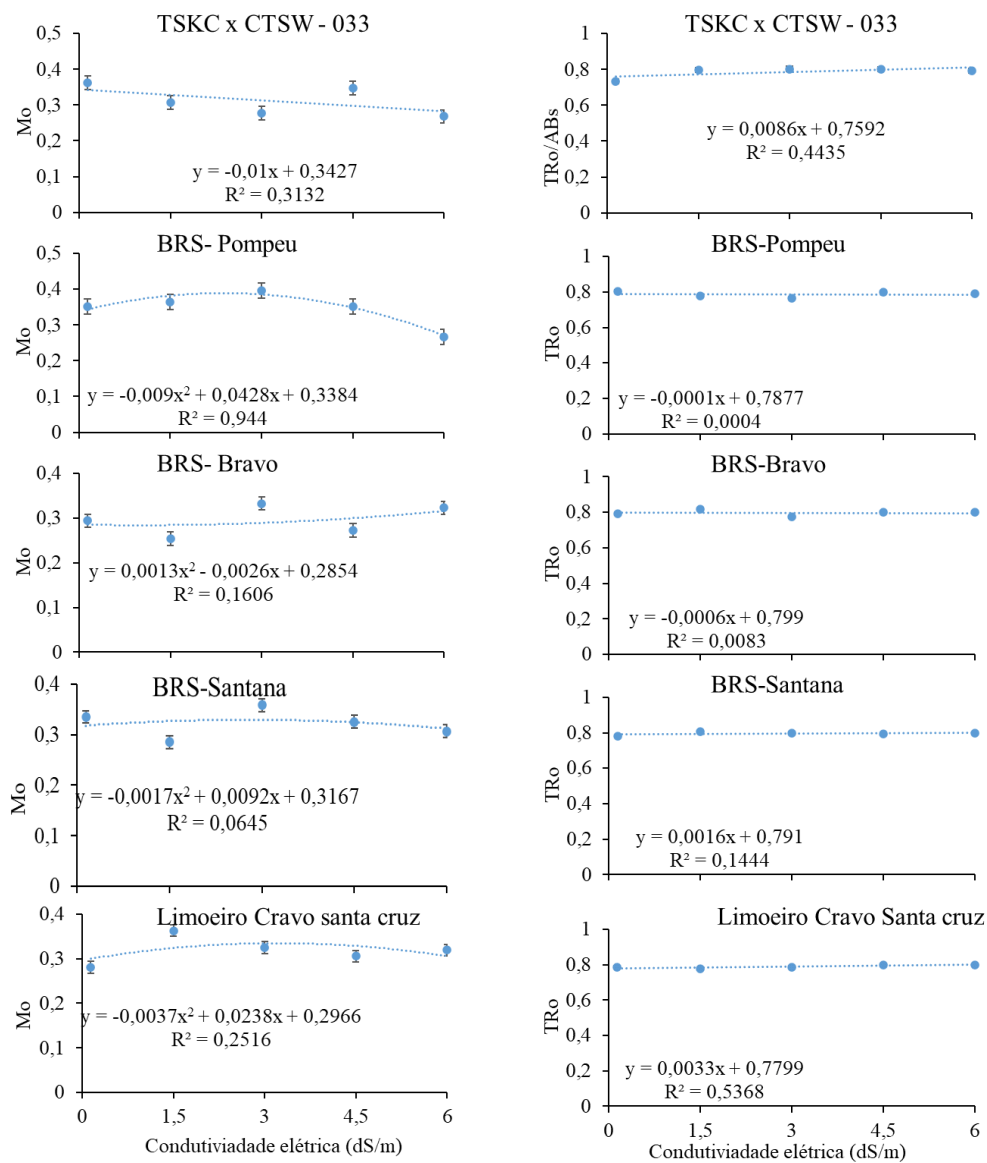


Figura 2: Análise de regressão relativa ao efeito da senilidade nas variáveis taxa inicial de fechamento dos centros de reação do PSII (Mo) e a Fração da energia absorvida que é usada para reduzir QA (TRo/ABs) dos porta-enxertos de citros sob diferentes condutividades elétricas da água aos 180 dias após a semeadura. Nossa Senhora da Glória, SE, 2025.

O estresse salino possui capacidade de afetar a atividade fotoquímica das plantas (Shahid et al., 2020), a exemplo, em estudo realizado por Silva et al. (2021), foi possível discriminar genótipos de citros enquanto porta-enxertos quando irrigados com águas salinas na fase de formação do cavalinho, os quais destacam menores valores de fluorescência transiente, quando as plantas são irrigadas com águas de entre os genótipos de citros sob baixa salinidade, principalmente nos genótipos TSKC × (LCR × TR) - 040 e TSKC × CTARG - 019.

O M_o representa a taxa inicial de fechamento dos centros de reação do PSII, dessa forma valores menores representam maior eficiência ao manter o centro de reação do PSII aberto e indicam estabilidade no fluxo fotoquímico, constatando-se que o aumento da salinidade proporcionou redução nos valores de M_o no genótipo TSKC x CTSW-033.

A análise da eficiência quântica do PSII em Silva et al. (2021) permite inferir que genótipos como TSKC × (LCR × TR) - 059 apresentaram maiores valores de TRo/ABS, que indicam maior proporção de energia efetivamente utilizada na redução do acceptor primário QA, esse mesmo resultado foi obtido no genótipo TSKC x CTSW - 033.

CONCLUSÕES

A salinidade reduz o potencial fotossintético dos porta- enxertos de citros. A alteração foi mais expressiva no genótipo TSKC x CTSW-033, denotando sensibilidade e indução de mecanismos de tolerância.

AGREDECIMENTOS

Agradecimentos ao INCT em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical-INCTAGriS (CNPq/Funcap/Capes), processos 406570/2022-1 (CNPq) e Processo INCT-35960-62747.65.95/51 (Funcap). À EMBRAPA Mandioca e Fruticultura por ceder sementes, a Sergipe Citros, pela produção inicial de mudas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHAMMED, G. J.; LI, X.; LIU, A.; CHEN, S. Brassinosteróides na tolerância das plantas a estresse abiótico. **Journal of Plant Growth Regulation**, p. 1–14, 2020.
- ARIF, Y.; SINGH, P.; SIDDIQUI, H.; BAJGAI, Y.; RASTOGI, A.; PANDEY, S.; SINGH, S.; AHAMMED, G. J.; MISHRA, R. K. Alterações fisiológicas e bioquímicas induzidas pela salinidade em plantas: uma abordagem ômica para a tolerância ao estresse salino. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 156, p. 64–77, 2020.
- ASRAR, H.; AHMAD, R.; KHAN, M. M. A.; EHSANULLAH, E.; SATTAR, A.; HUSSAIN, I. Alterações induzidas pela salinidade nos complexos de captação de luz e assimilação de carbono de *Desmostachya bipinnata* (L.) Staph. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 135, p. 86–95, 2017.
- BARBOSA, R. C. A.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; SOARES FILHO, W. S.; FERNANDES, P. D.; SILVA, L. A. **Trocas gasosas de porta-enxertos de citros em resposta à intensidade e duração do estresse salino**. Semina: Ciências Agrárias, v. 38, n. 2, p. 725–738, 2017. DOI: 10.5433/1679-0359.2017v38n2p725.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; SILVA, D. D. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2019. 545 p.
- BETZEN, B. M.; BOYD, R. S.; DAVIS, M. A.; PERRY, L. G.; PENNER, M. H.; VERNON, L. J. Efeitos do aumento da salinidade na fotossíntese e no potencial hídrico das plantas em espécies de pântanos salgados do Kansas. **Transactions of the Kansas Academy of Science**, v. 122, p. 49–58, 2019.
- GUIDI, L.; LO PICCOLO, E.; LANDI, M. Fluorescência da clorofila, fotoinibição e estresse abiótico: faz alguma diferença ser uma espécie C3 ou C4? **Environmental and Experimental Botany**, 2019.
- KALAJI, H. M.; GOVINDJEE; BABANI, F.; BOSA, K.; KOBZAR, O.; KORNARZYNSKI, K.; LACHOWSKI, H.; LAUKKANEN, K.; LUSTAUSKAITE, D.; MIROSLAW, M.; MISZTAL, L.; STRASZEWSKI, J.; ZIVCAK, M. Efeitos do estresse salino na eficiência do fotossistema II e na assimilação de CO₂ de duas variedades locais de cevada síria. **Environmental and Experimental Botany**, v. 73, p. 64–72, 2011.

MESSEDI, D.; LABIDI, N.; GRIGNON, C.; ABDELLY, C. Destacando os mecanismos pelos quais a prolina pode conferir tolerância ao estresse salino em *Cakile maritima*. **Pakistan Journal of Botany**, v. 48, p. 417–427, 2016.

RASTOGI, A.; TRIPATHI, D. K.; YADAV, S.; KUMAR, D.; DAS, A. B.; GARG, M. O.; MISHRA, R. K.; AHAMMED, G. J.; YAN, X. Teste JIP como ferramenta para identificar tolerância à salinidade em genótipos de sorgo sacarino. **Photosynthetica**, v. 58, p. 518–528, 2020.

SHAHID, M. A.; BALAL, R. M.; PERALTA, J. M.; CRUZ, C.; MATTSON, N. S.; REID, R. J.; RUIZ, J. M. Insights sobre os impactos fisiológicos e bioquímicos do estresse salino no crescimento e desenvolvimento das plantas. **Agronomy**, v. 10, p. 938, 2020.

SILVA, T. A.; SÁ, F. V. S.; FERREIRA, J. A.; MELO, A. S.; SOARES FILHO, W. S.; FERNANDES, P. D.; SILVA, L. A.; BRITO, M. E. B. Extinção fotoquímica é indicativo de estresse iônico em limeira ácida ‘Tahiti’ enxertada em genótipos de citros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 409–414, 2021. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n6p409-414.