

EFICIENCIA FOTOQUÍMICA DE PORTA-ENXERTOS DE CITROS SOB ESTRESSE SALINO NA FASE DE SEEDLINGS NUCELARES

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

RESUMO: O acúmulo de sais ocasiona estresses de ordem iônica e osmótica às plantas, principalmente àquelas consideradas sensíveis, como os citros, afetando a atividade da clorofila, todavia, o efeito é variável com o genótipo e a fase de desenvolvimento, podendo-se identificar materiais tolerantes com estudos da fluorescência da clorofila a. Assim, objetivou-se avaliar a eficiência fotossintética de genótipos de citros por meio de parâmetros da Fluorescência inicial (F_o), da fluorescência máxima (F_m), da fluorescência variável (F_v) e da eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m). O experimento foi conduzido em ambiente protegido de adversidades climáticas, na fazenda experimental da EMBRAPA Semiárido, utilizando-se o delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, estudando-se, usando o esquema de parcela subdividida, cinco níveis de salinidade da água [condutividade elétrica da água (CEa) de 0,14; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 $dS\ m^{-1}$] na parcela, aplicados em 5 genótipos de citros nas subparcelas, o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, o híbrido de tangerineira Sunki Tropical com o citrumelo Swingle – 033, e as variedades BRS Bravo, BRS Pompeu e BRS Santana. Avaliando-se, aos 180 dias após a sementeira, a fluorescência da clorofila usando-se o protocolo OJIP. Concluindo-se que a salinidade reduz a atividade fotossintética, mas as plantas mantiveram a homeostase quântica dos porta- enxertos de citros. O BRS Santana possui maior estabilidade fotoquímica, denotando maior tolerância à salinidade.

PALAVRAS-CHAVE: *Citrus* spp, genótipos, fluorescência da clorofila.

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.

PHOTOCHEMICAL EFFICIENCY OF CITRUS ROOTSTOCKS UNDER SALINE STRESS IN THE NUCLEAR SEEDLING STAGE

ABSTRACT: Salt accumulation induces ionic and osmotic stress in plants, particularly in salt-sensitive species such as citrus, affecting chlorophyll activity. However, this effect depends on the genotype and developmental stage. Studies involving chlorophyll a fluorescence can help identify salt-tolerant genotypes. Therefore, this study aimed to assess the photosynthetic efficiency of citrus genotypes through parameters such as initial fluorescence (F_0), maximum fluorescence (F_m), variable fluorescence (F_v), and the maximum quantum efficiency of photosystem II (F_v/F_m). The experiment was conducted under protected environmental conditions at the EMBRAPA Semiárido experimental farm, using a randomized complete block design with four replications. A split-plot arrangement was adopted, with five irrigation water salinity levels [electrical conductivity (EC_w) of 0.14, 1.5, 3.0, 4.5, and 6.0 $dS\ m^{-1}$] assigned to the main plots and five citrus genotypes allocated to the subplots: ‘Rangpur Santa Cruz’ lime, the Sunki Tropical mandarin \times Swingle citrumelo hybrid – 033, and the BRS Bravo, BRS Pompeu, and BRS Santana varieties. At 180 days after sowing, chlorophyll fluorescence was measured following the OJIP protocol. It was concluded that salinity reduces photosynthetic activity; however, the rootstocks were able to maintain quantum homeostasis. Among the genotypes, BRS Santana showed greater photochemical stability, indicating higher tolerance to salinity.

Keywords: *Citrus* spp, genotypes, Chlorophyll fluorescence.

INTRODUÇÃO

A salinidade da água e do solo ocasiona distúrbios fisiológicos às plantas, tanto em ordem osmótica quanto em ordem iônica (Arif et al., 2020), já que o acúmulo de sais torna o potencial da água mais negativo, dificultando a absorção de águas pelo sistema radicular, observando-se, com a evolução do processo de salinização, a ocorrência de concentrações mais elevadas de íons específicos, como o sódio e o cloro, que possuem maior solubilidade em solução, ocasionando, então, a absorção excessiva destes íons, que causam toxidez e promovem desequilíbrio nutricional (Shahid et al., 2020).

Os efeitos da salinidade ocasionam, nas plantas, distúrbios fisiológicos, notadamente nas fases bioquímicas e fotoquímicas da fotossíntese, o que estimula a produção de espécies reativas

de oxigênio (EROs) como o oxigênio singlete (1O_2), superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radicais hidroxila (OH), principalmente nos cloroplastos e mitocôndrias (Ahammed et al., 2020; Hameed et al., 2021).

O aumento na concentração destes compostos compromete a atividade dos fotossistemas pois, a priori, ocorre o aumento na perda de energia por meio de calor e fluorescência e, com a intensificação, há a diminuição na ativação de elétrons provenientes da água e a redução da eficiência fotoquímica há níveis muito baixos, já que ocorre redução na atividade dos centros de reação (Betzen et al., 2019; Kalaji et al., 2018).

O fotossistema II (PSII), em especial, é formado por um conjunto de proteínas e pigmentos, que, em plantas consideradas glicófitas, sofrem com o efeito da salinidade, que desregula a atividade transportadora das proteínas, sofrendo toxidez pelo aumento da concentração de íons tóxicos, que ocasionam a redução da lamela média e das estruturas dos grânulos, inibindo a fotossíntese e o acúmulo de carboidratos (Hameed et al., 2021).

Por outro lado, na revisão de Hameed et al., (2021), há o destaque de que o efeito da salinidade é variável com a espécie cultivada, o estágio de desenvolvimento e pode ser muito diferente entre plantas halófitas e glicófitas. Tais observações foram observadas também em citros que, mesmo sendo consideradas plantas sensíveis à salinidade, o uso de porta-enxertos tolerantes pode garantir o uso de águas com maior concentração de sais, mesmo nas fases de produção (Silva et al., 2021).

A identificação do efeito da salinidade e a percepção do estresse em citros por meio de fluorescência foi observado por Silva et al. (2014), que destacam materiais sensíveis e tolerantes à salinidade usando tais variáveis, porém, a tolerância à salinidade é complexa, e muitos aspectos não estão claramente evidenciados, ainda (Hameed et al., 2021). Assim, objetivou-se avaliar a eficiência fotossintética de genótipos de citros por meio de parâmetros da Fluorescência inicial (F_o), da fluorescência máxima (F_m), da fluorescência variável (F_v) e da eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em ambiente protegido (casa-de-vegetação) no campo experimental da Embrapa semiárido localizado, 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.

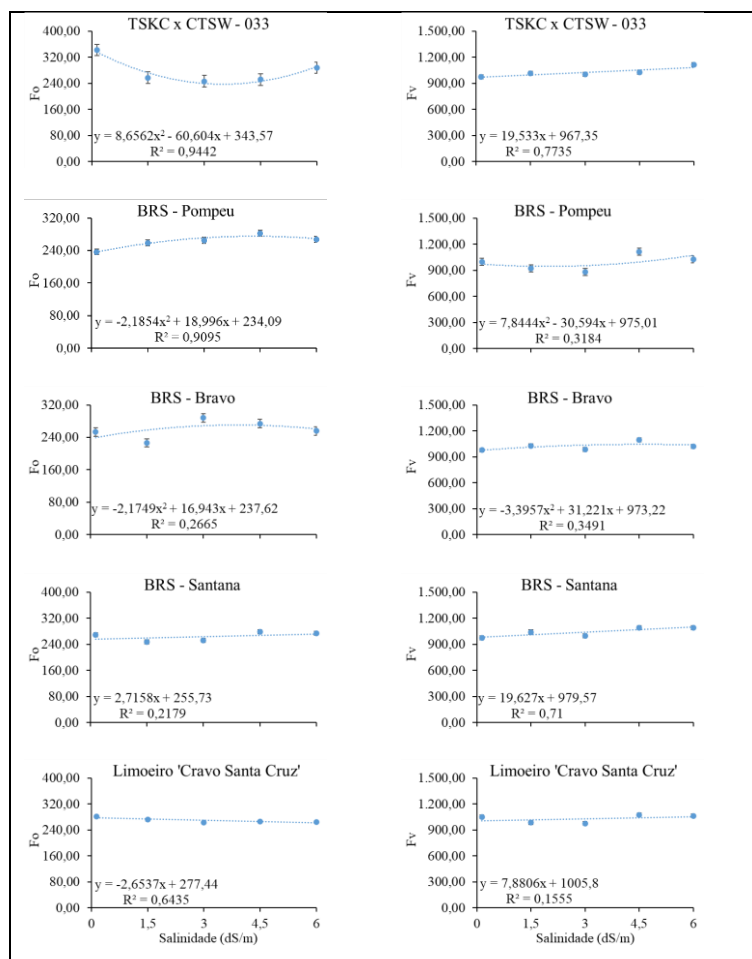
As sementes dos genótipos de citros foram fornecidas pelo PMG-Citros ao viveiro de mudas Sergipe Citros, que procedeu o trabalho inicial de semeadura e seleção dos seedlings nucelares, de modo a garantir que as plantas fossem todas de origem apogâmica. Aos 60 dias após a semeadura (DAS), as mudas foram 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 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: Fluorescência inicial (Fo), a fluorescência máxima (Fm), a fluorescência variável (Fv), a eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm). 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.

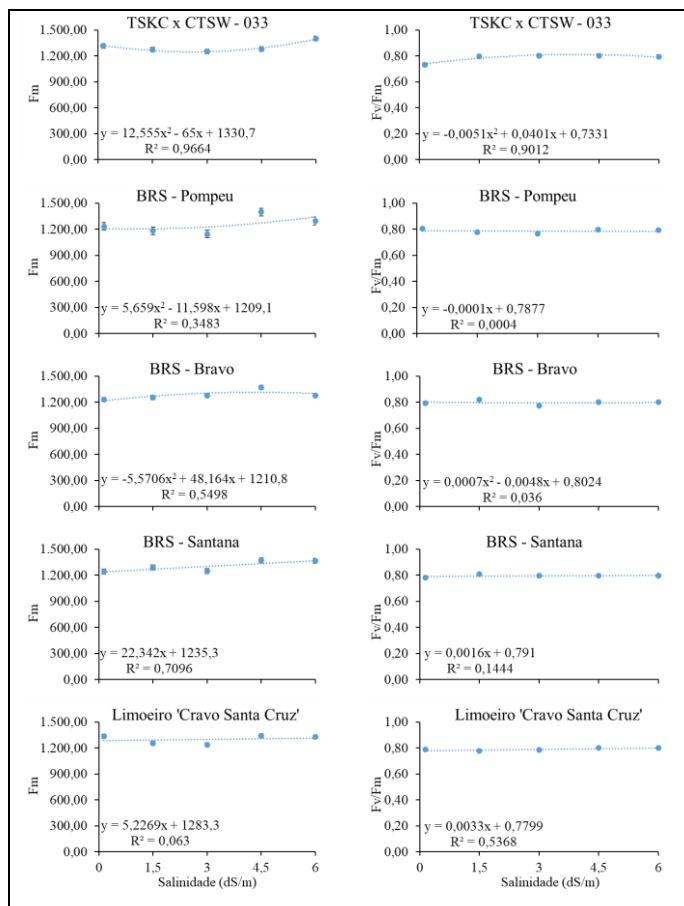
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aumento na salinidade da água de irrigação afetou as variáveis de fluorescência da clorofila nos diferentes porta-enxertos de citros avaliados, após 90 dias de exposição ao estresse, constatando-se, na fluorescência inicial (F_o), efeito quadrático nas plantas do BRS-Pompeu e do BRS – Bravo, com aumento nos valores de F_o até as CEa de 4,41 e 3,89 dS m^{-1} , respectivamente, havendo estabilização a partir destes níveis de salinidade (Figura 1). No TSKC x CTSW – 033, genótipo que foi considerado mais sensível em outros trabalhos (Almeida et al., 2017; Brito et al., 2024), nota-se redução nos valores de F_o a partir de 1,5 dS m^{-1} , sendo o mínimo observado na CEa de 3,5 dS m^{-1} , estabilizando em valores menores.



TSKC = tangerineira Sunki Comum [*Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka]; CTSW = citrumelo Swingle [*C. paradisi* Macfad. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.]; limoeiro Cravo (*C. limonia* Osbeck).

Figura 1. Análise de regressão relativa ao efeito da salinidade nas variáveis Fluorescência inicial (F_o) e a fluorescência variável (F_v) em cada porta-enxerto de citros avaliado aos 180 dias após a semeadura. Nossa Senhora da Glória, SE, 2025.



TSKC = tangerineira Sunki Comum [*Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka]; CTSW = citrumelo Swingle [*C. paradisi* Macfad. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.]; limoeiro Cravo (*C. limonia* Osbeck).

Figura 2. Análise de regressão relativa ao efeito da salinidade nas variáveis Fluorescência máxima (Fv) e a fluorescência máxima (Fm), de citros avaliado aos 180 dias após a semeadura. Nossa Senhora da Glória, SE, 2025.

A fluorescência inicial (Fo) representa os valores de perdas de energia por meio de fluorescência quando os aceptores primários estão abertos, ou seja, livres para receber a energia luminosa e converter em ativação dos elétrons, o pode ter acontecido nas plantas do BRS Pompeu e Bravo, por outro lado, as reduções observadas no TSKC x CTSW – 033 e no limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, assim como a estabilidade do BRS Santana sugerem maior estabilidade ou adaptação inicial ao estresse.

Nas fluorescências máxima e variável nota-se que o incremento da condutividade elétrica proporcionou aumento nos valores das variáveis em todos os genótipos, com destaque para o BRS Santana, no qual o aumento foi mais expressivo, com valores na ordem de 2,0 e 1,8% com aumento unitário da salinidade da água, respectivamente (Figura 1).

Fm corresponde a fluorescência emitida quando todos os centros de reação do PSII estão fechados, ou seja, oxidados, já Fv é relativo ao potencial de transporte de elétrons, nestas variáveis, o aumento nos valores significa que os centros de reação estão tentando aumentar a

atividade, por outro lado, pode indicar que as plantas do genótipo BRS Santana possuem maior capacidade de adaptação ao estresse, o que pode ser conferido ao se avaliar a eficiência quântica do fotossistema II, onde se nota estabilidade dos valores com o aumento da salinidade.

Esses resultados evidenciam a variabilidade na resposta fotoquímica entre os porta-enxertos avaliados e destacam o potencial do híbrido BRS Santana em manter a funcionalidade do PSII sob condições salinas, o que pode representar uma vantagem fisiológica importante durante a fase de formação de mudas.

CONCLUSÕES

A salinidade reduz os parâmetros de fluorescência, mas não a eficiência quântica dos porta-enxertos de citros;

O BRS Santana possui maior estabilidade fotoquímica, denotando maior tolerância à salinidade.

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), A CHESF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHAMMED, G. J.; LI, X.; LIU, A.; CHEN, S. Brassinosteroids in Plant Tolerance to Abiotic Stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, p. 1–14, 2020.

ARIF, Y.; SINGH, P.; SIDDIQUI, H.; RAI, N.; FARIDUDDIN, Q.; KHAN, N. A. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: an omic approach towards salt stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 156, p. 64–77, 2020. DOI:10.1016/j.plaphy.2020.08.042.

BETZEN, B. M.; SMART, C. M.; MARICLE, B. R. Effects of Increasing Salinity on Photosynthesis and Plant Water Potential in Kansas Salt Marsh Species. **Transactions of the Kansas Academy of Science**, v. 122, p. 49 - 58, 2019. DOI: 10.1660/062.122.0105.

HAMEED, A.; AHMED, M. Z.; HUSSAIN, T.; AZIZ, I.; AHMAD, N.; GUL, B.; NIELSEN, B. L. Effects of salinity stress on chloroplast structure and function. **Cells**, v. 10, n. 8, p. 2023, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cells10082023>.

KALAJI, H. M.; JAJOO, A.; OUKARROUM, A.; AHMAD, P.; BREŠ, W.; ŽIVČÁK, M.; BRESTIČ, M. Saline stress affects the photosystem II efficiency and CO₂ assimilation of two Syrian barley landraces. **Environmental and Experimental Botany**, v. 73, p. 64–72, 2011. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2010.10.009.

SHAHID, M. A.; BALAL, R. M.; PERMANI, M. M.; AHMAD, R.; AYYUB, G. M.; ABBAS, T.; IQBAL, Z.; RIZWAN, M.; YUNNUS, M. Insights into the Physiological and Biochemical Impacts of Salt Stress on Plant Growth and Development. **Agronomy**, v. 10, p. 938, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10070938.

SILVA, L. de A.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. da S.; MOREIRA, R. C. L.; SOARES FILHO, W. dos S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. S1–S7, 2014. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsuppS1-S7.

SILVA, T. A. da; BRITO, M. E. B.; CONCEIÇÃO, I. H. da; NUNES, E. D. S.; SOUZA, D. S.; MARTINS, G. O. Photochemical quenching is indicative of ionic stress on ‘Tahiti’ acid lime grafted on citrus genotypes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 409 - 414, 2021. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n6p409-414.