

ATIVIDADE FOTOQUÍMICA DA QUINONA EM MUDAS DE UMBUZEIRO SOB ESTRESSE SALINO E DIFERENTES SUBSTRATOS

Jennifer Lauanny Carvalho Santos¹, Kleyton Karlos Correia dos Santos¹, Tainá Alves da Silva², Rebeka dos Anjos Oliveira¹, Natalia Pimentel Esposito Polesi³, Marcos Eric Barbosa Brito⁴

RESUMO: A salinidade da água é um dos principais fatores que limitam a agricultura no semiárido brasileiro, comprometendo o crescimento vegetal e a fotossíntese, principalmente em espécies frutíferas glicófitas, como o umbuzeiro. Assim, objetivou-se identificar respostas de mudas de umbuzeiro à salinidade da água quando cultivadas em substratos a base de lodo de esgoto por meio da avaliação da atividade da Quinona (QA). Para tanto, realizou-se um experimento em ambiente protegido, usando o delineamento de blocos casualizados, no qual se estudou a aplicação de água com cinco níveis de salinidade (0,14, 1,5, 3,0, 4,5 a 6,0 dS m⁻¹) em mudas de umbuzeiro produzidas em seis tipos de substrato, sendo quatro a base de esgoto tratado e dois substratos comerciais, repetidos em quatro blocos. Avaliou-se a fluorescência da clorofila a após adaptação ao escuro usando o protocolo OJIP quando as plantas estavam aptas ao transplante ao campo, obtendo dados da fração da fluorescência variável no ponto J (V_j); do Índice de performance de QA (PI); da Taxa inicial de fechamento dos centros de reação do PSII (Mo) e da Fração da energia absorvida que é usada para reduzir QA (TRo/ABs). A salinidade aumenta o gasto de energia para a redução da quinona.

PALAVRAS-CHAVE: *Spondias tuberosa*, fluorescência da clorofila, salinidade da água

¹ Graduando, Engenharia Agrônoma, Universidade Federal de Sergipe, Campus do Sertão, CEP 49680-000, Nossa Senhora da Glória, SE. e-mail: jennifercarvalho@academico.ufs.br

² Mestranda, Pós-graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, SE.

³ Prof. Doutor, Departamento em Educação em Ciências Agrárias e da Terra, Universidade Federal de Sergipe, Campus Sertão, Nossa Senhora da Glória, SE.

⁴ Bolsistas produtividade PQ do CNPQ, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrônoma do Sertão, Universidade Federal de Sergipe, Campus Sertão, Nossa Senhora da Glória, SE.

PHOTOCHEMICAL ACTIVITY OF QUINONE IN UMBU TREE SEEDLINGS UNDER SALT STRESS AND DIFFERENT SUBSTRATES

ABSTRACT: Water salinity is one of the primary limiting factors for agriculture in the Brazilian semi-arid region, compromising plant growth and photosynthesis, particularly in glycophytic fruit species such as *Spondias tuberosa* (the umbu tree). Chlorophyll fluorescence analysis using the OJIP protocol enables the early detection of plant sensitivity to salt stress. When cultivated in alternative substrates, plants may exhibit improved acclimation capacity. Therefore, this study aimed to identify the responses of umbu tree seedlings to irrigation water salinity when grown in sewage sludge-based substrates by evaluating the activity of primary quinone (QA). An experiment was conducted in a protected environment using a randomized block design, with five levels of water salinity (0.14, 1.5, 3.0, 4.5, and 6.0 dS m⁻¹) applied to seedlings grown in six substrate types—four based on treated sewage sludge and two commercial substrates—distributed across four blocks. Chlorophyll fluorescence was assessed using the OJIP protocol after dark adaptation when seedlings were ready for field transplantation. The following parameters were analyzed: the variable fluorescence at the J-step (V_j), the performance index of QA (PI), the initial slope of the fluorescence transient (M_o), and the fraction of absorbed energy used to reduce QA (TR_o/ABS). Results indicated that salinity increases the energy demand for quinone reduction. However, QA activity was not affected by increasing salinity in plants cultivated in substrate 3.

KEYWORDS: *Spondias tuberosa*, Fluorescence chlorophyll, saline water

INTRODUÇÃO

A salinidade da água de irrigação é um dos principais fatores limitantes à produção agrícola em regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, onde é necessário ter cuidado com o acúmulo de sais, principalmente de sódio e cloro, pois tem contribuído para a desertificação de áreas (Pessoa et al., 2022). Áreas com problemas de salinidade tornam a agricultura insustentável, pois ocasionam estresse abiótico, reduzindo o crescimento vegetal devido a desequilíbrios osmóticos e iônicos, gerando alterações fisiológicas que afetam diretamente a eficiência fotossintética das plantas (Hameed et al., 2021).

Em particular, o estudo da fluorescência da clorofila tem sido amplamente empregado para detectar precocemente os efeitos do estresse salino, destacando-se o protocolo OJIP, que

permite a análise detalhada da atividade fotoquímica do fotossistema II (Akhter et al., 2021; Silva et al., 2021a; Chen et al., 2025). Entre os parâmetros avaliados no protocolo OJIP, destacam-se as variáveis relacionadas a atividade da quinona primária (QA), envolvida na cadeia de transporte de elétrons no fotossistema II, que é um indicador da sensibilidade da planta ao estresse salino (Chen et al., 2025).

Assim, o monitoramento da fluorescência permite identificar variações na eficiência quântica da fotossíntese antes mesmo do aparecimento de sintomas visíveis de estresse, podendo ser uma ferramenta interessante para a identificação de sensibilidade em espécies frutífera com potencial para o cultivo na região semiárida, como é o umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Cam.), que é endêmica da região, e que cuja produção de mudas de qualidade é essencial para o sucesso dos programas de conservação e exploração sustentável.

A qualidade das mudas, por outro lado, está diretamente associada ao vigor fisiológico, que pode ser comprometido pela salinidade, mas que também pode ser potencializado pelo uso de substratos com boas características físico-químicas e biológicas (Miceli et al., 2021). Nesse sentido, a combinação adequada de um material que possa proporcionar mais aeração, como a fibra de coco (*Cocos nucifera* L.), e um material que possa fornecer nutrientes na quantidade adequada, como o lodo de esgoto tratado, pode gerar substratos capazes de proporcionar alta porosidade, boa capacidade de retenção de água e a disponibilização de nutrientes, diminuindo os efeitos negativos da salinidade (Silva et al., 2018; Mota et al., 2021).

Assim, objetivo identificar as alterações na atividade fotoquímica da quinona em mudas de umbuzeiro submetidas à irrigação com águas salinas e cultivadas em substratos à base de lodo de esgoto, contribuindo para o entendimento de mecanismos de tolerância ao estresse salino e para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis na produção de mudas frutíferas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido por meio de experimento, realizado em ambiente protegido (casa de vegetação) da Universidade Federal de Sergipe, Campus do Sertão, localizado no município de Nossa Senhora da Glória, Sergipe, SE (10°12'18" de latitude S e 37°19'39" de longitude W e altitude de 294 m).

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com tratamentos formados a partir de parcelas subdivididas, sendo estudados, na parcela, cinco níveis de salinidade da água de irrigação, correspondentes as condutividades elétricas da água (CEa) de 0,14, 1,5, 3,0, 4,5 e 6,0

dS m⁻¹. Já na subparcela foram preparados quatro substratos a partir da mistura de lodo de esgoto tratado, casca de coco triturada, e solo coletado na região, usando proporções distintas em suas composições, de modo a possibilitar o uso de resíduos sólidos e otimizar o sistema de produção de mudas, adicionou-se, ainda, dois substratos comercial, um a base de casca de pinus, humus e vermiculita, e outro usado na produção de mudas de Spondias no viveiro de mudas da Chesf composto por solo e esterco, estando descritos na Tabela 1.

As águas de irrigação foram provenientes da mistura de águas do Rio São Francisco e de poço tubular localizado no município de Nossa Senhora da Glória Sergipe, até se obter as águas com as condutividades elétricas desejadas. A irrigação foi realizada de forma manual, com uso de um Becker graduado, sendo o volume determinado por meio de balanço hídrico, obtido por lisimetria de pesagem, adicionando-se uma fração de lixiviação (FL) de 10% (BERNARDO et al, 2019).

Tabela 1. Detalhamento da formulação dos diferentes substratos utilizados no experimento.

Substrato	Proporções Dos Componentes
1	50% de casca de coco, 20% de lodo de esgoto e 30% de solo local
2	40% de casca de coco, 30% de lodo de esgoto e 30% de solo local
3	30% de casca de coco, 40% de lodo de esgoto, 30% de solo local
4	20% de casca de coco, 50% de lodo de esgoto e 30% de solo local
Chesf	Substrato usado pelo viveiro da Chesf – Al
Comercial Tropstrato®	composto por casca de pinus, humus e vermiculita

Até os 90 dias após a semeadura (DAS) as mudas receberam águas com baixa condutividade elétrica, água do São Francisco, a partir deste período, foram aplicadas águas com os diferentes níveis de condutividade elétrica até as plantas estarem aptas ao transplante, que ocorreu aos 180 dias após a semeadura.

A fluorescência da clorofila a foi analisada utilizando-se de um Fluorímetro 180 de pulso modulado modelo OS30P da Opti Science, empregando o protocolo OJIP, afim de determinar as variáveis: Fração da fluorescência variável no ponto J (Vj), Índice de performance de QA (PI); 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). 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 estejam abertos. Os dados foram submetidos a análise de variância ANOVA e seguida por análise de regressão ($p < 0,05$) polinomial usando o software SISVAR 5.6.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao avaliar os dados de fração da fluorescência variável no ponto J (V_j), do índice de performance de QA (PI), da taxa inicial de fechamento dos centros de reação do PSII (Mo) e da fração da energia absorvida que é usada para reduzir QA (TRo/ABs), variáveis que representam indicadores da eficiência fotoquímica do fotossistema II, por meio das equações de regressão dispostas nas figuras para cada substrato.

Analisando a Figura 1, a qual dispõe Fração da fluorescência variável no ponto J (V_j), é visto que as plantas cultivadas no substrato 1, 2, 4, Chesf e comercial apresentaram um decréscimo de seus valores quando há um aumento da salinidade da água. Essas reduções nos valores de V_j com o aumento na salinidade, observado nos substratos proporcionaram às plantas a necessidade de aumentar a performance da quinona com o aumento da salinidade. Já o 3 apresentou uma tendência positiva, (V_j) aumenta com o aumento do sal que pode indicar uma resposta atípica ou compensatória em algum aspecto biofisiológico nesse substrato específico (Figura 01).

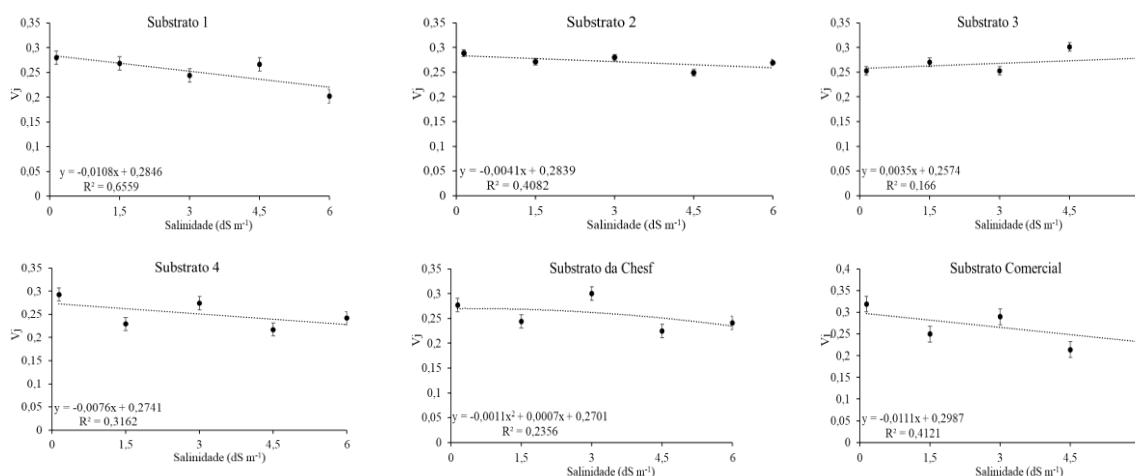


Figura 01: dados de fração da fluorescência variável no ponto J (V_j)

Na Figura 2, está disposto o Índice de performance de QA (PI), representa a captação de energia luminosa pelo fotossistema II, a eficiência na conversão dessa energia pelos elétrons e o desses elétrons até a plastoquinona A, sendo a QA, o primeiro aceptor de elétrons no PSII. Segundo Strasser et al., 2000, um valor de PI alto, quer dizer que o sistema fotossintético está sendo eficiente na captação de energia e sua conversão e transporte, quando esses valores são baixos, quer dizer que está ocorrendo uma redução de seu desempenho, o que pode indicar que a planta está sobre estresse.

Logo, valores elevados de (PI) foram observados no substrato 1, 4 e comercial, o que pode ser explicando pela ativação de osmoprotetores pela planta, ou ainda, por um melhor aproveitamento dos nutrientes dos substratos, esse comportamento é usado para atenuar os efeitos da salinidade (Silva et al., 2020). Enquanto no 2, 3 e Chef há reduções, conforme se eleva os valores de sais.

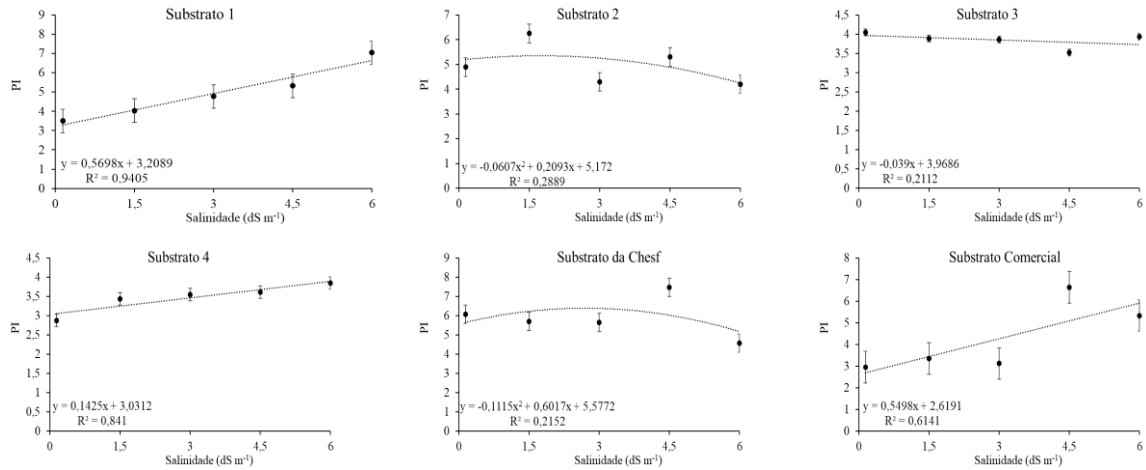


Figura 02: índice de performance de QA (PI)

Observa-se que a taxa inicial de fechamento dos centros de reação do PSII (M_o), é reduzida no substrato 1, 4 e comercial com o aumento da salinidade (Figura 3). Valores reduzidos nessa variável que dizer que há um fechamento mais lento dos centros de reações e uma menor pressão fotoquímica, o que pode representar uma resposta adaptativa protetora, reduzindo o risco de fotoinibição (Stirbet & Govindjee, 2011). Já nos valores elevados ocorre o contrário. Isso, aumenta a necessidade de energia para reduzir a quinona (TRo/ABs) (Figura 4).

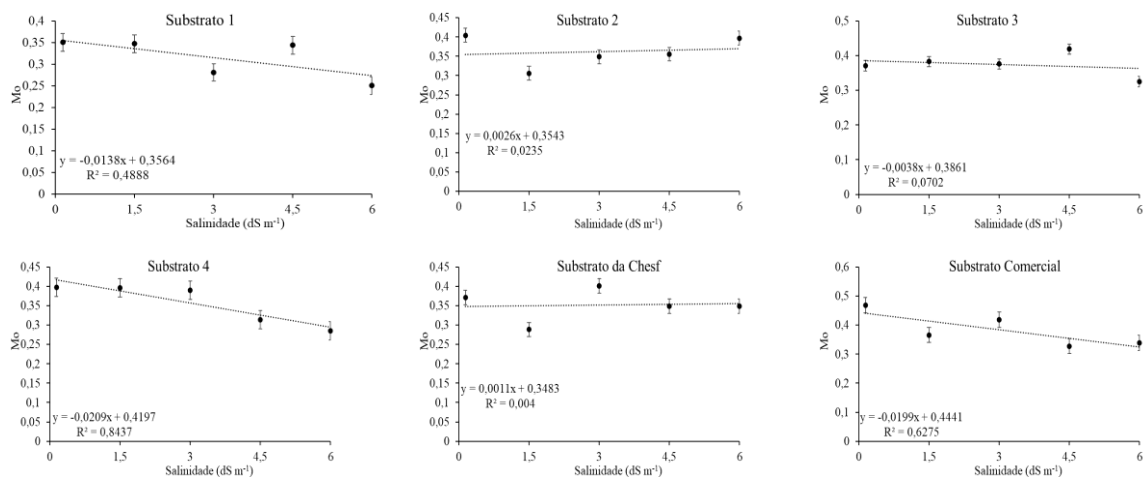


Figura 03: taxa inicial de fechamento dos centros de reação do PSII (M_o).

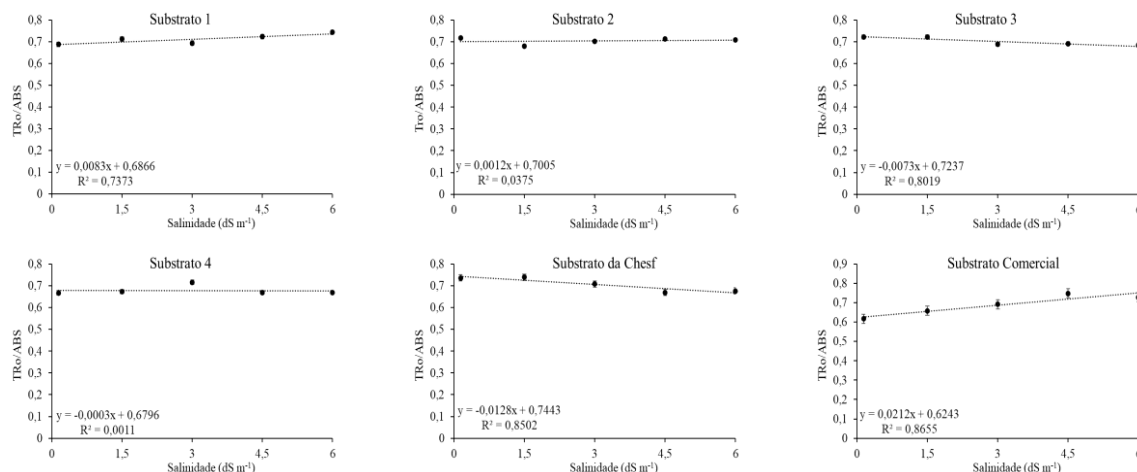


Figura 04: Fração da energia absorvida que é usada para reduzir QA (TRo/ABs).

Verifica-se que nos substratos 2, 3 e Chesf, a taxa inicial de fechamento dos centros de reação (Mo) manteve-se praticamente estável mesmo com o aumento da salinidade, indicando que os sais não provocaram alterações significativas na pressão fotoquímica inicial do PSII.

Esse comportamento sugere uma resiliência fisiológica da planta, na qual os centros de reações permanecem operando em ritmo semelhante, mesmo sob tal condição. Porém, valores elevados de (Mo), como observados pontualmente nesses substratos, refletem um fechamento mais rápido dos centros de reações e uma maior pressão fotoquímica, o que eleva a demanda de energia para a redução da quinona primária (QA⁻) e pode levar a maior risco de fotoinibição (Didaran et al., 2024).

As respostas evidenciadas, permitem inferir que as plantas cultivadas principalmente, precisaram gastar mais energia para garantir a atividade fotoquímica, indicando, ainda, a capacidade das variáveis em permitir verificar a sensibilidade a estresses, como o salino (Silva et al., 2021b; Chen et al., 2025).

CONCLUSÕES

Essas reduções são pouco expressiva, havendo uma estabilização, nos demais substratos, o aumento da salinidade reduziu a fração de fluorescência no ponto J, o que significa dizer que a energia precisou ser usada, não sendo perdida por fluorescência.

A salinidade aumenta o gasto de energia para a redução da quinona, principalmente em plantas cultivadas nos substratos 1 e comercial. A atividade da quinona não foi afetada com o aumento da salinidade nas plantas cultivadas no substrato 3.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKHTER, M. S.; NOREEN, S.; MAHMOOD, S.; ATHAR, H.-u.-R.; ASHRAF, M.; ALSAHLI, A. A.; AHMAD, P. Influence of salinity stress on PSII in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes, probed by chlorophyll-a fluorescence. **Journal of King Saud University – Science**, v. 33, 101239, 2021. DOI: 10.1016/j.jksus.2020.101239.

CHEN, X.; LIU, X.; CONG, Y.; JIANG, Y.; ZHANG, J.; YANG, Q.; LIU, H. Melatonin alleviates photosynthetic injury in tomato seedlings subjected to salt stress via OJIP chlorophyll fluorescence kinetics. **Plants**, v. 14, n. 5, p. 824, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants14050824>.

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>.

MICELI, A.; MONCADA, A.; VETRANO, F. Use of Microbial Biostimulants to Increase the Salinity Tolerance of Vegetable Transplants. **Agronomy**, v. 11, p. 1143, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061143>

MOTA, M. V. S.; DEMOLIN-LEITE, G. L.; GUANABENS, P. F. S.; TEIXEIRA, G. L.; SOARES, M. A.; SILVA, J. L.; SAMPAIO, R. A.; ZANUNCIO, J. L. Chewing insects, pollinators, and predators on *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Beth (Fabales: Fabaceae) plants fertilized with dehydrated sewage sludge. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, e248305, p. 1-8, Jul. 2021.

PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. dos S.; GREEN, C. H. M.; MIRANDA, M. F. A.; FILHO, J. C. de A.; PESSOA, W. R. L. S. Assessment of soil salinity status under different land-use conditions in the semiarid region of Northeastern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 141, p. 109139, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109139>.

SILVA, A. G. DA.; VILAR, L. O.; VILAR, V. O.; COELHO, F. P.; ACIOLI, N. R. DOS. S.; RAMON, R. B. G. A.; MOREIRA, J. G.; DIARES, T. R.; SILVA, D. F. DA.; CRUZ, M. S. DA.; MOURA, R. G. DE. O MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL DA CAATINGA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 5, p. 872–884, 2021a.

SILVA, M. G. DA; OLIVEIRA, I. S.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; SANTANA, G. DE O.; PINHO, J. DE S. Growth, production and water consumption of coriander in hydroponic system

using brackish waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 8, p. 547-552, Aug., 2018.

SILVA, T. A. da; BRITO, M. E. B.; CONCEIÇÃO, I. H. da; NUNES, E. D. S.; SOUZA, D. S.; MARTINS, G. O. Quenching fotoquímico é indicativo de estresse iônico em limeira ácida ‘Tahiti’ enxertada em genótipos de citros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 6, p. 409–414, 2021b. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n6p409-414>.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019. 545 p.

STRASSER, R. J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus, M., Pathre, U., Mohanty, P. (eds) **Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation**. Taylor & Francis, London, pp. 445–483, 2000.

SILVA, E.N.; RIBEIRO, R.V.; FERREIRA-SILVA, S.L.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J.A.G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Horticulturae**, 126, 444–450, 2020.

DIDARAN, F.; KORDROSTAMI, M.; GHASEMI-SOLOKLUI, A. A.; PASHKOVSKIY, P., et al. The mechanisms of photoinhibition and repair in plants under high light conditions and interplay with abiotic stressors. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, 259, 113004, 2024.