

## EFICIÊNCIA QUANTICA DO FOTOSITEMA II EM MUDAS DE UMBUZEIRO SOB ESTRESSE SALINO E DIFERENTES SUBSTRATOS

Tainá Alves da Silva<sup>1</sup>, Rebeka dos Anjos Oliveira<sup>2</sup>, Kleyton Karlos Correia dos Santos<sup>2</sup>, Celso Felype Rodrigues Andrade<sup>2</sup>, Natalia Pimentel Esposito Polesi<sup>3</sup>, Marcos Eric Barbosa Brito<sup>4</sup>

**RESUMO:** A fluorescência da clorofila *a* reflete a saúde do aparato fotossintético foliar, podendo ser determinada em mudas de umbuzeiro, quando irrigadas com águas salobras e cultivadas em diferentes substratos. Assim, objetivou-se quantificar a eficiência quântica do fotossistema II em mudas de umbuzeiro sob salinidade da água quando cultivadas em substratos a base de lodo de esgoto. Para tanto, realizou-se um experimento em ambiente protegido, usando o delineamento de blocos casualizados, de parcela subdividida, 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<sup>-1</sup>) em mudas de umbuzeiro produzidas em seis tipos de substrato, sendo quatro a base de lodo de esgoto tratado e dois substratos comerciais, repetidos em quatro blocos. Avaliou-se a fluorescência da clorofila na fase escura obtendo-se os dados de Fo, Fm, Fv e Fv/Fm, quando as plantas estavam aptas ao transplante ao campo, sendo os dados submetidos a análises de variância e regressão para a salinidade em cada substrato. Foi constatado que a Fo foi reduzida nos substratos 3 e 4, a Fm e Fv/Fm nos substratos 3, 4 e Chesf. A salinidade aumenta a energia das mudas do substrato comercial.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Spondias tuberosa*, Salinidade da água de irrigação, fisiologia

## PHOTHOSSYSTEM II QUANTIC EFFICIENCY IN UMBU TREE SEEDLINGS UNDER SALINE STRESS AND DIFFERENT SUBSTRATES

**ABSTRACT:** Chlorophyll *a* fluorescence reflects the health of the leaf photosynthetic apparatus and can be determined in umbu tree seedlings irrigated with brackish water and grown in different substrates. Therefore, the objective of this study was to quantify the quantum efficiency of photosystem II in umbu tree seedlings under water salinity when cultivated in sewage sludge-based substrates. The experiment was conducted in a protected environment using a randomized block design in a split-plot arrangement, in which five salinity levels in

<sup>1</sup> Mestranda em Recursos Hídricos, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe (UFS), CEP 49107-230, São Cristóvão, SE, Brasil, e-mail: tainaa035@gmail.com;

<sup>2</sup> Graduando a em Engenharia Agrônoma, Departamento de Engenharia Agrônoma (DEAS), Campus do Sertão, Universidade Federal de Sergipe (UFS);

<sup>3</sup> Profa. Doutora, Depto. Educação em Ciências Agrárias e da Terra, UFS-Campus do Sertão, Nossa Sra. da Glória – SE;

<sup>4</sup> Prof. Dr. DEAS, CAMPUSSER, UFS, SE, Bolsista de produtividade do CNPq.

irrigation water (0.14, 1.5, 3.0, 4.5, and 6.0 dS m<sup>-1</sup>) were applied to seedlings grown in six types of substrates, four based on treated sewage sludge and two commercial substrates, with four replications. Chlorophyll fluorescence in the dark phase was evaluated, obtaining Fo, Fm, Fv, and Fv/Fm values when the plants were ready for field transplantation. Data were subjected to analysis of variance and regression for the salinity factor in each substrate. It was found that Fo was reduced in substrates 3 and 4, and Fm and Fv/Fm were reduced in substrates 3, 4, and Chesf. Salinity increased energy levels in seedlings grown in the commercial substrate.

**KEYWORDS:** *Spondias tuberosa*, Irrigation salinity water, physiology.

## INTRODUÇÃO

A salinidade do solo e da água constituem problemas de conotação mundial, pois ocasionam redução no crescimento e na produção de plantas, em especial àquelas consideradas sensíveis, ocasionando efeitos de ordem osmótica e/ou iônica, o que geram redução na absorção de água e nutrientes, provendo o desequilíbrio fisiológico e nutricional às plantas (Santos et al., 2020; Sá et al., 2021). O problema da salinidade, per se, é ainda mais notório em regiões áridas e semiáridas, pois nestas áreas o balanço hídrico é negativo, ou seja, o potencial de evapotranspiração é maior que a precipitação, fazendo com que ocorra o acúmulo naturais de sais após as perdas de água, tal fato, ainda, é potencializado pela irrigação, que introduz sais ao solo, mesmo quando se tem fontes de água com baixos teores de sais em sua concentração (Fernandes et al., 2024).

Diante do fato, encontrar alternativas de cultivo sob condições de salinidade torna-se essencial para otimizar o uso da água, verificando-se no cultivo de espécies frutíferas do semiárido, como o Umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.), que possui valor econômico agregado (Moreira et al., 2021), potencial para a condição. No processo de identificação do potencial de tolerância das plantas, é importante que se estude todas as fases de desenvolvimento, uma vez que a intensidade do estresse é variável com essas condições (Brito et al., 2021).

Uma das fases a se estudar o estresse em plantas de umbu é a de produção de mudas, que é a base para que se tenha a implantação de um pomar com qualidade produtiva, tal produção necessita da irrigação, uma vez que as plantas, mesmo de espécies nativas, necessitam de suprimento hídrico, já que o déficit de água pode ocasionar diminuição na frequência da abertura estomática e fotossíntese (Usman et al., 2022; Soares et al., 2023). Para garantir a produção de mudas de qualidade, deve-se atentar, ainda, para os substratos usados como insumos, que podem influenciar diretamente na qualidade da muda, verificando-se na fibra de coco (*Cocos nucifera* L.) e no uso de lodo de esgoto tratado materiais alternativos para a confecção dos substratos e condições de emergência e de expressão do vigor do embrião (Silva et al., 2018; Mota et al., 2021).

A identificação de uma melhor composição de substrato e o nível de salinidade da água passível de ser usado na produção de mudas de umbuzeiro pode observado avaliando a eficiência quântica do fotossistema II, variável não destrutiva que pode gerar informações que norteiem a tomada de decisão sobre a condição de saúde do aparato fotossintético. Assim, objetivou-se quantificar a eficiência quântica do fotossistema II em mudas de umbuzeiro sob salinidade da água quando cultivadas em substratos a base de lodo de esgoto.

## 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<sup>-1</sup>. 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.

**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                |

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 de 10%.

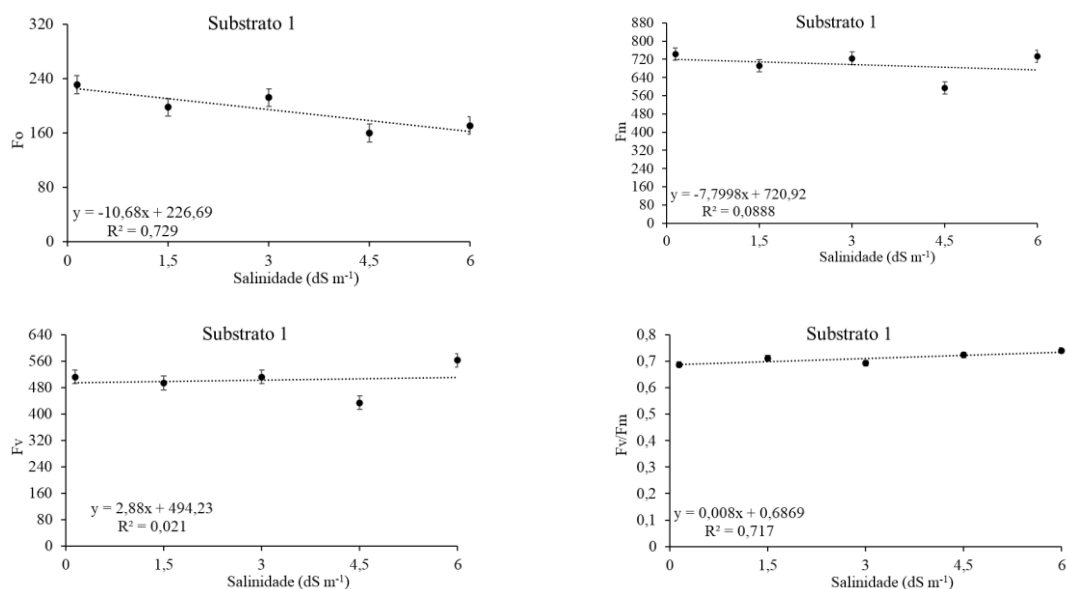
O material vegetal de *Spondias tuberosa*, foi propagado a partir de sementes da mesma matriz afim de manter uma uniformidade, até os 90 dias após a semeadura (DAS) as mudas

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 DAS após a semeadura.

A fluorescência da clorofila *a* foi analisada utilizando-se de um Fluorímetro de pulso modulado modelo OS30P da Opti Science, a fim de determinar as variáveis de indução de fluorescência: Fluorescência inicial ( $F_o$ ), a fluorescência máxima ( $F_m$ ), a fluorescência variável ( $F_v$ ), a eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ). 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 modelo de regressão linear, foram feitas análises da correlação entre as variáveis e criação de vários modelos teste para a verificação dos pressupostos

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da fluorescência da clorofila *a* é uma das ferramentas mais eficientes para estudar os efeitos da salinidade nas plantas, já que, a cinética da fluorescência muda em resposta aos fatores ambientes (Baker, 2008). Conforme a (Figura 1), é visto que a  $F_o$  diminui de maneira consistente com o aumento da salinidade, valores reduzidos de  $F_o$ , pode causar uma redução na energia captada pelos centros de reação do PSII, indicando um provável dano ou fechamento de centros de reação.



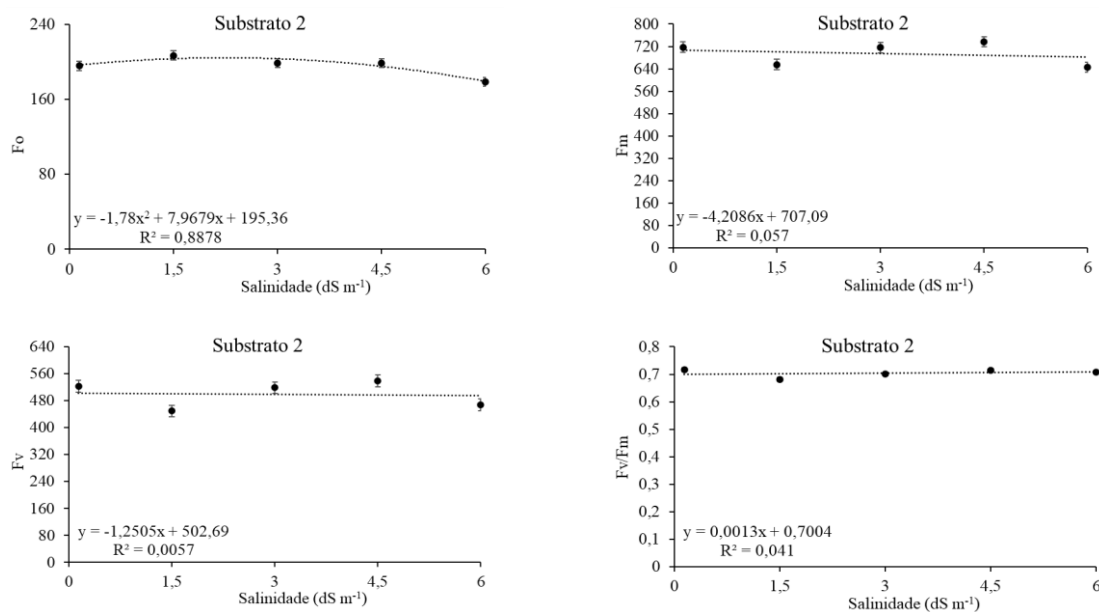
**Figura 1.** Relação entre a fluorescências da clorofila *a* e a salinidade da água de irrigação em plantas cultivadas no Substrato 1.

Quando avaliado a fluorescência máxima ( $F_m$ ) percebe-se uma leve queda, enquanto a fluorescência variável ( $F_v$ ), e a eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) (Figura 1), teve

um comportamento parecido, com pouca variação. Isso sugere que, embora a  $F_o$  tenha sofrido efeito com o aumento da salinidade, as demais variáveis mostram que a eficiência global do PSII não foi fortemente afetada.

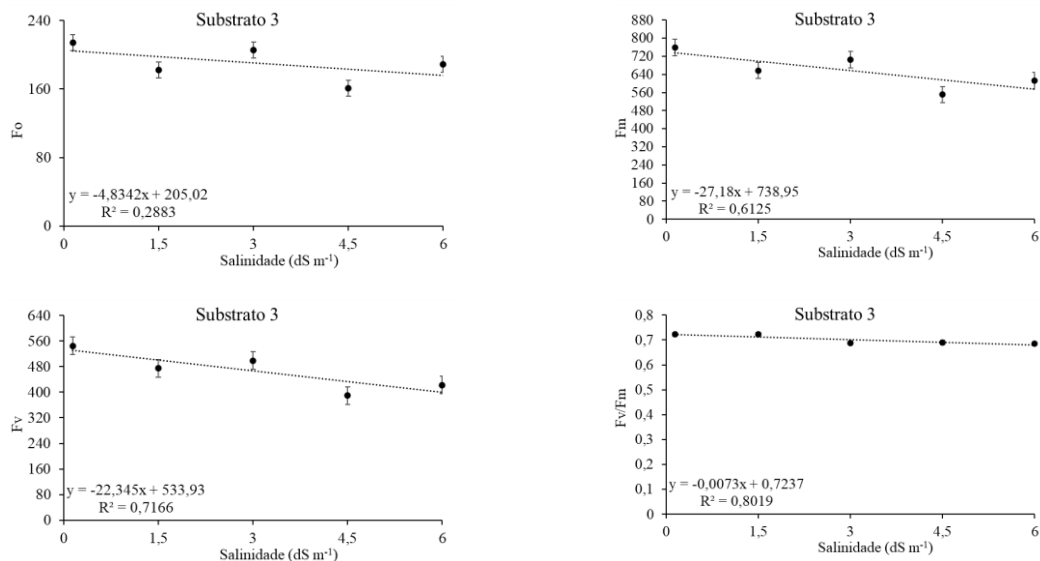
No processo de fotossíntese a luz absorvida pode ser transferida para os fotossistemas ou, se houver excesso de energia, esta pode ser dissipada na forma de calor ou fluorescência (Krause & Winter, 1996). Considerando que não houve alterações na fluorescência significativas (Figura 2), mesmo com o aumento da concentração de sais na água de irrigação aplicada às mudas de Umbu, isso implicar dizer que o aparato fotossintético das plantas não foi danificado.

Esse comportamento sugere que os mecanismos de proteção fotossintética, como a dissipação de energia excedente e a capacidade antioxidante das folhas, estão atuando de forma eficiente, permitindo que a planta mantenha a fotossíntese estável mesmo sob condições de estresse salino moderado. Isso evidencia uma certa tolerância do Umbu à salinidade, podendo contribuir para sua adaptação em ambientes com limitações hídricas e salinas.



**Figura 2.** Relação entre a fluorescências da clorofila *a* e a salinidade da água de irrigação em plantas cultivadas no Substrato 2.

De acordo com a Figura 3, houve queda suave de  $F_o$  conforme aumenta a salinidade, e consistente em  $F_m$ , o que sugere redução na capacidade máxima de emissão de fluorescência, ou ainda, na abertura dos centros de reação do PSII, que é confirmado pela também diminuição de  $F_v$ , e fotoinibição moderada em  $F_v/F_m$ , que reduziu de 0,72 para 0,66.

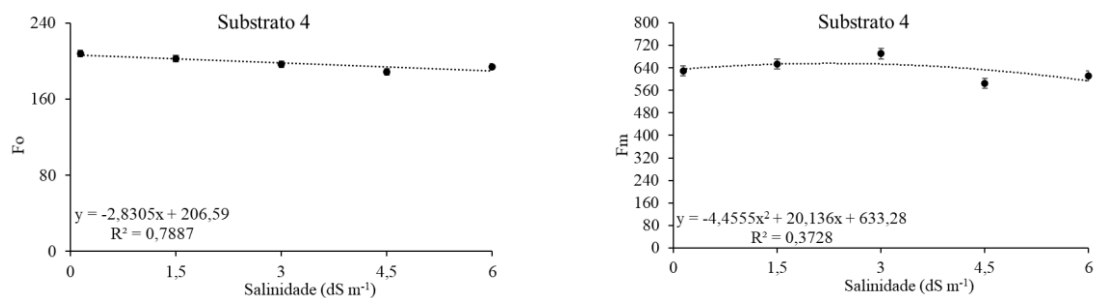


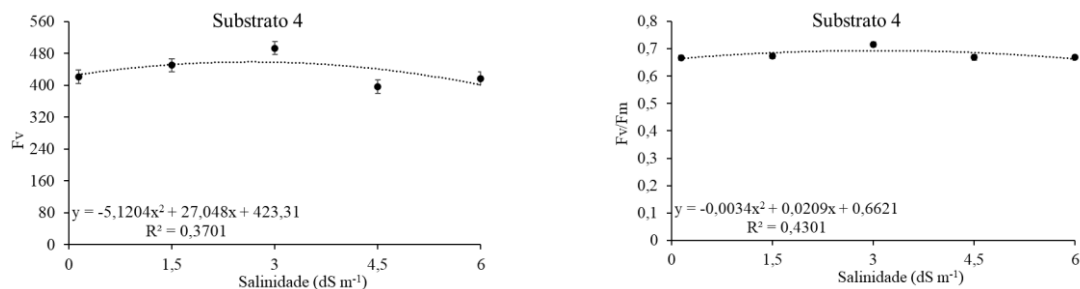
**Figura 3.** Relação entre a fluorescências da clorofila *a* e a salinidade da água de irrigação em plantas cultivadas no Substrato 3.

Uma das alternativas para o cultivo nesses ambientes é o uso de substratos com características atenuantes ao efeito dos sais. Logo o substrato 3 é composto por uma mistura de 30% de casca de coco, 40% de lodo de esgoto e 30% de solo, materiais capazes de atenuar os seus efeitos, já que, proporcionam uma incorporação na matéria orgânica, lixiviação dos sais e agregação de suas partículas.

Quando o aparelho fotossintético da planta está íntegro, a razão (Fv/P) varia entre 0,75 e 0,85 enquanto uma queda nesta razão reflete a presença de dano fotoinibitório nos centros de reação do PSII (Bolhàr-Nordenkampf et al., 1989; Tsai et al., 2019). Considerando que a fotossíntese é um processo vital para as plantas, mudanças em seu aparato implica em seu desenvolvimento completo, a exemplo da restrição do crescimento e produção.

Analisando a (figura 4), é visto que, à medida que a salinidade aumenta, a Fo diminui ligeiramente, isso sugere que há um efeito negativo da salinidade sobre o estado basal do fotossistema II (PSII), o mesmo acontece em (Fm) e Fv. Na eficiência quântica, a estabilidade dos valores indica que o aparato não está sofrendo efeito iônico, por outro lado, a planta pode estar sentindo a necessidade de otimizar o uso da energia para a produção de ATP, de modo a ser usado nos processos bioquímicos da fotossíntese, como observado por Silva et al. (2021).

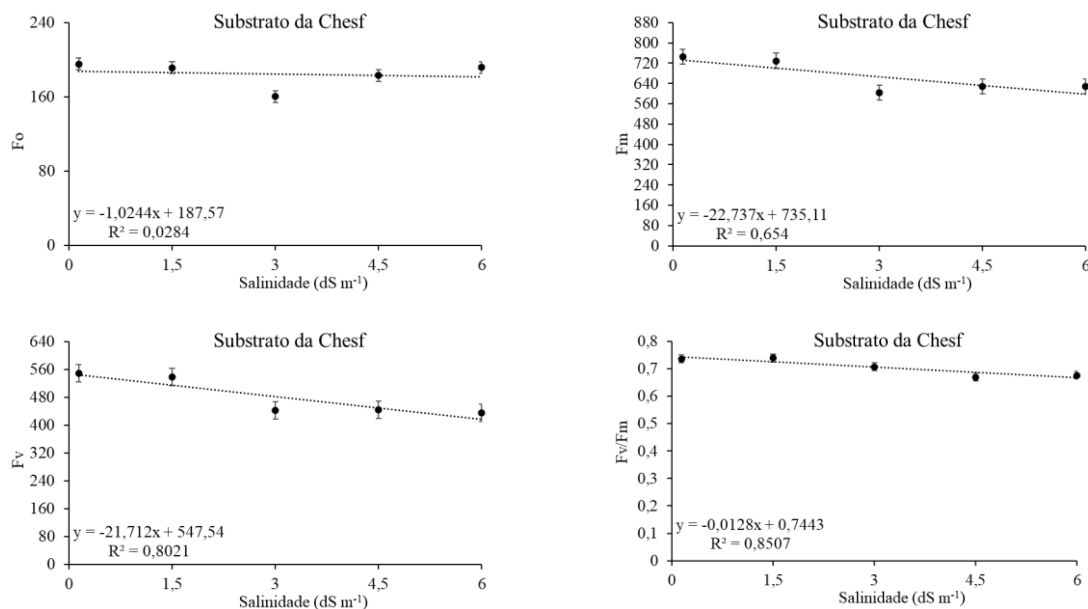




**Figura 4.** Relação entre a fluorescências da clorofila *a* e a salinidade da água de irrigação em plantas cultivadas no Substrato 4.

A salinidade não ocasionou grandes alterações no PSII (Figura 5), considerando que a  $F_o$  se manteve estável, porém, quando analisada a  $F_m$ , é constatado que o aumento dos sais afeta sua eficiência. Já a  $F_v$  diminui progressivamente com o seu aumento, evidenciando queda na diferença entre  $F_m$  e  $F_o$ . Corroborando com isso, está a redução da  $F_v/F_m$ , o que indica perturbação ou dano ao aparelho fotossintético (Glynn et al., 2003).

Redução na eficiência quântica do fotossistema II, denota a importância entre o equilíbrio nutricional e a capacidade de lixiviar os sais no solo para se ter um melhor condicionamento da planta. Considerando que esse substrato (Figura 5) é a base de solo e esterco, as condições de ambiente ótimo as mudas de umbuzeiro ficam comprometidos, o que evidencia a importância do substrato para obter mudas de boa qualidade, esse, deve ser um ambiente favorável com disponibilidade de água e ar, textura e estrutura excelentes (BARROS et al., 2017; SANTOS et al., 2022).

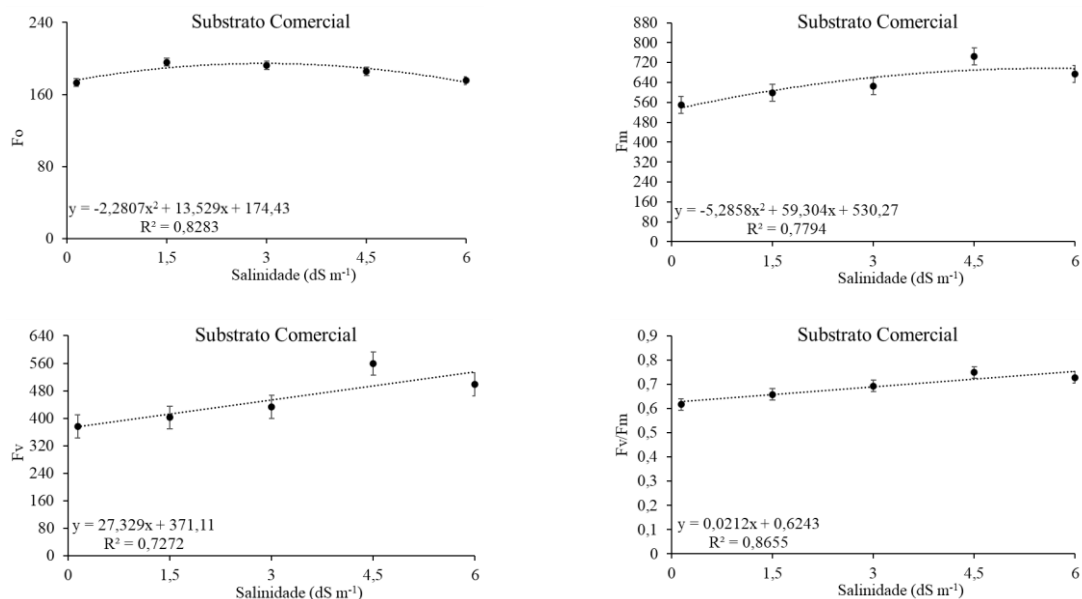


**Figura 5.** Relação entre a fluorescências da clorofila *a* e a salinidade da água de irrigação em plantas cultivadas no Substrato da Chesf.

A fluorescências inicial ( $F_o$ ) (Figura 6) mostra uma resposta quadrática, com desempenho máximo até a salinidade intermediária de  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ , e após isso, uma queda indicando efeito

tóxico nas mudas. Na máxima (Fm) houve um aumento conforme a salinidade se eleva. Em Fv e Fv/Fm, houve uma resposta linear positiva, o que sugere que essas variáveis foram prejudicada pela salinidade, o que pode ser atrelado ao substrato do tipo comercial.

É importante buscar fontes alternativas a produção de mudas, devido aos altos preços dos substratos comerciais, o que representa um custo adicional ao agricultor (SOUZA et al., 2021). Essas, por sua vez devem ter baixo custo e boa qualidade com características para compor novos substratos, e seu uso contribua para diminuir a quantidade de resíduos no meio ambiente (OZA et al., 2018).



**Figura 6.** Relação entre a fluorescências da clorofila *a* e a salinidade da água de irrigação em plantas cultivadas no Substrato Comercial.

## CONCLUSÕES

A análise da fluorescência da clorofila *a*, mostra que os efeitos da salinidade sobre o fotossistema II variaram de acordo com o nível de sal e o tipo de substrato utilizado.

Houve reduções em Fo nos substratos 3 e 4, reduzindo capacidade máxima de emissão de fluorescência. A Fm e Fv/Fm foi reduzida nos substratos 3, 4 e Chesf indicando a perturbação ou dano ao seu aparelho fotossintético pelo aumento da salinidade da água.

A salinidade ocasiona aumento na energia das mudas de umbuzeiro cultivadas no comercial, o que leva dano ao aparato fotossintético.

## 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), e a CHESF.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, Oxford, v. 59, p. 89-113, 2008.

BARROS, D. L.; REZENDE, F. A.; CAMPOS, A. T.; MAIA, C. M. B. F. Biochar of sawdust origin in passion fruit seedling production. **Journal of Agricultural Science**, v.9, n. 5, p. 200-207, Apr. 2017.

BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SOARES FILHO, W. S.; SUASSUNA., J. F. Screening of citrus scion-rootstock combinations for tolerance to water salinity during seedling formation. **Acta Scientiarum-Agronomy**. v. 43, e48163, 2021.

FERNANDES, P. D. Gas exchange, growth, and production of cotton genotypes under water deficit in phenological stages. **Revista Caatinga**, v.36, p.145-157, 2023.

GLYNN, P.; FRASER, C.; GILLIAN, A. Foliar salt tolerance of Acer genotypes using chlorophyll fluorescence. **Journal of Arboriculture**, v.29, p.61-65, 2003.

KRAUSE, G. H.; WINTER, K. Photoinhibition of photosynthesis in plants growing in natural tropical forest gaps: a chlorophyll fluorescence study. **Acta Botânica**, v. 109, n. 6, p. 456-462, 1996.

MOREIRA, M. N.; COSTA, É. K. DE. C.; RODRIGUES, S. L.; NARAIN, D. N. Perfil fitoquímico e propriedade antioxidante de diferentes genótipos de frutos do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara): uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n.16, e58101623116, 2021.

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.

OZA, E. F.; MONACO, P. A. V. LO.; SANTOS, M. M. DOS.; ROSADO, T. L.; KRAUSE, M. R.; GARCIA, W. A. Aproveitamento de escória de siderurgia em substratos alternativos para

produção de mudas de pimenteira Dedo-de-moça. **Revista Ceres**, v.65, n.1, p.104-109, Jan./Fev. 2018.

SÁ, C. S. B.; SHIOSAKI, R. K.; DOS SANTOS, A. M.; CAMPOS, M. A. DA S. Salinization causes abrupt reduction in soil nematode abundance in the Caatinga area of the Submedio San Francisco Valley, **Brazilian semiarid region. Pedobiologia**, v.85–86, 2021.

SANTOS, F. P. DOS.; LIMA, A. P. L. DE.; LIMA, S. F.; SILVA, A. A. P. DA.; CONTARDI, L. M.; VENDRESCULO, E. P. Biochar and biostimulant in forming *Schinus terebinthifolius* seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.26, n. 7, p.520-526, Feb. 2022.

SANTOS, L. C.; ARAUJO S, S. T.; MEDEIROS, C. R.; SANTOS, A. V. D.; SILVA SEVERO, P. J.; MEDEIROS, J. E.; PEREIRA, J. D. A. Peróxido de hidrogênio como atenuante do estresse salino na formação de mudas de pitaiá vermelha (*Hylocereus costaricensis*). **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.5, p.27295-27308, 2020.

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**, v. 25, p. 409 - 414, 2021.

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.

SOUZA, F. E. C de.; NATALE, W.; BRAGA, M de. M.; MESQUITA, R. O.; COSTA, R. S da. Growth and accumulation of nutrients in papaya tree seedlings grown on organic substrates. **Revista Ceres**, v.68, n.4, p. 267-275, Jul./Aug. 2021.

TSAI, YU-C.; CHAUN, K. C; CHENG, T. S.; LEE, C.; LIN, S. H.; TUNG, C. W. Chlorophyll fluorescence analysis in diverse rice varieties reveals the positive correlation between the seedlings salt tolerance and photosynthetic efficiency. **BMC Plant Biology**, 19, 403, 2019.

USMAN, M.; BOKHARI, S. A. M.; FATIMA, B.; RASHID, B.; NADEEM, F.; SARWAR, M. B.; NAWAZ-UL REHMAN, M. S.; SHAHID, M.; AYUB, C. M. Drought stress mitigating morphological, physiological, biochemical, and molecular responses of guava (*Psidium guajava* L.) cultivars. **Frontiers in Plant Science**, v.13, e878616, 2022.