

EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DO MARACUJAZEIRO-AZEDO SOB ESTRATÉGIAS COM DÉFICT HÍDRICO E ÁCIDO SALICÍLICO

Allesson Ramos de Souza¹, André Alisson Rodrigues da Silva², Geovani Soares de Lima³, Carlos Alberto Vieira de Azevedo⁴, Thiago Filipe de Lima Arruda⁵ e Kheila Gomes Nunes⁶

RESUMO: Os efeitos deletérios do déficit hídrico são um dos maiores entraves para a produção agrícola no semiárido Nordeste. Ante o exposto, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação foliar de ácido salicílico na eficiência fotoquímica do maracujazeiro-azedo cv. Redondo Amarelo sob estratégias de irrigação com déficit hídrico variando-se as fases fenológicas, baseadas na evapotranspiração de referência da cultura - ETr (irrigação com 100% da ETr durante todo o ciclo de cultivo - SE; irrigação com 50% da ETr na fase vegetativa – VE e floração – FL) e duas concentrações de ácido salicílico – AS (0 e 1,0 mM), distribuídos em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial de 3×2 com quatro repetições e uma planta por parcela. A concentração de 1,0 mM de ácido salicílico não proporcionou incrementos para a fluorescência inicial. No entanto, verificou-se que independente da estratégia de irrigação utilizada a aplicação de AS resultou em incrementos na fluorescência máxima. Além disto, o ácido salicílico resultou em incrementos para a fluorescência variável e a eficiência quântica do fotossistema II aos 110 dias após o transplante.

PALAVRAS-CHAVE: Déficit hídrico; aclimação; Semiárido Nordeste.

PHOTOCHEMICAL EFFICIENCY OF SOUR PASSION FRUIT UNDER DIFFERENT STRATEGIES WITH WATER DEFICIT AND SALICYLIC ACID

ABSTRACT: The deleterious effects of water deficit are one of the greatest obstacles to agricultural production in the semiarid Northeast. Given the above, the objective of this study was to evaluate the effects of foliar application of salicylic acid on the photochemical efficiency

¹ Doutorando em Eng. Agrícola, PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, Fone: (83) 99387-0752, allesson13@outlook.com;

² Dr. em Eng. Agrícola, Prof. titular, UFOPA, Juruti-PA, Fone: (83) 98689-8061, andrealisson_cgpb@hotmail.com;

³ Dr. em Eng. Agrícola, Prof. assistente CCTA, UFCG, Pombal-PB, Fone: (83) 99945-9864, geovanisoareslima@gmail.com;

⁴ Dr. em Eng. Agrícola, Prof. titular PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, Fone: (83) 98811-5725, cvieiradeazevedo@gmail.com;

⁵ Doutorando em Eng. Agrícola, PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, Fone: (83) 99808-9596, thiago.filipe.la@gmail.com;

⁶ Doutoranda em Eng. Agrícola, PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, Fone: (83) 99117-8421, kheilagomesnunes@gmail.com.

of passion fruit cv. Redondo Amarelo under irrigation strategies with water deficit, varying the phenological phases, based on the crop's reference evapotranspiration - ETr (irrigation with 100% of ETr throughout the crop cycle - SE; irrigation with 50% of ETr in the vegetative phase - VE and flowering - FL) and two concentrations of salicylic acid - SA (0 and 1 mM), distributed in a randomized block design, in a 3×2 factorial scheme with four replicates and one plant per plot. The concentration of 1.0 mM salicylic acid did not provide increases in initial fluorescence. However, it was found that regardless of the irrigation strategy used, the application of the substance provides increases in maximum fluorescence. In addition, salicylic acid resulted in increases in variable fluorescence and quantum efficiency of photosystem II at 110 days after transplantation.

KEYWORDS: Water deficit; acclimatization; Northeastern Semiarid Region.

INTRODUÇÃO

O maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis* Sims) é uma frutífera de clima tropical e subtropical originária do Brasil, destacando-se por ser o principal produtor e exportador de frutas do maracujá (BOTELHO et al., 2019). A região Nordeste do Brasil, por sua vez, tem se destacado como a maior produtora de maracujá, sendo responsável por uma produção de 69,77% das 607.859 toneladas produzidas no ano de 2022 (IBGE, 2025). No entanto, tal região é caracterizada por possuir problemas com relação a disponibilidade hídrica. Sendo a seca uma das principais consequências das mudanças climáticas, caracterizando-se por ser uma das principais restrições abióticas que afetam a produção agrícola no mundo (SOUSA et al., 2023).

Sob condições de escassez hídrica, a concentração intercelular de CO₂ na câmara subestomática aumenta, causando danos oxidativos aos cloroplastos e reduzindo a síntese de pigmentos fotossintéticos, prejudicando assim as atividades do fotossistema II (PSII) (XIA et al., 2022). Logo, práticas que possam minimizar os efeitos deletérios do déficit hídrico são de grande importância. Uma alternativa que vem ganhando grande destaque é a utilização de substâncias elicitoras, destacando-se o ácido salicílico.

Este fitormônio participa de diversos processos bioquímicos e fisiologia na planta, atuando no metabolismo do nitrogênio, síntese de prolina, de glicina-betaína, açúcares solúveis e fotossíntese, auxiliando na manutenção da homeostase da planta (SHEMI et al., 2021). Estudos anteriores relatam que o ácido salicílico atenuou os efeitos deletérios do déficit hídrico

nas trocas gasosas e nos pigmentos fotossintéticos em mudas de maracujazeiro-azedo e na aroeira (FÁTIMA et al., 2023; SANTOS et al., 2022).

No entanto, não há relatos na literatura sobre a aplicação de ácido salicílico na atenuação dos efeitos do déficit hídrico nas fases fenológicas do maracujazeiro-azedo cv. Redondo Amarelo. Neste sentido, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação foliar de ácido salicílico na eficiência fotoquímica de plantas de maracujazeiro-azedo cv. Redondo Amarelo sob estratégias de irrigação com déficit hídrico nas fases fenológicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente protegido na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da UFCG, em Campina Grande – PB. A casa de vegetação, tipo arco, media 30 m × 21 m, com 3 m de pé direito e cobertura de polietileno (150 microns). A casa de vegetação foi do tipo arco, com 30 m de comprimento e 21 m de largura, pé direito de 3,0 m, com cobertura de polietileno de baixa densidade (150 microns). As temperaturas máximas, mínimas e a umidade relativa do ar durante a condução da pesquisa podem ser observadas na figura 1.

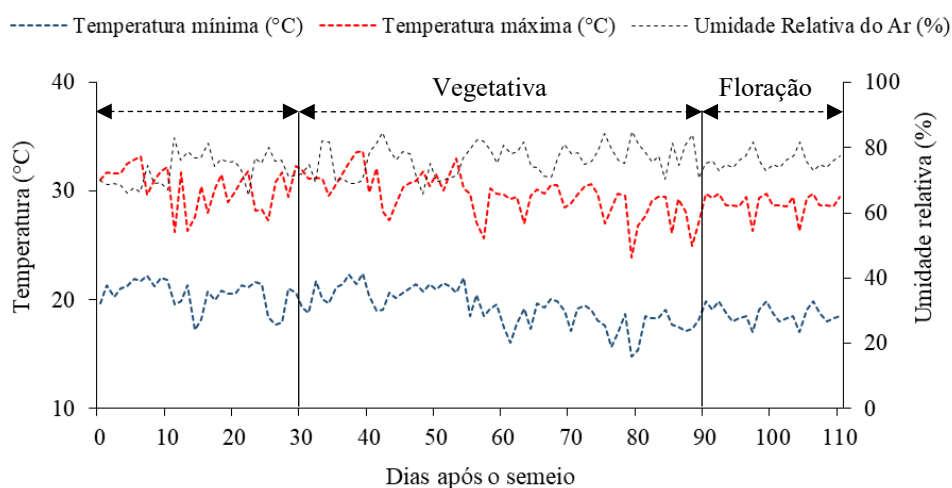


Figura 1. Temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ambiente interno da estufa durante o período experimental.

Os tratamentos foram constituídos por três estratégias de irrigação com restrição hídrica, baseadas na evapotranspiração de referência da cultura - ETr (irrigação com 100% da ETr durante todo o ciclo de cultivo - SE; irrigação com 50% da ETr na fase vegetativa – VE e

floração – FL) e duas concentrações de ácido salicílico – AS (0 e 1 mM), distribuídos em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial de 3×2 com quatro repetições e uma planta por parcela. Utilizou-se a metodologia de lisimetria de drenagem para a irrigação de acordo com cada tratamento. As concentrações de ácido salicílico foram estabelecidas com base na pesquisa de Sobrinho et al. (2023), que avaliou as aplicações foliares de ácido salicílico no maracujá azedo na atenuação do estresse salino.

As mudas foram produzidas utilizando-se três sementes de maracujá redondo amarelo para a sua formação, sendo semeadas em sacos plásticos com dimensões de 15×20 cm, com capacidade de 3 kg preenchidos com substrato composto por 84% de solo, 15% de areia e 1% de húmus. Uma vez emergidas, realizou-se o desbaste de duas plantas por saco aos 20 DAS. Em seguida, foi realizado o tutoramento das plantas para manter um crescimento ereto e evitar o seu tombamento. Aos 80 dias após a semeadura (DAS) as mudas foram transportadas para os vasos plásticos com volume de 200 dm^3 adaptados com lisímetros de drenagem utilizando-se drenos transparentes de 20 mm de diâmetro. Sendo inserida uma manta geotêxtil (tipo Bidim) e uma camada de 1 kg de brita ($n^\circ 0$) para evitar a obstrução dos drenos. Abaixo de cada lisímetro, foram acopladas duas garrafas plásticas com capacidade de 2L para coletar a água drenada, possibilitando a estimativa do consumo hídrico da planta.

Posteriormente, os vasos foram preenchidos com 250 kg de solo, classificado como Neossolo Regolítico (*Psammento*), coletado a uma profundidade de 0-30 cm no município de Riachão do Bacamarte – PB, cujas características físico-químicas foram determinadas conforme a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). Onde a análise do solo revelou um pH de 5,40. O teor de matéria orgânica (M.O.) foi de $17,42 \text{ g dm}^{-3}$, enquanto a concentração de fósforo (P) foi de $2,92 \text{ mg dm}^{-3}$. Já os teores dos cátions trocáveis: potássio (K) com $0,28 \text{ cmolc kg}^{-1}$, sódio (Na) com $0,04 \text{ cmolc kg}^{-1}$, cálcio (Ca^{2+}) com $1,87 \text{ cmolc kg}^{-1}$ e magnésio (Mg^{2+}) com $1,70 \text{ cmolc kg}^{-1}$. Já os elementos relacionados à acidez foram: alumínio (Al^{3+}) com $0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$ e hidrogênio mais alumínio ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) com $2,88 \text{ cmolc kg}^{-1}$. Com relação às propriedades físicas, a análise granulométrica mostrou a seguinte composição: $675,2 \text{ g kg}^{-1}$ de areia, $221,8 \text{ g kg}^{-1}$ de silte e 103 g kg^{-1} de argila. A densidade do solo foi de $1,51 \text{ g cm}^{-3}$. A umidade do solo foi de $5,34 \text{ dag kg}^{-1}$, e a densidade máxima atingida foi de $33,42 \text{ kPa}$.

A irrigação foi realizada diariamente às 7h00, conforme os tratamentos estabelecidos. O volume de água aplicado em cada recipiente foi determinado com base no balanço hídrico, conforme descrito na Equação 1.

$$VI = \frac{(Va - Vd)}{(1 - FL)} \quad (1)$$

Onde:

VI - volume de água a ser aplicado na irrigação;

Va - volume aplicado na irrigação anterior (mL);

Vd - volume drenado (mL);

FL - fração de lixiviação de 0,15, aplicada a cada 30 dias.

A irrigação deficitária equivalente a 50% da evapotranspiração de referência (ET_r), foi aplicada de forma segmentada ao longo do ciclo da planta, considerando os diferentes estádios fenológicos. A definição dessas fases foi realizada com base em critérios morfológicos, sendo o estágio vegetativo (30 – 90 DAT) compreendido do transplantio até o surgimento do primórdio floral e o estágio de floração (90 – 110 DAT), do aparecimento do primórdio floral até a antese. A mudança de fase foi estabelecida quando 50% das plantas apresentaram características fenológicas compatíveis com o estágio subsequente, conforme descrito por Pinheiro et al. (2023). As estratégias de manejo da irrigação com déficit hídrico começaram aos 30 DAT, quando as mudas já se apresentavam aclimatadas às condições ambientais da casa de vegetação.

A concentração de ácido salicílico foi obtida pela diluição em álcool etílico (30%), por se tratar de uma substância de baixa solubilidade em água à temperatura ambiente, sendo o preparo realizado sempre no dia da aplicação. Para diminuir a tensão superficial das gotas na superfície foliar, foi inserido no preparo da solução o adjuvante Wil fix na concentração de 0,5 mL L⁻¹ de solução, com aplicações iniciadas 30 DAT.

A adubação foi realizada conforme as recomendações de Costa et al. (2008). O fósforo foi aplicado em dose única, na quantidade de 120 g por planta. A adubação nitrogenada e potássica teve início aos 15 dias após o transplantio (DAT), sendo realizada quinzenalmente por meio de fertirrigação. Durante as fases vegetativas e de floração, foram aplicados 166,57 g de N e 156,58 g de K₂O por planta. As fontes utilizadas foram: ureia (45% de N) como fonte de nitrogênio; superfosfato simples (18% de P₂O₅, 16% de Ca²⁺ e 10% de S) como fonte de fósforo; e cloreto de potássio (60% de K₂O) como fonte de potássio. Os micronutrientes foram fornecidos via foliar a cada 15 dias durante todo o ciclo, utilizando um pulverizador costal com uma solução contendo 1,0 g L⁻¹ de Dripsol Micro Rexene®.

A fluorescência da clorofila a, foi determinada por meio de um fluorômetro de pulso modulado modelo OS5p da Opti Science; utilizando-se o protocolo Fv/Fm, para determinação

das variáveis de indução de fluorescência: Fluorescência inicial (F_0), Fluorescência máxima (F_m), Fluorescência variável (F_v) e a eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m). Tal protocolo foi realizado após adaptação das folhas ao escuro por um período de 30 min, usando-se um clipe do equipamento. Os dados coletados foram submetidos a análises de normalidade (Shapiro-Wilk) e homoscedasticidade. Nos casos em que houve significância, foi realizado o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) para as estratégias de irrigação com déficit hídrico e a o teste F ($p \leq 0,05$) para as concentrações ácido salicílico, utilizando o software estatístico R-Studio (V.4.1.0).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre os fatores (EI \times AS) afetou significativamente a fluorescência inicial (F_0) e a fluorescência máxima (F_m). O ácido salicílico influenciou significativamente ($p \leq 0,05$) a fluorescência variável (F_v) e a eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) do maracujazeiro-azedo, aos 110 dias após o transplantio.

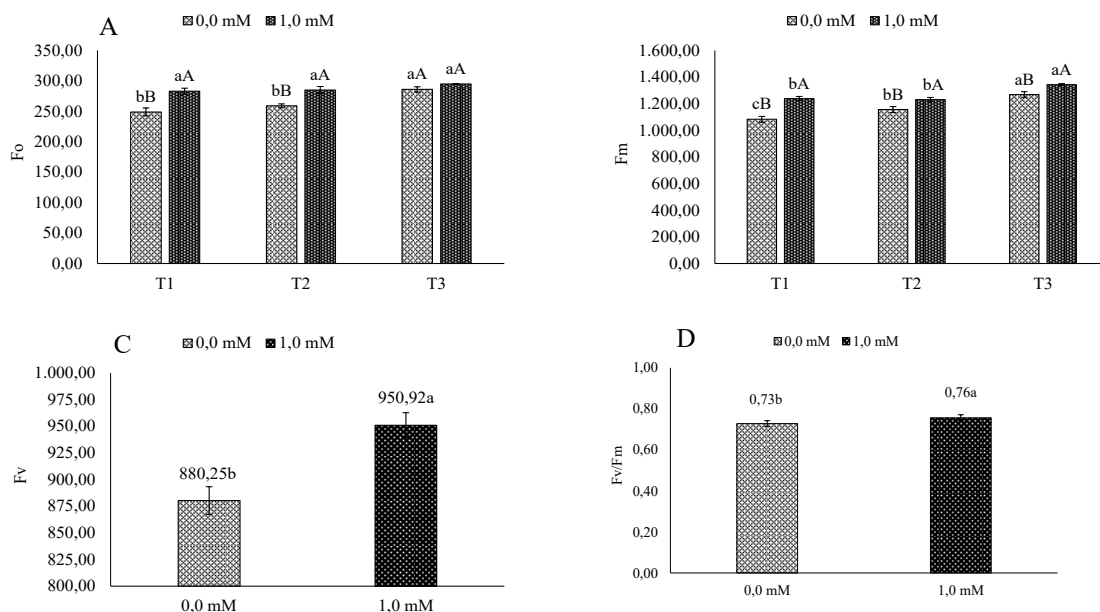
Tabela 1. Resumo da análise de variância para a fluorescência inicial (F_0), máxima (F_m), variável (F_v) e eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) do maracujazeiro- azedo cultivado sob estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido salicílico, aos 110 dias após o transplantio.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		F_0	F_m	F_v	F_m/F_v
Estratégias de irrigação (EI)	2	1344,38**	46322,79**	22597,16 ^{ns}	0,0023 ^{ns}
Ácido salicílico (AS)	1	3139,59**	61813,50**	29962,66**	0,0012**
Interação (EI \times AS)	3	340,96**	555,11*	461,16 ^{ns}	0,0041 ^{ns}
Blocos	2	102,39 ^{ns}	4445,16 ^{ns}	298,05 ^{ns}	0,0036 ^{ns}
Resíduo	15	83,85	1021,86	467,56	0,0008
CV (%)		5,83	6,05	4,27	3,7

GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; *, **, ***, ns - Significativo a $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$, $p \leq 0,001$ e não significativo, respectivamente.

Ao analisar a fluorescência inicial (Figura 2A) de plantas de maracujazeiro-azedo submetidas a diferentes estratégias de irrigação, mas sem a aplicação do ácido salicílico (0,0 mM), verifica-se que os menores valores médios de 249,00 e 259,00 foram observados em plantas mantidas sob irrigação plena durante todo o ciclo com irrigação deficitária na fase vegetativa, respectivamente. Contudo, observa-se efeito antagônico do ácido salicílico para a variável, promovendo aumentos de 10,04 e 13,65%, nas fases fenológicas supracitadas.

B



Letras minúsculas e maiúsculas iguais indicam que não houve diferença significativa entre as estratégias de irrigação sob déficit hídrico (Scott-Knott, $p \leq 0,05$) e entre as concentrações de ácido salicílico (Tukey, $p \leq 0,05$), respectivamente. As barras verticais representam o erro padrão da média ($n = 4$). As estratégias de irrigação foram definidas da seguinte forma: T1 – sem déficit hídrico durante todo o ciclo da cultura; T2 e T3 – déficit hídrico aplicado nas fases vegetativa e na floração, respectivamente.

Figura 2. Fluorescência inicial – F0 (A), fluorescência máxima – Fm (B) em função da interação entre as estratégias de irrigação e a aplicação de ácido salicílico; fluorescência variável – Fv (C) e eficiência quântica do fotossistema II – Fv/Fm (D) em função das concentrações de ácido salicílico, aos 110 dias após o transplantio.

Já para a fluorescência máxima (Figura 2B), verificou-se que a aplicação do ácido salicílico promoveu um aumento da variável, independentemente da estratégia de irrigação utilizada. Os maiores valores médios de 1239,00, 1231,00 e 1343,00, foram observados em plantas submetidas a irrigação plena durante todo o ciclo, deficitária na vegetativa e na fase de floração, associadas a aplicações foliares de ácido salicílico (1,0 mM), o que representa incrementos de 14,40, 6,49 e 5,83%, respectivamente, em comparação às plantas cultivadas com as mesmas estratégias, mas sem a aplicação do composto. Esse resultado pode estar relacionado à menor degradação da proteína D1, componente essencial do centro de reação do PSII, e à mitigação de danos oxidativos, favorecendo assim a integridade funcional do aparato fotossintético, podendo contribuir também para o aumento da produção de ATP, otimizando o desempenho fotossintético das plantas (SHEMI et al., 2021).

A aplicação de ácido salicílico elevou a fluorescência variável (Figura 1C) e a eficiência quântica do fotossistema II (Figura 1D), proporcionando os maiores valores médios de 950,92 e 0,76, o que representa incrementos de 8,03 e 3,94% para as respectivas variáveis, em comparação com as plantas de que não receberam a aplicação do AS (0,0 mM). A aplicação do ácido salicílico pode atuar na redução da distribuição térmica da energia luminosa absorvida

pelos pigmentos, tornando assim o uso de energia mais eficaz nas reações fotoquímicas das plantas, aumentando assim a sua eficiência (MOUSTAKAS et al., 2022).

CONCLUSÕES

A irrigação com déficit hídrico na fase vegetativa resulta em maior fluorescência inicial sob aplicação foliar de ácido salicílico na concentração de 1,0 mM. A aplicação foliar de ácido salicílico na concentração de 1,0 mM promove aumento na fluorescência máxima, independentemente da estratégia de irrigação adotada. O ácido salicílico incrementou a fluorescência variável e eficiência quântica do fotossistema II do maracujazeiro-azedo aos 110 dias após o transplântio.

AGRADECIMENTOS

Registro meus agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro viabilizado por meio da concessão de bolsa de estudos. Agradeço também ao INCT em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical – INCT AGriS (CNPq/Funcap/Capes), pelos financiamentos concedidos por meio dos processos 406570/2022-1 (CNPq) e INCT-35960-62747.65.95/51 (Funcap).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOTELHO, S. C. C.; HAUTH, M. R.; BOTELHO, F. M.; RONCATTO, G.; WOBETO, C.; COSTA, A. F. S.; COSTA, A. N.; VENTURA, J. A.; FANTO, C. J.; LIMA, I. DE. M.; CAETANO, L. C. S.; SANTANA, E. N. **Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro**. Vitória, ES: Incaper, 2008.56 p. (Incaper. Documentos, 162).
- FÁTIMA, R. T.; LIMA, G. S. de; SOARES, L. A. A dos.; VELOSO, L. L. de S. A.; SILVA, A. A. R. da; LACERDA, C. N.; PEREIRA, W. E. Concentrations and forms of application of salicylic acid mitigate water stress in sour passion fruit seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e270865, 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de maracujá (cultivo) no Brasil**. Senso Agro 2022.

MOUSTAKAS, M.; SPERDOULI, I.; ADAMAKIS, I. D. S.; MOUSTAKA, J.; İŞGÖREN, S.; ŞAŞ, B. Harnessing the role of foliar applied salicylic acid in decreasing chlorophyll content to reassess photosystem II photoprotection in crop plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, p. 7038, 2022.

PINHEIRO, F. W.; LIMA, G. S. de; SOUSA, P. F. do N.; SOUZA, W. B. de; SOARES, L. A. dos A.; GHEYI, H. R.; FELIX, C. M.; PAIVA, F. J. da S. Potassium fertilization in the cultivation of sour passion fruit under irrigation strategies with brackish water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.27, 42-50, 2023.

SANTOS, C. C.; LIMA, N. M.; SARACHO, L. C. D. S.; SCALON, S. D. P.; VIEIRA, M. D. C. Salicylic acid alleviates the water stress on photochemical apparatus and quality of *Schinus terebinthifolia* seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 747-752, 2022.

SHEMI, R.; WANG, R.; GHEITH, E. S. M.; HUSSAIN, H. A.; HUSSAIN, S.; IRFAN, M.; WANG, L. Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 3195, 2021.

SOBRINHO, T. G.; SILVA, A. A. R. da; LIMA, G. S. de; LIMA, V. L. A. de; BORGES, V. E.; NUNES, K. G.; AZEVEDO, C. A. V. de. Foliar applications of salicylic acid on boosting salt stress tolerance in sour passion fruit in two cropping cycles. **Plants**, v. 12, n. 10, p. 2023, 2023.

SOUSA, L. I. S.; BRITO, A. E. A.; SOUZA, L. C.; TEIXEIRA, K. B. S.; NASCIMENTO. Does silicon attenuate PEG 6000-induced water deficit in germination and growth initial the seedlings corn. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, e265991, 2023.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 627p.

XIA, Q.; FU, LJ; TANG, H.; CANÇÃO, L.; TAN, JL; GUO, Y. Detection and classification of water stress levels in rice (*Oryza sativa* L.) based on chlorophyll fluorescence. **Photosynthetica**, v.60, p.110-107, 2022.