



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: FITOTECNIA

**MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA RESTRIÇÃO HÍDRICA EM PLANTAS JOVENS
DE MARACUJÁ AMARELO (*Passiflora edulis* Sims) POR MEIO DE APLICAÇÕES
DE BIOESTIMULANTE, ÁCIDO SALICÍLICO E NITROPRUSSIATO DE SÓDIO**

RAUL ANTONIO ARAÚJO DO BONFIM

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
2022

RAUL ANTONIO ARAÚJO DO BONFIM

**MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA RESTRIÇÃO HÍDRICA EM PLANTAS JOVENS
DE MARACUJÁ AMARELO (*Passiflora edulis* Sims) POR MEIO DE APLICAÇÕES
DE BIOESTIMULANTE, ÁCIDO SALICÍLICO E NITROPRUSSIATO DE SÓDIO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Araquém Ramos Cairo

Coorientador: Prof. Dr. Fábio Pinto Gomes

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
2022

B713m

Bonfim, Raul Antonio Araújo do.

Mitigação dos efeitos da restrição hídrica em plantas jovens de maracujá amarelo (*Passiflora edulis Sims*) por meio de aplicações de bioestimulante, ácido salicílico e nitroprussiato de sódio. / Raul Antonio Araújo do Bonfim, 2022.

74f.

Orientador (a): Dr. Paulo Araquém Ramos Cairo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2022.

Inclui referência F. 51 – 74.

1. Maracujá amarelo. 2. Reguladores de crescimento - Óxido nítrico. 3. Osmorregulação. 4. Enzimas antioxidantes. I. Cairo, Paulo Araquém Ramos. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. T.

CDD: 634.425

Catálogo na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890

Bibliotecária UESB – Campus Vitória da Conquista-BA



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em Fitotecnia**

Campus de Vitória da Conquista, BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA RESTRIÇÃO HÍDRICA EM PLANTAS JOVENS DE MARACUJÁ AMARELO (*Passiflora edulis* Sims) POR MEIO DE APLICAÇÕES DE BIOESTIMULANTE, ÁCIDO SALICÍLICO E NITROPRUSSIATO DE SÓDIO”.

AUTOR: Raul Antonio Araújo do Bonfim.

Aprovado como parte das exigências para a obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte Banca Examinadora:

Paulo Araquém Ramos Cairo

Dr. Paulo Araquém Ramos Cairo, D.Sc., (UESB)

Alan Carlos da Costa

Dr. Alan Carlos da Costa, D.Sc., (IFGOIANO)

Luiz Palhares Neto

Dr. Luiz Palhares Neto, D.Sc., (UESB)

Data de realização: 06 de dezembro de 2022

Estrada do Bem Querer, Km 4, CEP 45031-900, Caixa Postal 95, Vitória da Conquista,
Bahia, Brasil Telefone: (77) 3425-9383, e- mail: ppgagronomia@uesb.edu.br

AGRADECIMENTOS

A Deus, merecedor de toda honra e toda glória, que me deu forças, coragem e capacidade para viver cada momento intensamente. Obrigado por ter me guiado pelo caminho da sabedoria.

Aos meus pais, Sebastião e Sonja, pelo apoio durante toda essa caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Araquém Ramos Cairo que, desde a graduação, se propôs a me orientar, compartilhando conhecimentos que me motivaram a chegar até aqui. Obrigado pelos ensinamentos, força, paciência, dedicação, confiança e companheirismo, e pelos conselhos de vida que fortaleceram ainda mais a nossa amizade durante todos esses anos. Você é inspiração e admiração para a minha carreira profissional e para a vida.

Ao Dr. Leandro Dias da Silva, pelos ensinamentos, incentivo, apoio e amizade.

À Beatriz, Mateus Pires e Matheus Ferreira que estão comigo desde o início da graduação, e se tornaram amigos para a vida toda. Não consigo colocar aqui palavras capazes de descrever o tamanho do meu carinho e gratidão por tudo que sempre fizeram e fazem por mim.

Aos meus amigos do Laboratório de Fisiologia Vegetal: Leonardo, Milton e Marcos, pela colaboração na realização deste trabalho e pelos momentos de descontração. Saibam que podem contar sempre comigo.

À Virgiane (Paixão), pela ajuda na logística de realização do experimento, além do carinho, força, dedicação e paciência durante esse período.

Ao grupo das najas, que sempre estiveram presentes durante todo o curso. Obrigado pela força e carinho de sempre.

A todos os meus amigos da Pós-Graduação em Agronomia, em especial, à Eveline, Náatalia, Poliana e Rosilene, pelo carinho, confiança e todo apoio durante esse percurso.

À minha pastora (Sandra) que esteve sempre em oração e dando todo o apoio durante esse período.

Aos meus irmãos de vida, Rodrigo e Sidney, pelo apoio e por estarem ao meu lado em todo o tempo, sempre vibrando com minhas conquistas.

Às minhas *best's* Jamile, Leidiane e Marla, pela amizade e risadas, que foram essenciais nesse processo.

À Coordenação e a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, em especial, aos membros do Colegiado que me acolheram como representante discente e compartilharam muitos conhecimentos.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), pela disponibilização da estrutura para a realização e condução dos experimentos, em especial, ao Laboratório de Fisiologia Vegetal, na pessoa da professora Dra. Sylvana Naomi Matsumoto, pela estrutura e pelos equipamentos disponibilizados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

*Até aqui o Senhor nos ajudou! Amém.
1 Samuel 7:12*

RESUMO

BONFIM, R. A. A. **Mitigação dos efeitos da restrição hídrica em plantas jovens de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims) por meio de aplicações de bioestimulante, ácido salicílico e nitroprussiato de sódio.** Vitória da Conquista – BA, UESB, 2022. 71 p. (Dissertação: Mestrado em Agronomia; Área de Concentração: Fitotecnia)¹.

A deficiência hídrica limita o crescimento das mudas após o transplante e pode ser crucial para sua sobrevivência. A aplicação de elicitores tem sido utilizada para mitigar diversos estresses abióticos em plantas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com o objetivo de investigar a capacidade de três eliciadores em mitigar os efeitos do déficit hídrico em plantas jovens de maracujá-amarelo. Foram estabelecidos dois regimes de irrigação com base em 90 e 30% da capacidade do vaso. Foram avaliados os seguintes elicitores: Stimulate[®], um bioestimulante composto por auxinas, giberelinas e citocininas; ácido salicílico (ASL), um regulador de crescimento vegetal; e nitroprussiato de sódio (SNP), um doador de NO, mais uma testemunha (somente aplicação de água, sem elicitores). Foram avaliados atributos biométricos, estado hídrico da planta, trocas gasosas, teor de pigmentos fotossintéticos, amido, açúcares redutores e substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) e atividades da superóxido dismutase (SOD) e guaiacol peroxidase (GPX). O déficit hídrico afetou várias características fisiológicas e bioquímicas e prejudicou atributos biométricos essenciais. No entanto, esses efeitos negativos foram atenuados com a aplicação de elicitores e os processos inibitórios do crescimento foram reprimidos. Os elicitores revelaram desempenhos variáveis como mitigadores do estresse hídrico, dependendo das características fisiológicas e bioquímicas. O SNP foi o mais eficaz na prevenção da redução da condutância estomática e na manutenção da assimilação de CO₂, enquanto o Stimulate[®] foi o mais eficaz na prevenção da redução do teor de pigmentos fotossintéticos. Os três elicitores foram eficazes na indução da osmorregulação, o que ajuda a manter o turgor celular. Além disso, os elicitores atenuaram o estresse oxidativo, seja aumentando as atividades de SOD e GPX, seja mantendo estável ou diminuindo o teor de TBARS, evitando a peroxidação lipídica. Com base nos resultados obtidos neste estudo, conclui-se que a aplicação de elicitores é uma estratégia eficaz para mitigar os efeitos do déficit hídrico em plantas jovens de maracujá-amarelo.

Palavras-chave: Enzimas antioxidantes; estresse abiótico; osmorregulação; óxido nítrico; reguladores de crescimento.

¹ **Orientador:** Prof. Dr. Paulo Araújo Ramos Cairo, UESB e **Coorientador:** Prof. Dr. Fábio Pinto Gomes, UESC.

ABSTRACT

BONFIM, R. A. A. **Mitigation of the effects of water restriction in young yellow passion fruit plants (*Passiflora edulis* Sims) by applications of biostimulant, salicylic acid and sodium nitroprusside.** Vitória da Conquista – BA, UESB, 2022. 71 p. (Dissertation: Master Science in Agronomy; Area of Concentration: Crop Science)².

Water deficit limits seedlings growth after transplanting and can be crucial for its survival. The application of elicitors has been used to mitigate various plant abiotic stresses. We carried out a greenhouse experiment with aim to investigate the ability of three elicitors to mitigate the effects of water deficit in young yellow passion fruit plants. Two irrigation regimes were established based on 90 and 30% of the pot capacity, respectively. The following elicitors were evaluated: Stimulate[®], a biostimulant composed of auxins, gibberellins and cytokinins; salicylic acid (SA), a plant growth regulator; and sodium nitroprusside (SNP), a NO donor, plus a control (water application only, without elicitors). Biometric attributes, plant water status, gas exchange, content of photosynthetic pigments, starch, reducing sugars and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), and superoxide dismutase (SOD) and guaiacol peroxidase (GPX) activities were assessed. Water deficit affected various physiological and biochemical characteristics and was detrimental to essential biometric attributes. However, these negative effects were attenuated with the application of elicitors, and the growth inhibitory processes were repressed. The elicitors revealed variable performances as water stress mitigators, depending on the physiological and biochemical characteristics. SNP was the most effective in preventing a reduction in stomatal conductance and maintaining CO₂ assimilation, while Stimulate[®] was the most effective in preventing a reduction in photosynthetic pigments content. The three elicitors were effective in inducing osmoregulation, which helps to maintain cell turgor. Furthermore, the elicitors attenuated oxidative stress, either by increasing SOD and GPX activities, either by maintaining stable or decreasing TBARS content, preventing lipid peroxidation. Based on the results obtained from this study, we conclude that the applications of elicitors are an effective strategy to mitigate the effects of water deficit in young yellow passion fruit plants.

Keywords: Abiotic stress; antioxidant enzymes; growth regulators; nitric oxide; osmoregulation.

² **Advisor:** Prof. Dr. Paulo Araquém Ramos Cairo, UESB **and Coadvisor:** Prof. Dr. Fábio Pinto Gomes, UESC.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Aumento relativo de altura em plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitor, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) 34
- Figura 2 – Potencial hídrico foliar (Ψ_w) [A] e teor relativo de água (TRA) [B] em plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitor, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) 37
- Figura 3 – Condutância estomática (g_s) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função dos regimes de irrigação 90% e 30% [A] e das aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T) [B]. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) 38
- Figura 4 – Assimilação de CO₂ (A) [A], transpiração (E) [B] e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) [C] em plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitor, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) 39
- Figura 5 – Concentrações de clorofila total [A] e carotenoides [B] em plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitor, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) 40
- Figura 6 – Concentrações de amido [A] e açúcares redutores (AR) [B] em folhas de plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da

testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitador, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) 41

Figura 7 – Concentração de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) em folhas de plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitador, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) 42

Figura 8 – Atividade das enzimas dismutase do superóxido (SOD) [A] e peroxidase do guaiacol (GPX) [B] em folhas de plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitador, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) 43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo da análise de variância e coeficiente de variação (CV) para aumento relativo de altura de plantas (H), diâmetro de caule (D), área foliar (AF), comprimento de raiz (CR) e volume de raiz (VR) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função de aplicações de elicitores (E) e regimes de irrigação (RI)	33
Tabela 2 – Resumo da análise de variância e coeficiente de variação (CV) para massa seca da raiz e da parte aérea (MSR e MSPA) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função de aplicações de elicitores (E) e regimes de irrigação (RI)	33
Tabela 3 – Atributos biométricos em plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate [®] (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%	35
Tabela 4 – Massa seca da raiz e da parte aérea (MSR e MSPA) em plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate [®] (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%	36
Tabela 5 – Resumo da análise de variância e coeficiente de variação (CV) do potencial hídrico foliar (Ψ_w) e teor relativo de água (TRA) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função da aplicação de elicitores (E) e regimes de irrigação (RI)	36
Tabela 6 – Resumo da análise de variância e coeficiente de variação (CV) da condutância estomática (g_s), assimilação de CO ₂ (A), transpiração (E) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função da aplicação de elicitores (E) e regimes de irrigação (RI)	38
Tabela 7 – Resumo da análise de variância e coeficiente de variação (CV) para as concentrações de clorofila total (CLO), carotenoides (CAR), amido e açúcares redutores (AR) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função da aplicação de elicitores (E) e regimes de irrigação (RI)	40
Tabela 8 – Resumo da análise de variância e coeficiente de variação (CV) para substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), atividade das enzimas dismutase do superóxido (SOD) e peroxidase do guaiacol (GPX) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função da aplicação de elicitores (E) e regimes de irrigação (RI)	41

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ASL	Ácido salicílico
DNS	Ácido dinitrosalicílico
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra-acético
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
TCA	Ácido tricloroacético
AR	Açúcares redutores
AF	Área foliar
A	Assimilação de CO ₂
H	Aumento relativo de altura
NBT	Azul de tetrazólio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
CV	Coefficiente da variação
CR	Comprimento de raiz
<i>g_s</i>	Condutância estomática
DAT	Dias após o transplante
DMSO	Dimetilsulfóxido
CO ₂	Dióxido de carbono
SOD	Dismutase do superóxido
E	Elicitores
ERO	Espécies reativas de oxigênio
KH ₂ PO ₄	Fosfato de potássio
NaH ₂ PO ₄	Fosfato de sódio
MSPA	Massa seca da parte aérea
MSR	Massa seca da raiz
SNP	Nitroprussiato de sódio
NO	Óxido nítrico
GPX	Peroxidase do guaiacol
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
Ψ _w	Potencial hídrico
STML	Stimulate [®]
TBARS	Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico
TRA	Teor relativo de água
<i>E</i>	Transpiração
VR	Volume de raiz

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Cultivo de maracujazeiro amarelo no Brasil: aspectos sócio-econômicos, botânica e manejo	16
2.2 Efeitos fisiológicos do estresse hídrico	17
2.3 Hormônios, reguladores de crescimento e a mitigação do estresse hídrico	19
2.3.1 Auxinas	20
2.3.2 Giberelinas	20
2.3.3 Citocininas	22
2.3.4 Bioestimulantes – Stimulate®	23
2.3.5 ASL	23
2.4 NO e a mitigação do estresse hídrico	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Caracterização da área experimental	27
3.2 Delineamento experimental	27
3.3 Obtenção das mudas e condições experimentais	28
3.4 Avaliações	28
3.4.1 Atributos biométricos	28
3.4.2 Estado hídrico da planta	29
3.4.3 Trocas gasosas foliares	30
3.4.4 Quantificação de pigmentos fotossintéticos	30
3.4.5 Quantificação de amido e açúcares redutores	31
3.4.6 Quantificação de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)	31
3.4.7 Atividade de enzimas antioxidantes	32
3.5 Análise estatística	32
4 RESULTADOS	33
4.1 Atributos biométricos	33
4.2 Estado hídrico da planta	36
4.3 Trocas gasosas foliares	37
4.4 Concentrações de pigmentos fotossintéticos, amido e açúcares redutores	39
4.5 TBARS e enzimas antioxidantes	41
5 DISCUSSÃO	43
6 CONCLUSÕES	50
7 REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

O maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims) é um fruto consumido principalmente *in natura*, mas também comercializado como compota, suco integral e polpa congelada. A polpa é utilizada na produção de doces, geleias, sucos, néctares, sorvetes, licores e outros produtos (Petry et al., 2019). O Brasil é o maior produtor mundial de maracujá amarelo, cuja produção alcançou 690.394 t em 2020. O estado da Bahia é o segundo maior produtor no país, com uma área de 17.414 ha destinada à colheita, e uma produção de 197.160 t. No entanto, o estado apresenta rendimento de 11,32 t ha⁻¹, que é inferior à média nacional (14,87 t ha⁻¹), sendo apenas o 16º no país (IBGE, 2020).

Nos últimos anos, a crescente demanda por maracujá amarelo tem levado a um aumento nos investimentos em tecnologias de cultivo, seja para promover o crescimento vegetativo ou para aumentar o rendimento de frutos. Em algumas regiões, essas tecnologias são direcionadas principalmente para mitigar efeitos da baixa pluviosidade e distribuição instável de chuvas. Após o plantio em local definitivo, a ocorrência de estresse hídrico pode restringir especialmente o crescimento inicial das mudas, tornando-se determinante para a sua sobrevivência (Freire et al., 2014).

Na literatura, os principais efeitos da deficiência hídrica sobre as plantas já estão bem documentados (Li et al., 2020; Misra et al., 2020; Patmi et al., 2020), e frequentemente se reportam à inibição do crescimento em altura, diâmetro de caule e redução da cobertura vegetal. Esses efeitos ocorrem, em parte, devido ao fechamento estomático, que restringe as trocas gasosas, reduzindo a taxa fotossintética. Contudo, também são observadas alterações nos teores de pigmentos fotossintéticos, carboidratos solúveis e de reserva, proteínas e aminoácidos, frequentemente associadas à osmorregulação. Além disso, o estresse hídrico favorece a formação de espécies reativas de oxigênio (ERO) que podem danificar o aparato fotossintético e a integridade das membranas celulares (Yang et al., 2021).

Recentemente pesquisas têm destacado o emprego de compostos orgânicos e inorgânicos para atenuar os efeitos da restrição hídrica em plantas (Irani et al., 2021). Também chamados de elicitores, esses compostos podem modular uma série de processos em níveis celulares e moleculares, desencadeando diversas respostas e estresses abióticos (Ahmad et al., 2019). Os reguladores vegetais, que são substâncias que atuam no

metabolismo e promovem o crescimento e desenvolvimento vegetal, são uma alternativa para mediar essas respostas.

Os bioestimulantes são produtos naturais ou sintéticos resultantes da mistura de dois ou mais reguladores vegetais ou de outras substâncias, como aminoácidos, nutrientes e vitaminas. O Stimulate[®] é um bioestimulante registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, sob o nº 3601, constituído de ingredientes ativos que ocorrem naturalmente na planta, tais como: cinetina, ácido giberélico e ácido 4-indol-3-ilbutírico (Stoller, 2022). Estudos indicam que a aplicação de Stimulate[®] melhora a tolerância ao estresse hídrico em plantas de algodão (Baldo et al., 2009) e tamarindo (Dantas et al., 2012), e em eucalipto (Santos *et al.*, 2019).

O ASL, por sua vez, é um hormônio vegetal que atua como molécula sinalizadora e tem relação com várias funções bioquímicas e fisiológicas que contribuem para aumentar a tolerância a estresses bióticos e abióticos (Liu et al., 2022). Aplicações de ASL podem influenciar o crescimento e desenvolvimento celular, seja por exercer controle estomático das trocas gasosas, seja porque promove ou ativa o sistema de defesa antioxidante (Silva et al., 2017; Kaya, 2021).

Além dessas alternativas hormonais, alguns autores investigam também a eficácia da utilização de NO – uma pequena molécula gasosa considerada como radical livre, que atua como mitigadora do estresse hídrico em plantas (Ghadakchiasl et al., 2017; Yadu et al., 2017). Em plantas sob deficiência hídrica, o NO favorece as trocas gasosas foliares, melhora a eficiência no uso da água, acumula osmólitos compatíveis, como açúcares solúveis e redutores, e ativa enzimas antioxidantes que atuam na degradação de ERO (Fatma e Khan, 2014; Batista et al., 2018). Na literatura, há relatos sobre a aplicação de SNP, um doador de NO, como uma alternativa para mitigar o estresse hídrico em brócolis, tomate e lima (Munawar et al., 2019; Elkelish et al., 2021; Jafari e Shahsavar, 2022). Contudo, informações sobre o desempenho de SNP ainda são escassas para muitas outras espécies de interesse agrônomo.

Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de Stimulate[®], ASL e SNP sobre atributos biométricos, estado hídrico da planta, trocas gasosas, constituintes químicos e sistema de defesa antioxidante em plantas jovens de maracujá amarelo submetidas à deficiência hídrica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultivo de maracujazeiro amarelo no Brasil: aspectos sócio-econômicos, botânica e manejo

O maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims) é uma espécie pertencente à família Passifloraceae, nativa da América Central. Aproximadamente 750 espécies de maracujazeiro estão distribuídas em zonas tropicais e subtropicais, das quais 120 são nativas do Brasil. Contudo, apenas 9,2% dessas espécies são destinadas aos cultivos comerciais – dentre elas, o maracujazeiro amarelo (Petry et al., 2019).

A expansão do cultivo de maracujazeiro amarelo no Brasil ocorreu por intermédio de cafeicultores, em busca de uma alternativa para aumentar a sua renda. Com o tempo, os pomares comerciais se intensificaram e, a partir dos anos 90, a cultura conquistou sua valorização no mercado, despertando o interesse de pesquisadores sobre o seu melhoramento genético (Meletti, 2011).

O maracujazeiro amarelo é uma trepadeira herbácea que alcança de 5 a 10 metros de altura, o que o torna exigente de um sistema de condução eficaz para se desenvolver adequadamente durante o seu ciclo de vida, que varia de 3 a 6 anos, aproximadamente. As suas folhas são lanceoladas e trilobadas, com a presença de gavinhas (Jesus e Rosa, 2017; Carlosama et al., 2020). Os seus frutos apresentam características atrativas, como sabor e qualidade nutricional, tanto para consumo da polpa *in natura*, como para produção de sucos, geleias, iogurtes, sorvetes e doces, entre outras iguarias (Cerqueira-Silva et al., 2014; Petry et al., 2019).

Segundo o IBGE (2020), o Brasil ocupa o primeiro lugar no *ranking* mundial de produção de maracujá amarelo, com 690.364 t anuais de frutos produzidos em 6.530 ha de área cultivada. A região Nordeste é a maior produtora no país, tendo os estados da Bahia e do Ceará como os maiores produtores nacionais. Na Bahia, cerca de 57% da produção estão concentrados nos municípios de Dom Basílio, Livramento de Nossa Senhora e Rio Real. A cultura é considerada também como uma alternativa para a geração de empregos na agricultura familiar, empregando cerca de três a quatro trabalhadores por hectare

implantado e oferecendo rápido retorno econômico aos fruticultores (Faleiro e Junqueira, 2016).

O maracujazeiro amarelo é uma espécie frutífera de clima tropical que se desenvolve bem em ambientes com estações chuvosas e secas bem definidas, e em solos arenosos, argilosos e ligeiramente ácidos. No Nordeste brasileiro, contudo, a escassez e a irregularidade de chuvas restringem o seu desenvolvimento. Além disso, as suas raízes são frequentemente expostas a lençol freático alto e práticas de irrigação inadequadas, ou ao uso de água salinas, que acarretam prejuízos à produtividade. Esses fatores concorrem para uma intensa busca por tecnologias de cultivo, a fim de amenizar as limitações ambientais (Ferrari et al., 2015).

2.2 Efeitos fisiológicos do estresse hídrico

Em geral, a deficiência hídrica em plantas ocorre por quantidade insuficiente de água disponível no solo ou por uma alta demanda evaporativa atmosférica. À medida que o solo continua a secar e o potencial hídrico do solo a diminuir, há cada vez menos água disponível no solo para absorção pelas raízes. Isso resulta em uma tendência geral de redução do potencial hídrico da planta ao longo do tempo. O estresse hídrico ocorre quando há um desequilíbrio entre a oferta de água, ligada ao potencial hídrico do solo, e a demanda da planta, ligada às condições evaporativas da atmosfera (Giménez et al., 2013). O teor relativo de água, frequentemente usado como indicador da turgidez relativa de tecidos da planta, também sofre decréscimos, como consequência do estresse hídrico (Ma et al., 2015).

Características morfológicas associadas ao crescimento, tais como altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar, são geralmente afetadas negativamente pela deficiência hídrica. Alterações na pressão de turgor foliar, temperatura do dossel e disponibilidade de fotoassimilados contribuem para que haja um menor crescimento em altura e restrição à expansão do número de folhas e da área foliar (Helaly et al., 2017; Lozano-Montaña et al., 2021; Yang et al., 2021).

A deficiência hídrica leva a uma diminuição das condutâncias estomáticas (Ding et al., 2018) e mesofílicas (Flexas et al., 2012), contribuindo, assim, para reduzir a

transpiração e a taxa de assimilação de CO₂, inibindo a atividade da Rubisco (Wang et al., 2022). Estudos realizados por Gomes et al. (2012) e García-Castro et al. (2017) corroboram esses efeitos em maracujazeiros submetidos a períodos prolongados de seca. A diminuição na taxa de assimilação de CO₂, por sua vez, leva a um acúmulo de NADPH e à consequente inibição da transferência de elétrons do centro de reação do fotossistema II (PSII) para o NADP⁺ (Gomes et al., 2012). A energia de excitação dos elétrons do PSII é, então, usada para converter O₂ a oxigênio singlete (¹O₂*), formando as ERO, que oxidam pigmentos fotossintéticos, reduzem a absorção da radiação luminosa (Sapeta et al., 2013; Biareh et al., 2022; Muhammad et al., 2022) e promovem a peroxidação de lipídios de membrana (Killi et al., 2020), levando ao extravasamento de eletrólitos.

Sob restrição hídrica, pode ocorrer um decréscimo na concentração de clorofilas e carotenoides, seja por inibição da atividade de enzimas, seja por redução na absorção de nutrientes envolvidos na biossíntese desses pigmentos (Farooq et al., 2009b). Estudos realizados por Teixeira et al. (2023) corroboram esse efeito de redução na concentração de clorofilas em maracujazeiros amarelos submetidos à deficiência hídrica.

Em espécies menos tolerantes, ou sob deficiência hídrica severa, decréscimos na concentração de clorofila ocorrem em função da desintegração das membranas, ocasionada pelo estresse oxidativo (Younas et al., 2022). No entanto, dependendo da espécie vegetal, a redução na absorção de energia luminosa, decorrente de menor concentração de clorofila nas folhas, pode se constituir numa estratégia protetora contra o estresse oxidativo (Matos et al., 2009). Por outro lado, o aumento na concentração de clorofilas possibilita a manutenção da capacidade fotossintética sob restrição hídrica (Correia et al., 2014), e pode estar relacionado à redução na expansão foliar ou ao papel protetor exercido pelos carotenoides (Mendes-Pinto et al., 2013; Correia et al., 2014).

Em organismos vivos, O₂ pode ser convertido em ERO, que são parcialmente reduzidas a radicais como peróxido de hidrogênio (H₂O₂), superóxido (O₂⁻), oxigênio singlete (¹O₂*) e radical hidroxila (•OH), os quais são produzidos em quase todos os compartimentos subcelulares e possui características físico-químicas distintas que podem facilmente oxidar o DNA, proteínas, lipídios e outras moléculas sensíveis ao redox. O impacto indiscriminado de níveis excessivos de ERO em constituintes celulares é

geralmente referido como estresse oxidativo que, em condições de deficiência hídrica, é facilmente ativado (Kerchev e Breusegem, 2021; Phua et al., 2021).

A ativação do sistema de defesa antioxidante é um dos mecanismos de tolerância desenvolvidos pelas plantas em condições de deficiência hídrica. Alguns compostos orgânicos são considerados antioxidantes, a exemplo dos carotenoides, que neutralizam o efeito reativo e danoso de $^1\text{O}_2^*$ sobre componentes celulares, especialmente os lipídios de membrana, resultando em dissipação da energia excedente captada (Barbosa et al., 2014; Cohen et al., 2021; Kerchev e Breusegen, 2021).

Por outro lado, o sistema de defesa contra as ERO também pode ser conduzido pela atuação de enzimas antioxidantes presentes em diferentes compartimentos celulares, conferindo um estado de homeostase redox ao sistema. As principais enzimas antioxidantes são dismutase do superóxido (SOD), peroxidase do ascorbato (APX), redutase da glutatona (GR), peroxidases (POD), catalase (CAT) e peroxirredoxinas (Prx) (Taiz et al., 2017). As concentrações de ERO e atividade de enzimas antioxidantes têm sido associadas a processos de sinalização e defesa contra estresse hídrico (Barbosa et al., 2014). Aumentos na atividade de enzimas antioxidantes têm sido relatados em estudos com frutíferas submetidas à deficiência hídrica (Ismail et al., 2004; Anjum et al., 2012; Helaly et al., 2017), resultando em melhor crescimento e rendimento.

Ajuste osmótico, osmoproteção e o sistema de defesa antioxidante estão entre os mecanismos fisiológicos mais importantes para conferir tolerância das plantas à seca. O ajuste osmótico consiste na acumulação de solutos, que reduz o potencial hídrico celular sob estresse osmótico, preservando o teor relativo de água (Yang et al., 2021). Esses solutos podem ser íons ou moléculas osmoticamente ativas, incluindo açúcares solúveis, álcoois de açúcares, prolina, compostos quaternários de amônio, como a glicina betaína, ácidos orgânicos e íons, como cálcio e potássio, dentre outros (Zivcak et al., 2016). O aumento nas concentrações de açúcares redutores, decorrentes da hidrólise de amido, contribui para proteger as células durante períodos de desidratação, diminuindo os processos bioquímicos e atenuando os efeitos das ERO (Rosa et al., 2009; Sami et al., 2016).

2.3 Hormônios, reguladores de crescimento e a mitigação do estresse hídrico

2.3.1 Auxinas

As auxinas são hormônios vegetais que coordenam muitos dos principais processos durante o crescimento e desenvolvimento vegetal, bem como respostas múltiplas a estímulos externos, incluindo estresses bióticos e abióticos (Blakeslee et al., 2019). A auxina mais abundante, o ácido indol-3-acético (AIA), afeta quase todos os aspectos do desenvolvimento da planta, incluindo a polaridade apical-basal (Friml et al., 2003), a formação de raízes (Benková et al., 2003), o alongamento do caule e respostas de crescimento trópico.

Sob condições de estresse hídrico, aplicações de auxina promovem o crescimento vegetativo, aumentando a altura de plantas, diâmetro do caule, área foliar e expansão das raízes (Marhavý et al., 2016; Pashang et al., 2021). Auxinas também aumentam a condutância estomática, que favorece as trocas gasosas foliares e a assimilação de CO₂, conforme relatos de estudos realizados com milho (Quan et al., 2004), algodão (Habibi et al., 2015) e trigo (Bagheri et al., 2019).

Sob estresse hídrico, as auxinas promovem um aumento na concentração de pigmentos fotossintéticos, regulando os processos de oxidação-redução das células e a oxidação dos pigmentos (Davani et al., 2016; Liu et al., 2016). Nesse caso, a mitigação da toxicidade das ERO ocorre tanto por ativação de enzimas antioxidantes como pela remoção de radicais livres. Sob estresses abióticos, aplicações de auxinas aumentaram a atividade de enzimas antioxidantes e reduziram a peroxidação lipídica em trigo (Mohsenzadeh e Zohrabi, 2018), cártamo (Pashang et al., 2021) e berinjela (Shahzad et al., 2022).

A auxina desempenha, ainda, um papel importante no aumento dos níveis dos osmólitos compatíveis durante o estresse hídrico, induzindo a expressão de genes envolvidos no processo de síntese e catabolismo de açúcares, proteínas e aminoácidos. Em trevo branco (Li et al., 2018), feijão-fava (Rady et al., 2021) e beringela (Shahzad et al., 2022) sob estresses abióticos, os níveis de açúcares solúveis e prolina aumentaram em decorrência de aplicações de auxina.

2.3.2 Giberelinas

As giberelinas, ou ácido giberélico, são um hormônio vegetal encontrado em quase todos os órgãos das plantas, incluindo raízes, folhas jovens, frutos e sementes em germinação. A sua biossíntese ocorre em três compartimentos celulares – plastídios, retículo endoplasmático e citosol – e em três fases, tendo o geranyl-difosfato como precursor primário (Hedden e Thomas, 2016). As giberelinas controlam vários processos metabólicos associados ao crescimento e desenvolvimento, promovendo alongamento e divisão celular, que envolvem respostas adaptativas a estresses abióticos (Achard et al., 2008; Colebrook et al., 2014; Khan et al., 2015).

Em plantas de milho (Akter et al., 2014), trigo (Coelho Filho et al., 2013) e tomate (Gaion et al., 2018) sob estresse hídrico, aplicações de giberelinas promoveram o crescimento vegetativo, aumentando altura de plantas, diâmetro de caule, expansão de raízes e acúmulo de biomassa. As giberelinas atuam na regulação do potencial hídrico foliar e do teor relativo de água, ajudando a preservar o estado hídrico das plantas (Colebrook et al., 2014), conforme atestam estudos sobre videira (Tesztlák et al., 2013), feijoeiro (Abbasi et al., 2019) e girassol (Jan et al., 2019) sob estresse hídrico. As trocas gasosas foliares também são afetadas pelas giberelinas, devido ao seu estímulo à síntese de ácido abscísico (ABA), cujo acúmulo promove o fechamento estomático (Verma et al., 2016), como mostram estudos realizados com arroz (Du et al., 2015), laranjeiras (Wang et al., 2016) e tomate (Gaion et al., 2018) sob estresse hídrico.

A diminuição da eficiência fotoquímica em plantas sob estresse hídrico pode ser amenizada por aplicações de giberelinas que atuam evitando a degradação de cloroplastos e a fotoinibição do PSII, auxiliando na manutenção da integridade da membrana celular (Verma et al., 2016). Sob estresse hídrico, as giberelinas ajudaram a preservar a eficiência fotoquímica do PSII em *Vicia faba* (Rady et al., 2021) e as concentrações de pigmentos fotossintéticos em trigo (Moumita et al., 2019) e mudas de louro (Aktas et al., 2008).

A toxicidade das ERO pode ser mitigada pela atuação das giberelinas no aumento da atividade de enzimas antioxidantes, evitando a peroxidação lipídica e o extravasamento de eletrólitos (Moumita et al., 2019). Aumentos na atividade das enzimas antioxidantes com aplicações de giberelinas foram observados em plantas de canola (Li et al., 2010), cebola (Semida et al., 2019) e batata (Khalid e Aftab, 2020) sob estresses abióticos.

As giberelinas podem promover um aumento nos níveis de osmólitos compatíveis por meio da regulação de diferentes genes que podem modular a capacidade osmótica com o acúmulo de açúcares solúveis, proteínas, prolina e glicina betaína (Singh et al., 2015), como atestam estudos realizados com plantas de canola (Li et al., 2010), girassol (Jan et al., 2019) e feijão-fava (Rady et al., 2021) sob estresse hídrico.

2.3.3 Citocininas

Citocininas são um grupo de hormônios vegetais sintetizados em tecidos meristemáticos jovens que desempenham funções que vão desde a promoção do crescimento dos meristemas apicais, regulação do ciclo celular, mobilização de nutrientes e controle da senescência, até a formação dos nódulos em raízes de plantas fixadoras de nitrogênio (Zwack e Rashotte, 2015). Além disso, as citocininas estão envolvidas em múltiplas respostas a estresses bióticos e abióticos, tais como resistência a patógenos e tolerâncias à seca e à salinidade (Nishiyama et al., 2011; Hwang et al., 2012).

Sob estresse hídrico, as citocininas promovem o crescimento através de estímulos à divisão celular, aumentando a altura de plantas, diâmetro do caule e acúmulo de biomassa (Akter et al., 2014). Aplicações de citocininas em plantas de milho (Akter et al., 2014), gergelim (Hussein et al., 2015) e trigo (Madhulika et al., 2019), sob estresse hídrico, promoveram o crescimento da parte aérea e o acúmulo de massa seca das plantas. Em plantas de soja (Fioreze et al., 2013) e trigo (Raza et al., 2020) sob estresse hídrico, o efeito das citocininas sobre o potencial hídrico e o teor relativo de água melhorou o seu estado hídrico.

As citocininas também são conhecidas por atuarem na regulação do movimento estomático, por meio do balanço hormonal junto com o ABA, com reflexos nas trocas gasosas foliares (Hussein et al., 2016). Em plantas de algodão (Kuppu et al., 2013), milho (Mahrokh et al., 2019) e café (Acidri et al., 2020) sob estresses abióticos, aplicações de citocininas promoveram melhorias nas trocas gasosas, proporcionando mais tolerância.

Aplicações exógenas de citocininas podem promover aumento nas concentrações de clorofilas e carotenoides e maior distribuição de cloroplastos ao redor da célula (Heshmat et al., 2014), como atestam estudos realizados com plantas de gergelim (Hussein et al., 2015)

e trigo (Zaheer et al., 2019) sob estresse hídrico. Além disso, as citocininas atuam na ativação de enzimas antioxidantes, atenuando a toxicidade causada por ERO durante o estresse hídrico (Rashotte et al., 2014). Esse efeito tem sido comprovado em estudos com plantas de tabaco (Lubovská et al., 2014), cevada (Vojta et al., 2016) e berinjela (Xiao et al., 2017).

As citocinas desempenham, ainda, um importante papel no ajuste osmótico das células, promovendo aumento nos níveis dos osmólitos compatíveis. Em plantas de tomate sob estresse hídrico, Niakam e Ahmadi (2014) verificaram aumentos nos níveis de açúcares solúveis e prolina, em resposta a aplicações de citocininas, induzindo o ajuste osmótico.

2.3.4 Bioestimulantes – Stimulate®

Os bioestimulantes são produtos naturais ou sintéticos resultantes da mistura de dois ou mais reguladores vegetais ou de outras substâncias (aminoácidos, nutrientes e vitaminas), e podem ser aplicados diretamente nas plantas ou em tratamento de sementes. Atuam no metabolismo, promovendo o crescimento e desenvolvimento vegetal, e induzem respostas de tolerância a diversos estresses abióticos (Du Jardin, 2015).

O Stimulate® é um bioestimulante vegetal comercial, fabricado pela Stoller do Brasil Ltda, composto por três reguladores vegetais: ácido 4-indol-3-ilbutírico (0,005%), que é convertido a AIA na célula vegetal; cinetina (0,009%); e ácido giberélico (0,005%) (Stoller, 2022). Nos últimos anos, o uso do Stimulate® tem se intensificado na agricultura, com reflexos positivos no crescimento da parte aérea e sistema radicular e na produtividade das culturas (Dias et al., 2012). Estudos revelam que esse bioestimulante promove a mitigação do estresse hídrico em plantas de algodão (Baldo et al., 2009), tamarindo (Dantas et al., 2012) e eucalipto (Santos et al., 2019), favorecendo o crescimento vegetal, o estado hídrico da planta e as trocas gasosas foliares.

2.3.5 ASL

O ASL é um hormônio de caráter fenólico que atua como molécula sinalizadora e exerce influência sobre o crescimento celular, respiração e fechamento estomático, conferindo tolerância a estresses bióticos e abióticos (Gorni et al., 2017). A sua síntese ocorre por duas vias distintas, a do isocorismato e a da fenilalanina amônia-liase, sendo a primeira via predominante na maioria das plantas cultivadas (Catinot et al., 2008; Wani et al., 2017; Jahan et al., 2019).

Estudos demonstram que aplicações de ASL promovem a mitigação do estresse hídrico em características como altura das plantas, biomassa, área foliar e taxa de crescimento relativo, além do aumento na razão raiz / parte aérea (Elgamaal e Maswada 2013; Abd El-Mageed et al., 2016; Maswada et al., 2018). Em plantas de trigo (Loutfy et al., 2012), feijão comum (Andrade et al., 2021) e milho (Shemi et al., 2021), a aplicação de ASL favoreceu a manutenção do potencial hídrico foliar e do teor relativo de água, contribuindo para preservar o estado hídrico. O aumento da condutância estomática, também promovido pelo ASL, favorece o influxo de CO₂ e a fotossíntese líquida (Aires et al., 2022).

O ASL também atua sobre os processos fotoquímicos e bioquímicos envolvidos na maquinaria fotossintética, aumentando a eficiência quântica do PSII e o fluxo de elétrons (Khoshbakht e Asgharei, 2015). Esses efeitos do ASL têm sido observados em plantas de milho (Shao et al., 2018) e tomate (Lobato et al., 2021). Estudos também demonstram que o ASL promove aumento nas concentrações de pigmentos fotossintéticos em plantas de trigo (Loutfy et al., 2012) e grão-de-bico (Vaisnad e Talebi, 2015). Além disso, os efeitos tóxicos das ERO podem ser mitigados pelo ASL, que pode atuar tanto na ativação de enzimas antioxidantes, reduzindo os níveis de O₂⁻ e H₂O₂, como na peroxidação lipídica, conforme atestam estudos realizados em plantas de cevada (Fayez e Bazaid, 2014), canola (La et al., 2019) e tomate (Lobato et al., 2021).

O aumento nos níveis dos osmólitos compatíveis, em condições de estresse hídrico, também tem sido associado à atuação de ASL na regulação de enzimas hidrolíticas, que promovem a síntese de açúcares solúveis e redutores, aminoácidos e prolina. Estudos comprovaram esses efeitos em oliveiras (Shafiei et al., 2019) e plantas de trigo (Sedaghat et al., 2020) sob condições de estresse hídrico.

2.4 NO e a mitigação do estresse hídrico

Os primeiros estudos que abordaram os efeitos de NO sobre o metabolismo e alguns processos fisiológicos têm origem em observações sobre a sua ação exógena, na condição de poluente atmosférico (Taylor, 1974; Anderson et al., 1979), e evoluíram a partir da confirmação da sua síntese endógena em plantas, há mais de 40 anos (Klepper, 1979). Trata-se de uma molécula gasosa, pequena e reativa, que se difunde prontamente pelas células e interage com diferentes compostos celulares, exercendo diversas funções na fisiologia das plantas (Correa-Aragunde et al., 2015; Hasanuzzaman et al., 2018), com efeitos sobre o seu crescimento e aclimatação a estresses (Leshem e Haramaty, 1996).

Desde os primeiros estudos sobre o NO, um dos maiores desafios tem sido investigar a sua síntese endógena em células vegetais. Estudos indicam que plantas terrestres não possuem a enzima sintase do óxido nítrico (NOS), diferentemente de outros organismos vivos. Em contrapartida, vias redutivas de produção de NO, a partir de nitrato/nitrito, foram identificadas nos vegetais, mediadas principalmente pela redutase de nitrato (RN) (Del Rio et al., 2003; Jeandroz et al., 2016; Kolbert et al., 2019).

A enzima RN é considerada indispensável no metabolismo de assimilação de N, sendo responsável pela redução de nitrato (NO_3^-) a NO_2^- . Por outro lado, há evidências de que a RN (dependente de NADPH) também está envolvida na redução de NO_2^- a NO (Rockel et al., 2002). Entretanto, a afinidade entre RN e NO_2^- é baixa ($K_m \sim 100 \mu\text{M}$) e, por isso, a síntese de NO pode ser limitada pelas baixas concentrações de NO_2^- (geralmente da ordem de μM) em tecidos vegetais (Planchet et al., 2005). Mesmo assim, há relatos sobre a participação de NO dependente de RN em diversos processos fisiológicos, em plantas sob estresses abióticos, tais como a regulação do movimento estomático mediado pelo ácido abscísico (ABA), ativação do metabolismo antioxidante e expansão de tecidos radiculares induzida por auxinas (Desikan et al., 2002; Kolbert et al., 2008; Sang et al., 2008).

Quando administrado em baixas concentrações, o NO promove a expansão de raízes primárias (Fernández-Marcos et al., 2011), crescimento vegetativo (Lozano-Juste e León, 2011) e fotossíntese (Beligni e Lamattina, 1999; Zhang et al., 2006). O NO é capaz de regular as respostas múltiplas das plantas a uma diversidade de estresses bióticos e abióticos, e atenuar estresses oxidativos (Beligni e Lamattina, 1999; Crawford e Guo, 2005;

Delledonne, 2005). Sob tais condições, a aplicação de NO pode promover o crescimento da parte aérea (Kausar et al., 2013) e prevenir a redução da área foliar (Fatma e Khan, 2014) e da expansão radicular (Silveira et al., 2016).

A aplicação de NO favorece a manutenção do estado hídrico da planta. Em *Phaseolus vulgaris*, *Vigna unguiculata*, *Triticum aestivum* e *Crambe abyssinica* sob estresse hídrico, a aplicação de NO promoveu melhorias no potencial hídrico foliar e teor relativo de água (Boyarshinov e Asafova, 2011; Zimmer-Prados et al., 2014; Batista et al., 2018).

O envolvimento do NO nas trocas gasosas foliares de plantas sob estresse hídrico tem relação com as vias de sinalização do ABA. O fechamento estomático induzido por ABA requer geração e ação de NO. A aplicação de NO atenuou os efeitos do estresse hídrico, devido a melhorias nas trocas gasosas, em plantas de *Physalis angulata* (Leite et al., 2021). Segundo Fu et al. (2016) e Sousa et al. (2019), o NO, além de regular os movimentos estomáticos, também está envolvido na formação de células-guarda, o que garante uma maior densidade estomática em plantas sob estresse hídrico.

Decréscimos na taxa de fotossíntese líquida, que são comuns em plantas sob estresse hídrico, podem ser amenizados por aplicações de NO, seja por estímulo ao transporte de elétrons no PSII, através da regulação de genes relacionados à cadeia de transporte de elétrons (Procházková et al., 2013; Misra et al., 2014), seja por aumento na atividade da RuBisCO (Fatma e Khan, 2014; Silveira et al., 2017). Além disso, aumentos nas concentrações de pigmentos fotossintéticos também têm sido observados em algumas espécies (Ahmad et al., 2016; Munawar et al., 2019; Silveira et al., 2019). A manutenção das concentrações desses pigmentos é atribuída ao papel de NO como inibidor da síntese de ERO (Fan e Liu, 2012).

O NO desempenha, ainda, um papel importante como regulador do nível e toxicidade das ERO (Beligni e Lamattina, 1999), seja contribuindo para aumentar a atividade de enzimas antioxidantes, seja reagindo com radicais lipídicos que impedem a peroxidação lipídica mediada por radicais, evitando, assim, o extravasamento de eletrólitos (Fan e Liu, 2012; Sandalio e Romero-Puertas, 2015). O NO pode reduzir os radicais livres lipídicos, ânions superóxidos (O_2^-) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), quando atingem níveis tóxicos (Hu et al., 2016). Aumentos na atividade das enzimas antioxidantes foram

observados em plantas de trigo (García-Mata e Lamattina, 2001), arroz (Farooq et al., 2009a), brócolis (Boogar et al., 2014), cártamo (*Carthamus tinctorius*) (Chavoushi et al., 2019) e gramíneas (Munawar et al., 2019) sob estresse hídrico. Os níveis de osmólitos compatíveis também podem aumentar em plantas sob estresses abióticos, como resposta à aplicação de NO. Em *Physalis angulata*, Leite et al. (2019) observaram aumento nas concentrações de açúcares solúveis e redutores.

Alguns doadores de NO podem ser fornecidos exogenamente às plantas. O SNP, um sal cristalino de coloração vermelho acastanhado, está entre os doadores de NO mais empregados em experimentos, e consiste num complexo inorgânico em que o ferro se encontra no estado ferroso (Fe^{2+}), ligado a cinco ânions cianeto (CN^-) e um íon nitrosila (NO^+). A liberação de NO ocorre através de reações fotoquímicas, sendo a luz uma condição necessária. Essa liberação ocorre após a redução do SNP, quando ocorre a perda de cianeto (Harrison e Bates 1993; Feelisch, 1998). Aplicações de SNP têm mostrado eficácia para atenuar os efeitos do estresse hídrico em plantas de trigo (Boyarshinov e Asafova, 2011), girassol (Cechin et al., 2015) e soja (Sousa et al., 2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi realizado em casa de vegetação, no *campus* da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) em Vitória da Conquista – BA (14°53'08" sul, 40°48'02" oeste, altitude 881 m), durante o período de 01 de fevereiro a 23 de março de 2022. O clima, conforme classificação de Köppen, é do tipo Tropical de Altitude (Cwa), com precipitação média anual de 733,9 mm, concentrada nos meses de novembro a março; e temperatura média anual de 20,2 °C, cujas médias máxima e mínima variam entre 26,4 °C e 16,1 °C, respectivamente.

3.2 Delineamento experimental

O experimento foi realizado em casa de vegetação, utilizando delineamento inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 4×2, cujos fatores foram aplicações de Stimulate® (0,5 mL L⁻¹), ASL (2,5 mmol L⁻¹) e SNP (100 µmol L⁻¹), acrescidas de uma testemunha (somente aplicação de água, sem os elicitores); e regimes de irrigação baseados em 90 e 30% da capacidade de vaso, com cinco repetições, sendo uma planta por vaso.

3.3 Obtenção das mudas e condições experimentais

Foram utilizadas mudas de maracujá amarelo, com 50 dias de idade, produzidas em viveiro comercial localizado no município de Livramento de Nossa Senhora, no sudoeste da Bahia. As mudas foram selecionadas quanto à uniformidade de tamanho e transplantadas em vasos plásticos com capacidade de 20 dm³, contendo areia passada em peneira de malha 5 mm, previamente tratada com lavagem exaustiva em água corrente. No momento do transplante, realizou-se uma primeira adubação, utilizando uma solução nutritiva (Hoagland e Arnon, 1952). A solução nutritiva foi fornecida, inicialmente, com força iônica de 25%, seguida de aumento gradual para 50% aos 15 dias após o transplante (DAT), de modo a favorecer a adaptação de mudas ao novo substrato.

A umidade do substrato foi mantida, inicialmente, em 90% da capacidade de vaso, por meio de irrigações diárias. A diferenciação entre os regimes de irrigação passou a ocorrer aos 45 DAT, quando a irrigação em metade dos vasos foi alterada, reduzindo-se a umidade do substrato a 30% da capacidade de vaso. A verificação da umidade do substrato foi feita pelo método gravimétrico, conforme Souza et al. (2020).

As aplicações de Stimulate®, ASL e SNP foram feitas na forma de pulverizações, utilizando um pulverizador manual, fornecendo-se (em média) soluções de 30 mL planta⁻¹, a cada sete dias. As pulverizações foram realizadas aos 31 e 38 DAT (anteriores à implementação dos regimes de irrigação) e aos 45, 52 e 57 DAT (a partir da implementação dos regimes de irrigação).

3.4 Avaliações

3.4.1 Atributos biométricos

No final do experimento, ocorrido aos 13 dias após a implementação dos regimes de irrigação, foram feitas avaliações sobre os seguintes atributos biométricos:

- Aumento relativo de altura (H) – A altura de plantas foi obtida pela medição desde o colo, no nível do solo, até a gema apical do fuste, utilizando-se uma régua graduada posicionada paralelamente ao caule. Para a obtenção de H, considerou-se a diferença na altura de plantas entre o final e o início da implementação dos regimes de irrigação;
- Diâmetro de caule (D) – utilizou-se um paquímetro digital, posicionado perpendicularmente ao caule, a 1 cm acima do solo;
- Área foliar total (AF) – baseou-se em medições de comprimento (C) e largura (L), posteriormente utilizadas na seguinte fórmula: $AF = 0,904 (C \times L)^{0,95}$ (Souto et al., 2017);
- Comprimento da raiz principal (CR) – utilizou-se uma régua graduada;
- Volume da raiz – utilizou-se uma proveta de 1L contendo um volume de água pré-estabelecido;
- Massa seca da raiz e da parte aérea (folhas + caule) – obtida após secagem em estufa a $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5$, até atingir massa constante.

3.4.2 Estado hídrico da planta

- Potencial hídrico foliar, usando uma câmara de pressão (Modelo 1000, PMS) (Scholander et al., 1965). As medições foram realizadas às 5 h (pouco antes do amanhecer), tomando-se uma folha da porção mediana da parte aérea, em cada unidade experimental;
- Teor relativo de água, tomando-se seis discos retirados do limbo foliar das mesmas folhas utilizadas nas avaliações de potencial hídrico foliar. Após obter a massa de matéria fresca (MF), os discos foliares foram imersos em água por 24 horas, para obtenção da massa de matéria túrgida (MT), com posterior secagem em estufa a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 48 horas, para obtenção da massa de matéria seca (MS). O teor relativo de

água foi determinado com base na seguinte fórmula: $TRA = (MF - MS) / (MT - MS) \times 100$ (Weatherley, 1950).

3.4.3 Trocas gasosas foliares

As taxas de assimilação de CO₂ (*A*) e transpiração (*E*), assim como a condutância estomática (*g_s*), foram obtidas usando um analisador de gases por infravermelho (*Infrared Gas Analyser*) (IRGA LI-6400, LI-COR®, Nebraska/USA). As folhas foram previamente submetidas à irradiância de 1000 mmol de fótons m⁻² s⁻¹. A concentração de CO₂ no ar, fornecido ao analisador (ar referencial), foi de 375 μmol mol⁻¹. As leituras foram realizadas pela manhã, entre 8 e 10 h, em folhas completamente expandidas e fisiologicamente maduras, localizadas na porção mediana da copa, em cada unidade experimental. A eficiência intrínseca no uso da água (EiUA) foi mensurada pela fórmula: $EiUA = A/g_s$.

3.4.4 Quantificação de pigmentos fotossintéticos

As concentrações de pigmentos fotossintéticos foram obtidas tomando-se amostras de discos foliares submetidos à imersão em 4 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com CaCO₃ (Hiscox e Israelstam, 1979) por 12 h, em ambiente escuro, para extração de clorofilas *a* e *b* e carotenoides. As concentrações foram determinadas por meio de um espectrofotômetro, tendo como referência os comprimentos de onda 665, 649 e 480 nm para as quantificações de clorofilas *a* e *b* e carotenoides, respectivamente (equações 1, 2 e 3). Os resultados foram expressos em μg cm⁻² (Wellburn, 1994).

$$\text{Clorofila } a = [(12,47 A_{665} - 3,62 A_{649}) \times V] / (1000 \times W) \quad (1)$$

$$\text{Clorofila } b = [(25,06 A_{649} - 6,5 A_{665}) \times V] / (1000 \times W) \quad (2)$$

$$\text{Carotenoides} = [(1000 A_{480} - 1,29 Cl a - 53,78 Cl b) / 220] / 1000 \times W \quad (3)$$

Em que:

A = Absorbância no comprimento de onda indicado (nm)

V = Volume final do extrato clorofila – DMSO (mL)

W = Área do disco foliar (cm²)

3.4.5 Quantificação de amido e açúcares redutores

As concentrações de amido foram obtidas a partir de amostras com 0,125 g de folhas secas, previamente desengorduradas em hexano, acrescidas de 5 mL de H₂SO₄ (0,5 M), a 100 °C, por 1 hora. Após esse procedimento, adicionou-se água completando o volume para 250 mL. Em seguida, resfriou-se 1 mL dessa solução a 0 °C, adicionando-se 5 mL de solução de antrona (5 mM). A mistura foi então aquecida a 100 °C, por 11 minutos, seguida de resfriamento à temperatura ambiente, para leitura em espectrofotômetro a 620 nm, conforme a Instrução Normativa nº 20 (Brasil, 1999).

As concentrações de açúcares redutores (AR) foram obtidas a partir de extratos de folhas completamente expandidas e fisiologicamente maduras, localizadas na porção mediana da copa. Para a obtenção do extrato, foi utilizado, como extrator, 15 mL de solução tampão KH₂PO₄ 0,1 M, adicionados a 200 mg de amostras foliares secas. O volume total do extrator foi dividido em três partes, submetidas a três centrifugações de 45 minutos, a 2.500 g, para recolher o sobrenadante. Alíquotas de 0,8 mL do sobrenadante foram adicionadas a um meio reacional contendo 0,5 mL de DNS e 0,4 mL de água, sob banho-maria a 100 °C, por 5 minutos. Após o resfriamento à temperatura ambiente, foram adicionados 3,5 mL de água, completando o volume para 5,0 mL. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 540 nm, e os resultados foram expressos em mmol de AR g⁻¹ massa seca (Miller, 1959).

3.4.6 Quantificação de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)

As TBARS foram extraídas a partir de 200 mg de amostras liofilizadas de folhas trituradas em ácido tricloroacético (TCA) a 0,1% e homogeneizadas em 2 mL de solução aquosa de TCA a 0,1%. Os extratos obtidos foram centrifugados por 6 minutos a 10.000×g, a 4 °C. Amostras do sobrenadante foram transferidas para tubos de reação, em mistura com 1,5 mL de ácido tiobarbitúrico (TBA) a 0,5% e TCA a 20%, sob banho-maria a 95 °C, por 30 minutos. Após o resfriamento e centrifugação por 6 minutos a 10.000 g, realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 532 nm, para se quantificar a concentração de TBARS (Heath e Paker, 1968).

3.4.7 Atividade de enzimas antioxidantes

Para se avaliar a atividade da dismutase do superóxido (SOD; EC 1.15.1.1), considerou-se uma unidade de atividade enzimática (UA) de SOD como a quantidade de enzima necessária para inibir a redução do nitro azul de tetrazólio (NBT) pela SOD contida no extrato enzimático de tecidos foliares. Alíquotas de 100 μL da extração enzimática foram transferidas para tubos de ensaios protegidos da luz, contendo tampão NaH_2PO_4 50 mM, pH 7,8, EDTA 0,1 mM, L-metionina 13 mM e NBT 75 μM . A reação foi iniciada pela adição de 2 μM de riboflavina e a concomitante transferência dos tubos para uma câmara iluminada por uma lâmpada fluorescente circular de 30 W, por 15 minutos. Em seguida, realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 560 nm, e a atividade da SOD foi expressa em unit mg^{-1} de proteína (Beauchamp e Fridovich, 1971).

Para se avaliar a atividade da peroxidase do guaiacol (GPX, EC 1.11.1.7), foram utilizados 20 mg de amostras liofilizadas de tecidos foliares maceradas em nitrogênio líquido, acrescidas de tampão NaH_2PO_4 (50 mM, pH 6,0), com posterior ultrasonicação (8 pulsos de 10 segundos cada, amplitude de 70-80%, com 10 segundos de intervalo) em processador ultrassônico (*Ultrasonic Processor Gex 130*, 130 W) em gelo, até o rompimento dos tecidos. Em seguida, as amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 15.000 g. Foram utilizadas microplacas com 96 poços de 300 μL , contendo 140 μL de tampão de reação peroxidase 2 \times [guaiacol 40 M, H_2O_2 0,06% e NaH_2PO_4 (20 mM, pH 6,0)], 139 μL de tampão NaH_2PO_4 (50 mM, pH 6,0) e 1 μL de extrato enzimático, previamente diluído. A variação da absorbância a 470 nm foi monitorada durante 1 min de reação, a 25 °C, em espectrofotômetro leitor de microplacas (VERSAmx). A atividade da peroxidase do guaiacol foi expressa com o aumento do consumo de guaiacol, em $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína (Lin and Kao, 1999).

3.5 Análise estatística

Os dados foram avaliados quanto à homogeneidade, pelo teste de Cochran; e quanto à distribuição normal dos resíduos, pelo teste de Lilliefors. Dados que não apresentaram

distribuição normal (EiUA) foram transformados, usando $\log(x)$. Todos os dados foram submetidos à análise de variância e comparações múltiplas de médias, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), empregando-se o programa estatístico R.

4 RESULTADOS

4.1 Atributos biométricos

Os resultados mostram que houve interação significativa dos fatores em relação a H, AF, VR, MSR e MSPA. Os demais atributos biométricos não foram influenciados pelos fatores (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Resumo da análise de variância e coeficiente de variação (CV) para aumento relativo de altura de plantas (H), diâmetro de caule (D), área foliar (AF), comprimento de raiz (CR) e volume de raiz (VR) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função de aplicações de elicitores (E) e regimes de irrigação (RI)

Fontes de variação	GL	Quadrados médios				
		H	D	AF	CR	VR
E	3	2426,4*	0,883 ^{ns}	102961*	24,184 ^{ns}	44,58 ^{ns}
RI	1	668,3 ^{ns}	1,681 ^{ns}	217652*	0,420 ^{ns}	376,69*
E×RI	3	8384,3*	0,998 ^{ns}	441592*	11,756 ^{ns}	112,18*
Resíduo	32	409,9	0,418	20102	33,203	19,00
CV (%)		20,13	12,73	12,48	11,96	21,94

^{ns} não significativo, *significativo ($p < 0,05$), de acordo com o teste F.

Tabela 2. Resumo da análise de variância e coeficiente de variação (CV) para massa seca da raiz e da parte aérea (MSR e MSPA) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função de aplicações de elicitores (E) e regimes de irrigação (RI)

Fontes de variação	GL	Quadrados médios	
		MSR	MSPA
E	3	0,61*	20,10*
RI	1	0,19 ^{ns}	36,88*
E×RI	3	0,61*	18,71*
Resíduo	32	0,17	1,72
CV (%)		12,73	13,35

^{ns} não significativo, *significativo ($p < 0,05$), de acordo com o teste F.

Considerando-se as plantas sob irrigação 90%, os valores de H foram maiores nas aplicações de elicitores do que na testemunha. Esse efeito foi mais acentuado com a aplicação de Stimulate® do que com ASL e SNP. Sob irrigação 30%, os valores de H tiveram um decréscimo, independentemente da aplicação de elicitores. No entanto, sob restrição hídrica, os elicitores proporcionaram valores de H maiores do que na testemunha, principalmente com a aplicação de Stimulate®, e em menor intensidade, com ASL e SNP (Figura 1).

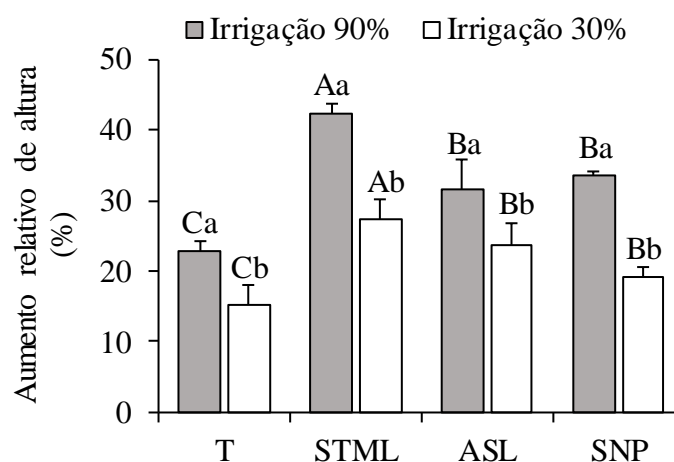


Figura 1. Aumento relativo de altura em plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação, e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitor, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Sob irrigação 90%, os valores de AF foram maiores na testemunha do que nos tratamentos com aplicação de elicitores. Contudo, sob irrigação 30%, a AF da testemunha foi menor que sob irrigação 90%. Por outro lado, não houve efeito inibitório da restrição hídrica sobre AF nos tratamentos com aplicação de elicitores. Sob irrigação 30%, a aplicação de SNP, inclusive, promoveu um aumento da AF, em comparação com a irrigação 90%. A restrição hídrica resultou em valores mais baixos de VR na testemunha, e esse efeito negativo também foi mitigado pelas aplicações de elicitores, notadamente o ASL (Tabela 3).

Em comparação com a irrigação 90%, a MSR da testemunha tornou-se menor sob irrigação 30%, porém a aplicação de elicitores contribuiu para prevenir esse decréscimo. Entre os elicitores, sob restrição hídrica, ASL mostrou-se mais efetivo para manter a MSR, seguido de SNP e Stimulate®. A MSPA também diminuiu sob irrigação 30%, e a aplicação de elicitores contribuiu igualmente para prevenir esse decréscimo. Contudo, entre os elicitores, sob restrição hídrica, SNP foi mais efetivo para manter a MSPA do que Stimulate® e ASL (Tabela 4).

Tabela 3. Diâmetro (D), área foliar (AF), comprimento de raiz (CR) e volume de raiz (VR) em plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%

Tratamentos		Atributos biométricos			
		D (mm)	AF (cm ²)	CR (cm)	VR (cm ³)
Irrigação 90%	T	5,6±0,1 Aa	1433,7±45,9 Aa	49,5±2,2 Aa	28,5±2,4 Aa
	STML	5,0±0,1 Aa	1083,1±64,3 Ba	49,5±2,9 Aa	18,6±0,9 Ba
	ASL	5,1±0,3 Aa	1181,9±60,1 Ba	47,2±2,6 Aa	23,2±1,8 ABa
	SNP	5,5±0,1 Aa	1139,9±49,0 Bb	46,0±2,1 Aa	21,4±2,1 Aba
Irrigação 30%	T	4,4±0,2 Aa	706,3±70,4 Cb	51,3±2,0 Aa	12,4±1,7 Bb
	STML	5,1±0,3 Aa	1032,4±53,4 Ba	46,7±2,8 Aa	15,0±1,6 Aba
	ASL	4,5±0,1 Aa	1092,1±101,9 Ba	47,4±1,8 Aa	20,0±1,3 Aa
	SNP	5,5±0,3 Aa	1417,8±40,9 Aa	47,7±3,7 Aa	19,8±2,9 Aba

Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação, e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitor (n=5), pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 4. Massa seca da raiz e da parte aérea (MSR e MSPA) em plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%

Tratamentos		Atributos biométricos	
		MSR (g)	MSPA (g)
Irrigação 90%	T	3,0±0,2 Aa	12,9±0,3 Aa
	STML	2,4±0,1 Aa	8,9±0,2 Ba
	ASL	2,8±0,3 Aa	9,3±0,8 Ba
	SNP	2,6±0,3 Aa	11,9±0,9 Aa
Irrigação 30%	T	2,2±0,1 Bb	6,8±0,5 Bb
	STML	2,2±0,2 Ba	8,4±0,6 Ba
	ASL	3,0±0,1 Aa	8,5±0,3 Ba
	SNP	2,8±0,1 Aba	11,6±0,7 Aa

Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação, e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitor (n=5), pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.2 Estado hídrico da planta

Os resultados mostram que houve interação significativa entre os fatores, em relação a Ψ_w e TRA (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância e coeficiente de variação (CV) do potencial hídrico foliar (Ψ_w) e teor relativo de água (TRA) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função da aplicação de elicitores (E) e regimes de irrigação (RI)

Fontes de variação	GL	Quadrados médios	
		Ψ_w	TRA
E	3	0,21*	16,7 ^{ns}
RI	1	7,31*	78,8*
E×RI	3	0,18*	101,2*
Resíduo	32	0,06	1,6
CV (%)		15,41	4,41

^{ns} não significativo, *significativo ($p < 0,05$), de acordo com o teste F.

Comparado com a irrigação 90%, os valores de Ψ_w foram menores sob irrigação 30%, independentemente da aplicação dos elicitores. Contudo, esse decréscimo foi atenuado com as aplicações de Stimulate® e SNP (Figura 2A). Em relação ao TRA, sob irrigação 30%, verificou-se um decréscimo dos valores também na testemunha, porém os seus níveis não foram alterados nos tratamentos com aplicação dos elicitores (Figura 2B).

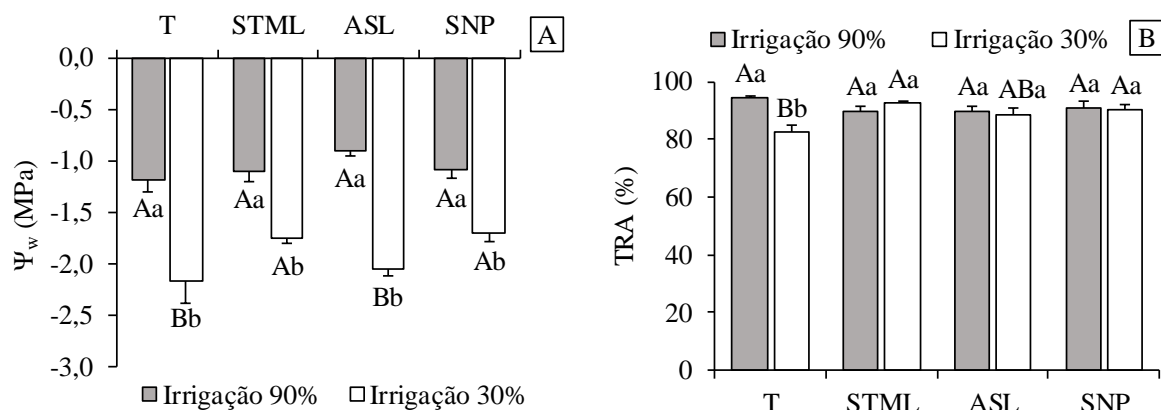


Figura 2. Potencial hídrico foliar (Ψ_w) [A] e teor relativo de água (TRA) [B] em plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias ($n=5$). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação, e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitor, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.3 Trocas gasosas foliares

Os resultados mostram que houve influência isolada de cada fator sobre g_s , e interação significativa entre os fatores em relação a A , E e $EiUA$ (Tabela 6). Embora não tenha ocorrido interação significativa dos fatores em relação a g_s , houve influência de cada fator, quando analisados individualmente. Os valores de g_s foram bastante reduzidos sob irrigação 30% (Figura 3A), enquanto o tratamento com a aplicação de SNP proporcionou valores de g_s mais altos do que nos demais elicitores e testemunha, os quais não diferiram entre si (Figura 3B).

Tabela 6. Resumo da análise de variância e coeficiente de variação (CV) da condutância estomática (g_s), assimilação de CO_2 (A), transpiração (E) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função da aplicação de elicitores (E) e regimes de irrigação (RI)

Fontes de variação	GL	Quadrados médios			
		g_s	A	E	EiUA
E	3	0,0088*	9,52*	3,38*	0,48*
RI	1	0,0957*	185,45*	12,18*	0,08 ^{ns}
E×RI	3	0,0025 ^{ns}	13,61*	1,40*	1,29*
Resíduo	24	0,0015	2,02	0,19	0,01
CV (%)		59,28	36,03	33,58	7,12

^{ns} não significativo, *significativo ($p < 0,05$), de acordo com o teste F.

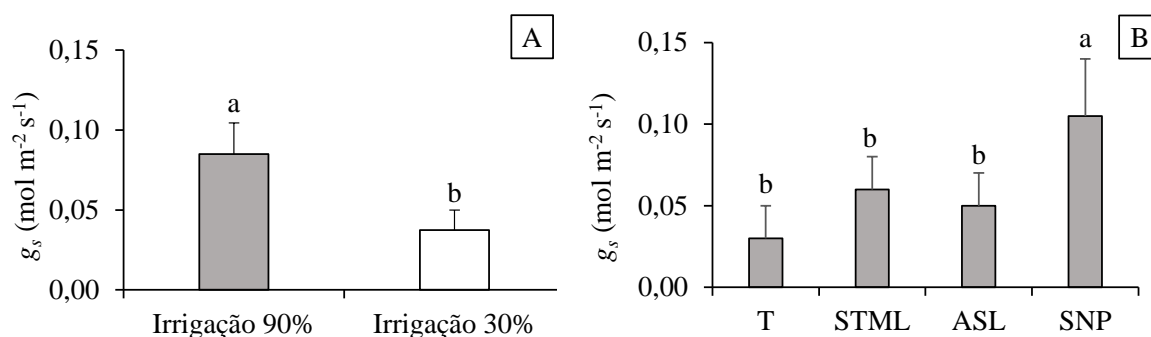


Figura 3. Condutância estomática (g_s) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função dos regimes de irrigação 90% e 30% [A] e das aplicações de Stimulate[®] (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T) [B]. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias ($n=5$). Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Sob irrigação 30%, os valores de A e E sofreram acentuados decréscimos na testemunha e nos tratamentos com aplicações de Stimulate[®] e ASL. Essa redução em A e E , entretanto, não ocorreu com a aplicação de SNP (Figuras 4A e 4B). A restrição hídrica também causou um decréscimo em EiUA, embora não acentuado, na testemunha e nos tratamentos com aplicações de Stimulate[®] e ASL. A aplicação de SNP, contudo, reverteu esse efeito, aumentando a EiUA (Figura 4C).

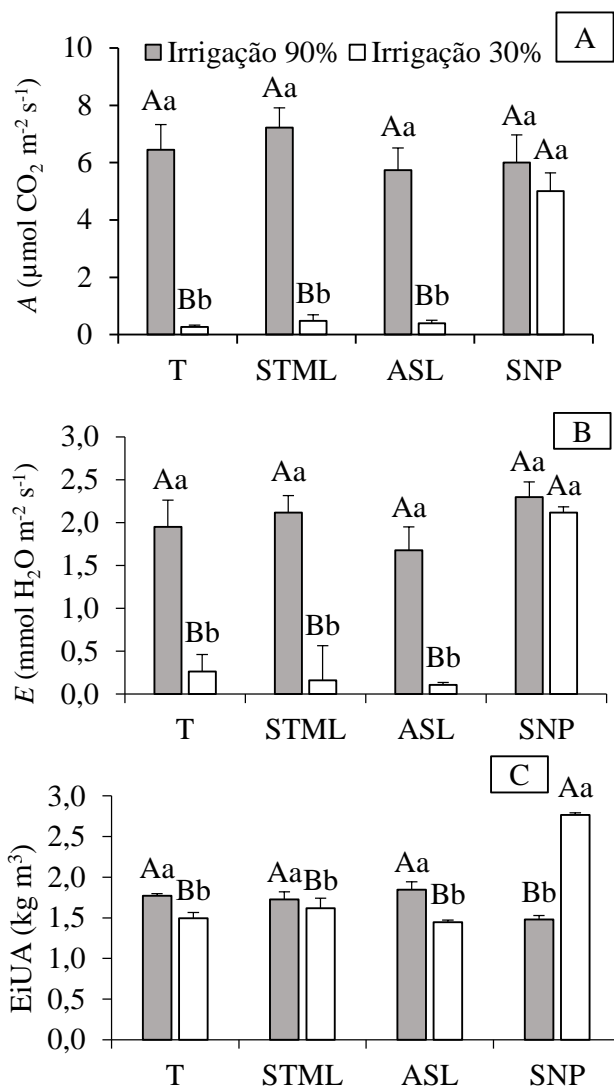


Figura 4. Assimilação de CO₂ (A) [A], transpiração (E) [B] e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) [C] em plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação, e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitor, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.4 Concentrações de pigmentos fotossintéticos, amido e açúcares redutores

Os resultados mostram que houve interação significativa entre os fatores em relação a todas as características bioquímicas analisadas (Tabela 7).

Sob irrigação 30%, verificou-se um decréscimo nas concentrações de pigmentos fotossintéticos na testemunha. Em relação à clorofila total, esse decréscimo ocorreu

também com a aplicação de ASL, mas não ocorreu com as aplicações de Stimulate® e SNP (Figura 5A). Quanto aos carotenoides, houve um decréscimo com a aplicação de SNP, enquanto as concentrações foram mantidas com aplicações de Stimulate® e ASL (Figura 5B).

Sob irrigação 30%, a concentração de amido foi menor, tanto na testemunha como nos tratamentos com aplicação dos elicitores (Figura 6A). Por outro lado, houve um aumento na concentração de AR, mas somente em resposta à aplicação dos elicitores, sendo que esse efeito foi relativamente maior com Stimulate® e SNP (Figura 6B).

Tabela 7. Resumo da análise de variância e coeficiente de variação (CV) para as concentrações de clorofila total (CLO), carotenoides (CAR), amido e açúcares redutores (AR) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função da aplicação de elicitores (E) e regimes de irrigação (RI)

Fontes de variação	GL	Quadrados médios			
		CLO	CAR	Amido	AR
E	3	903,60*	25,67*	0,037*	0,0045*
RI	1	293,76*	7,76*	0,189*	0,0129*
E×RI	3	113,48*	6,80*	0,007*	0,0020*
Resíduo	24	9,41*	1,26	0,001	0,0003
CV (%)		7,1	10,25	4,68	9,5

^{ns} não significativo, *significativo ($p < 0,05$), de acordo com o teste F.

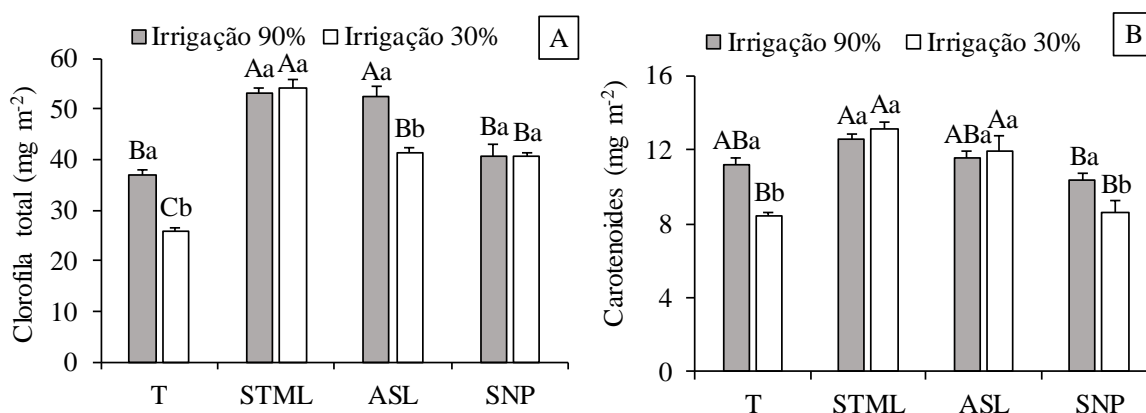


Figura 5. Concentrações de clorofila total [A] e carotenoides [B] em plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação, e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitor, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

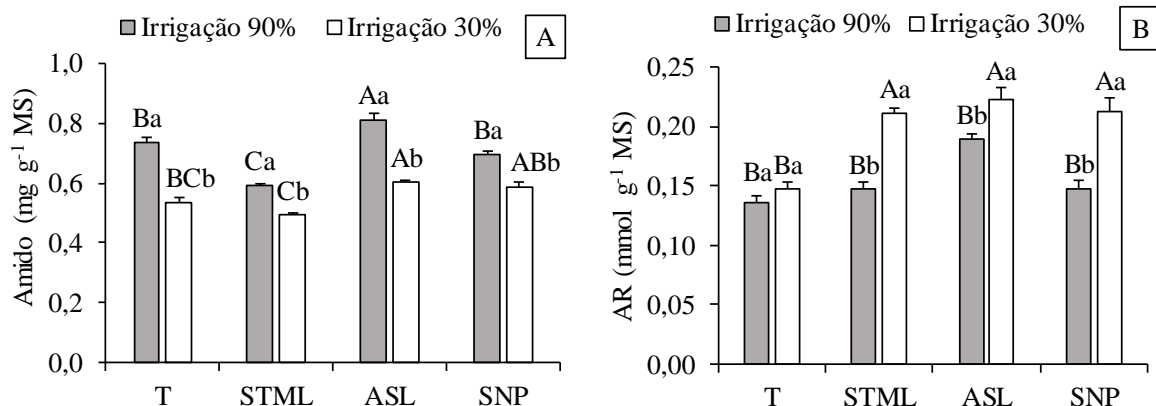


Figura 6. Concentrações de amido [A] e açúcares redutores (AR) [B] em folhas de plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate® (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), e regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação, e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitor, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.5 TBARS e enzimas antioxidantes

Os resultados mostram que houve interação significativa entre os fatores em relação à concentração de TBARS e à atividade das enzimas antioxidantes (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo da análise de variância e coeficiente de variação (CV) para substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), atividade das enzimas dismutase do superóxido (SOD) e peroxidase do guaiacol (GPX) em plantas jovens de maracujá amarelo, em função da aplicação de elicitores (E) e regimes de irrigação (RI)

Fontes de variação	GL	Quadrados médios		
		TBARS	SOD	GPX
E	3	99,45*	0,083*	0,052*
RI	1	39,38 ^{ns}	0,075*	0,509*
E×RI	3	467,29*	0,243*	0,052*
Resíduo	32	25,56	0,011	0,003
CV (%)		6,27	11,17	14,52

^{ns} não significativo, *significativo ($p < 0,05$), de acordo com o teste F.

Sob irrigação 30%, a concentração de TBARS aumentou na testemunha. Esse aumento não ocorreu com a aplicação de SNP, e foi revertido com as aplicações de Stimulate[®] e ASL (Figura 7). Em relação à SOD, verificou-se uma redução da sua atividade na testemunha, porém a aplicação dos elicitores promoveu uma reversão desse efeito, proporcionando um aumento da atividade enzimática, principalmente com a aplicação de ASL (Figura 8A). Quanto à GPX, a atividade enzimática não foi afetada pelos regimes de irrigação, mas teve um aumento com a aplicação dos elicitores, de forma mais acentuada com a aplicação de SNP (151%), seguido de Stimulate[®] (118%) e ASL (101%) (Figura 8B).

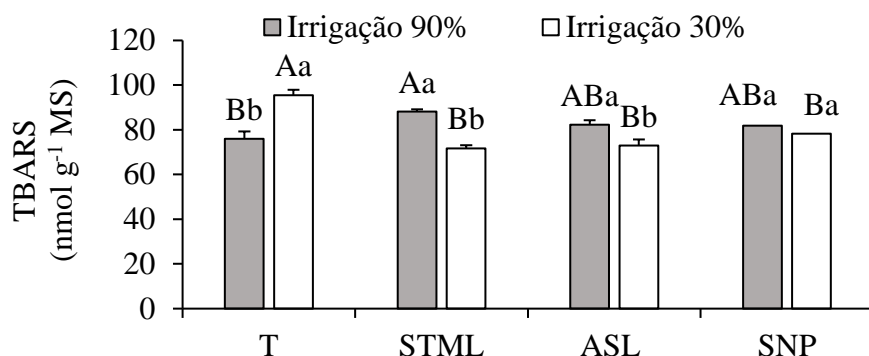


Figura 7. Concentração de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) em folhas de plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate[®] (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação, e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitor, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

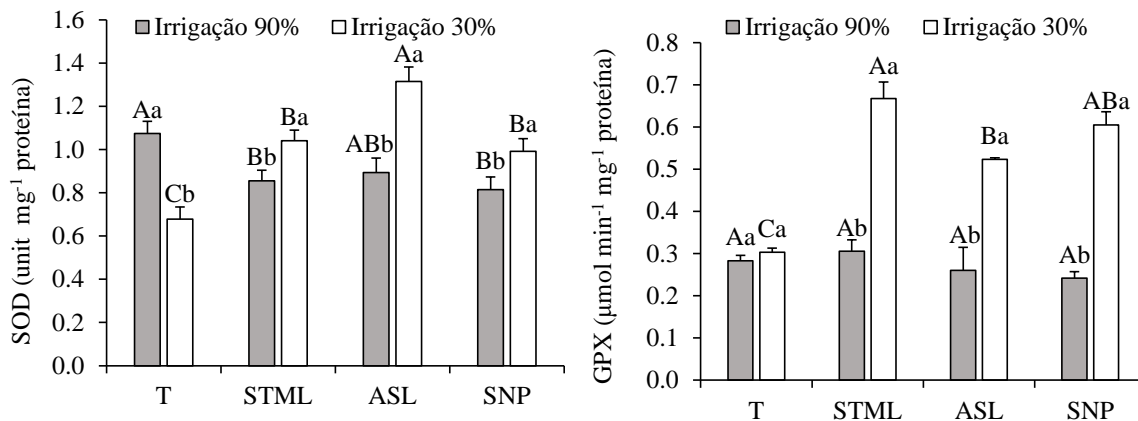


Figura 8. Atividade das enzimas dismutase do superóxido (SOD) [A] e peroxidase do guaiacol (GPX) [B] em folhas de plantas jovens de maracujá amarelo submetidas a aplicações de Stimulate[®] (STML), ácido salicílico (ASL) e nitroprussiato de sódio (SNP), além da testemunha (T), em regimes de irrigação 90% e 30%. As barras em cada coluna representam o erro padrão das médias (n=5). Letras maiúsculas comparam as aplicações de elicitores em um mesmo regime de irrigação, e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação em um mesmo elicitor, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

5 DISCUSSÃO

Os estudos para melhorar a tolerância do maracujá-amarelo à deficiência hídrica são geralmente focados no aumento da produtividade. No entanto, este estudo está focado no déficit hídrico ocasional após o transplante de mudas, visto que isso pode limitar o crescimento inicial de plantas jovens e até mesmo tornar-se crucial para sua sobrevivência. Estudos anteriores relataram que a aplicação de elicitores melhora a tolerância de algumas espécies ao déficit hídrico, tornando-se uma alternativa promissora para o manejo de culturas em condições edafoclimáticas desfavoráveis (Antoniou et al., 2020; Leite et al., 2021). No entanto, o potencial para mitigar o estresse hídrico pode variar com os elicitores, dependendo de como eles influenciam as características morfofisiológicas e bioquímicas. Os achados deste estudo merecem destaque, seja porque os elicitores se mostraram eficazes em melhorar a tolerância das plantas ao déficit hídrico, seja porque esclarecem como e em que medida cada elicitor influencia características relacionadas ao crescimento.

Primeiramente, deve-se ressaltar que o maracujá-amarelo é uma espécie de fecundação cruzada, com alto índice de autoincompatibilidade, o que resulta em identidade

genética baixa e grande variabilidade de plantas em viveiros e pomares (Meletti et al., 2003). Assim, é comum maracujás-amarelos de uma mesma idade apresentarem padrão de altura indefinido. Portanto, ao avaliar os atributos biométricos neste estudo, mediu-se não apenas a altura da planta, mas o aumento relativo da altura da planta (H). O déficit hídrico reduziu H, independentemente das aplicações de elicitores (Figura 1). Em geral, o alongamento e a divisão celular são inibidos pelo déficit hídrico, refletindo negativamente no H (Yang et al., 2021). No entanto, a diminuição de H foi atenuada com a aplicação de elicitores. A maior H foi obtida com a aplicação do Stimulate[®], independentemente do regime de irrigação. Esse efeito é provavelmente atribuído aos reguladores de crescimento, que promovem o alongamento e a divisão celular (Kumari, 2017; Hong et al., 2018). O efeito da ASL, por sua vez, pode ter sido associado à osmorregulação, corroborando estudos anteriores com milho (Tayyab et al., 2020) e feijão (Mohi-Ud-Din et al., 2021) expostos ao déficit hídrico.

Em relação aos demais atributos biométricos (Tabela 3), nas plantas sob irrigação 90%, AF diminuiu na testemunha, mas manteve-se estável com as aplicações dos elicitores. Novamente, assume-se que o efeito da aplicação do Stimulate[®] está relacionado aos reguladores de crescimento, que promovem a expansão dos tecidos vegetais (Gaion et al., 2018; Pashang et al., 2021). O efeito da aplicação de ASL, por sua vez, é consistente com estudos anteriores sobre *Cucurbita pepo* L. (Abd El-Mageed et al., 2016). Quanto à aplicação de SNP, seu efeito provavelmente é atribuído à capacidade do NO de promover o alongamento e divisão celular (Neill et al., 2003) ou de prevenir a senescência foliar por meio de sua ação na transdução de sinal de hormônios envolvidos nesse processo (Jafari e Shahsavari, 2022). As aplicações de elicitores causaram efeito semelhante na diminuição do VR (Tabela 3), provavelmente como resultado da formação de raízes adventícias, induzida por auxinas (Shi et al., 2014; Li et al., 2018), ASL (Yang et al., 2018), ou NO (Fernández-Marcos et al., 2011). Os elicitores preveniram diminuições em MSR e MSPA em plantas sob irrigação 30% (Tabela 4). Em geral, diminuições na biomassa da raiz e da parte aérea estão relacionadas a uma redução na taxa fotossintética (Misra et al., 2020). O efeito do SNP pode estar associado tanto à manutenção da taxa fotossintética (Figura 5) quanto ao papel do NO no aumento da expressão de genes responsivos ao estresse (Farouk e Al-Ghamdi, 2021). Quanto ao ASL, seu efeito está de acordo com estudos anteriores sobre

aumento de biomassa e mudanças nos teores de amido em raízes e folhas, evitando reduções em MSR e MSPA em trigo sob déficit hídrico (Sharma et al., 2017). O efeito do Stimulate[®], por sua vez, provavelmente está relacionado às citocininas (Zhang e Ervin, 2004) e giberelinas (Moumita et al., 2019), consideradas eficazes em promover o acúmulo de biomassa em plantas expostas ao déficit hídrico.

O déficit hídrico diminuiu o Ψ_w , independente da aplicação dos elicitores (Figura 2A). Já o TRA diminuiu na testemunha, mas manteve-se estável com as aplicações dos elicitores (Figura 2B). Diminuições em Ψ_w e TRA têm sido geralmente observadas em plantas de maracujá-roxo expostas ao déficit hídrico (García-Castro et al., 2017). Neste estudo, os resultados sugerem que houve osmorregulação induzida pela aplicação de elicitores, notadamente ASL, visto que TRA permaneceu estável, apesar da redução de Ψ_w . A osmorregulação resulta do acúmulo de osmólitos compatíveis, que reduzem o Ψ_w mantendo o turgor celular (Yang et al., 2021), mitigando os efeitos do déficit hídrico no crescimento das plantas. A osmorregulação induzida pela aplicação de ASL geralmente está associada à regulação de enzimas hidrolíticas, que produzem osmólitos compatíveis, como açúcares solúveis e redutores, aminoácidos e prolina (Shafiei et al., 2019; Sedaghat et al., 2020).

Os resultados mostram que o déficit hídrico reduziu significativamente a g_s , limitando as trocas gasosas (Figura 3A). É amplamente conhecido que o déficit hídrico do solo pode limitar a abertura estomática e comprometer as trocas gasosas, reduzindo A e E (Zhou et al., 2014; Martins et al., 2016). No entanto, estudos anteriores relataram que o NO está envolvido em vias de sinalização que promovem tanto o fechamento estomático (Sun et al., 2017) quanto a abertura (Silveira et al., 2016) em condições de déficit hídrico. Por outro lado, embora o NO esteja geralmente associado apenas ao controle do fechamento e abertura dos estômatos, o NO também pode interferir no padrão de distribuição dos estômatos na epiderme da folha. Estômatos localizados na face adaxial estão expostos a maior radiação solar e maiores diferenças no gradiente de pressão de vapor, condições que maximizam a perda de água e levam ao fechamento estomático. Em contraste, um aumento na distribuição estomática na face abaxial causado pelo NO pode atenuar a perda de água, permitindo que g_s permaneça estável (Sousa et al., 2019).

Neste estudo, g_s com a aplicação de SNP foi maior do que na testemunha ou com as aplicações dos outros elicitores, independentemente dos regimes de irrigação (Figura 3B). Esta descoberta sugere que a aplicação de SNP é capaz de prevenir uma redução em g_s , e isso foi crucial para *A* e *E* permanecerem estáveis em plantas sob irrigação 30% (Figura 4A). Essa hipótese é corroborada pela redução significativa observada em *A* e *E* nas plantas sob irrigação 30%, tanto na testemunha quanto com as aplicações dos demais elicitores (Figura 4B), concomitantemente com a diminuição de g_s . Altos níveis de NO também podem atuar regulando a sinalização do ácido abscísico nas células-guarda por meio da S-nitrosação das proteínas OST1 – uma modificação redox que consiste na ligação reversível do NO ao grupo tiol de um resíduo de cisteína em uma proteína alvo, capaz de causar uma mudança conformacional nas proteínas, alterando sua atividade ou função (Astier et al., 2012; Pissolato et al., 2020). Assim, o NO pode favorecer a abertura estomática e manter a assimilação de CO₂ mesmo em condições de déficit hídrico (Wang et al., 2015; Casaretto et al., 2020). Além disso, o NO pode aumentar a atividade da rubisco em condições de estresse, como observado em cana-de-açúcar exposta à seca (Silveira et al., 2017).

Nas plantas sob irrigação 30%, *A* foi maior com as aplicações de elicitores em relação a testemunha. Este aumento foi mais significativo com SNP (1755%) do que com Stimulate® (78%) e ASL (48%). O notável aumento de *A* com a aplicação do SNP, aliás, foi relativamente muito maior que o aumento de g_s causado por este mesmo elicitor. Provavelmente, é por isso que o SNP foi o único elicitor que causou um aumento no EiUA nas plantas sob irrigação 30% em comparação com as plantas sob irrigação 90% (Figura 4C).

Nas plantas sob irrigação 30%, o teor de clorofila total diminuiu na testemunha (Figura 5A), como geralmente ocorre em plantas expostas ao déficit hídrico. Essa diminuição afeta as reações fotoquímicas, reduzindo a taxa de fotossíntese (Chen et al., 2016; Hussain et al., 2019). Apesar disso, o teor de clorofila total manteve-se estável com as aplicações de Stimulate® e SNP. O efeito atenuante do Stimulate® é provavelmente atribuído aos hormônios em sua composição, que contribuem para prevenir danos aos cloroplastos expostos a condições de estresse hídrico (Heshmat et al., 2014; Liu et al., 2016; Verma et al., 2016). As auxinas atuam tanto na prevenção de processos oxidativos celulares em pigmentos e proteínas fotossintéticas, quanto na inativação de enzimas

catalíticas (Pashang et al., 2021). As giberelinas atuam na manutenção da integridade das membranas dos cloroplastos em plantas expostas ao déficit hídrico (Mahindre et al., 2018; Mbandlwa et al., 2019). As citocininas atuam estimulando o sistema de defesa antioxidante, impedindo a degradação da clorofila (Sarafraz-Ardakani et al., 2014; Raza et al., 2020). Em relação aos efeitos dos SNPs, estudos indicam que o NO aumenta a síntese de complexos proteicos em cloroplastos e mitocôndrias (Simontacchi et al., 2015). A manutenção do teor de clorofila tem sido atribuída ao papel do NO na inibição da síntese de ERO (Yang et al., 2012). al., 2014), brócolis (Munawar et al., 2019) e trigo (Hameed et al., 2021).

O conteúdo de carotenóides nas plantas sob irrigação 30% também diminuiu na testemunha (Figura 5B), mas permaneceu estável com as aplicações de Stimulate[®] e ASL, e teve uma diminuição atenuada com a aplicação de SNP. Quando o conteúdo de carotenóides permanece estável ou é apenas ligeiramente diminuído, melhora a tolerância da planta ao déficit hídrico, pois os carotenóides ajudam a dissipar o excesso de luz, atenuando o efeito reativo e danoso do $^1\text{O}_2^*$ e evitando danos ao aparato fotossintético (Dinakar et al., 2012; Barbosa et al., 2014). O efeito do Stimulate[®] é provavelmente atribuído ao papel das auxinas na regulação de alguns genes envolvidos na biossíntese de carotenóides (Li et al., 2017), e ao papel das giberelinas, que estão envolvidas na codificação de genes relacionados à biossíntese de geranyl pirofosfato, um precursor de carotenóides (Miri et al., 2021). Aumentos no conteúdo de carotenóides desencadeados por esses hormônios foram relatados em estudos sobre *Arabidopsis transgênica* (Kang et al., 2018) e *Vigna unguiculata* (Miri et al., 2021). Por outro lado, a aplicação de ASL pode ter inibido a atividade de enzimas que degradam carotenóides (Lobato et al., 2021). Aumentos no conteúdo de carotenóides foram observados em soja (Razmi et al., 2017), trigo (Azmat et al., 2020) e milho (Naz et al., 2021) tratados com ASL e expostos ao déficit hídrico.

O teor de amido diminuiu nas plantas sob irrigação 30% independentemente das aplicações de elicitores (Figura 6A). Em parte, isso provavelmente é atribuído a limitações na absorção e assimilação de CO_2 que geralmente ocorrem em plantas expostas ao déficit hídrico, levando a uma diminuição na síntese de carboidratos (Yang et al., 2021). Por outro lado, essa diminuição no teor de amido também pode ser resultado de uma maior hidrólise, uma vez que houve um aumento no teor de AR com as aplicações de elicitores em plantas sob irrigação 30% (Figura 6B). O acúmulo de osmólitos compatíveis é

considerado uma estratégia importante nas plantas para evitar os efeitos tóxicos de vários estresses. Neste estudo, o aumento do teor de AR com a aplicação de elicitores em plantas sob irrigação 30% ocorreu concomitantemente com a diminuição de Ψ_w e manutenção de TRA (Figura 2A e 2B), sugerindo osmorregulação induzida por Stimulate[®], ASL e SNP. A osmorregulação ajuda a manter o turgor celular, melhorando a capacidade das plantas de absorver a umidade do solo (Umebese e Bankole, 2013). O papel desses elicitores na osmorregulação tem sido frequentemente associado a genes que controlam a síntese de enzimas que hidrolisam o amido, produzindo AR. A osmorregulação induzida por elicitores foi relatada em estudos sobre a aplicação de auxinas, giberelinas e citocininas em *Vicia faba* (Rady et al., 2021), citocininas em arroz (Din et al., 2015), ASL em trigo (Loutfy et al., 2012) e milho (Naz et al., 2021), e SNP em algodão (Shallan et al., 2012).

Os resultados revelaram que na testemunha das plantas sob irrigação 30% houve aumento de TBARS, que representam vários produtos de dano produzidos pelo estresse oxidativo (Figura 7). Os ensaios de TBARS quantificam o conteúdo de malondialdeído (MDA), resultante da peroxidação de ácidos graxos insaturados em fosfolipídios no tecido foliar. Quando as plantas são expostas ao déficit hídrico, as propriedades físicas da membrana celular são alteradas e a taxa de danos à membrana tende a aumentar, permitindo o vazamento de eletrólitos (Punia et al., 2021; Zhang et al., 2021). Dado que o dano à membrana celular é causado pelo MDA, o aumento de TBARS neste estudo sugere aumento da peroxidação lipídica, o que pode resultar em morte celular.

No entanto, TBARS em plantas sob irrigação 30% manteve-se estável com a aplicação de SNP e diminuiu com as aplicações de Stimulate[®] e ASL, melhorando a tolerância da planta ao estresse oxidativo. O efeito do Stimulate[®] provavelmente está ligado à influência dos hormônios na mitigação do estresse oxidativo. Estudos realizados por Sergiev et al. (2019) com *Pisum sativum* L. sob déficit hídrico mostraram que a aplicação de auxinas reduz o teor de MDA, atenuando lesões na membrana celular. Além disso, outros estudos relatam que giberelinas e citocininas atenuam a lesão da membrana celular por ativação do sistema de defesa antioxidante em trigo (Moumita et al., 2019; Abdel-Latef et al., 2021) e favas (Rady et al., 2019). expostos ao déficit hídrico. Neste estudo, os resultados sugerem que o efeito do Stimulate[®] provavelmente estava ligado à ativação do sistema de defesa antioxidante. Em parte, o conteúdo de carotenoides, antioxidantes não

enzimáticos, manteve-se estável com a aplicação do Stimulate[®], evitando assim a formação de ERO (Latowski et al., 2011). Além disso, Stimulate[®] aumentou as atividades de SOD e GPX, enzimas antioxidantes abrangentes que eliminam o excesso de ERO, protegendo a planta do dano oxidativo (Figuras 8A e 8B). Esses resultados são consistentes com o efeito dos hormônios no aumento da atividade de enzimas antioxidantes em berinjela (Xiao et al., 2017), trigo (Mohsenzadeh e Zohrabi, 2018) e batata (Khalid e Aftab, 2020) expostos a estresses abióticos.

A aplicação de ASL também reduziu TBARS em plantas sob irrigação 30% (Figura 7), o que é consistente com estudos anteriores sobre a redução do teor de MDA pela aplicação de ASL em milho exposto ao déficit hídrico (Tayyab et al., 2020). Neste estudo, ASL melhorou o sistema antioxidante, prevenindo a diminuição do conteúdo de carotenóides e aumentando as atividades de SOD e GPX (Figura 8). Esses resultados corroboram estudos anteriores sobre o papel do ASL no aumento da atividade de enzimas antioxidantes em *Rosmarinus officinalis* L. (El-Esawi et al., 2017), *Solanum lycopersicum* L. (Lobato et al., 2021), *Phaseolus vulgaris* L. (Mohi-Ud-Din et al., 2021) e *Vicia faba* L. (Dawood et al., 2022).

Pode-se supor que a aplicação de SNP atenuou parcialmente o estresse oxidativo, uma vez que o teor de TBARS permaneceu estável nas plantas sob irrigação 30% (Figura 7). Estudos anteriores relataram uma diminuição na peroxidação lipídica e no conteúdo de ERO induzida por NO exógeno, melhorando a tolerância das plantas ao déficit hídrico (Fan e Liu, 2012; Groß et al., 2013; Rezayian et al., 2022). De acordo com Demiral et al. (2014) e Santisree et al. (2015), o NO pode atuar como um terminador de cadeia, interagindo com os radicais alcóxila e peróxila dos lipídios de membrana para prevenir a peroxidação lipídica. No entanto, neste estudo, os resultados sugerem que a aplicação de SNP em plantas sob irrigação 30% não foi eficaz na prevenção da formação de ERO por mecanismos de dissipação de excesso de energia, uma vez que o teor de carotenóides foi reduzido. Por outro lado, o SNP aumentou as atividades de SOD e GPX (Figs. 8A e 8B), o que é consistente com estudos anteriores sobre algodão (Shallan et al., 2012) e tomate (Hayat et al., 2014).

6 CONCLUSÕES

Este estudo revelou pela primeira vez que as plantas jovens de maracujá-amarelo são sensíveis ao déficit hídrico, visto que uma eventual restrição no abastecimento de água logo após o transplante das mudas afetou negativamente seus atributos biométricos essenciais, inibindo o crescimento da planta. Os danos resultaram, em parte, da redução do turgor celular e diminuição da condutância estomática, o que restringiu a assimilação de CO₂. A taxa de fotossíntese também pode ter sido afetada, pois os teores de pigmentos fotossintéticos foram reduzidos. O teor de amido e açúcares redutores foi alterado, mas isso não ajudou na osmorregulação. Houve estresse oxidativo, pois as enzimas SOD e GPX foram ineficazes para prevenir a peroxidação lipídica.

Por outro lado, elicitores como Stimulate[®], ASL e SNP foram eficazes em melhorar a tolerância de plantas jovens ao déficit hídrico. Os efeitos do déficit hídrico sobre os atributos biométricos foram atenuados com as aplicações dos elicitores, evitando a inibição do crescimento vegetal. No entanto, o potencial de cada eliciador como mitigador do estresse hídrico variou com as características morfofisiológicas e bioquímicas, e ocorreu em intensidades variáveis. O SNP foi o mais eficaz na prevenção da redução da condutância estomática e na manutenção da assimilação de CO₂, enquanto o Stimulate[®] foi o mais eficaz na prevenção da redução do teor de pigmentos fotossintéticos. Os três elicitores foram eficazes na indução da osmorregulação, auxiliando na manutenção do turgor celular. Além disso, os elicitores atenuaram o estresse oxidativo, seja aumentando as atividades de SOD e GPX, seja mantendo estável ou diminuindo o teor de TBARS, evitando a peroxidação lipídica. Com base nos resultados obtidos neste estudo, concluímos que a aplicação de eliciadores é uma estratégia eficaz para mitigar os efeitos do déficit hídrico em plantas jovens de maracujá-amarelo. Novos estudos também podem ajudar a elucidar o papel desses elicitores na mitigação do estresse hídrico. Ensaios de campo também podem validar a aplicação prática desses eliciadores, antes que esse recurso possa ser aplicado com sucesso como prática agrícola.

7 REFERÊNCIAS

Abbasi, A.; Maleki, A.; Babaei, F.; Safari, H.; Rangin, A. The role of gibberellic acid and zinc sulfate on biochemical performance relate to drought tolerance of white bean under water stress. **Cellular and Molecular Biology**, v. 65, n. 3, p. 1–10, 2019.

<https://doi.org/10.14715/cmb/2019.65.3.1>

Abd El-Mageed, T.A.; Semida, W.M; Mohamed, G.F.; Rady, M.M. Combined effect of foliar-applied salicylic acid and deficit irrigation on physiological–anatomical responses, and yield of squash plants under saline soil. **South African Journal of Botany**, v. 106, p. 8–16, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.05.005>

Abdel Latef, A.A.; Hasanuzzaman, M.; Tahjib-Ul-Arif, M. Mitigation of salinity stress by exogenous application of cytokinin in faba bean (*Vicia faba* L.). **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 49, n. 1, p. 12192, 2021.

<https://doi.org/10.15835/nbha49112192>

Achard, F.; Gong, S.; Cheminant, M.; Alioua, P.; Hedden, P.; Genschik. The cold-inducible CBF1 factor-dependent signaling pathway modulates the accumulation of the growth-repressing DELLA proteins via its effect on gibberellin metabolism. **Plant Cell**, v. 20, p. 2117–2129, 2008. <https://doi.org/10.1105/tpc.108.058941>

Acidri, R.; Sawai, Y.; Sugimoto, Y.; Handa, T.; Sasagawa, D.; Masunaga, T.; Yamamoto, S.; Nishihara, E. Exogenous kinetin promotes the nonenzymatic antioxidant system and photosynthetic activity of coffee (*Coffea arabica* L.) plants under cold stress conditions. **Plants**, v. 9, p. 281, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9020281>

Ahmad, B.; Zaid, A.; Sadiq, Y.; Bashir, S.; Wani, S.H. Role of selective exogenous elicitors in plant responses to abiotic stress tolerance. In: Hasanuzzaman, M.; Hakeem, K.; Nahar, K.; Alharby, H. (Eds). **Plant abiotic stress tolerance**. Cham, Springer, 2019, p. 273–290. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_12

Ahmad, P.; Abdel, A.A.L.; Hashem, A.; Abd_Allah, E.F.; Gucel, S.; Tran, L.S. Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1–11, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00347>

Aires, E.S.; Ferraz, A.K.L.; Carvalho, B.L.; Teixeira, F.P.; Putti, F.F.; Souza, E.P.; Rodrigues, J.D.; Ono, E.O. Foliar application of salicylic acid to mitigate water stress in tomato. **Plants**, v. 11, p. 1775, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants1113177>

Aktas, L.Y.; Akca, H.; Altun, N.; Battal, P. Phytohormone levels of drought acclimated laurel seedlings in semiarid conditions. **General and Applied Plant Physiology**, v. 34, p. 203–214, 2008.

Akter, N.; Islam, M.R.; Karim, M.A.; Hossain, T. Alleviation of drought stress in maize by exogenous application of gibberellic acid and cytokinin. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 17, p. 41–48, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12892-013-0117-3>

Anderson, L.; Mansfield, T. The effects of nitric oxide pollution on the growth of tomato. **Environmental Pollution**, v. 20, p. 113–121, 1979. [https://doi.org/10.1016/0013-9327\(79\)90063-6](https://doi.org/10.1016/0013-9327(79)90063-6)

Andrade, E.L. de; Melo, A.S. de; Melo, Y.L.; Sá, F.V. da S.; Rocha, M. de M.; Oliveira, A.P.S. Fernandes Junior, P.I. *Bradyrhizobium* inoculation plus foliar application of salicylic acid mitigates water deficit effects on cowpea. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 656–667, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10130-3>

Anjum, S.A.; Farooq, M.; Xie, X.; Liu, X.; Ijaz, M.F. Antioxidant defense system and proline accumulation enables hot pepper to perform better under drought. **Scientia Horticulturae**, v. 140, p. 66–73, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.03.028>

Antoniou, C.; Xenofontos, R.; Chatzimichail, G.; Christou, A.; Fotopoulos, V. Exploring the potential of nitric oxide and hydrogen sulfide (NOSH)-releasing synthetic compounds as novel priming agents against drought stress in *Medicago sativa* plants. **Biomolecules**, v. 10, p. 120, 2020. <https://doi.org/10.3390/biom10010120>.

Astier, J.; Kulik, A.; Koen, E.; Besson-Bard, A.; Bourque, S.; Jeandroz, S.; Lamotte, O.; Wendehenne, D. Protein S-nitrosylation: what's going on in plants? **Free Radical Biology and Medicine**, v. 53, p. 1101–1110, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2012.06.032>

Azmat, A.; Yasmin, H.; Hassan, M.N.; Nosheen, A.; Naz, R.; Sajjad, M.; Ilyas, N.; Akhtar, M.N. A co-application of bio-fertilizer and salicylic acid improves growth, photosynthetic pigments and stress tolerance in wheat under drought stress. **Plant Biology**, v. 8, p. e9960, 2020. <https://doi.org/10.7717/peerj.9960>

Bagheri, N.; Alizadeh, O.; Zadeh, S.S.; Aref, F.; Ordoorkhani, K. Evaluation of auxin priming and plant growth promoting Rhizobacteria on yield and yield components of wheat under drought stress. **EurAsian Journal of BioSciences**, v. 13, p. 711–716, 2019.

Baldo, R.; Scalon, S.P.Q.; Rosa, Y.B.C.J.; Mussury, R.M.; Betoni, R.; Barreto, W.S. Comportamento do algodoeiro cultivar Delta Opal sob estresse hídrico com e sem aplicação de bioestimulante. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1804–1812, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000700018>

Barbosa, M.R.M.; Silva, M.A.; Willadino, L.; Ulisses, C.; Camara, T.R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453–460, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000300011>

Batista, P.F.; Costa, A.C.; Muller, C.; Silva-Filho, R.O.; Silva, F.B.; Merchant, A.; Mendes, G.C.; Nascimento, K.J.T. Nitric oxide mitigates the effect of water deficit in *Crambe*

- abyssinica*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 129, p. 310–322, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.06.012>
- Beauchamp, C.; Fridovich, I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v. 44, p. 276–287, 1971. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(71\)90370-8](https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8)
- Beligni, M.V.; Lamattina, L. Nitric oxide counteracts cytotoxic processes mediated by reactive oxygen species in plant tissues. **Planta**, v. 208, p. 337–344, 1999. <https://doi.org/10.1007/s004250050567>
- Benková, E.; Michniewicz, M.; Sauer, M.; Teichmann, T.; Seifertová, D.; Jürgens, G.; Friml, J. Local, efflux-dependent auxin gradients as a common module for plant organ formation. **Cell**, v. 115, p. 591–602, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(03\)00924-3](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(03)00924-3)
- Biareh, V.; Shekari, F.; Sayfzadeh, S.; Zakerin, H.; Hadidi, E.; Beltrão, J.G.T.; Mastinu, A. Physiological and qualitative response of *Cucurbita pepo* L. to salicylic acid under controlled water stress conditions. **Horticulturae**, v. 8, p. 79, 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8010079>
- Blakeslee, J.J.; Rossi, T.S.; Kriechbaumer, V. Auxin biosynthesis: spatial regulation and adaptation to stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 19, p. 5041–5049, 2019. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz283>
- Boogar, A.R.; Salehi, H.; Jowkar, A. Exogenous nitric oxide relieves oxidative damage in lawns under water stress. **South African Journal of Botany**, v. 92, p. 78–82, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.02.005>
- Boyarshinov, A.; Asafova, E. Stress responses of wheat leaves to dehydration: participation of endogenous NO and effect of sodium nitroprusside. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 58, p. 1034–1039, 2011. <https://doi.org/10.1134/S1021443711060033>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 20**, de 21 de jul. de 1999. Oficializa os métodos analíticos físico-químicos, para controle de produtos cárneos e seus ingredientes – sal e salmoura. Diário oficial da União. Brasília, DF, 27 jul. 1999.
- Carlosama, A.R.; Faleiro, F.G.; Morera, M.P.; Costa, A.M. **Pasifloras: espécies cultivadas en el mundo**. Brasília, ProImpress, 2020. 249 p.
- Casaretto, E.; Signorelli, S.; Gallino, J.P.; Vidal, S.; Borsani, O. Endogenous NO accumulation in soybean is associated with initial stomatal response to water deficit **Physiologia Plantarum**, v. 172, p. 564–573, 2020. <https://doi.org/10.1111/ppl.13259>
- Catinot, J.; Buchala, A.; Abou-Mansour, E.; Metraux, J.P. Salicylic acid production in response to biotic and abiotic stress depends on isochorismate in *Nicotiana benthamiana*. **National Library of Medicine**, v. 582, p. 473–478, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.12.039>

Cechin, I.; Cardoso, G.S.; Fumis, T.F.; Corniani, N. Nitric oxide reduces oxidative damage induced by water stress in sunflower plants. **Plant Protection**, v. 74, p. 200–206, 2015. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.353>

Cerqueira-Silva, C.B.M.; Jesus, O.N.; Santos, E.S.L.; Corrêa, R.X.; Souza, A.P. Genetic breeding and diversity of the genus passiflora: progress and perspectives in molecular and genetic studies. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 15, p. 14122–14152, 2014. <https://doi.org/10.3390/ijms150814122>

Chavoushi, M.; Najafi, F.; Salimi, A.; Angaji, S.A. Improvement in drought stress tolerance of safflower during vegetative growth by exogenous application of salicylic acid and sodium nitroprusside. **Industrial Crops & Products**, v. 134, p. 168–176, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.071>

Chen, D.; Wang, S.; Cao, B.; Cao, D.; Leng, G.; Li, H.; Yin, L.; Shan, L.; Deng, X. Genotypic variation in growth and physiological response to drought stress and re-watering reveals the critical role of recovery in drought adaptation in maize seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 1241, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01241>

Coelho Filho, M.A.; Colebrook, E.H.; Lloyd, D.P.A.; Webster, C.P.; Mooney, S.J.; Phillips, A.L.; Hedden, P.; Whalley, W.R. The involvement of gibberellin signaling in the effect of soil resistance to root penetration on leaf elongation and tiller number in wheat. **Plant and Soil**, v. 371, p. 81–94, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1662-8>

Cohen, I.; Zandalinas, S.I.; Huck, C.; Fritschi, F.B.; Mittler, R. Meta-analysis of drought and heat stress combination impact on crop yield and yield components. **Physiologia Plantarum**, v. 171, p. 66–76, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13203>

Colebrook, E.H.; Thomas, S.G.; Phillips, A.L.; Hedden, P. The role of gibberellin signaling in plant responses to abiotic stress. **Journal of Experimental Biology**, v. 217, p. 67–75, 2014. <https://doi.org/10.1242/jeb.089938>

Correa-Aragunde, N.; Foresi, N.; Lamattina, L. Nitric oxide is an ubiquitous signal for maintaining redox balance in plant cells: regulation of ascorbate peroxidase as a case study. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, p. 2913–2921, 2015. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv073>

Correia, B.; Pinto-Marijuan, M.; Neves, L.; Brossa, R.; Dias, M.C.; Costa, A.; Castro, B.N.; Araujo, C.; Santos, C.; Chaves, M.M.; Pinto, G. Water stress and recovery in the performance of two *Eucalyptus globulus* clones: physiological and biochemical profiles. **Physiologia Plantarum**, v. 150, p. 580–592, 2014. <https://doi.org/10.1111/ppl.12110>

Crawford, N.; Guo, F.Q. New insights into nitric oxide metabolism and regulatory functions. **Trends in Plant Science**, v. 10, p. 195–200, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.02.008>

Dantas, A.C.V.L.; Queiroz, J.M.O.; Vieira, E.L.; Almeida, V.O. Effect of gibberellic acid and the biostimulant Stimulate® on the initial growth of tamarind. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 1, p. 8–14, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000100004>

Davani, D.; Nabipoor, M.; Roshanfekar, D.H. Effect of cytokinin and auxin regulators on some characteristics of grain maize under different planting patterns in salinity conditions. **Cereal Research**, v. 6, p. 215–228, 2016.

Dawood, M.F.A.; Zaid, A.; Latef, A.A.H.A. Salicylic acid spraying-induced resilience strategies against the damaging impacts of drought and/or salinity stress in two varieties of *Vicia faba* L. seedlings. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 41, p. 1919–1942, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10381-8>

Delledonne, M. NO news is good news for plants. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 8, p. 390–396, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2005.05.002>

Del-Rio, L.A.; Corpas, F.J.; Sandalio, L.M.; Palma, J.M.; Barroso, J.B. Plant peroxisomes, reactive oxygen metabolism and nitric oxide. **IUBMB Life**, v. 55, p. 71–81, 2003. <https://doi.org/10.1002/tbmb.718540875>

Demiral, H.; Baykul, E.; Gezer, M.D.; Erkoç, S.; Engin, A.; Baykul, M.C. Preparation and characterization of activated carbon from chestnut shell and its adsorption characteristics for lead. **Separation Science and Technology**, v. 49, p. 2711–2720, 2014. <https://doi.org/10.1080/01496395.2014.942742>

Desikan, R.; Griffiths, R.; Hancock, J.; Neill, S. A new role for an old enzyme: nitrate reductase-mediated nitric oxide generation is required for abscisic acid-induced stomatal closure in *Arabidopsis thaliana*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, p. 16314–16318, 2002. <https://doi.org/10.1073/pnas.252461999>

Dias, J.P.T.; Palangana, F.C.; Ono, E.O.; Ferreira, G.; Rodrigues, J.D. Bioestimulante e substratos na propagação da amoreira-preta. **Revista Tropica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 6, n. 3, p. 102–110, 2012. <http://dx.doi.org/10.0000/rtcab.v6i3.293>

Din, J.U.; Ullah, S.K.; Khan, A.; Naveed, S. Effect of exogenously applied kinetin and glycinebetaine on metabolic and yield attributes of rice (*Oryza sativa* L.) under drought stress. **Emirates Journal of Food & Agriculture**, v. 27, n. 1, p. 75–81, 2015. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v27i1.17950>

Dinakar, C.; Dimitar, D.; Bartels, D. Photosynthesis in desiccation tolerant plants: energy metabolism and antioxidative stress defense. **Plant Science**, v. 182, p. 29–41, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.01.018>

Ding, L.; Lu, Z.; Gao, L.; Guo, S.; Shen, Q. Is nitrogen a key determinant of water transport and photosynthesis in higher plants upon drought stress? **Frontiers in Plant Science**, v. 9, Article 1143, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01143>

Du Jardin, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3–14, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.

Du, Y.; Chang, F.; Huang, L. *GID1* modulates stomatal response and submergence tolerance involving abscisic acid and gibberellic acid signaling in rice. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 57, p. 954–968, 2015. <https://doi.org/10.1111/jipb.12313>

El-Esawi, M.A.; Elansary, H.O.; El-Shanhorey, N.A.; Abdel-Hamid, A.M.E.; Ali, H.M.; Elshikh, M.S. Salicylic acid-regulated antioxidante mechanisms and gene expression enhance rosemary performance under saline conditions. **Frontiers in Physiology Science**, v. 8, p. 1–14, 2017. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00716>

Elgamaal, A.A.; Maswada, H.F. Response of three yellow maize hybrids to exogenous salicylic acid under two irrigation intervals. **Asian Journal of Crop Science**, v. 5, p. 264–274, 2013. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2013.264.274>

Elkelish, A.; Ibrahim, M.F.M.; Ashour, H.; Bondok, A.; Mukherjee, S.; Aftab, T.; Hikal, M.; El-Yazied, A.A.; Azab, E.; Gobouri, A.A.; Moustafa-Farag, M.; Metwally, A.A.; El-Gawad, H.G.A. Exogenous application of nitric oxide mitigates water stress and reduces natural viral disease incidence of tomato plants subjected to deficit irrigation. **Agronomy**, v. 11, n. 1, p. 87–104, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010087>

Faleiro, F.G.; Junqueira, N.T.V. Maracujá: o produtor pergunta, a Embrapa responde. **Embrapa Cerrados - Livro Técnico (INFOTECA-E)**, 2016. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1061917>.

Fan, Q.J.; Liu, J.H. Nitric oxide is involved in dehydration/drought tolerance in *Poncirus trifoliata* seedlings through regulation of antioxidant systems and stomatal response. **Plant Cell Reports**, v. 31, p. 145–154, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00299-011-1148-1>

Farooq, M.; Basra, S.; Wahid, A.; Rehman, H. Exogenously applied nitric oxide enhances the drought tolerance in fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.) **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 195, p. 254–261, 2009a. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00367.x>

Farooq, M.; Wahid, A.; Kobayashi, N.; Fujita, D.; Basra, D. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Sustainable Agriculture**, v. 29, p. 153–188, 2009b. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>

Farouk, S.; Al-Ghamdi, A.A.M. Sodium nitroprusside application enhances drought tolerance in marjoram herb by promoting chlorophyll biosynthesis and enhancing osmotic

adjustment capacity. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, p. 430, 2021.
<https://doi.org/10.1007/s12517-021-06846-5>

Fatma, M.; Khan, N.A. Nitric oxide protects photosynthetic capacity inhibition by salinity in indian mustard. **Journal of Functional and Environmental Botany**, v. 4, p. 106–116, 2014. <https://doi.org/10.5958/2231-1750.2014.00009.2>

Fayez, K.A.; Bazaid, S.A. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 13, p. 45–55, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.01.001>

Feelisch, M. The use of nitric oxide donors in pharmacological studies. **Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology**, v. 358, p. 113–122, 1998.
<https://doi.org/10.1007/pl00005231>

Fernández-Marcos, M.; Sanz, L.; Lewis, D.; Muday, G.; Lorenzo, O. Nitric oxide causes root apical meristem defects and growth inhibition while reducing PIN-FORMED 1 (PIN1)-dependent acropetal auxin transport. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 45, p. 18506–18506, 2011.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1108644108>

Ferrari, E.; Paz, A.; Silva, A.C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementes antecipadas no Mato Grosso. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 67–77, 2015.
<https://doi.org/10.14583/2318-7670.v03n01a12>

Fioreze, S.L.; Rodrigues, J.D.; Carneiro, J.P.C.; Silva, A.A.; Lima, M.B. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 11, p. 1432–1439, 2013.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013001100003>

Flexas, J.; Barbour, M.; Brendel, O.; Cabrera, H.; Carriquí, M.; Díaz-Espejo, A.; Douthe, Cyril.; Dreyer, E.; Ferrio, J.; Gago, J.; Gallé, A.; Almés, J.; Kodama, N.; Medrano, H.; Niinemets, U.; Peguero-Pina, J.; Pou, A.; Ribas-Carbó, M.; Tomás, M.; Tosens, T. Mesophyll diffusion conductance to CO₂: An unappreciated central player in photosynthesis. **Plant Science**, v. 193, p. 70–84, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.05.009>

Freire, J.L.O.; Dias, T.J.; Cavalcante, L.F.; Fernandes, P.D.; Lima Neto, A.J. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 82-91, 2014.

Friml, J.; Vieten, A.; Sauer, M.; Weijers, D.; Schwarz, H.; Hamann, T.; Offringa, R.; Jürgens, G. Efflux-dependent auxin gradients establish the apical–basal axis of *Arabidopsis*. **Nature**, v. 426, p. 147–153, 2003. <https://doi.org/10.1038/nature02085>

Fu, Z.W.; Wang, Y.L.; Lu, Y.T.; Yuan, T.T. Nitric oxide is involved in stomatal development by modulating the expression of stomatal regulator genes in *Arabidopsis*. **Plant Science**, v. 252, p. 282–289, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.08.005>

Gaion, L.A.; Monteiro, C.C.; Cruz, F.J.R.; Rossatto, D.R. López-Díaz, I.; Carrera, E.; Lima, J.E.; Peres, L.E.P.; Carvalho, R.F. Constitutive gibberellin response in grafted tomato modulates root-to-shoot signaling under drought stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 221, p. 11–21, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.12.003>

García-Castro, A.; Volder, A.; Restrepo-Díaz, H.; Starman, T.W.; Lombardini, L. Evaluation of different drought stress regimes on growth, leaf gas exchange properties and carboxylation activity in purple passion fruit plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 142, n. 1, p. 57–64, 2017. <https://doi.org/10.21273/JASHS03961-16>

García-Mata, C.; Lamattina, L. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. **Plant Physiology**, v. 126, p. 1196–1204, 2001. <https://doi.org/10.1104/pp.126.3.1196>

Ghadakchiasl, A.; Mozafari, A.; Ghaderi, N.A. Mitigation by sodium nitroprusside of the effects of salinity on the morpho-physiological and biochemical characteristics of *Rubus idaeus* under in vitro conditions. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 23, p. 73–83, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12298-016-0396-5>

Giménez, C.; Gallardo, M.; Thompson, R.B. Plant–water relations. In: Elias, S.A. (Ed.) **Reference module in earth systems and environmental sciences**. Amsterdam, Elsevier, 2013. p. 1–8. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.05257-X>

Gomes, M.T.G.; Luz, A.C.; Santos, M.R.; Batitucci, M.C.P.; Silva, D.M.; Falqueto, A.R. Drought tolerance of passion fruit plants assessed by the OJIP chlorophyll *a* fluorescence transiente. **Scientia Horticulturae**, v. 142, p. 49–56, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.04.026>

Gorni, P.H.; Brozulato, M.O.; Lourenção, R.S.; Konrad, E.C.G. Increased biomass and salicylic acid elicitor activity in Fennel (*Foeniculum vulgare* Miller). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016172, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.17216>

Groß, F.; Durner, J.; Gaupels, F. Nitric oxide, antioxidants and prooxidants in plant defence responses. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 419, 2013. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00419>

Habibi, H.; Ghavami, M.; Fotokian, M.H.; Talaei, G.H. Effect of foliar applications with auxin (indole-3-acetic acid (IAA)) and planting dates on yield quality and quantity of in three cultivars of cotton fibers. **International Journal of Biosciences**, v. 6, n. 8, p. 9–15, 2015. <https://doi.org/10.12692/ijb/6.8.9-15>

- Hameed, A.; Farooq, T.; Hameed, A.; Sheikh, M.A. Sodium nitroprusside mediated priming memory invokes water-deficit stress acclimation in wheat plants through physio-biochemical alterations. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 160, p. 329–340, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.037>
- Harrison, D.; Bates, J. The nitrovasodilators: new ideas about old drugs. **Circulation**, v. 87, p. 1461–1467, 1993. <https://doi.org/10.1161/01.cir.87.5.1461>
- Hasanuzzaman, M.; Oku, H.; Nahar, K.; Bhuyan, B.; Mahmud, J.A.; Baluška, F.; Fujita, M. Nitric oxide-induced salt stress tolerance in plants: ROS metabolism, signaling, and molecular interactions. **Plant Biotechnology Reports**, v. 12, n. 2, p. 77–92, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11816-018-0480-0>
- Hayat, S.; Yadav, S.; Alyemini, M.; Ahmad, A. Effect of sodium nitroprusside on the germination and antioxidant activities of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 20, p. 156–160, 2014.
- Heath, R.; Packer, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives in Biochemistry and Biophysics**, v. 125, p. 189–198, 1968. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
- Hedden, P.; Thomas, S.G. The gibberellins. **Annual Plant Reviews**, v. 49, 2016. 472 p.
- Helaly, M.N.; El-Hoseiny, H.; El-Sheery, N.I.; Rastogi, A.; Kalaji, H. Regulation and physiological role of silicon in alleviating drought stress of mango. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 118, p. 31–44, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.05.021>
- Heshmat, A.; Zakaria, B.; Bardees, M. Kinetin and spermine mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Leaf area, photosynthesis and chloroplast ultrastructure of flag leaf at ear emergence. **Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 1, n. 2, p. 77–87, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2014.03.002>
- Hiscox, J.D.; Israelstam, G.F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v. 57, p. 1332–1334, 1979. <https://doi.org/10.1139/b79-163>
- Hoagland, D.R.; Arnon, D.I. **The water culture method for growing plants without soil**. Berkeley, University of California / College of Agriculture, 1952. 32 p.
- Hong, L.; Ye, C.; Lin, J.; Fu, H.; Wu, X.; Li, Q.Q. Alternative polyadenylation is involved in auxin-based plant growth and development. **The Plant Journal**, v. 93, p. 246–258, 2018. <https://doi.org/10.1111/tpj.13771>
- Hu, H.; Zhou, Z.; Sun, X.; Zhang, Z.; Meng, Q. Protective effect of nitric oxide against oxidative damage in Arabidopsis leaves under ultraviolet-B irradiation. **Journal of Plant Biology**, v. 52, n. 2, p. 135–140, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12374-009-9013-2>

Hussain, H.A.; Men, S.; Hussain, S.; Chen, Y.; Ali, S.; Zhang, S.; Zhang, k.; Li, y.; Xu, Q.; Liao, C.; Yang, L. Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. **Scientific Reports**, v. 9, p. 3890, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40362-7>

Hussein, Y.H.A.; Amin, G.; Azab, A.; Gahin, H. Induction of drought stress resistance in sesame (*Sesamum indicum* L.) plant by salicylic acid and kinetin. **Journal of Plant Sciences**, v. 10, n. 4, p. 128–141, 2015. <https://doi.org/10.3923/jps.2015.128.141>

Hwang, I.; Sheen, J.; Muller, B. Cytokinin signalling networks. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 353–380, 2012. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105503>

IBGE. Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>>. Acesso em: 22 fevereiro 2022.

Irani, H.; ValizadehKaji, B.; Naeini, M.R. Biostimulant-induced drought tolerance in grapevine is associated with physiological and biochemical changes. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 8, n. 5, p. 1–13, 2021. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00200-9>

Ismail, M.R.; Muhammad, A.G.; Iberahim, I. Differential responses in growth, physiological processes and peroxidase activity of young mango (*Mangifera indica*) and citrus (*Citrus sinensis* L) plants to water deficit. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, v. 27, n. 1, p. 47–55, 2004.

Jafari, M., Shahsavar, A.R. Sodium nitroprusside: its beneficial role in drought stress tolerance of “Mexican lime” (*Citrus aurantifolia* (Christ.) Swingle) under in vitro conditions. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, v. 58, p. 155–168, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11627-021-10218-9>

Jahan, M.S.; Wang, Y.; Shu, S.; Zhong, M.; Chen, Z.; Wu, J.; Sun, J.; Guo, S. Exogenous salicylic acid increases the heat tolerance in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by enhancing photosynthesis efficiency and improving antioxidant defense system through scavenging of reactive oxygen species. **Scientia Horticulturae**, v. 247, p. 421–429, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.047>

Jan, A.U.; Hadi, F.; Akbar, F.; Shah, A. Role of potassium, zinc and gibberellic acid in increasing drought stress tolerance in sunflower (*Helianthus annuus*). **Pakistan Journal of Botany**, v. 51, n. 3, p. 809–815, 2019. [https://doi.org/10.30848/PJB2019-3\(4\)](https://doi.org/10.30848/PJB2019-3(4))

Jeandroz, S.; Wipf, D.; Stuehr, D.J.; Lamattina, L.; Melkonian, M.; Tian, Z.; Zhu, Y.; Carpenter, E.J.; Wong, G.K.; Wendehenne, D. Occurrence, structure, and evolution of nitric oxide synthase-like proteins in the plant kingdom. **Science Signaling**, v. 9, p. re2, 2016. <https://doi.org/10.1126/scisignal.aad4403>

Jesus, O.N.; Rosa, R.C.C. Polinização do maracujazeiro. In: Junghans, T.G.; Jesus, O.N. (Org.). **Maracujá: do cultivo à comercialização**. 1. ed. Brasília, Embrapa, 2017. p. 177–190.

Kang, C.; He, S.; Zhai, H.; Li, R.; Zhao, N.; Liu, Q. A sweetpotato Auxin Response Factor gene (IbARF5) is involved in carotenoid biosynthesis and salt and drought tolerance in *Arabidopsis transgenic*. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1307, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01307>

Kausar, F.; Shahbaz, M.; Ashraf, M. Protective role of foliar-applied nitric oxide in *Triticum aestivum* under saline stress. **Turkish Journal of Botany**, v. 37, p. 1155–1165, 2013. <https://doi.org/10.3906/bot-1301-17>

Kaya, C. Nitrate reductase is required for salicylic acid-induced water stress tolerance of pepper by upraising the AsA-GSH pathway and glyoxalase system. **Physiologia Plantarum**, v. 172, p. 351–370, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13153>

Kerchev, P.I.; Breusegem, F.V. Improving oxidative stress resilience in plants. **The Plant Journal**, v. 109, n. 2, p. 359–372, 2021. <https://doi.org/10.1111/tbj.15493>

Khalid, A.; Aftab, F. Effect of exogenous application of IAA and GA₃ on growth, protein content, and antioxidant enzymes of *Solanum tuberosum* L. grown in vitro under salt stress. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, v. 56, p. 377–389, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11627-019-10047-x>

Khan, A.L.; Waqas, M.; Lee, I. Resilience of *Penicillium resedanum* LK6 and exogenous gibberellin in improving *Capsicum annuum* growth under abiotic stresses. **Journal of Plant Research**, v. 128, p. 259–268, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10265-014-0688-1>

Khoshbakht, D.; Asgharei, M.R. Influence of foliar-applied salicylic acid on growth, gas-exchange characteristics, and chlorophyll fluorescence in citrus under saline conditions. **Photosynthetica**, v. 53, p. 410–418, 2015. <http://doi.org/10.1007/s11099-015-0109-2>

Killi, D.; Raschi, A.; Bussotti, F. Lipid peroxidation and chlorophyll fluorescence of photosystem II performance during drought and heat stress is associated with the antioxidant capacities of C3 sunflower and C4 maize varieties. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 1, p. 4846, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijms21144846>

Klepper, L. Nitric oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO₂) emissions from herbicide-treated soybean plants. **Atmospheric Environment**, v. 13, p. 537–542, 1979. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(79\)90148-3](https://doi.org/10.1016/0004-6981(79)90148-3)

Kolbert, Z.; Barroso, J.; Brouquisse, R.; Corpas, F.; Kapuganti, J.G.; Lindermayr, C.; Loake, G.; Palma, J.M.; Petřivalský, M.; Wendehenne, D.; Hancock, J. A forty year journey: The generation and roles of NO in plants. **Nitric Oxide**, v. 93, p. 53–70, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2019.09.006>

Kolbert, Z.; Bartha, B.; Erdei, L. Exogenous auxin-induced NO synthesis is nitrate reductase-associated in *Arabidopsis thaliana* root primordia. **Plant Physiology**, v. 165, p. 967–975, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.07.019>

Kumari, S. Effect of kinetin (6-FAP) and cycocel (CCC) on growth, metabolism and cellular organelles in Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) under water stress. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 8, p. 2711–2719, 2017. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.606.325>

Kuppu, S.; Mishra, N.; Hu, R.; Sun, L.; Zhu, X.; Shen, G.; Blumwald, E.; Payton, P.; Zhang, H. Water-deficit inducible expression of a cytokinin biosynthetic gene *IPT* improves drought tolerance in cotton. **Plos One**, v. 8, n. 5, p. e64190, 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064190>

La, V.H.; Lee, B.R.; Islam, M.T.; Park, S.-H.; Jung, H.; Bae, D.-W. Characterization of salicylic acid-mediated modulation of the drought stress responses: reactive oxygen species, proline, and redox state in *Brassica napus*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 157, p. 1–10, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envexbot.2018.09.013>

Latowski, D.; Kuczyńska, P.; Strzałka, K. Xanthophyll cycle – a mechanism protecting plants against oxidative stress. **Redox Report**, v. 16, n. 2, p. 78–90, 2011. <https://doi.org/10.1179/174329211X13020951739938>

Leite, R.S.; Nascimento, M.N.; Silva, A.L.; Santos, R.J. Chemical priming agents controlling drought stress in *Physalis angulata* plants. **Scientia Horticulturae**, v. 275, p. 109670, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109670>

Leite, R.S.; Nascimento, M.N.; Tanan, T.T.; Neto, L.P.G.; Ramos, C.A.S.; Silva, A.L. Alleviation of water deficit in *Physalis angulata* plants by nitric oxide exogenous donor. **Agricultural Water Management**, v. 216, p. 98–104, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.001>

Leshem, Y.; Haramaty, E. The characterization and contrasting effects of the nitric oxide free radical in vegetative stress and senescence of *Pisum sativum* Linn. foliage. **Journal of Plant Physiology**, v. 148, p. 258–263, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(96\)80251-3](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(96)80251-3)

Li, R.J.; Kang, C.; Song, X.J.; Yu, L.; Liu, D.G.; He, S.Z.; Zhai, H.; Liu, Q. A ζ -carotene desaturase gene, *IbZDS*, increases β -carotene and lutein contents and enhances salt tolerance in transgenic sweetpotato. **Plant Science**, v. 262, p. 39–51, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.05.014>

Li, S.W.; Zeng, X.Y.; Leng, Y.; Feng, L.; Kang, X.H.; Indole-3-butyric acid mediates antioxidative defense systems to promote adventitious rooting in mung bean seedlings under cadmium and drought stresses. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 161, p. 332–341, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.003>

Li, W.; Yajun, W.; Yubao, Z.; Ruoyu, W.; Zhongkui, X. Impacts of drought stress on the morphology, physiology, and sugar content of Lanzhou lily (*Lilium Davidii* var. *Unicolor*). **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 42, n. 8, p. 127, 2020. <http://doi.org/10.1007/s11738-020-03115-y>

Li, Z.; Lu, G.Y.; Zhang, X.K.; Zou, C.S.; Cheng, Y.; Zheng, P.Y. Improving drought tolerance of germinating seeds by exogenous application of gibberellic acid (GA₃) in rapeseed (*Brassica napus* L.). **Seed Science and Technology**, v. 38, p. 432–440, 2010. <https://doi.org/10.15258/sst.2010.38.2.16>

Lião, W.B.; Huang, G.B.; Yu, J.H.; Zhang, M.L. Nitric oxide and hydrogen peroxide alleviate drought stress in marigold explants and promote its adventitious root development. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 58, p. 6–15, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.06.012>

Lin, C.C.; Kao, C.H. NaCl induced changes in ionically bound peroxidase activity in roots of rice seedlings. **Plant Soil**, v. 216, p. 147–153, 1999. <https://doi.org/10.1023/A:1004714506156>

Liu, J.; Qiu, G.; Liu, C.; Li, H.; Chen, X.; Fu, Q.; Lin, Y.; Guo, B. Salicylic acid, a multifaceted hormone, combats abiotic stresses in plants. **Life**, v. 12, p. 886, 2022. <https://doi.org/10.3390/life12060886>

Liu, J.; Qiu, W.; Song, Y. Stimulatory effect of auxins on the growth and lipid productivity of *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus quadricauda*. **Algal Research**, v. 18, p. 273–280, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.06.027>

Lobato, A.K.S.; Barbosa, M.A.M.; Alsahli, A.A.; Lima, E.J.A.; Silva, B.R.S. Exogenous salicylic acid alleviates the negative impacts on production components, biomass and gas exchange in tomato plants under water deficit improving redox status and anatomical responses. **Physiologia Plantarum**, v. 172, p. 869–884, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13329884>

Loutfy, N.; El-Tayeb, M.A.; Hassanen, A.M.; Moustafa, M.F.M.; Sakuma, Y.; Inouhe, M. Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). **Journal of Plant Research**, v. 125, p. 173–184, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10265-011-0419-9>

Lozano-Juste, J.; León, J. Nitric oxide regulates DELLA content and PIF expression to promote photomorphogenesis in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, v. 156, p. 1410–1423, 2011. <https://doi.org/10.1104/pp.111.177741>

Lozano-Montaña, P. A.; Sarmiento, F.; Mejía-Sequera, L. M.; Álvarez-Flórez, F.; Melgarejo, L. M. Physiological, biochemical and transcriptional responses of *Passiflora edulis* Sims f. *edulis* under progressive drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 275, p. 109655, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2020.109655>

Lubovská, Z.; Dobrá, J.; Storchová, H.; Wilhelmová, N.; Vanková, R. Cytokinin oxidase/dehydrogenase overexpression modifies antioxidant defense against heat, drought and their combination in *Nicotiana tabacum* plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, p. 1625–1633, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.021>

Ma, J.; Bai, T.H.; Ma, F.W. Effects of progressive drought on photosynthesis and partitioning of absorbed light in apple trees. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 4, p. 681–690, 2015. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60871-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60871-6)

Madhulika, S.; Gausiya, B.; Sheo, M.; Prasad, V.; Pratap, S. Kinetin alleviates UV-B-induced damage in *Solanum lycopersicum*: implications of phenolics and antioxidants. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, n. 3, p. 831–841, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9894-8>

Mahindre, P.B.; Jawarkar, A.K.; Ghawade, S.M.; Tayade, V.D. Effect of different concentrations of plant growth regulators on the growth and quality of green pepper. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 1, p. 3040–3042, 2018.

Mahrokh, A.; Nabipour, M.; Roshanfekar, H.A.; Choukan, R. Response of some grain maize physiological parameters to drought stress and application of auxin and cytokinin hormones. **Environmental Stresses in Crop Sciences**, v. 12, n. 1, p. 1–15, 2019. <https://doi.org/10.22077/ESCS.2018.1116.1229>

Manai, J.; Kalai, T.; Gouia, H.; Corpas, F.J. Exogenous nitric oxide (NO) ameliorates salinity-induced oxidative stress in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 14, p. 433–446, 2014. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162014005000034>

Marhavý, P.; Montesinos, J.C.; Abuzeineh, A.; Van Damme, D.; Vermeer, J.E.M.; Duclercq, J.; Rakusová, H.; Nováková, P.; Friml, J.; Geldner, N.; Benková, E. Targeted cell elimination reveals an auxin-guided biphasic mode of lateral root initiation. **Genes & Development**, v. 30, p. 471–483, 2016. <https://doi.org/10.1101/gad.276964.115>

Martins, S.C.V.; McAdam, S.A.M.; Deans, R.M.; DaMatta, F.M.; Brodribb, T.J. Stomatal dynamics are limited by leaf hydraulics in ferns and conifers: results from simultaneous measurements of liquid and vapour fluxes in leaves. **Plant, Cell and Environment**, v. 39, p. 694–705, 2016. <https://doi.org/10.1111/pce.12668>

Maswada, H.F.; Usama, A.; Abd E.; Abdel-Nasser A.; El-Sheshtawy, A.A.; Morpho-physiological and yield responses to exogenous moringa leaf extract and salicylic acid in maize (*Zea mays* L.) under water stress. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n. 7, p. 994–1010, 2018. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1406079>

Matos, F.S.; Wolfgramm, R.; Gonçalves, F.V.; Cavatte, P.C.; Ventrella, M.C.; DaMatta, F.M. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. **Environmental and**

Experimental Botany, v. 67, n. 2, p. 421–427, 2009.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.018>

Mbandlwa, N.P.; Fotouo, M.H.; Maboko, M.M.; Sivakumar, D. Stomatal conductance, leaf chlorophyll content, growth, and yield of sweet pepper in response to plant growth regulators. **International Journal of Vegetable Science**, v. 26, n. 2, p. 116–126, 2019.
<https://doi.org/10.1080/19315260.2019.1610925>

Meletti, L.M.M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 83–91, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500012>

Meletti, L.M.M.; Bernacci, L.C.; Scott, M.D.S.; Azevedo Filho, J.A.; Martins, A.L.M. Variabilidade genética em caracteres morfológicos, agronômicos e citogenéticos de populações de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 2, p. 275–278, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000200023>

Mendes-Pinto, M.M.; Galzerano, D.; Telfer, A.; Pascal, A.A.; Robert, B.; Ilioaia, C. Mechanisms underlying carotenoid absorption in oxygenic photosynthetic proteins. **Bioenergetics**, v. 288, n. 26, p. 18758–18765, 2013.
<https://doi.org/10.1074/jbc.M112.423681>

Miller, G. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Biochemistry**, v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959.
<https://doi.org/10.1021/ac60147a030>

Miri, M.; Ghooshchi, F.; Tohidi-Moghadam, H.R.; Kasraie, P. Ameliorative effects of foliar spray of glycine betaine and gibberellic acid on cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) yield affected by drought stress. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, p. 830, 2021.
<https://doi.org/10.1007/s12517-021-07228-7>

Misra, A.; Vladkova, R.; Singh, R.; Misra, M.; Dobrikova, A.; Apostolova, E. Action and target sites of nitric oxide in chloroplasts. **Nitric Oxide**, v. 39, p. 35–45, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.niox.2014.04.003>

Misra, V.; Solomon, S.; Mall, A.K.; Prajapati, C.P.; Hashem, A.; Abd Allah, E.F.; Ansari, M.I. Morphological assessment of water stressed sugarcane: A comparison of waterlogged and drought affected crop. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, n. 5, p. 1228–1236, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.02.007>

Mohi-Ud-Din, M.; Talukder, D.; Rohman, M.; Ahmed, J.U.; Jagadish, S.V.K.; Islam, T.; Hasanuzzaman, M. Exogenous application of methyl jasmonate and salicylic acid mitigates drought-induced oxidative damages in french bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plants**, v. 10, p. 2066, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10102066>

- Mohsenzadeh, S.; Zohrabi, M. Auxin and sodium nitroprusside effects on wheat antioxidants in salinity. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 65, p. 651–657, 2018. <https://doi.org/10.1134/S1021443718050138>
- Moumita, M.; Mahmud, J.A.; Biswas, P.K.; Nahar, K.; Fujita, M.; Hasanuzzaman, M. Exogenous application of gibberellic acid mitigates drought-induced damage in spring wheat. **Acta Agrobotanica**. v. 72, p. 1776, 2019. <https://doi.org/10.5586/aa.1776>
- Muhammad, I.; Yang, L.; Ahmad, S.; Mosaad, I.S.M.; Al-Ghamdi, A.A.; Abbasi, A.M.; Zhou, X.-B. Melatonin application alleviates stress-induced photosynthetic inhibition and oxidative damage by regulating antioxidant defense system of maize: a meta-analysis. **Antioxidants**, v. 11, p. 512, 2022. <https://doi.org/10.3390/antiox11030512>
- Munawar, A.; Akram, A.; Ahmad, A.; Ashraf, M. Nitric oxide regulates oxidative defense system, key metabolites and growth of broccoli (*Brassica oleracea* L.) plants under water limited conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 254, p. 7–13, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.072>
- Naz, R.; Sarfraz, A.; Anwar, Z.; Yasmin, H.; Nosheen, A.; Keyani, R.; Thomas, H.R. Combined ability of salicylic acid and spermidine to mitigate the individual and interactive effects of drought and chromium stress in maize (*Zea mays* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 159, p. 285–300, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.12.022>
- Neill, S.J.; Desikan, R.; Hancock, J.T.; Nitric oxide signalling in plants. **New Phytologist**, v. 159, p. 11–35, 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00804.x>
- Niakam, M.; Ahmadi, A. Effects of foliar spraying kinetin on growth parameters and photosynthesis of tomato under different levels of drought stress. **Iranian Journal of Plant Physiology**, v. 4, n. 2, p. 939–947, 2014.
- Nishiyama, R.; Watanabe, Y.; Fujita, Y.; Le, D.T.; Kojima, M.; Werner, T.; Vankova, R.; Yamaguchi-Shinozaki, K.; Shinozaki, K.; Kakimoto, T. Analysis of cytokinin mutants and regulation of cytokinin metabolic genes reveals important regulatory roles of cytokinins in drought, salt and abscisic acid responses, and abscisic acid biosynthesis. **Plant Cell**, v. 23, p. 2169–2183, 2011. <https://doi.org/10.1105/tpc.111.087395>
- Pashang, D.; Weisany, W.; Ghajar, F.G. Changes in the fatty acid and morphophysiological traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars as response to auxin under water-deficit stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 2164–2177, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00512-1>
- Patmi, Y.S.; Pitoyo, A.; Solichatun; Sutarno. Effect of drought stress on morphological, anatomical, and physiological characteristics of Cempo Ireng Cultivar Mutant Rice (*Oryza sativa* L.) strain 51 irradiated by gamma-ray. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1436, n. 1, p. 12–19, 2020. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1436/1/012015>

Petry, H.B.; Bruna, E.D.; Moreto, A.L.; Brancher, A.; Sônego, M. 'SCS437 Catarina': Maracujá-azedo de alta qualidade para o mercado de mesa. **Agropecuária Catarinense**, v. 32, n. 2, p. 49–52, 2019. <https://doi.org/10.22491/RAC.2019.v32n2.6>

Phua, S.Y.; De Smet, B.; Remacle, C.; Chan, K.X.; Van Breusegem, F. Reactive oxygen species and organellar signaling. **Journal of Experimental Botany**, v. 72, p. 5807–5824, 2021. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab218>

Pissolato, M.D.; Silveira, N.M.; Prata, P.J.C.; Machado, E.C.; Seabra, A.B.; Pelegrino, M.T.; Sodek, L.; Ribeiro, R.V. Enhanced nitric oxide synthesis through nitrate supply improves drought tolerance of sugarcane plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 970, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00970>

Planchet, E.; Jagadis-Gupta, K.; Sonoda, M.; Kaiser, W. Nitric oxide emission from tobacco leaves and cell suspensions: rate limiting factors and evidence for the involvement of mitochondrial electron transport. **Plant Journal**, v. 41, p. 732–743, 2005. <http://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2005.02335.x>

Procházková, D.; Haisel, D.; Wilhelmová, N.; Pavlíková, D.; Száková, J. Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis. **Photosynthetica**, v. 51, p. 483–489, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0053-y>

Punia, H.; Tokas, J.; Malik, A.; Bajguz, A.; El-Sheikh, M.A.; Ahmad, P. Ascorbate–Glutathione oxidant scavengers, metabolome analysis and adaptation mechanisms of ion exclusion in sorghum under salt stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, p. 13249, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijms222413249>

Quan, M.; Shang, H.; Zhang, Y.; Zhao, J.; Zhang. Engineering of enhanced glycine betaine synthesis improves drought tolerance in maize. **Plant Biotechnology Journal**, v. 2, p. 477–486, 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2004.00093.x>

Rady, M.M.; Boriek, S.H.K.; El-Mageed, T.A.A.; El-Yazal, M.A.S.; Ali, E.F.; Hassan, F.A.S.; Abdelkhalik, A. Exogenous gibberellic acid or dilute bee honey boosts drought stress tolerance in *Vicia faba* by rebalancing osmoprotectants, antioxidants, nutrients, and phytohormones. **Nutrients and Phytohormones Plants**, v. 10, n. 4, p. 748, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10040748>

Rashotte, A.M.; Mason, M.G.; Hutchison, C.E.; Ferreira, F.J.; Schaller, G.E.; Kieber, J.J. A subset of Arabidopsis AP2 transcription factors mediates cytokinin responses in concert with a two-component pathway. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, p. 11081–11085, 2006. <https://doi.org/10.1073/pnas.0602038103>

Raza, M.A.S.; Zaheer, M.S.; Saleem, M.F.; Khan, I.H.; Ahmad, S.; Iqbal, R. Drought ameliorating effect of exogenous applied cytokinin in wheat. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 57, n. 3, p. 725–733, 2020. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/20.8183>

- Razmi, N.; Ebadi, A.; Daneshian, J.; Jahanbakhsh, S. Salicylic acid induced changes on antioxidant capacity, pigments and grain yield of soybean genotypes in water deficit condition. **Journal of Plant Interactions**, v. 12, n. 1, p. 457–464, 2017. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1392623>
- Rezayian, M.; Ebrahimzadeh, H.; Niknam, V. Metabolic and physiological changes induced by nitric oxide and its impact on drought tolerance in soybean. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 208, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10668-4>
- Rockel, P.; Strube, F.; Rockel, A.; Wildt, J.; Kaiser, W. Regulation of nitric oxide (NO) production by plant nitrate reductase in vivo and in vitro. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 103–110, 2002. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.103>
- Rosa, M.; Prado, C.; Podazza, G.; Interdonato, R.; González, J.A.; Prado, F. Soluble sugars-Metabolism, sensing and abiotic stress. **Plant Signaling and Behavior**, v. 4, n. 5, p. 388–393, 2009. <https://doi.org/10.4161/psb.4.5.8294>
- Sami, F.; Yusufu, M.; Faizan, M.; Faraz, A.; Hayat, S. Role of sugars under abiotic stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 109, p. 54–61, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.09.005>
- Sandalio, L.M.; Romero-Puertas, M.C. Peroxisomes perceive and respond to environmental suggestions by regulating the ROS and RNS signaling networks. **Annals of Botany**, v. 116, p. 475–485, 2015. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv074>
- Sang, J.; Jiang, M.; Lin, F.; Xu, S.; Zhang, A.; Tan, M. Nitric oxide reduces hydrogen peroxide accumulation involved in water stress-induced subcellular anti-oxidant defense in maize plants. **Integrative Plant Biology**, v. 50, p. 231–243, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2007.00594.x>
- Santisree, P.; Bhatnagar-Mathur, P.; Sharma, K.K. NO to drought-multifunctional role of nitric oxide in plant drought: do we have all the answers. **Plant Science**, v. 239, p. 44–55, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.07.012>
- Santos, R.K.A.; Cairo, P.A.R.; Barbosa, R.P.; Lacerda, J.J.; Mafra Neto, C.S.; Macedo, T.H.J. Respostas fisiológicas de plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* tratadas com bioestimulante sob déficit hídrico. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1072–1071, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509826206>
- Sapeta, H.; Costa, M.; Lourenço, T.; Marocod, J.; Van-Derlinde, P.; Oliveira, M.M. Drought stress response in *Jatropha curcas*: growth and physiology. **Environmental and Experimental Botany**, v. 85, p. 76–84, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.08.012>
- Sarafraz-Ardakani, M.R.; Khavari-Nejad, R.A.; Moradi, F.; Najafi, F. Abscisic Acid and cytokinin-induced osmotic and antioxidant regulation in two drought-tolerant and drought-sensitive cultivars of wheat during grain filling under water deficit in field

- conditions. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 6, n. 3, p. 354–362, 2014.
<https://doi.org/10.15835/nsb639301>
- Scholander, P.F.; Bradsterret, E.; Hemmingsen, E.; Hammel, H. T. Sap pressure in vascular plants. **Science**, v. 148, n. 3668, p. 339–346, 1965.
<https://doi.org/10.1126/science.148.3668.339>
- Sedaghat, M.; Sarvestani, Z.T.; Emam, Y.; Bidgoli, A.M.; Sorooshzadeh, A. Foliar-applied GR24 and salicylic acid enhanced wheat drought tolerance. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 67, p. 733–739, 2020. <https://doi.org/10.1134/S1021443720040159>
- Sergiev, I.; Todorova, D.; Shopova, E.; Jankauskiene, J.; Jankovska-Bortkevič, E.; Jurkonienė, S. Exogenous auxin type compounds amend PEG-induced physiological responses of plants. **Scientia Horticulturae**, v. 248, p. 200–205, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.015>
- Shafiei, N.; Khaleghi, E.; Moallemi, N. Effect of salicylic acid on some morphological and biochemical characteristics of olive (*Olea europaea* cv. ‘Konservalia’) under water stress. **Journal of Plant Productions**, v. 42, p. 15–30, 2019.
<https://doi.org/10.22055/PPD.2019.22031.1477>
- Shahzad, K.; Siddiqi, E.H.; Ahmad, S.; Zeb, U.; Muhammad, I.; Khan, H.; Zhao, G.-F.; Li, Z.-H. Exogenous application of indole-3-acetic acid to ameliorate salt induced harmful effects on four eggplants (*Solanum melongena* L.) varieties. **Scientia Horticulturae**, v. 292, p. 110662, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110662>
- Shallan, M.A.; Hassan, H.M.; Namich, A.A.; Ibrahim, A.A. Effect of sodium nitroprusside, putrescine and glycine betaine on alleviation of drought stress in cotton plant. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v. 12, p. 1252–1265, 2012. <https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2012.12.09.1902>
- Shao, R.X.; Xin, L.F.; Guo, J.M.; Zheng, H.F.; Mao, J.; Han, X.P. Salicylic acid-induced photosynthetic adaptability of *Zea mays* L. to polyethylene glycol-simulated water deficit is associated with nitric oxide signaling. **Photosynthetica**, v. 56, p. 1370–1377, 2018.
<http://doi.org/10.1007/s11099-018-0850-4>
- Sharma, M.; Gupta, S.K.; Majumder, B.; Maurya, V.K.; Deeba, F.; Alam, A.; Pandey, V. Salicylic acid mediated growth, physiological and proteomic responses in two wheat varieties under drought stress011. **Journal of Proteomics**, v. 163, p. 28–51, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.jprot.2017.05>
- 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, p. 3195, 2021.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-82264-7>

- Shi, H.; Chen, L.; Ye, T.; Liu, X.; Ding, K.; Chan, Z. Modulation of auxin content in *Arabidopsis* confers improved drought stress resistance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 82, p. 209–217, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.06.008>
- Silva, A.C.; Suassuna, J.F.; Melo, A.S.; Costa, R.R.; Andrade, W.L. Salicylic acid as attenuator of drought stress on germination and initial development of sesame. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p.156–162, 2017. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p156-162>
- Silveira, N.M.; Frungillo, L.; Marcos, F.C.C.; Pelegriño, M.T.; Miranda, M.T.; Seabra, A.B.; Salgado, I.; Machado, E.C.; Ribeiro, R.V. Exogenous nitric oxide improves sugarcane growth and photosynthesis under water deficit. **Planta**, v. 244, p. 181–190, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2501-y>
- Silveira, N.M.; Marcos, F.C.C.; Frungillo, L.; Moura, B.B.; Seabra, A.B.; Salgado, I.; Machado, E.C.; Hancock, J.T.; Ribeiro, R.V. S-nitrosoglutathione spraying improves stomatal conductance, Rubisco activity and antioxidant defense in both leaves and roots of sugarcane plants under water deficit. **Physiologia Plantarum**, v. 160, p. 383–395, 2017. <https://doi.org/10.1111/ppl.12575>
- Silveira, N.M.; Seabra, A.B.; Marcos, F.C.C.; Pelegriño, M.T.; Machado, E.C.; Ribeiro, R.V. Encapsulation of S-nitrosoglutathione into chitosan nanoparticles improves drought tolerance of sugarcane plants. **Nitric Oxide: Biology and Chemistry**, v. 84, p. 38–44, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2019.01.004>
- Simontacchi, M.; Galatro, A.; Ramos-Artuso, F.; Santa-María, G.E. Plant survival in a changing environment: the role of nitric oxide in plant responses to abiotic stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 1–19, 2015. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00977>
- Sousa, L.; Menezes-Silva, P.; Lourenço, L.; Galmés, J.; Guimarães, A.; Silva, A.; Lima, A.P.R.; Henning, L.; Costa, A.; Silva, F.; Farnese, F.S. Improving water use efficiency by changing hydraulic and stomatal characteristics in soybean exposed to drought: the involvement of nitric oxide. **Physiologia Plantarum**, v. 168, p. 576–589, 2019. <https://doi.org/10.1111/ppl.12983>
- Souza, C.C.; Oliveira, F.A.; Silva, I.F.; Amorim Neto, M.S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 338–342, 2020. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000300006>
- Souto, A.G.L.; Cordeiro, M.H.M.; Rosado, L.D.S.; Santos, C.E.M.; Bruckner, C. H. Non-destructive estimation of leaf area in passion fruit (*Passiflora edulis* L.). **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 12, p. 1534–1538, 2017. <https://doi.org/10.3316/informit.402166809672451>
- Stefanuto, V.A. **Efeito do cálcio na homeostase de brotações de um clone de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) sob condições de deficiência hídrica induzida *in vitro***. 2002.

65 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

Stoller – Stoller do Brasil Ltda. Por que Stimulate® é diferente? Disponível em: <https://www.stoller.com.br/solucoes/fisiologicos/stimulate/>. Acesso em março de 2022.

Sun, L.; Li, Y.; Miao, W.; Piao, T.; Hao, Y.; Hao, F.S. NADK2 positively modulates abscisic acid-induced stomatal closure by affecting accumulation of H₂O₂, Ca²⁺ and nitric oxide in Arabidopsis guard cells. **Plant Science**, v. 262, p. 81–90, 2017. <https://10.1016/j.plantsci.2017.06.003>

Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I.M.; Murphy, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre, Artmed, 2017. 858 p.

Taylor, O.C. Air pollutant effects influenced by plant environmental interactions. **Air Pollution Effects on Plant Growth**, v. 3, p. 1–7, 1974. <https://doi.org/10.1021/bk-1974-0003.ch001>

Tayyab, N.; Naz, R.; Yasmin, H. Nosheen, A.; Keyani, R.; Sajjad, M.; Hassa, M.N.; Roberts, T.H. Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate drought induced stress in maize. **PloS One**, v. 15, p. e0232269, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232269>

Teixeira, E.C.; Matsumoto, S.N.; Pereira, L.F.; Castellani, M.A.; Almeida, C.S.; Santos, C.E.M.; Lopes, J.C. Paclobutrazole use as a tool for anticipate water stress response of sour passion fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 307, p. 111480, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111480>

Tesztlák, P.; Kocsis, M.; Krisztián, G.; Nikfardjam, M.P. Regulatory effects of exogenous gibberellic acid (GA₃) on water relations and CO₂ assimilation among grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars. **Scientia Horticulturae**, v. 159, p. 41–51, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.04.037>

Vaisnad, S.; Talebi, R. Salicylic acid-enhanced morphological and physiological responses in chickpea (*Cicer arietinum*) under water deficit stress. **Environmental and Experimental Biology**, v. 13, p. 109–115, 2015.

Umebese, C.E.; Bankole, A.E. Impact of salicylic acid on antioxidants, biomass and osmotic adjustments in *Vigna unguiculata* L. walp. during water deficit stress. **African Journal Biotechnology**, v. 12, p. 5200–5207, 2013. <https://doi.org/10.5897/AJB2013.12087>.

Verma, V.; Ravindran, P.; Kumar, P.P. Plant hormone-mediated regulation of stress responses. **BMC Plant Biology**, v. 16, p. 86–96, 2016. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0771-y>

Vojta, P.; Kokás, F.; Husicková, A.; Grúz, J.; Bergougnoux, V.; Marchetti, C.F.; Galuszka, P. Whole transcriptome analysis of transgenic barley with altered cytokinin homeostasis

and increased tolerance to drought stress. **New Biotechnology**, v. 33, p. 676–691, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.01.010>

Wang, P.; Du, Y.; Hou, Y.J.; Zhao, Y.; Hsu, C.C.; Yuan, F.; Zhu, J.K. Nitric oxide negatively regulates abscisic acid signaling in guard cells by S-nitrosylation of OST1. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, p. 613–618, 2015. <https://doi.org/10.1073/pnas.1423481112>

Wang, W.; Sheng, X.; Shu, Z.; Li, D.; Pan, J.; Ye, X.; Chang, P.; Li, X.; Wang, Y. Combined cytological and transcriptomic analysis reveals a nitric oxide signaling pathway involved in cold-inhibited *Camellia sinensis* pollen tube growth. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 456–474, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00456>

Wang, X.; Liu, Y.; Li, H.; Wang, F.; Xia, P.; Li, W.; Zhang, X.; Zhang, N.; Guo, Y.D. SLSNAT2, a chloroplast-localized acetyltransferase, is involved in Rubisco lysine acetylation and negatively regulates drought stress tolerance in tomato. **Environmental and Experimental Botany**, v. 201, p. 105003, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105003>

Wani, A.B.; Chadar, H.; Wani, A.H.; Singh, S.; Upadhyay, N. Salicylic acid to decrease plant stress. **Environmental Chemistry Letters**, v. 15, p. 101–123, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0584-0>

Weatherley, P.E. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficit in leaves. **New Phytologist**, v. 49, p. 81–97, 1950. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x>

Wellburn, A.R. The Spectral Determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, n. 3, p. 307–313, 1994. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)

Xiao, X.O.; Zeng, Y.M.; Cao, B.H.; Lei, J.J.; Chen, Q.H.; Meng, C.M.; Cheng, Y.J. P_{SAG12}-IPT overexpression in eggplant delays leaf senescence and induces abiotic stress tolerance. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 92, p. 349–357, 2017. <https://doi.org/10.1080/14620316.2017.1287529>

Yadu, S.; Dewangan, T.L.; Chandrakar, V.; Keshavkant, S. Imperative roles of salicylic acid and nitric oxide in improving salinity tolerance in *Pisum sativum* L. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 23, p. 43–58, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12298-016-0394-7>

Yang, X.; Lu, M.; Wang, Y.; Wang, Y.; Liu, Z.; Chen, S. Review on response mechanism of plants to drought stress. **Horticulturae**, v. 7, p. 1–44, 2021. <https://doi.org/doi:10.20944/preprints202102.0466.v1>

- Yang, W.; Sun, Y.; Chen, S.; Jiang, J.; Chen, F.; Fang, W.; Liu, Z. The effect of exogenously applied nitric oxide on photosynthesis and antioxidant activity in heat stressed chrysanthemum. **Biology Plantarum**, v. 55, p. 737–740, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10535-011-0178-4>
- Yang, W.; Zhu, C.; Ma, X.; Li, G.; Gan, L.; Denny, N.; Xia, K. Hydrogen peroxide is a second messenger in the salicylic acid-triggered adventitious rooting process in mung bean seedlings. **Plos One**, v. 8, n. 12, p. e84580, 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084580>
- Younas, H.S.; Abid, M.; Ashraf, M.; Shaaban, M. Seed priming with silicon and chitosan for alleviating water stress effects in maize (*Zea mays* L.) by improving antioxidant enzyme activities, water status and photosynthesis. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n. 15, p. 2263–2276, 2022. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2046070>
- Zaheer, M. S.; Raza, M.A.S; Saleem, M.F.; Erinle, K.O.; Iqbal, R.; Ahmad, S. Effect of rhizobacteria and cytokinins application on wheat growth and yield under normal vs drought conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 20, p. 2521–2533, 2019. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1667376>
- Zhang, L.; Wang, Y.; Zhao, L.; Shi, S.; Zhang, L. Involvement of nitric oxide in light-mediated greening of barley seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v. 163, p. 818–826, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.07.011>
- Zhang, X.; Ervin, E.H. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. **Crop Science**, v. 44, n. 5, p. 1737–1745, 2004. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1737>
- Zhang, Y.; Luan, Q.; Jiang, J.; Li, Y. Prediction and utilization of malondialdehyde in exotic pine under drought stress using near-infrared spectroscopy. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 735275, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.735275>
- Zhou, S.; Medlyn, B.; Sabaté, S.; Sperlich, D.; Prentice, I.C.; Whitehead, D. Short-term water stress impacts on stomatal, mesophyll and biochemical limitations to photosynthesis differ consistently among tree species from contrasting climates. **Tree Physiology**, v. 34, p. 1035–1046, 2014. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu072>
- Zimmer-Prados, L.M.; Moreira, A.S.F.P.; Magalhaes, J.R.; França, M.G.C. Nitric oxide increases tolerance responses to moderate water deficit in leaves of *Phaseolus vulgaris* and *Vigna unguiculata* bean species. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 20, p. 295–301, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12298-014-0239-1>
- Zivcak, M.; Brestic, M.; Sytar, O. Osmotic adjustment and plant adaptation to drought stress. In: Hossain, M.; Wani, S.; Bhattacharjee, S.; Burritt, D.; Tran, L.S. (Eds.). **Drought stress tolerance in plants**. Cham, Springer, 2016. p. 105–143. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28899-4_5

Zwack, P.J.; Rashotte, A.M. Interactions between cytokinin signaling and abiotic stress answers. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 16, p. 4863–4871, 2015.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erv172>