



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

**INIBIDOR DA BIOSÍNTESE DE GIBERELINA EM**  
**MUDAS DE MARACUJAZEIRO - AZEDO COMO**  
**MODULADOR DE ESTRESSES ABIÓTICOS**

**EDNILSON CARVALHO TEIXEIRA**

**VITÓRIA DA CONQUISTA**  
**BAHIA-BRASIL**  
**2023**

**EDNILSON CARVALHO TEIXEIRA**

**INIBIDOR DA BIOSÍNTESE DE GIBERELINA EM MUDAS DE  
MARACUJAZEIRO - AZEDO COMO MODULADOR DE ESTRESSES  
ABIÓTICOS**

Tese 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 Doutor.

Orientadora: Profa. Dra. Sylvana Naomi Matsumoto

**VITÓRIA DA CONQUISTA**

**BAHIA-BRASIL**

**2023**

T266i

Teixeira, Ednilson Carvalho.

Inibidor da biossíntese de giberelina em mudas de maracujazeiro - azedo como modulador de estresses abióticos. / Ednilson Carvalho Teixeira, 2023.

131f. : il.

Orientador (a): Dr<sup>a</sup>. Sylvana Naomi Matsumoto.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2023.

Inclui referência F. 103 - 106.

1. *Passiflora edulis*. 2. Paclobutrazol - Salinidade - Estresse hídrico. 3. condutividade elétrica. 4. precocidade reprodutiva. 5. Nutrição foliar. I. Matsumoto, Sylvana Naomi. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós- Graduação em Agronomia. III. T.

CDD. 634.425

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


*Campus Vitória da Conquista – BA*

**DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO**

**Título:** “Inibidor da biossíntese de giberelina em mudas de maracujazeiro - azedo como modulador de estresses abiótico.


**Autor:** Ednilson Carvalho Teixeira

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

Documento assinado digitalmente  
 SYLVANA NAOMI MATSUMOTO  
Data: 20/09/2023 21:03:30-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Sylvana Naomi Matsumoto, D.Sc., (UESB)  
Presidente

Documento assinado digitalmente  
 CARLOS EDUARDO MAGALHAES DOS SANTOS  
Data: 21/09/2023 21:57:58-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Carlos Eduardo Magalhães dos Santos, D.Sc., (UFV)

Documento assinado digitalmente  
 HENRIQUE BELMONTE PETRY  
Data: 21/09/2023 11:55:16-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Henrique Belmonte Petry, D.Sc., (EPAGRI-SC)

Documento assinado digitalmente  
 ALESSANDRO DE MAGALHAES ARANTES  
Data: 25/09/2023 08:57:29-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Alessandro de Magalhães Arantes, D.Sc., (IFBAIANO)

Documento assinado digitalmente  
 JOSE CARLOS CAVICHIOLI  
Data: 25/09/2023 14:47:56-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

José Carlos Cavichioli, D.Sc., (UniFAI)

Data de realização: 31 de agosto de 2023.

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](mailto:ppgagronomia@uesb.edu.br)

## DEDICATÓRIA

A Deus; aos meus pais, Leticia e Josué; aos meus irmãos; à minha orientadora, Dra. Sylvana; à minha namorada Luanna; e às pessoas que fizeram parte deste momento.

Eu dedico!

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter guiado meus planos e me protegido diante do medo nos momentos e situações difíceis.

Aos meus pais, Letícia e Josué, pela paciência, compreensão, orações e educação.

Aos meus queridos irmãos, pelo carinho, companheirismo e incentivo.

Aos meus avós, pelo exemplo de vida e fé inenarrável.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade e apoio.

À Professora Dra. Sylvana Naomi Matsumoto, pela orientação, paciência, confiança, preocupação com o bem-estar, treinamento técnico, comportamental e motivacional.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade, avaliação e sugestões.

Aos colegas do Laboratório de Fisiologia Vegetal, pela amizade, momentos de lazer e pelo auxílio na condução dos experimentos e realização das análises laboratoriais.

Aos funcionários da Diretoria do Campo Agropecuário (DICAP), pelo auxílio durante a instalação e desenvolvimento dos experimentos.

À minha namorada Luanna, por estar sempre comigo no trabalho, incentivando e torcendo pela minha vitória.

Aos amigos, pelo abraço, apoio e incentivo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Muito obrigado!

## RESUMO GERAL

TEIXEIRA, E. D. **Inibidor da biossíntese de giberelina em mudas de maracujazeiro - azedo como modulador de estresses abióticos**. Vitória da Conquista – BA, UESB, 2023. 131 p. (Tese: Doutorado em Agronomia; Área de concentração: Fitotecnia)\*

Os estresses bióticos e abióticos estão entre os fatores considerados limitantes para o crescimento, desenvolvimento e produção de plantas de maracujazeiro - azedo. Objetivou-se verificar se o paclobutrazol - PBZ afeta a morfofisiologia e bioquímica de plantas de maracujazeiro - azedo, induzindo adaptação ao estresse hídrico e salino e à antecipação do ciclo reprodutivo, bem como se traz melhorias nos padrões físico-químico dos frutos, produção e nutrição foliar das plantas. A pesquisa foi conduzida em dois ensaios, desenvolvidos em ambiente protegido, em vasos com capacidade de 20 dm<sup>3</sup>, e um ensaio em campo na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *campus* de Vitória da Conquista- BA, adotando o delineamento em blocos casualizados. Em ambiente protegido e em campo, os ensaios foram organizados em arranjo fatorial, sendo comum o primeiro fator: cinco concentrações de PBZ (0, 40, 80, 120 e 160 mg L<sup>-1</sup>), aplicados na fase de mudas, aos 30 dias após a emergência - DAE. O ensaio I foi instalado com mudas com 65 DAE, em esquema fatorial 5X4, sendo quatro níveis de regime de irrigação: 30, 60, 90 e 120 % da capacidade de vaso; e o ensaio II utilizando mudas com 70 DAE, em fatorial 5x3, constituído por três níveis de condutividade elétrica da água de irrigação: 0,3, 3,3 e 6,3 dS m<sup>-1</sup>. O ensaio III foi conduzido em campo, adotando apenas as cinco concentrações de PBZ, utilizando mudas com 70 DAE. Para o ensaio I e II, em geral, sob condições de estresse hídrico e salino, o PBZ aplicado na fase de mudas promove alterações morfofisiológicas e bioquímicas após o transplantio. A sensibilidade em relação aos parâmetros da fisiologia, relações hídricas e bioquímica mostrou-se mais acentuada, quando as plantas foram expostas ao estresse hídrico, em comparação com o estresse provocado pelo NaCl. Sob excesso de água, baixas concentrações de PBZ resultam em maior capacidade de absorção e armazenamento de água nos tecidos e, sob restrição hídrica, o regulador mantém a expressão isohídrica. O menor crescimento imposto pelo regulador reduz o potencial de acúmulo de biomassa, sob restrição hídrica pós-transplantio. Para o ensaio III, as concentrações de PBZ, entre 40 e 80 mg L<sup>-1</sup>, induziram aos maiores índices de vigor fisiológico, vigor reprodutivo, produção por planta e qualidade físico-química dos frutos. A aplicação do inibidor da biossíntese de giberelinas em mudas otimizou os parâmetros da nutrição foliar das plantas de maracujazeiro - azedo pós transplantio.

**Palavras-chave:** Paclobutrazol; *Passiflora edulis*; salinidade; estresse hídrico; precocidade reprodutiva; nutrição foliar

## GENERAL ABSTRACT

TEIXEIRA, E.D. **Gibberellin biosynthesis inhibitor in passion fruit seedlings as a modulator of abiotic stresses**. Vitória da Conquista – BA, UESB, 2023. 131 p. (Thesis: Doctor Science in Agronomy; Area of Concentration: Crop Science) \*

Biotic and abiotic stresses are among the factors considered to limit the growth, development, and production of passion fruit plants. The aim was to find out whether paclobutrazol - PBZ affects the morphophysiology and biochemistry of passion fruit plants, inducing adaptation to water and salt stress and the anticipation of the reproductive cycle, as well as improving the physicochemical standards of the fruit, production and foliar nutrition of the plants. The research was carried out in two trials, in a protected environment, in pots with a capacity of 20 dm<sup>3</sup>, and a field trial at the State University of Southwest Bahia, Vitória da Conquista campus, BA, using a randomized block design. In the protected environment and in the field, the trials were organized in a factorial arrangement, with the first factor being the same: five concentrations of PBZ (0, 40, 80, 120 and 160 mg L<sup>-1</sup>), applied at the seedling stage, 30 days after emergence (DAE). Trial I was installed with seedlings at 65 DAE, in a 5X4 factorial arrangement, with four levels of irrigation regime: 30, 60, 90 and 120 % of pot capacity; and trial II using seedlings at 70 DAE, in a 5x3 factorial, consisting of three levels of electrical conductivity of the irrigation water: 0.3, 3.3 and 6.3 dS m<sup>-1</sup>. Trial III was conducted in the field, using only the five concentrations of PBZ and seedlings at 70 DAE. For trials I and II, in general, under conditions of water and salt stress, PBZ applied at the seedling stage promotes morphophysiological and biochemical changes after transplanting. The sensitivity in relation to physiological parameters, water relations and biochemistry was more pronounced when the plants were exposed to water stress, compared to the stress caused by NaCl. Under excess water, low concentrations of PBZ result in greater capacity for absorbing and storing water in the tissues and, under water restriction, the regulator maintains isohydric expression. The lower growth rate imposed by the regulator reduces the potential for biomass accumulation under post-transplant water restriction. For trial III, PBZ concentrations between 40 and 80 mg L<sup>-1</sup> induced the highest levels of physiological vigor, reproductive vigor, production per plant and physical-chemical quality of the fruit. The application of the gibberellin biosynthesis inhibitor to seedlings optimized the foliar nutrition parameters of passion fruit plants after transplanting.

**Keywords:** Paclobutrazol; *Passiflora edulis*; salinity; water stress; reproductive precocity; leaf nutrition

---

\***Advisor:** Profa. Dra. Sylvana Naomi Matsumoto, UESB.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Temperatura máxima, média e mínima no interior da casa de vegetação (14/05/2021 a 28/07/2021) .....	11
Figura 1.2 - Características fisiológicas e bioquímicas de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e % capacidade de vaso (CV). (A, B): potencial hídrico foliar - $\Psi_w$ aos 110 dias após a emergência (DAE) no antemanhã (am); (C, D): $\Psi_w$ aos 110 DAE no período do meio-dia (md); (E, F): $\Psi_w$ am aos 140 DAE; (G, H): $\Psi_w$ md aos 140 DAE; (I, J): teor relativo de água foliar – TRA am e md aos 110 DAE; (K, L): TRA md aos 140 DAE; (M, N): TRA am aos 140 DAE; (O, P): teor de carotenoides – CAR aos 140 DAE; (Q, R): teor de clorofila a, b, a + b - Cl aos 140 DAE e (S, T): índice SPAD – SPAD aos 110 e 140 DAE e extravasamento de eletrolítico – EE aos 140 DAE. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos no Apêndice A1 no material suplementar.....	17
Figura 1.3 - Trocas gasosas foliares de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e % capacidade de vaso (CV), aos 110 e 140 dias após a emergência (DAE). (A, B, C, D): condutância estomática – $g_s$ ; (E, F): taxa de assimilação líquida de $CO_2$ – $A$ ; (G, H): taxa de transpiração – $E$ ; (I, J): concentração interna de $CO_2$ – $C_i$ ; temperatura foliar - TF; (K, L): eficiência intrínseca do uso da água – $A/g_s$ ; (M, N): eficiência do uso da água - $A/E$ e (O, P): eficiência da carboxilação - $A/C_i$ . Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos no Apêndice A1 no material suplementar.....	19
Figura 1.4 - Características morfológicas de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e % capacidade de vaso (CV). (A, B): altura – ALT; e (C, D): diâmetro basal – DB aos 110 dias após a emergência (DAE); (E, F): DB 140 DAE e diâmetro do caule – DC aos 110 e 140 DAE; (G, H): número de folhas – NF aos 110 DAE; (I, J): NF aos 140 DAE; (K, L): área foliar total – AFT aos 110 DAE; (M, N): AFT aos 140 DAE; (O, P): área foliar individual – AFI aos 110 DAE; (Q, R): aos AFI 140 DAE e (S, T): área foliar específica – AFE 140 DAE. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos no Apêndice A1 no material suplementar.....	21
Figura 1.5 - Massas frescas e secas e morfologia do sistema radicular de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e % capacidade de vaso (CV). (A, B): massa fresca da parte aérea – MFPA; (C, D): massa fresca da raiz – MFR; (E, F): massa fresca total – MFT; (G, H): massa seca da parte aérea – MSPA; (I, J): massa seca total -MST; (K, L): massa seca da raiz – MSR; (M, N): diâmetro da raiz - DR e (O, P): volume da raiz - VR. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos no Apêndice A1 no material suplementar.....	23
Figura 2.1 - Temperatura máxima, média e mínima no interior da estufa durante a condução do experimento.....	43

Figura 2.2 - Trocas gasosas foliares de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e níveis de salinidade, aos 125 e 185 dias após a emergência (DAE). (A, B): condutância estomática – gs; (C, D): taxa de transpiração –  $E$ ; (E, F, G, H): taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  –  $A$ ; (I, J): concentração interna de  $\text{CO}_2$  –  $C_i$ ; (K, L): eficiência intrínseca do uso da água –  $A/g_s$ ; (M, N): eficiência do uso da água -  $A/E$  e (O, P): eficiência da carboxilação -  $A/C_i$ . Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos na Tabela A1..... 50

Figura 2.3 - Características fisiológicas e bioquímicas de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e níveis de salinidade, aos 125 e 185 dias após a emergência (DAE). (A, B, C, D): índice SPAD médio, da porção basal e apical do ramo principal (SPAD M, B, A) e da porção mediana do ramo secundário (SPAD R); (E, F): teor de carotenoides - Car, teor de clorofila a, b e a+b - Cl: a, b, a+b; (G, H): potencial hídrico foliar -  $\Psi_w$  no antemanhã (am); (I, J): teor relativo de água na folha – TRA e (K, L): temperatura foliar – TF. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos na Tabela A1..... 52

Figura 2.4 - Características morfológicas de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e níveis de salinidade, aos 125 e 185 dias após a emergência (DAE). (A, B): altura – ALT; (C, D): diâmetro basal – DB; (E, F): número de dias a partir do transplântio para realização da poda – P; (G, H): comprimento do ramo secundário – CR; (I, J): área foliar do ramo principal – AFRP; (K, L): número de folhas totais – NFT e número de folhas trilobadas – NFTR; (M, N): número de botões totais – NBT e (O, P): índice de velocidade de florescimento – IVF. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos na Tabela A1..... 54

Figura 2.5 - Massas frescas e secas e volume das raízes de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e níveis de salinidade, aos 185 dias após a emergência (DAE). (A, B): volume da raiz (VR) e massa fresca da raiz – MFR; (C, D): massa fresca da parte aérea – MFPA e massa fresca total – MFT; (E, F): massa seca da parte aérea – MSPA, massa seca da raiz – MSR e massa seca total -MST. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos na Tabela A1 Apêndice A1 no material suplementar..... 56

Figura 3.1 - Temperatura mínima e máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ) e precipitação (mm) registrados pela estação metereológica da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, Bahia, Brasil, durante o período experimental..... 74

Figura 3.2- Trocas gasosas de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ), medidos no ramo primário (RP) e ramo secundário (RS) e índice SPAD. (A): condutância estomática – gs; (B): taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  –  $A$ ; (C): taxa de transpiração –  $E$ ; (D): concentração interna de  $\text{CO}_2$  –  $C_i$ ; (E): eficiência intrínseca do uso da água –  $A/g_s$ ; (F): eficiência do uso da água -  $A/E$  e (G): eficiência da carboxilação -  $A/C_i$ ; (H): temperatura foliar – TF e (I): índice SPAD - SPAD. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos na Tabela A1. .... 80

Figura 3.3 - Características morfológicas de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ). (A): número de folhas trilobadas – NFTR; (B): índice de velocidade de florescimento (IVF); (C): índice de velocidade de colheita (IVC); (D): dias após o transplante para a primeira colheita; (E): número de frutos por planta (NFP) e (F): produção por planta. Os modelos de regressão e coeficiente e determinação ( $R^2$ ) estão descritos na Tabela A1. .... 81

Figura 3.4 - Qualidade físico-química dos frutos de plantas de maracujazeiro azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) resultantes da florada 1 e florada 2 (A, B): diâmetro do fruto – DF e comprimento do fruto - CR; (C): peso total do fruto – PF; (D): peso da casca – PC; (E): peso da semente – PS; (F): espessura da casca – EC; (G): peso da polpa – PP; (H): peso da polpa sem semente (PPSS); (I): rendimento de polpa com semente – RPCS; (J): rendimento de polpa sem semente (RPSS); (K): sólidos solúveis totais – SST; (L): pH. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos na Tabela A1..... 83

Fig. 3.5 - Macronutrientes e micronutrientes de folhas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) (A): nitrogênio – N; (B): fósforo – P; (C): potássio – K; (D): cálcio – Ca; (E): magnésio – Mg; (F): enxofre – S; (G): boro – B e manganês – Mn; (H): cobre – Cu; (I): ferro – Fe e zinco – Zn. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) são descritos na Tabela A1.....85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Resumo da análise de variância do potencial hídrico foliar antemanhã e ao meio-dia ( $\Psi_w$ pd e $\Psi_w$ md), teor relativo de água foliar antemanhã e ao meio-dia (TRA am e TRA md), condutância estomática ( $g_s$ ), taxa de assimilação de $CO_2$ ( $A$ ), taxa de transpiração ( $E$ ), concentração interna de $CO_2$ ( $C_i$ ), extravasamento de eletrólitos (EE), eficiência intrínseca do uso da água ( $A/g_s$ ), eficiência no uso da água ( $A/E$ ), eficiência de carboxilação ( $A/C_i$ ), temperatura foliar (TF), diâmetro basal (DB), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), teor de carotenoides (Car), índice SPAD (SPAD), área foliar total (AFT), área foliar individual (AFI), altura (ALT), área foliar específica (AFE), massa fresca e seca da parte aérea (MFPA, MSPA), massa fresca e seca da raiz (MFR, MSR), massa fresca e seca total (MFT, MST), diâmetro da raiz (DR) e volume de raiz (VR), teores de clorofila a, b e a + b (Chl: a, b, a + b) de plantas de maracujazeiro - azedo submetidas a diferentes concentrações de regulador de crescimento (C) e regimes de irrigação (RI), avaliados aos 110 e/ou 140 dias após a emergência. ....	15
Tabela 2.1 - Resumo da análise de variância da taxa de assimilação líquida de $CO_2$ ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), taxa de transpiração ( $E$ ), concentração interna de $CO_2$ ( $C_i$ ), eficiência intrínseca do uso de água ( $A/g_s$ ), eficiência do uso da água ( $A/E$ ) e eficiência de carboxilação ( $A/C_i$ ), temperatura foliar (TF), potencial hídrico foliar e teor relativo de água ante-manhã ( $\Psi_w$ , TRA), índice SPAD médio, da porção basal e apical do ramo principal (SPAD M, B, A) e da porção mediana do ramo secundário (SPAD R), teor de carotenoides (Car), teor de clorofila a, b e a+b (Cl: a, b, a+b), altura (ALT), número de dias a partir do transplântio para realização da poda (P), diâmetro basal (DB), número de folhas totais e trilobadas (NFT, NFTR), comprimento do ramo secundário (CR), área foliar do ramo principal (AFTPR), massa fresca e seca da parte aérea (MFPA, MSPA), raiz (MFR, MSR) e total (MFT, MST), volume da raiz (VR), número de botões florais totais (NBT) e índice de velocidade de florescimento (IVF) de plantas de maracujazeiro - azedo ( <i>Passiflora edulis</i> Sims.) submetidas a diferentes concentrações de regulador de crescimento paclobutrazol (PBZ) e níveis de salinidade (S), avaliadas aos 125 e/ou 185 dias após a emergência.....	49
Tabela 2 A1 - Regressão e coeficiente de determinação das variáveis apresentadas nas figuras 2, 3, 4 e 5.....	69

Tabela 3. 1 - Resumo da análise de variância da taxa de assimilação líquida de CO <sub>2</sub> ( <i>A</i> ), condutância estomática ( <i>gs</i> ), taxa de transpiração ( <i>E</i> ), concentração interna de CO <sub>2</sub> ( <i>C<sub>i</sub></i> ), eficiência intrínseca do uso de água ( <i>A/g<sub>s</sub></i> ), eficiência do uso da água ( <i>A/E</i> ), eficiência de carboxilação ( <i>A/C<sub>i</sub></i> ) e temperatura foliar (TF), de plantas de maracujazeiro - azedo ( <i>Passiflora edulis</i> Sims.) submetidas a diferentes concentrações de regulador de crescimento paclobutrazol (PBZ), avaliadas no ramo principal (RP) e ramo secundário (RS). Índice SPAD (SPAD), número de folhas trilobadas (NFTR), índice de velocidade de florescimento (IVF), índice de velocidade de colheita (IVC), dias após o transplântio para a primeira colheita (1 <sup>a</sup> C), número de frutos por planta (NFP) e produção. Diâmetro do fruto (DF), comprimento do fruto (CF), peso total do fruto (PF), peso da casca (PC), peso da semente (PS) espessura da casca (EC), peso da polpa (PP), peso da polpa sem semente (PPSS), rendimento de polpa com semente (RPCS), rendimento de polpa sem semente (RPSS), sólidos solúveis totais (SST) e pH avaliados na florada 1 (1) e florada 2 (2). Níveis de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), manganês (Mn), cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn) avaliados em folhas de maracujazeiro - azedo após o transplântio em campo.....	79
Tabela 3 A1- Regressão e coeficiente de determinação dos parâmetros apresentados nas figuras 2, 3, 4 e 5.....	101

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

<i>A</i>	Taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
<i>A/Ci</i>	Eficiência de carboxilação
<i>A/E</i>	Eficiência do uso da água
<i>AFE</i>	Área foliar específica (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )
<i>AFI</i>	Área foliar individual (cm <sup>2</sup> )
<i>AFT</i>	Área foliar total (cm <sup>2</sup> )
<i>AFRP</i>	Área foliar do ramo principal (cm <sup>2</sup> )
<i>A/g<sub>s</sub></i>	Eficiência intrínseca do uso da água
<i>ALT</i>	Altura da planta (cm)
<i>B</i>	Boro (mg kg <sup>-1</sup> )
<i>BL</i>	Bloco
<i>Ca</i>	Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )
<i>Car</i>	Teor de carotenoides (mg g <sup>-1</sup> )
<i>Ci</i>	Concentração interna de CO <sub>2</sub> na folha (μmol CO <sub>2</sub> mol <sup>-1</sup> ar)
<i>Cl a</i>	Teor de clorofila a (mg g <sup>-1</sup> )
<i>Cl a +b</i>	Teor de clorofila a + b (mg g <sup>-1</sup> )
<i>Cl b</i>	Teor de clorofila b (mg g <sup>-1</sup> )
<i>CF</i>	Comprimento do fruto (mm)
<i>CR</i>	Comprimento do ramo secundário (m)
<i>Cu</i>	Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )
<i>CV</i>	Coefficiente de variação (%)
<i>CV</i>	Capacidade de vaso (%)
<i>DAA</i>	Dias após a aplicação
<i>DAE</i>	Dias após a emergência
<i>DB</i>	Diâmetro basal (mm)
<i>DC</i>	Diâmetro do caule (mm)
<i>DF</i>	Diâmetro do fruto (mm)
<i>DR</i>	Diâmetro da raiz (mm)
<i>E</i>	Taxa de transpiração (mmol vapor d'água m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
<i>EC</i>	Espessura da casca (mm)
<i>EE</i>	Extravasamento de eletrólitos (%)
<i>Fe</i>	Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )
<i>FV</i>	Fonte de variação
<i>GA</i>	Giberelina
<i>GL</i>	Grau de liberdade
<i>g<sub>s</sub></i>	Condutância estomática (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
<i>i.a</i>	Ingrediente ativo
<i>IVF</i>	Índice de velocidade de florescimento
<i>IVC</i>	Índice de velocidade de colheita
<i>K</i>	Potássio (g kg <sup>-1</sup> )
<i>MFPA</i>	Massa fresca da parte aérea (g)
<i>MFR</i>	Massa fresca da raiz (g)
<i>MFT</i>	Massa fresca total (g)
<i>Mg</i>	Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )
<i>Mn</i>	Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )
<i>MSPA</i>	Massa seca da parte aérea (g)
<i>MSR</i>	Massa seca das raízes (g)
<i>MST</i>	Massa seca total (g)

N	Nitrogênio (g kg <sup>-1</sup> )
NBT	Número de botões florais totais
NF	Número de folhas
NFP	Número de frutos por planta
NFTR	Número de folhas trilobadas
PBZ	Paclobutrazol
P	Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )
P	Poda
PC	Peso da casca (g)
PF	Peso fresco
PF	Peso total do fruto (g)
PP	Peso da polpa (g)
PPSS	Peso da polpa sem semente (g)
PS	Peso seco
PS	Peso da semente (g)
PT	Peso túrgido
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação (%)
RP	Ramo principal
RPCS	Rendimento de polpa com semente (%)
RPSS	Rendimento de polpa sem semente (%)
RS	Ramo secundário
RI	Regime de irrigação
Res	Res Resíduo
RPAR	Razão parte aérea raiz
S	Enxofre (g kg <sup>-1</sup> )
SAEG	Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas
SPAD	<i>Soil Plant Analysis Development</i>
SST	Sólidos solúveis totais (°Brix)
TRA	Temperatura foliar (°C)
TF	Teor relativo de água na folha (%)
TRAT	Tratamento
VR	Volume de raiz (cm <sup>3</sup> )
Zn	Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )
Ψ <sub>w</sub>	Potencial hídrico foliar (MPa)

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	3
3 ARTIGO 1: Uso do paclobutrazol como estratégia para antecipar a resposta ao estresse hídrico do maracujazeiro - azedo .....	6
RESUMO .....	7
3.1 INTRODUÇÃO .....	8
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	10
3.2.1 Caracterização do local de estudo e delineamento experimental .....	10
3.2.2 Produção de mudas .....	11
3.2.3 Instalação e condução do experimento .....	12
3.2.4 Análises fisiológicas e bioquímicas .....	12
3.2.5 Análises morfológicas .....	13
3.2.6 Análise estatística .....	14
3.3 RESULTADOS .....	14
3.4 DISCUSSÃO .....	23
3.5 CONCLUSÕES .....	29
3.6 REFERÊNCIAS .....	30
4 ARTIGO 2: O inibidor da biossíntese de giberelinas pode otimizar a capacidade de adaptação das plantas de maracujazeiro - azedo sob estresse salino?.....	39
RESUMO .....	40
4.1 INTRODUÇÃO .....	40
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	42
4.2.1 Caracterização do local do experimento .....	42
4.2.2 Delineamento experimental .....	43
4.2.3 Produção de mudas .....	43
4.2.4 Instalação e condução do experimento .....	44
4.2.5 Análises fisiológicas e bioquímicas .....	45
4.2.6 Análises morfológicas .....	46
4.2.7 Análise estatística .....	47
4.3 RESULTADOS .....	47
4.4 DISCUSSÃO .....	57
4.5 CONCLUSÕES .....	62



4.6 REFERÊNCIAS .....	63
5 ARTIGO 3: Estabelecimento em campo de vigor fisiológico - nutricional e precocidade reprodutiva do maracujazeiro - azedo a partir de <i>priming</i> em mudas com inibidor da biossíntese de giberelinas.....	70
RESUMO .....	71
5.1 INTRODUÇÃO .....	72
5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	73
5.2.1 Caracterização do local do experimento .....	73
5.2.2 Delineamento experimental.....	74
5.2.3 Tratamentos.....	75
5.2.4 Instalação e condução do experimento.....	75
5.2.5 Análises morfofisiológicas.....	76
5.2.6 Qualidade físico-química dos frutos.....	77
5.2.7 Análise foliar .....	77
5.2.8 Análise estatística .....	78
5.3 RESULTADOS .....	78
5.4 DISCUSSÃO .....	85
5.5 CONCLUSÕES .....	92
5.6 REFERÊNCIAS .....	93
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	102
7 ANEXOS .....	104

## INTRODUÇÃO GERAL

O maracujazeiro - azedo é uma cultura oriunda da América tropical, especificamente no Brasil, e é considerada sensível ou moderadamente tolerante ao estresse hídrico, salino (Silva et al., 2019; Qi et al., 2023) e a doenças fúngicas e viróticas (Nascimento et al., 2006; Pereira et al., 2019). O cultivo predomina em regiões áridas e semiáridas, como o Nordeste brasileiro, onde o maior volume de produção de frutos encontra-se nos estados da Bahia e Ceará, que contribuem com aproximadamente 70 % da produção nacional (IBGE, 2023).

Nas principais áreas de plantio do maracujazeiro, a ocorrência frequente de chuvas irregulares, temperaturas mais elevadas no verão, juntamente com altas taxas de evapotranspiração e má qualidade da água utilizada na irrigação, devido ao excesso de sais, podem resultar em estresse hídrico e salino (Freire, 2022). Além disso, restrições fitossanitárias causadas por patógenos limitam a produtividade e a longevidade da cultura.

As alterações fisiológicas, ocasionadas pelo estresse hídrico e salino nas plantas, apresentam muitas semelhanças. Ambos induzem maior sensibilidade estomáica, levando a uma redução na perda de água por transpiração, menor taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e eficiência do uso da água, o que resulta em um menor acúmulo de biomassa (Kumar et al., 2018, Xue et al., 2021). Os pigmentos fotossintéticos são reduzidos devido à desintegração das membranas ocasionada pelo estresse oxidativo (Younas et al., 2022; Khalid et al., 2023;), menores taxas de expansão e abscisão foliar (Haydar et al., 2023; Lima et al., 2023).

O nível de sensibilidade das plantas aos estresses varia de acordo com a intensidade, duração e, principalmente, o estágio fenológico da cultura (Khalid et al., 2023). As plantas ainda podem desenvolver mecanismos de adaptação para se ajustarem às condições às quais estão expostas, como alterações celulares, fisiológicas e metabólicas, sendo exemplos a defesa antioxidante, ajuste osmótico, homeostase de nutrientes e fitohormônios, que atuam como uma forma de proteção natural (Ahire et al., 2021). Sob estresse salino, por exemplo, algumas espécies do gênero *Passiflora* está relacionada à exclusão de sódio dos tecidos (Lima et al., 2020) e ao acúmulo expressivo de prolina para ajustamento osmótico (Salazar et al., 2017).

Assim como o estresse por déficit hídrico, o excesso de água no solo também reduz a sobrevivência das plantas. Quando há inundação, a concentração de oxigênio disponível para as raízes é reduzida, afetando negativamente o metabolismo

fotossintético, causando extravasamento de eletrólitos foliar (Mauro et al., 2020). As plantas de maracujazeiro, nos estádios iniciais de crescimento, quando em excesso de água, podem desenvolver algumas alterações fisiológicas e anatômicas, como a formação de aerênquima, que permite que a espécie sobreviva a curto prazo em condições pré-submersão ou inundação (Govea et al., 2018).

A otimização do metabolismo de defesa, induzida por triazóis, diante do estresse hídrico e salino, tem sido investigada como uma ferramenta promissora em diversas culturas (Dwivedi et al., 2017; Garg et al., 2019; Fan et al., 2020; Mohan et al., 2020; Su et al., 2022), pois atua na ativação de mecanismos de escape ao estresse. Para o maracujazeiro - azedo, estudos recentes apontam que a utilização de um inibidor da biossíntese de giberelina eleva a qualidade das mudas, otimizando a anatomia, fisiologia e elevação da biossíntese de compostos secundários e pigmentos fotossintéticos (Teixeira et al., 2019,2021); e induzindo precocidade reprodutiva em ambiente protegido (Teixeira et al., 2023). Portanto, o emprego de práticas de manejo, durante os estádios iniciais de crescimento das plantas, quando há a formação da arquitetura e elevada taxa de crescimento relativo, pode otimizar o desenvolvimento posterior, viabilizando maior tolerância a possíveis estresses.

Assim, os objetivos do presente estudo foram: I) Analisar se a alteração da morfologia de mudas de maracujazeiro - azedo, submetidos à imersão em solução de paclobutrazol (PBZ), afeta o crescimento de plantas em condição de estresse hídrico e salino e induz melhor à adaptação. II) Verificar se a restrição e excesso de disponibilidade de água, bem como presença de elevada concentração de NaCl afetam a fisiologia (relações hídricas e características fotossintéticas) e o metabolismo bioquímico (teores de pigmentos) de plantas de maracujazeiro - azedo, cultivadas a partir de mudas submetidas às diferentes concentrações de PBZ. III) Avaliar o desenvolvimento reprodutivo (número de estruturas reprodutivas) de plantas de maracujazeiro, obtidos a partir de mudas tratadas com PBZ e submetidas a níveis de NaCl no solo. IV) Analisar se o uso do inibidor da biossíntese de giberelina afeta o período do ciclo reprodutivo, a produção por planta, as características físico-químicas dos frutos, e a fisiologia e a nutrição foliar de plantas de maracujazeiro - azedo, cultivadas em campo a partir de mudas tratadas com PBZ

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahire, M.L.; Mundada, P.S.; Nikam, T.D.; Bapat, V.A.; Penna, S. Multifaceted roles of silicon in mitigating environmental stresses in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 169, p. 291-310, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.010>

Dwivedi, S.K.; Arora, A.; Kumar, S. Paclobutrazol-induced alleviation of water-deficit damage in relation to photosynthetic characteristics and expression of stress markers in contrasting wheat genotypes. **Photosynthetica**, v. 55, n. 2, p. 351-359, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0652-5>

Fan, Z.X.; Li, S.C.; Sun, H.L. Paclobutrazol modulates physiological and hormonal changes in *Amorpha fruticosa* under drought stress. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 67, n. 1, p. 122-130, 2020. <https://doi.org/10.1134/S1021443720010069>

Freire, F. G.C. **Avaliação da qualidade de água para fins de irrigação utilizada na agricultura familiar no município de São João do Jaguaribe-CE**. 2022. 63p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN.

Garg, N.; Maheshwari, C.; Changan, S.S.; Kumas, V. Paclobutrazol induced physico-biochemical manifestations to improve water stress in rice (*Oryza sativa*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 89, n. 11, p. 1832-6, 2019. <https://doi.org/10.56093/ijas.v89i11.95305>

Govêa, K.P.; Cunha Neto, A.R.; Resck, N.M.; Moreira, L.L.; Veroneze Júnior, V.V.; Pereira, F. L.; Polo, M.; Souza, T. C. Morpho-anatomical and physiological aspects of *Passiflora edulis* Sims (passion fruit) subjected to flooded conditions during early developmental stages. **Biotemas**, v. 31, n. 3, p. 15-23, 2018.

Haydar, M.S.; Ali, S.; Mandal, P.; Roy, D.; Roy, M. N.; Kundu, S.; Kundu, S.; Choudhuri, C. Fe–Mn nanocomposites doped graphene quantum dots alleviate salt stress of *Triticum aestivum* through osmolyte accumulation and antioxidant defense. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, e-11040, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38268-6>

Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia - IBGE. **Área destinada à colheita, área colhida, quantidade reduzida e valor da produção da lavoura permanente**. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1613>. Acesso em julho de 2023.

Khalid, M.F.; Huda, S.; Yong, M.; Li, L.; Li, L.; Chen, Z.H.; Ahmed, T. Alleviation of drought and salt stress in vegetables: crop responses and mitigation strategies. **Plant Growth Regulation**, v. 99, n. 2, p. 177-194, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10725-022-00905-x>

Kumar, S.; Sachdeva, S.; Bhat, K.V.; Vats, S. **Plant responses to water stress: physiological, biochemical and molecular bases**. Tolerance to biotic and abiotic stress in plants. Springer, Cingapura, 2018, p. 1–25. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-9029-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-10-9029-5_1)

Lima, G.B.P.D.; Gomes, E.F.; Rocha, G.M.G.D.; Silva, F.D.A.; Fernandes, P.D.; Machado, A.P.; Fernandes-Júnior, P.I.; Melo, A.S.; Arriel, N.H.C.; Gondin, T.M.S.; Lima, L.M.D. Bacilli rhizobacteria as biostimulants of growth and production of sesame cultivars under water deficit. **Plants**, v. 12, n. 6, e-1337, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12061337>

Lima, L.K.S.; Jesus, O.N.; Soares, T.L.; Santos, I.S.; Oliveira, E.J.; Coelho Filho, M. A. Growth, physiological, anatomical and nutritional responses of two phenotypically distinct passion fruit species (*Passiflora* L.) and their hybrid under saline conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 263, e-109037, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109037>

Mauro, R.P.; Agnello, M.; Distefano, M.; Sabatino, L.; Bautista Primo, A.S.; Leonardi, C.; Giuffrida, F. Chlorophyll fluorescence, photosynthesis and growth of tomato plants as affected by long-term oxygen root zone deprivation and grafting. **Agronomy**, v. 10, n. 1, p. 137, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010137>

Mohan, R.; Kaur, T.; Bhat, H.A.; Khajuria, M.; Pal, S.; Vyas, D. Paclobutrazol induces photochemical efficiency in mulberry (*Morus alba* L.) under water stress and affects leaf yield without influencing biotic interactions. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 39, p. 205-215, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09975-0>

Nascimento, A.V.S.; Santana, E.N.; Braz, A.S.K.; Alfenas, P.F.; Pio-Ribeiro, G.; Andrade, G.P.; Carvalho, M.G.; Zerbini, M.F. Cowpea aphid-borne mosaic virus (CABMV) is widespread in passion fruit in Brazil and causes passion fruit woodiness disease. **Archives of Virology**, v. 151, p. 1797-1809, 2006. <https://doi.org/10.1007/s00705-006-0755-6>

Pereira, P.P.A.; Lima, L.K.S.; Soares, T.L.; Laranjeira, F.F.; Jesus, O.N., Girardi, E.A. Initial vegetative growth and survival analysis for the assessment of *Fusarium* wilt resistance in *Passiflora* spp. **Crop Protection**, v. 121, p. 195-203, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.03.018>

Qi, Y.; Ma, L.; Ghani, M.I.; Peng, Q.; Fan, R.; Hu, X.; Chen, X. Effects of water stress induced by hypertonic polyethylene glycol (PEG-6000) on the physiological properties of *Passiflora edulis* Sims. **Plants**, v. 12, n. 12, e-2296, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12122296>

Salazar, A.H.; Silva, D.F.P.; Ceballos-Aguirre, N.; Ocampo, J.; Bruckner, C. H. Proline and ions accumulation in four *Passiflora* species under water-saline stress. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 4, p. 570-580, 2017. <https://doi.org/10.14295/cs.v8i4.2323>

Silva, A.A.R.D.; Lima, G.S.D.; Azevedo, C.A.V.D.; Gheyi, H.R.; Souza, L.D.P.; Veloso, L.L.D.S.A. Gas exchanges and growth of passion fruit seedlings under salt stress and hydrogen peroxide. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, p. 1-10, 2019. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v49i55671>

Su, M.; Zhang, M.; Liu, Y.; Han, Z. Abscisic acid, paclobutrazol, and salicylic acid alleviate salt stress in *Populus taláássica* × *Populus euphratica* by modulating plant root

architecture, photosynthesis, and the antioxidant defense system. **Forests**, v. 13, n. 11, e-1864, 2022. <https://doi.org/10.3390/f13111864>

Teixeira, E.C.; Matsumoto, S.N.; Pereira, L.F.; Silva, D.D.C.; Viana, A.E.S.; Gonçalves, A.N.S. (2023). Paclobutrazol as a strategy to induce reproductive precocity in sour passion fruit. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 45, e-501, 2023. <https://doi.org/10.1590/0100-29452023501>

Teixeira, E.C.; Matsumoto, S.N.; Ribeiro, A.F.; Viana, A.E.S.; Tagliaferre, C.; Carvalho, F.D.; Pereira, L.F.; Silva, V.A. Morphophysiology and quality of yellow passion fruit seedlings submitted to gibberellin biosynthesis inhibition. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, e.51541, 2021. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.51541>

Teixeira, E.C.; Matsumoto, S.N.; Silva, D.C.; Pereira, L.F.; Viana, A.E.S.; Arantes, A.M. Morphology of yellow passion fruit seedlings subjected to triazole-induced growth inhibition. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, e020319, 2019. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943020319>.

Xue, F.; Liu, W.; Cao, H.; Song, L.; Ji, S.; Tong, L.; Ding, R. Stomatal conductance of tomato leaves is regulated by both abscisic acid and leaf water potential under combined water and salt stress. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 4, p. 2070-2078, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13441>

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>

**ARTIGO I**

Uso de paclobutrazol como estratégia para antecipar a resposta ao estresse hídrico do maracujazeiro - azedo \*

---

\* **Situação:** Publicado

## Uso de paclobutrazol como estratégia para antecipar a resposta ao estresse hídrico do maracujazeiro - azedo

Ednilson Carvalho Teixeira <sup>a,\*</sup>, Sylvana Naomi Matsumoto <sup>a,\*</sup>, Luanna Fernandes Pereira <sup>b</sup>, Carla de Souza Almeida <sup>b</sup>, Maria Aparecida Castellani <sup>a</sup>, Carlos Eduardo Magalhães dos Santos <sup>b</sup>, José Carlos Lopes <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, BA, Brasil.

<sup>b</sup> Universidade Federal de Viçosa, *Campus* Viçosa, MG, Brasil.

<sup>c</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, *Campus* Alegre, ES, Brasil.

### Resumo

Estresses hídricos, como seca ou excesso de água, têm levado a grandes impactos socioeconômicos para a cultura do maracujazeiro - azedo (*Passiflora edulis* Sims). Estudos relevantes têm destacado o impacto dos reguladores de crescimento na ativação e modulação dos mecanismos de escape das plantas ao estresse hídrico. Assim, objetivou-se analisar se as alterações morfológicas e bioquímicas em mudas de maracujazeiro - azedo, submetidas a PBZ, induz melhor adaptação ao estresse hídrico após o transplante. De maneira geral, o regime hídrico foi o fator que promoveu efeito mais expressivo para todas as características avaliadas, enquanto o fator concentração de PBZ afetou apenas a morfologia. A interação entre os fatores foi observada para o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) e acúmulo de biomassa, caracterizado por elevação em função do aumento da disponibilidade hídrica. As concentrações de 40 e 80 mg L<sup>-1</sup> de PBZ induziram à manutenção de maior  $\Psi_w$  ao longo da variação do regime hídrico avaliado neste estudo, quando foi determinado aos 140 dias após a emergência. A passagem do modelo quadrático para o modelo linear das características morfológicas, em função dos regimes hídricos, corrobora o efeito do regulador para torná-lo mais diretamente associado à disponibilidade hídrica, sem interações com outros fatores não abordados. A relação entre acúmulo de massa e concentração de PBZ foi evidenciada para os regimes de excesso de água (90 e 120% da capacidade do vaso), caracterizados por decréscimos. Sob excesso de

---

\* Autor correspondente.

Endereço de e-mail: ed.cezar@hotmail.com (E. C. Teixeira), sylvananaomi@yahoo.com.br (S. N. Matsumoto)

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111480>

Recebido em 17 de abril de 2022; Recebido no formulário revisado em 19 de agosto de 2022;

Aceito em 26 de agosto de 2022 Disponível online em 18 de setembro de 2022



água, 40 mg L<sup>-1</sup> de PBZ resulta em maior capacidade de absorção e armazenamento de água, aumentando o vigor de crescimento das plantas. Embora a antecipação dos mecanismos de escape otimize o status hídrico da planta, a restrição de crescimento imposta pelo regulador reduziu o potencial de acúmulo de biomassa das plantas sob restrição hídrica.

**Palavras-chave:** Regime de irrigação, isohídrico, qualidade das mudas, disponibilidade de água.

## 1. Introdução

As alterações climáticas globais têm afetado a disponibilidade de água com padrões irregulares de precipitações, ocasionando inundações ou secas frequentes (Pendergrass et al., 2020; Shahzad et al., 2021). Dentre os setores agrícolas, a fruticultura, por sua natureza perene, é altamente susceptível a essa variabilidade, somatizando todas essas alterações no crescimento e desenvolvimento das plantas, ao longo do ciclo fenológico (Kourgialas, 2021).

Para a fruticultura, o maracujazeiro - azedo (*Passiflora edulis* Sims) é de grande importância socioeconômica, destacando-se no cenário mundial, devido ao vigor, produtividade, qualidade organoléptica e rendimento de suco (Ferreira et al., 2016). Esta espécie é considerada sensível a estresses abióticos, como estresse hídrico, sendo este um dos principais fatores responsáveis pela redução do potencial produtivo das plantas (Basso et al., 2019; Faria et al., 2020).

Em estresse hídrico, por excesso de água, a depleção de oxigênio induz a hipóxia ou anóxia, ocasionando distúrbios nas plantas, como alterações na eficiência fotossintética e relações hídricas, redução do crescimento radicular, teores de clorofila e acúmulo de biomassa (Wongs-aree et al., 2018; Mira et al., 2021). Algumas alterações morfofisiológicas e anatômicas são estratégias manifestadas pelas plantas de maracujazeiro para se ajustarem às condições extremas de estresse hídrico (Faria et al., 2020). A formação de aerênquimas lisígenos foi observada em raízes de maracujazeiro - azedo, submetido à condição de excesso de água, sendo um mecanismo de oxigenação suplementar direcionado ao sistema radicular (Govêa et al., 2018).

Embora os mecanismos de escape se expressem principalmente por um maior desenvolvimento radicular e rápido fechamento estomático, o maior vigor do crescimento vegetativo do maracujazeiro - azedo define um consumo elevado de água

para manter a estrutura da planta, resultando em alta sensibilidade ao estresse hídrico (Sousa et al., 2018). A classificação quanto à isohidricidade (isohídrica ou anisohídrica) tem sido aplicada para caracterizar a resposta fisiológica das plantas (Sade et al., 2012; Blanco-Cipollone et al., 2017). Para o maracujazeiro - azedo, o estado da arte da classificação quanto à isohidricidade é bastante controverso, sendo questionados importantes fatores de interação, como condições ambientais da área de cultivo, estágio fenológico da cultura, severidade e duração do estresse (Martinez, 2013; Lozano-Montana et al., 2021). No entanto, a maior sensibilidade estomática e menor variação do potencial hídrico foliar para a cultura, em condições de baixa disponibilidade de água, foi determinada como uma estratégia de ajuste isohídrico (Lozano-Montana et al., 2021).

A estratégia isohídrica é menos vulnerável aos efeitos do déficit hídrico prolongado, devido principalmente ao fechamento estomático levar a redução da perda de água por transpiração (Onyemaobi et al., 2021). No entanto, a baixa taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> pode resultar em menor acúmulo de biomassa (Kumar et al., 2018). Além disso, o esgotamento das reservas de carboidratos não estruturais para manter a funcionalidade do sistema fisiológico das plantas, nessas condições, pode comprometer o crescimento, desenvolvimento e longevidade das plantas (McDowell et al., 2011).

Regular e antecipar os principais mecanismos que conferem às características isohídricas, potencialização do metabolismo energético, absorção, transporte e capacidade de armazenamento de água seria uma estratégia para aumentar ou manter o crescimento das plantas sob condição de déficit hídrico.

A restrição de crescimento, que ocorre como consequência do menor alongamento celular, pode ser induzida por inibidores da biossíntese de giberelina ou estresse hídrico moderado (Litvin et al., 2016). Essa estratégia tem sido utilizada em diversas culturas agrícolas para induzir a aclimatação das plantas, otimizando os mecanismos de escape e tolerância à dessecação do protoplasma (Mohammadi et al., 2017; Sousa et al., 2018; Garg et al., 2019; Mohan et al., 2020).

Quando a redução do crescimento está relacionada à menor disponibilidade de água, devido a um ajuste interno da planta, ocorre a aceleração do estágio reprodutivo e senescência (Mariën et al., 2022), resultando em elevação de superóxidos (Rasheed et al., 2021), fragilidade da estrutura celular (Brodrribb et al., 2021), degradação da clorofila (Fan et al., 2020) e abscisão foliar (Souza et al., 2020). Entretanto, no

manejo do regulador de crescimento ocorre a manutenção do crescimento vegetativo (Fan et al., 2020; Iqbal et al., 2020), potencialização da capacidade de regulação do status hídrico e trocas gasosas, resultando em maior acúmulo de biomassa (Mohan et al., 2020). O incremento do teor relativo de água, pigmentos fotossintéticos (Garg et al., 2019; Fan et al., 2020) e do sistema antioxidante (Mohammadi et al., 2017; Davari et al., 2021) são relatados em diversos estudos, como efeitos do inibidor da biossíntese da giberelina.

Para o maracujazeiro - azedo, o inibidor da biossíntese da giberelinas promove alterações morfofisiológicas e anatômicas relacionadas à otimização das relações hídricas, tais como aumento dos tecidos de reserva, diferenciação dos tecidos condutores e otimização das relações de trocas gasosas foliares (Teixeira et al., 2019; Teixeira et al., 2021). A partir dessas alterações em mudas submetidas à restrição hídrica, a utilização do regulador de crescimento poderia modular a expressão isohídrica, resultando em uma menor variação do status hídrico, como manutenção do crescimento.

Desse modo, objetivou-se com este estudo analisar se as alterações morfofisiológicas e bioquímicas em mudas de maracujazeiro - azedo, submetidas a inibidor da biossíntese de giberelina, seriam efetivas em modular a expressão isohídrica durante déficit hídrico, ou induzir melhor adaptação quanto ao excesso hídrico após o transplantio.

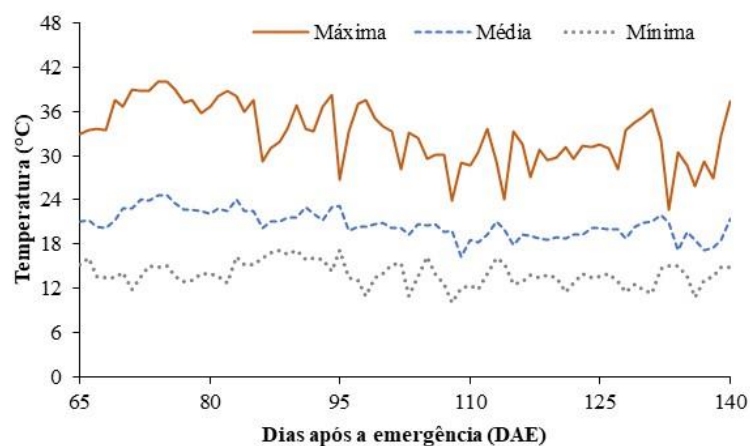
Para o presente estudo, em condições de estresse hídrico, alterações morfológicas e fisiológicas, induzidas pelo inibidor da biossíntese da giberelina, favoreceram a expressão dos mecanismos de escape à seca das plantas de maracujazeiro, otimizando o status hídrico. Entretanto, a restrição de crescimento, imposta pelo regulador durante os estágios de formação do material de propagação, reduziu o potencial de acúmulo de massa das plantas de maracujazeiro - azedo após o transplantio.

## **2. Material e métodos**

### **2.1 Caracterização do local de estudo e delineamento experimental**

O estudo foi realizado em Vitória da Conquista, Bahia, Brasil (14° 53' Latitude sul e 40° 48' Longitude oeste, 845 metros de altitude), de fevereiro a julho de 2021, em casa de vegetação, coberta com filme de 150 microns com 90% de transparência, bloqueando os raios ultravioleta, não apresentando um ambiente homogêneo em relação às condições ambientais. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o município possui clima do tipo

Cwa (tropical de altitude). A precipitação e temperatura média anual são de 733,9 mm e 20,2 °C, respectivamente (Sei, 2013). A temperatura média no interior do ambiente foi de 20,7 °C, com médias máximas e mínimas variando entre 32,9 °C e 13,9 °C, respectivamente. Os dados de temperatura referentes ao período de condução do experimento foram monitorados por datalogger (Figura 1).



**Fig. 1.** Temperatura máxima, média e mínima no interior do ambiente protegido (14/05/2021 a 28/07/2021).

O experimento foi instalado em delineamento experimental, em blocos casualizados, com quatro repetições em um esquema fatorial de 5×4. A heterogeneidade em relação à luminosidade, temperatura e umidade relativa no interior do ambiente protegido pode influenciar, principalmente, nas análises fisiológicas (trocas gasosas), justificando, portanto, a adoção do delineamento experimental em blocos casualizados.

Os tratamentos consistiram de cinco concentrações de paclobutrazol (PBZ) de 0, 40, 80, 120 e 160 mg L<sup>-1</sup> e quatro níveis de regime de irrigação (RI) equivalentes a 30, 60, 90 e 120% da capacidade do vaso (CV). Para a definição da capacidade de vaso, foi utilizado o método gravimétrico, conforme a descrição de Casaroli e Lier (2008).

## 2.2 Produção de mudas

Três sementes certificadas de maracujazeiro - azedo, da cultivar 'Redondo Amarelo', foram semeadas em tubetes de polietileno, com 290 cm<sup>3</sup> de capacidade, contendo substrato comercial constituído por casca de pinus bioestabilizada, vermiculita, moinha

de carvão vegetal e espuma fenólica. A emergência das plântulas estabilizou-se no décimo quinto dia após a semeadura, sendo realizado o desbaste, mantendo-se a mais vigorosa.

### **2.3 Instalação e condução do experimento**

Aos 30 dias após a emergência (DAE), quando as mudas apresentavam altura média de 12 cm e quatro folhas expandidas, essas foram imersas em soluções aquosas de PBZ (0, 40, 80, 120 e 160 mg L<sup>-1</sup>) até o nível do substrato, durante 60 s, atingindo a saturação do substrato.

Mudas de maracujazeiro - azedo, após sessenta e cinco dias da emergência, foram transplantadas para vasos com capacidade de 20 dm<sup>3</sup>, contendo como substrato solo de textura franco-argilo-arenosa, classificado como Latossolo Amarelo distrófico. A fertilização do solo foi realizada seguindo as recomendações técnicas da cultura, de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)/Centro de Pesquisa em Mandioca e Fruticultura (Borges e Souza, 2010) com base na análise química do solo.

As parcelas foram irrigadas durante 15 dias, na capacidade de vaso de 90%, de modo a favorecer o pegamento e adaptação, e posteriormente foram aplicados os tratamentos de regime de irrigação previamente determinados: 30, 60, 90 e 120% da capacidade do vaso, com o suprimento de água pelo método de pesagem nessa fase.

As plantas dos tratamentos 0, 40, 80, 120 e 160 mg L<sup>-1</sup> de PBZ tiveram uma altura média do caule de 63,4, 34,1, 27,8, 21,2 e 17,4 cm, respectivamente, sendo então conduzidas em sistema de espaldeira vertical, utilizando-se um fio de arame a 1,8 m de altura. Foram retirados os ramos laterais e conduzido o ramo principal por fitilho, até 10 cm acima do fio do arame, quando este foi podado para a formação dos ramos secundários.

### **2.4 Análises fisiológicas e bioquímicas**

As leituras do índice SPAD, trocas gasosas e status hídrico foliar, na antemanhã (pd) e meio-dia, (md) foram realizadas aos 110 e 140 DAE. O índice SPAD foi determinado com auxílio de um medidor portátil de clorofila (SPAD 502, MINOLTA, Japão). As medições foram realizadas em três pontos do limbo foliar da segunda folha totalmente expandida, no sentido basípeto. Essa folha também foi utilizada para avaliar as trocas gasosas e o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$  folha).

As trocas gasosas foram medidas entre às oito e onze horas da manhã, por meio de um analisador de gás de radiação infravermelha (LCPro, ADC Bio Scientific Limited, Hoddesdon), realizadas com fonte de luz actínica, ajustada para 1200  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de radiação fotossinteticamente ativa. As seguintes características foram medidas: taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), taxa de transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol vapor de água m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  na folha ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$ ) e temperatura foliar (TF). Além disso, a eficiência intrínseca do uso da água ( $A/g_s$ ), eficiência no uso da água ( $A/E$ ) e eficiência de carboxilação ( $A/C_i$ ) foram determinados com base na razão entre taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  e condutância estomática, taxa de transpiração e concentração interna de  $\text{CO}_2$  na folha, respectivamente.

O potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ), expresso em Mpa, foi determinado seguindo a metodologia descrita por Sholander et al. (1964), por meio de uma câmara de pressão (PMS 1000, PMS Instrument Company, Albany). O teor relativo de água na folha (TRA) foi obtido de acordo com a metodologia descrita por Catski (1960), em porcentagem.

O extravasamento de eletrólitos (EE) e pigmentos fotossintéticos foram medidos aos 140 DAE, na primeira folha totalmente expandida, a partir do ápice. O EE em porcentagem foi determinado de acordo com o método estabelecido por Wanderley et al. (2020) e a extração de pigmentos fotossintéticos pela metodologia modificada de Arnon's (1949), eliminando-se as etapas de maceração e centrifugação dos discos, descritas por Barbieri Júnior et al. (2010). Em seguida, de acordo com a massa de cada amostra e o volume de acetona utilizado, os valores foram convertidos, sendo o teor de pigmento expresso em  $\text{mg g}^{-1}$  de massa fresca foliar.

## 2.5 Análises morfológicas

Aos 110 dias após a emergência (DAE), foi avaliada a altura do caule da planta (ALT) com trena graduada em centímetros, da base do caule até ao ápice. Enquanto aos 110 e 140 DAE, foram realizadas as seguintes medidas: diâmetro basal (DB) rente ao nível do substrato e diâmetro do caule (DC) no sexto entrenó, no sentido acrópeto, ambos determinados com paquímetro digital (DC-60, Western, China). Os resultados foram expressos em milímetros; o número de folhas (NF) por contagem direta; área foliar total (AFT), aos 110 DAE, através do produto das medidas de largura e comprimento, seguindo a metodologia proposta por Souto et al. (2017); e aos 140 DAE; por meio de integrador

de área foliar (LI 3100, LI-COR, USA); e área foliar individual (AFI) a partir da razão entre AFT/NF, sendo os valores expressos em centímetros quadrados.

Na última avaliação aos 140 DAE, além das variáveis morfológicas descritas acima, foram avaliadas: a área foliar específica (AFE), pela relação entre AFT e massa seca das folhas, estimada em  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ; diâmetro da raiz (DR), analisado a 3 cm da coifa, com os resultados expressos em milímetros; e o volume da raiz (VR), pelo método do deslocamento da água em uma proveta, em centímetros cúbicos (COSTA et al., 2018). As massas secas da parte aérea e da raiz (MSPA, MSR) foram obtidas após pesagem das massas frescas (MFPA, MFR) e secagem dos tecidos em estufa com circulação forçada de ar (SL 102/480, Solab, Brasil), a 65 °C, por 72h. As massas foram obtidas em balança analítica (Mark 1300, Analyser, Brasil) em gramas (0,01g). A partir dos valores encontrados, obteve-se a massa fresca e seca total (MFT, MST).

## **2.6 Análise estatística**

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Sistema de Análise Estatística e Genética, versão 9.1 (SAEG, 2007). Os dados foram submetidos aos testes de homogeneidade de variância (Cochran) e normalidade (Lilliefors) e, posteriormente, à análise de variância (ANOVA) para determinar os efeitos isolados e de interação entre os fatores concentrações de PBZ e regimes de irrigação. Posteriormente, foi realizada a análise de regressão pelo método dos polinômios ortogonais, cujos modelos de melhor ajuste foram definidos com base no nível de significância pelo teste "F" (10, 5 e 1% de probabilidade) e na magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2 \geq 60$ ) associado ao valor biológico.

Para as características de interesse: condutância estomática e teor relativo de água foliar ao meio-dia, avaliado aos 140 DAE, independente da ocorrência de interação na análise de variância, foi realizado o desdobramento em função do regime hídrico.

## **3. Resultados**

Os regimes de irrigação afetaram a maioria das características avaliadas, mas as concentrações de PBZ não foram tão eficazes quanto ao fator acima mencionado, principalmente quando foram analisadas características fisiológicas, como  $\Psi_w$  foliar no antemanhã, TRA, CAR, EE, índice SPAD e trocas gasosas foliares. A maior expressão das concentrações de PBZ foi verificada para o acúmulo de massa e

morfologia da parte aérea, exceto para DR e AFI aos 140 DAE. A interação entre o regime de irrigação e as concentrações de PBZ foi observada para  $\Psi_w$  antemanhã,  $\Psi_w$  ao meio-dia e TRA aos 140 DAE e teor de carotenoides foliares (tabela 1).

**Tabela 1** - Resumo da análise de variância do potencial hídrico foliar antemanhã e ao meio-dia ( $\Psi_w$  pd e  $\Psi_w$  md), teor relativo de água foliar antemanhã e ao meio-dia (TRA am e TRA md), condutância estomática (*gs*), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), taxa de transpiração (*E*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), extravasamento de eletrólitos (EE), eficiência intrínseca do uso da água (*A/gs*), eficiência no uso da água (*A/E*), eficiência de carboxilação (*A/Ci*), temperatura foliar (TF), diâmetro basal (DB), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), teor de carotenoides (Car), índice SPAD (SPAD), área foliar total (AFT), área foliar individual (AFI), altura (ALT), área foliar específica (AFE), massa fresca e seca da parte aérea (MFPA, MSPA), massa fresca e seca da raiz (MFR, MSR), massa fresca e seca total (MFT, MST), diâmetro da raiz (DR) e volume de raiz (VR), teores de clorofila a, b e a + b (Chl: a, b, a + b) de plantas de maracujazeiro - azedo submetidas a diferentes concentrações de regulador de crescimento (C) e regimes de irrigação (RI), avaliados aos 110 e/ou 140 dias após a emergência.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS																	
		$\Psi_w$				TRA				<i>gs</i>		<i>A</i>		<i>E</i>		<i>Ci</i>		EE	
		am		md		am		md		110	140	110	140	110	140	110	140	110	140
BL	3	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	**	ns	**	*	**	**	ns	**
RI	3	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	ns
C	4	ns	ns	**	**	ns	**	ns	ns	**	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
RI x C	12	ns	**	**	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		25,7	33,2	29,6	37	4,2	5,3	4,8	5,4	21,8	24,4	13,9	23,7	17,2	24,8	6,6	16,2	25,5	

FV	GL	<i>A/gs</i>		<i>A/E</i>		<i>A/Ci</i>		TF		DB		DC		NF		Car	SPAD	
		110	140	110	140	110	140	110	140	110	140	110	140	110	140	140	110	140
		BL	3	**	ns	**	ns	**	*	**	**	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
RI	3	**	**	**	ns	ns	**	ns	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C	4	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	**	ns	ns	ns
RI x C	12	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	*	ns	ns
CV (%)		15	29,4	20,5	41,3	15,3	31,2	3,9	3,7	8	8,7	10,1	10,5	7,7	19,8	16,7	12,5	12,6

FV	GL	AFT		AFI		ALT	AFE	MFPA	MFR	MFT	MSR	DR	VR	MSPA	MST	CI		
		110	140	110	140	110										a	b	a + b
		140																
BL	3	**	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
RI	3	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**
C	4	**	**	**	ns	**	*	**	**	**	**	ns	*	**	**	*	**	**
RI x C	12	**	**	**	ns	**	**	**	*	**	ns	ns	ns	**	**	ns	ns	ns
CV (%)		12,5	15,1	14,1	18,6	14,7	10,6	13,9	24,3	12,7	20,9	25,4	29,9	13	11,7	18,2	30,1	29

ns, \* e \*\*: não significativo, significativo pelo teste “F” ao nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; BL: bloco; RES: resíduo; CV: coeficiente de variação.

Quando analisados o  $\Psi_w$  foliar e TRA em função das concentrações de PBZ e regimes de irrigação, foi mais expressivo ao meio-dia do que no antemanhã e na última avaliação (140 DAE), em comparação com a primeira (110 DAE) (Fig. 2). As relações entre  $\Psi_w$  foliar e TRA com regimes de irrigação e concentrações de PBZ foram delineadas por valores crescentes, com exceção do  $\Psi_w$  foliar, avaliada aos 140 DAE, tanto para o antemanhã quanto para o meio-dia. A variação das

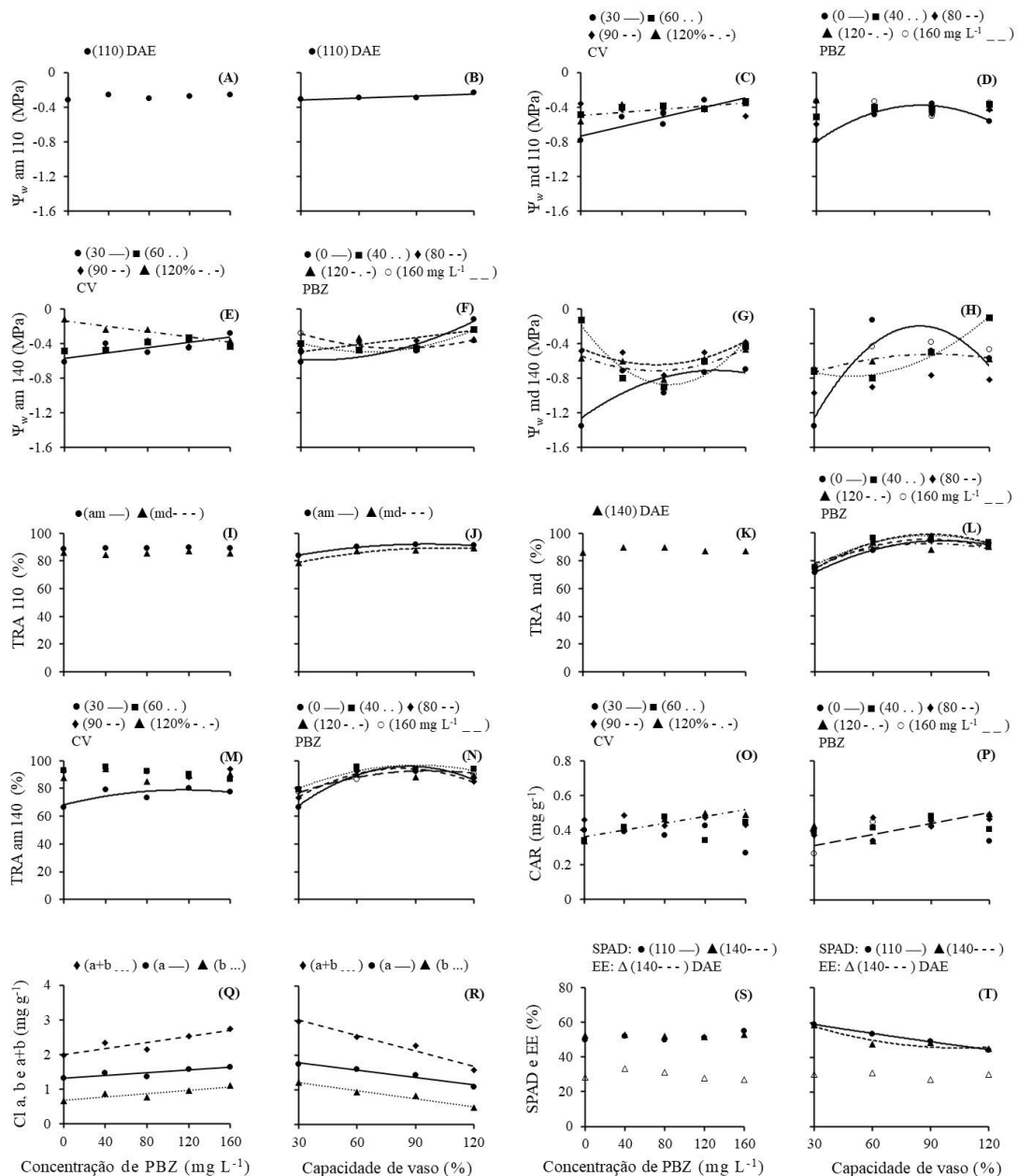


concentrações de PBZ resulta em uma redução dos valores de  $\Psi_w$  foliar antemanhã para as plantas submetidas a 120% da capacidade de vaso (CV), em contraste com valores crescentes das plantas submetidas a 30% de CV (Fig. 2E).

Ao meio-dia, apesar do estabelecimento de equação quadrática para o  $\Psi_w$  foliar em função das concentrações de PBZ, para todos os regimes de irrigação, a capacidade de vaso de 30% mantém os valores crescentes em relação ao regulador de crescimento, enquanto para os demais tratamentos da capacidade de vaso, os valores permaneceram abaixo do controle (Fig. 2 G). Aos 140 DAE, quando o  $\Psi_w$  foliar foi avaliado no antemanhã e associado aos regimes de irrigação, houve aumento dos valores para o tratamento controle (Fig. 2 F). Ainda aos 140 DAE, para o controle e plantas submetidas a concentrações de 40 e 120 mg L<sup>-1</sup> PBZ, maior amplitude de valores foi verificada, quando o  $\Psi_w$  foliar foi avaliado no período do meio-dia (Fig. 2 H), em comparação com o observado no antemanhã (Fig. 2 F,H).

Para todos os ajustes de TRA relacionados à concentração de PBZ e regimes de irrigação, foi definido modelos quadráticos (Fig. 2 J, L, M, N). Em relação ao fator regulador de crescimento, não foi possível delinear modelo matemático para o TRA (Fig. 2 I, K), exceto para plantas mantidas em regime de irrigação de 30% de capacidade de vaso avaliados aos 140 DAE, no horário do antemanhã, sendo caracterizadas por incrementos no TRA (Fig. 2 M). Os valores de TRA permaneceram superiores ao tratamento 30% da capacidade de vaso para todos os regimes de irrigação estudados (Fig. 2 M). Quando analisado o regime de irrigação, aos 110 DAE, verificou-se um menor aumento do TRA em função do incremento do regime de irrigação, com valores maiores observados no antemanhã em comparação ao meio-dia (Fig. 2 J). Na condição de 30% de capacidade de vaso, o TRA de todas as plantas expostas ao tratamento com PBZ foram maiores em relação ao controle (Fig. 2 L, N).

Aos 140 DAE, quando o TRA foi analisado em função dos regimes de irrigação, verificou-se aumentos entre 83,04 e 97,68% de capacidade de vaso no antemanhã e entre 88,41 e 95,55% da capacidade de vaso nas avaliações do meio-dia (Fig. 2 L, N). Vale ressaltar que, ao longo da disponibilidade hídrica às plantas submetidas ao tratamento de 40 mg L<sup>-1</sup> PBZ, os valores de TRA permaneceram maiores em relação aos demais tratamentos (Fig. 2 N).

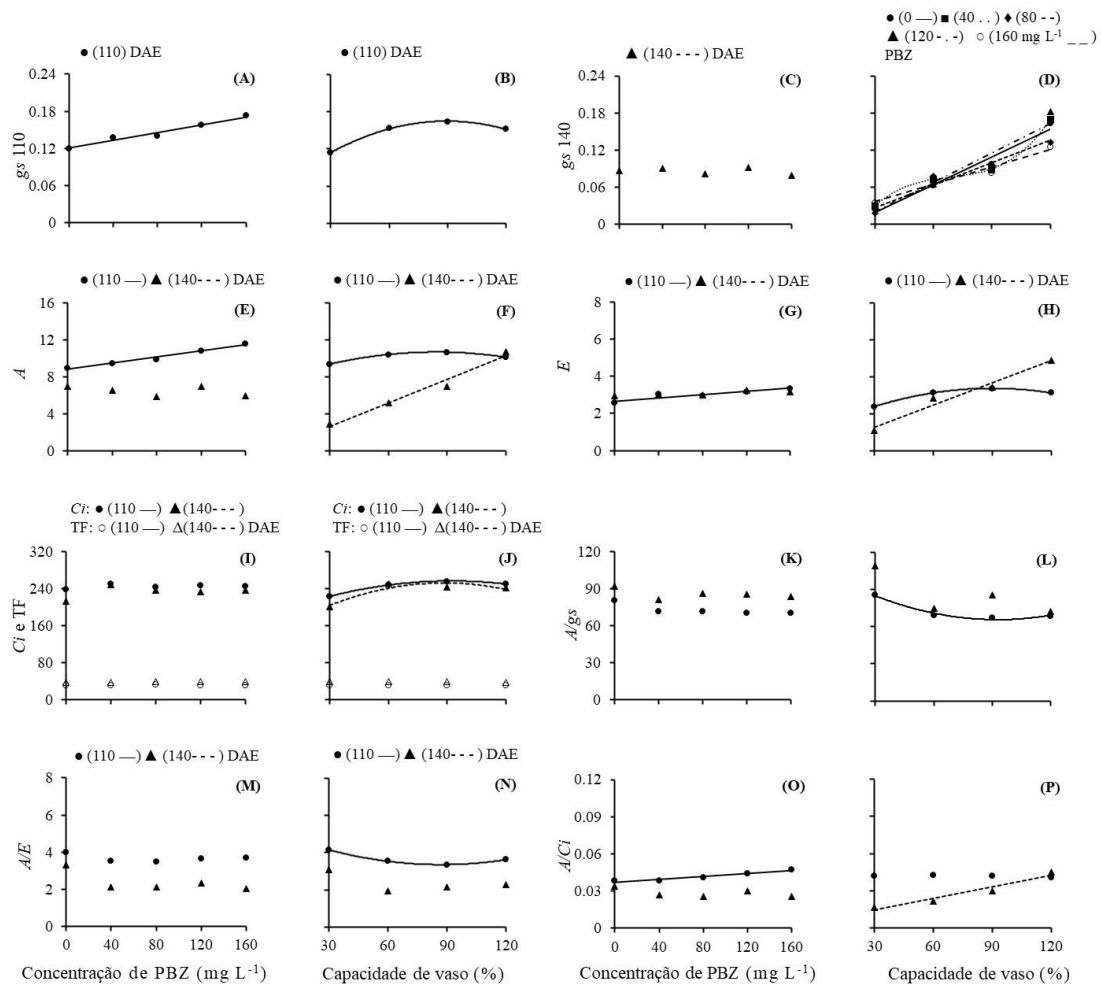


**Fig. 2.** Características fisiológicas e bioquímicas de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e % capacidade de vaso (CV). (A, B): potencial hídrico foliar -  $\Psi_w$  aos 110 dias após a emergência (DAE) no antemanhã (am); (C, D):  $\Psi_w$  aos 110 DAE no período do meio-dia (md); (E, F):  $\Psi_w$  am aos 140 DAE; (G, H):  $\Psi_w$  md aos 140 DAE; (I, J): teor relativo de água foliar – TRA am e md aos 110 DAE; (K, L): TRA md aos 140 DAE; (M, N): TRA am aos 140 DAE; (O, P): teor de carotenoides – CAR aos 140 DAE; (Q, R): teor de clorofila a, b, a + b - Cl aos 140 DAE e (S, T): índice SPAD – SPAD aos 110 e 140 DAE e extravasamento de eletrolítico – EE aos 140 DAE. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos no Apêndice A1 no material suplementar.

Houve aumento dos teores de carotenoides para as plantas submetidas a 120% de disponibilidade hídrica (Fig. 2 O) e para 160 mg L<sup>-1</sup> de PBZ (Fig. 2 P), quando se

desdobrou a interação entre as concentrações de PBZ e o regime de irrigação. Incrementos nos teores de clorofila (Cl a, Cl b e Cl a, b) foram estabelecidos, quando o gradiente de concentrações do regulador de crescimento foi avaliado (Fig. 2 Q). O efeito oposto ocorreu com os regimes de irrigação, caracterizados por um modelo linear decrescente (Fig. 2 R), sendo observado o mesmo efeito para o índice Spad, aos 110 e 140 DAE, porém caracterizado por modelo quadrático (Fig. 2 T). O extravasamento de eletrólitos, aos 140 DAE, não foi afetado pelos tratamentos com regulador de crescimento e regimes de irrigação (Fig. 2 S,T).

Os incrementos dos valores de  $g_s$ ,  $A$ ,  $E$  e  $A/C_i$ , em função das concentrações de PBZ, foram verificados apenas para o período de avaliação 110 DAE, sendo definidos por modelos lineares. Nenhum ajuste foi mantido aos 140 DAE, indicando que o efeito direto ou indireto do PBZ não foi persistente em estádios posteriores de desenvolvimento do maracujazeiro - azedo (Fig. 3 A, C, E, G, O). Aos 110 DAE, quando avaliado o regime de irrigação, o efeito para  $g_s$ ,  $A$ ,  $E$  e  $C_i$ , inicialmente, foi definido por um modelo quadrático, estabelecendo um nível intermediário com uma disponibilidade ótima de nível de água (Fig. 3 B, F, H, J).



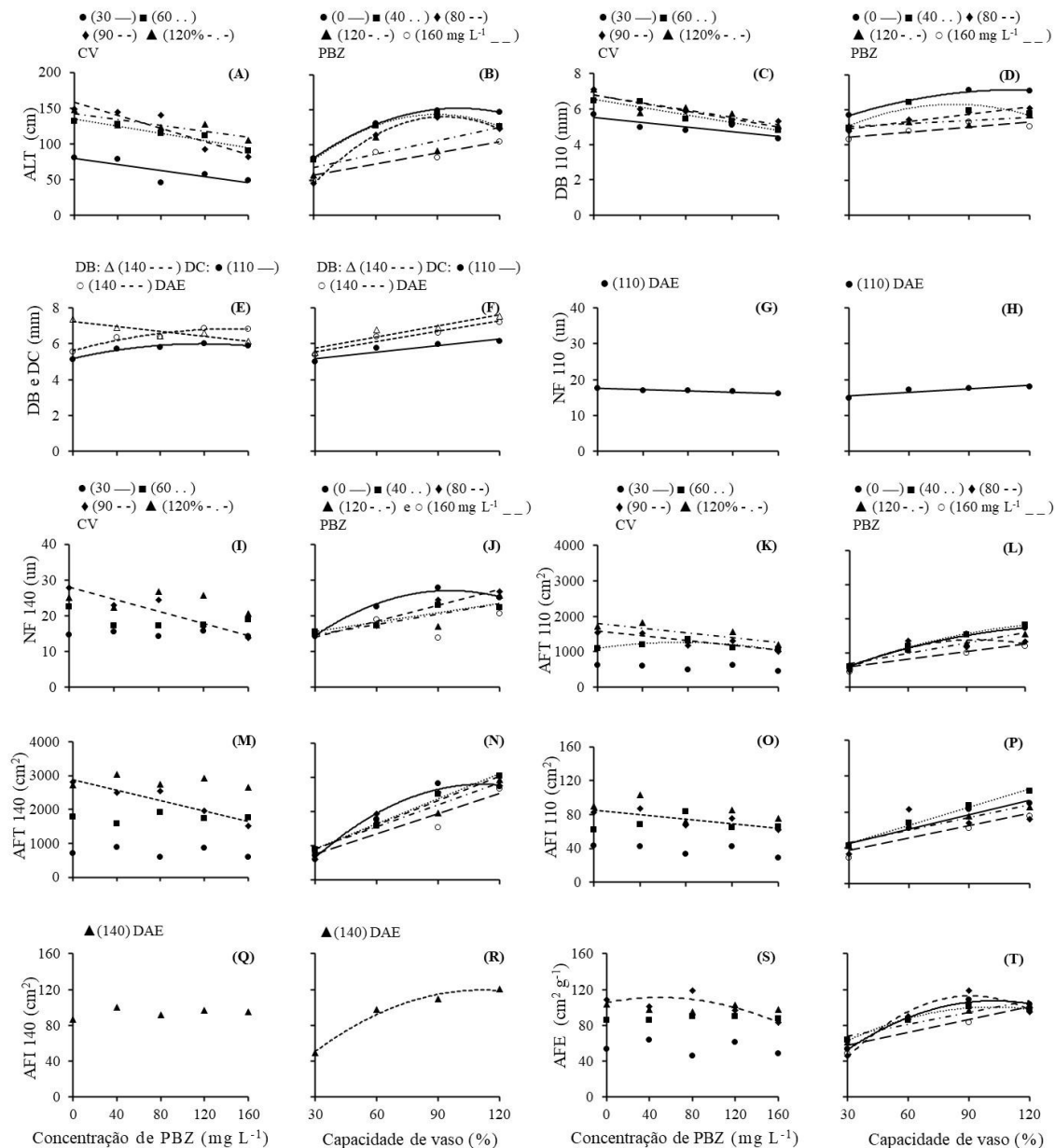
**Fig. 3.** Trocas gasosas foliares de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e % capacidade de vaso (CV), aos 110 e 140 dias após a emergência (DAE). (A, B, C, D): condutância estomática –  $g_s$ ; (E, F): taxa de assimilação líquida de  $CO_2$  –  $A$ ; (G, H): taxa de transpiração –  $E$ ; (I, J): concentração interna de  $CO_2$  –  $C_i$ ; temperatura foliar - TF; (K, L): eficiência intrínseca do uso da água –  $A/g_s$ ; (M, N): eficiência do uso da água -  $A/E$  e (O, P): eficiência da carboxilação -  $A/C_i$ . Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos no Apêndice A1 no material suplementar.

Nas fases posteriores (140 DAE), os valores crescentes das relações entre os parâmetros das trocas gasosas foliares relacionados aos regimes de irrigação foram mantidos, porém houve uma mudança para o modelo linear (Fig. 3 D, F, H). Houve um efeito promissor para as plantas submetidas a  $40 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ, estabelecido pelo modelo de terceira ordem, caracterizando, em níveis intermediários (entre 60 a 90% CV), um patamar de manutenção de valores para  $g_s$  (Fig. 3 D).

Quando a relação entre  $C_i$  e regime de irrigação foi analisado, isoladamente, o modelo quadrático ajustado na fase inicial persistiu aos 140 DAE, definindo o intervalo de 88,52

a 92,5% como condição hídrica que resulta em maiores valores de  $C_i$  (Fig. 3 J). Aos 140 DAE, a redução contrastante de  $C_i$  em comparação com o aumento mantido de  $g_s$ ,  $A$  e  $E$  em função do regime de irrigação, a partir de 88%, foi relacionado a maior eficiência do metabolismo enzimático que contribuiu para mitigar o  $C_i$  nos espaços intercelulares do tecido foliar (Fig. 3 J).

Em relação às taxas que envolvem  $A$  como numerador, apenas para  $A/C_i$  aos 110 DAE, houve um modelo linear ajustado à concentração de PBZ, denotando aumento em relação ao incremento das concentrações do regulador (Fig. 3 O). A redução dos valores de  $A/g_s$  e  $A/E$  foram verificados, quando o regime de irrigação foi analisado, com decréscimo até 92,74% e 107,25% da capacidade de vaso, respectivamente, correspondendo a 16,87 e 22,72% inferior em relação à menor disponibilidade hídrica (30%), respectivamente (Fig. 3 L, N). Embora tenham-se elevado os parâmetros de trocas gasosas em relação aos regimes de irrigação, quando as taxas envolvendo  $A$  como numerador foi considerado, houve uma tendência de decréscimo de  $A/g_s$  e  $A/E$ , denotando a menor magnitude de valores de  $A$  em comparação com  $g_s$  e  $E$  (Fig. 3 L, N). Aos 140 DAE, houve incremento da  $A/C_i$  em 194,24%, para plantas cultivadas com 120% de disponibilidade hídrica, em comparação com aquelas cultivadas com 30% (Fig. 3 P).



**Fig. 4.** Características morfológicas de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e % capacidade de vaso (CV). (A, B): altura – ALT; e (C, D): diâmetro basal – DB aos 110 dias após a emergência (DAE); (E, F): DB 140 DAE e diâmetro do caule – DC aos 110 e 140 DAE; (G, H): número de folhas – NF aos 110 DAE; (I, J): NF aos 140 DAE; (K, L): área foliar total – AFT aos 110 DAE; (M, N): AFT aos 140 DAE; (O, P): área foliar individual – AFI aos 110 DAE; (Q, R): aos AFI 140 DAE e (S, T): área foliar específica – AFE 140 DAE. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos no Apêndice A1 no material suplementar.

A redução da maioria das características morfológicas foi verificada em relação às concentrações de PBZ, ajustadas às equações lineares e quadráticas (Fig. 4 A, C, E, G, I, K, M, O, S). Verificou-se, apenas para DB, um leve aumento, relacionado a uma alteração anatômica decorrente do tratamento com triazol (Teixeira et al., 2019) (Fig. 4 E). Para os

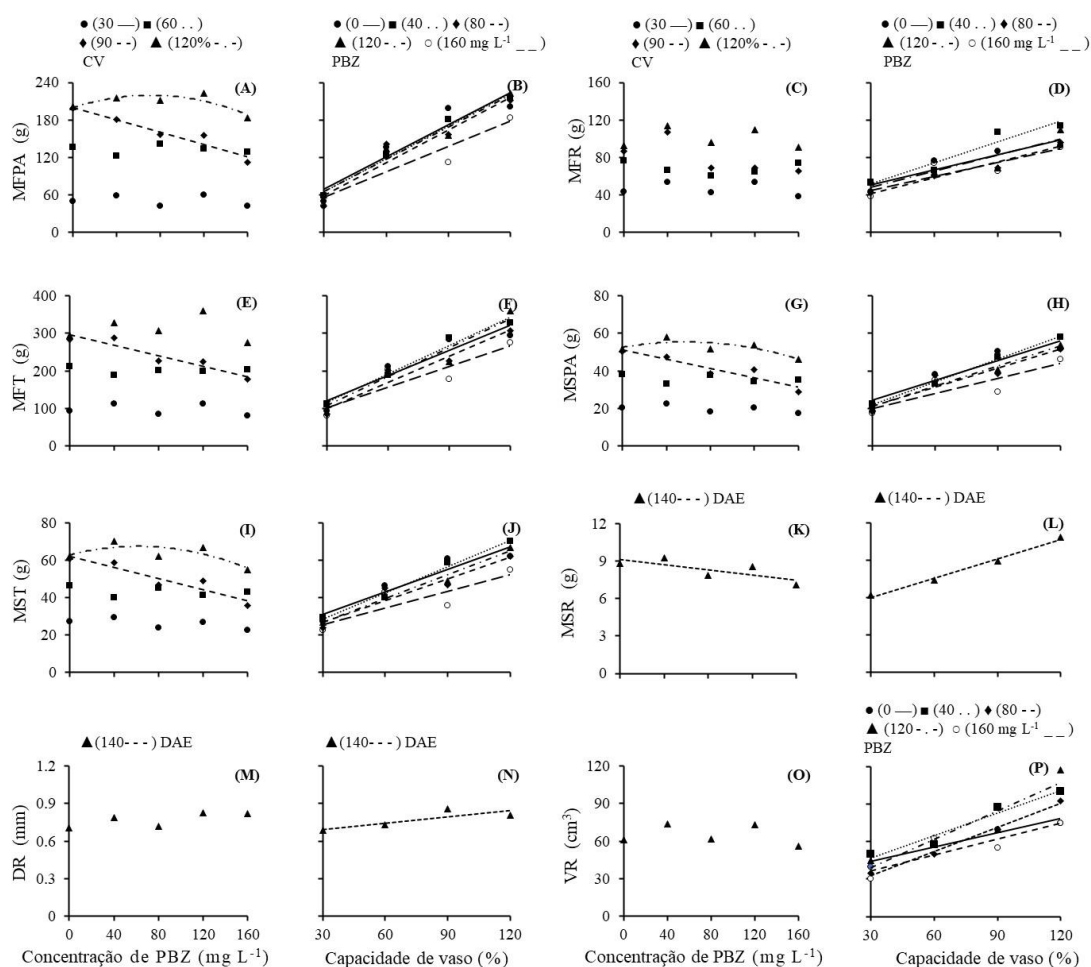
modelos ajustados em função das concentrações de PBZ, o menor nível de disponibilidade hídrica (30% CV) determinou a restrição do crescimento, resultando em menores valores de ALT e DB em todas as faixas do regulador, em comparação com os demais regimes de irrigação (Fig. 4 A, C). Para as características foliares, essa redução foi mais expressiva, quando as plantas foram submetidas a maiores disponibilidades hídricas, principalmente a 90% da capacidade do vaso (Fig. 4 I, M, O, S).

Quando o regime de irrigação foi analisado, foi ajustado modelo linear e quadrático, conferindo valores crescentes. Conforme esperado, o tratamento com PBZ restringiu o vigor do crescimento, sendo observados, nas plantas controle, os maiores valores da quase totalidade dos parâmetros morfológicos. A mudança do modelo quadrático para linear, para a relação entre algumas características da parte aérea, como ALT, DB, NF, AFT, AFE com a disponibilidade de água, promovida pelo tratamento PBZ, foi um fato que corroborou o estabelecimento de uma relação mais ortodoxa entre crescimento e disponibilidade de água (Fig. 4 B, D, J, L, N, T).

A relação entre o acúmulo de biomassa e as concentrações de PBZ foi expressa apenas para níveis mais elevados de regimes de irrigação (90 e 120% CV) (Fig. 5 A, E, G, I). Modelo linear decrescente foi observado para MFPA, MFT, MSPA e MST, apenas na condição de regime de irrigação de 90%, com redução de 39,44, 37,66, 39,07 e 38,63%, em comparação entre as plantas submetidas a 160 mg L<sup>-1</sup> de PBZ e tratamento controle, respectivamente (Fig. 5 A, E, G, I). Modelo quadrático foi verificado para um regime de irrigação de 120%, quando MFPA, MSPA e MST, aos 140 DAE, foram associados às concentrações de PBZ, sendo caracterizado por um aumento de até 72,08, 54,44 e 61,41 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, respectivamente (Fig. 5 A, G, I). Pode-se inferir que, quando analisado o tratamento com PBZ, o acúmulo de biomassa para o regime de irrigação de 120% resultou em valores maiores, quando comparado ao regime de irrigação de 90% (Fig. 5 A, G, I).

Incremento linear crescente foi observado para o acúmulo de biomassa fresca e seca e para as características das raízes, quando o regime de irrigação foi considerado (Fig. 5 B, D, F, H, J, L, N, P), descrevendo que a máxima disponibilidade hídrica adotada neste estudo não restringe o crescimento da planta. O maior coeficiente angular (MFR: 0,74; MFT: 2,50; MSPA: 0,40; MST: 0,46), para plantas submetidas à concentração de 40 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, estaria associado à maior sensibilidade das plantas tratadas com 40 mg L<sup>-1</sup>, a níveis crescentes de porcentagem do regime de irrigação. O maior diferencial em relação ao controle (0 mg L<sup>-1</sup> de PBZ) foi verificado para MFR, com aumento de 20,6% (Fig. 5 D). Para as plantas submetidas à concentração de 160 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, foram

observados valores menores, associados a menores valores de coeficientes angulares (MFR: 0,49; MFT: 1,85; MSPA: 0,26; MST: 0,29) em comparação aos demais tratamentos.



**Fig. 5.** Massas frescas e secas e morfologia do sistema radicular de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e % capacidade de vaso (CV). (A, B): massa fresca da parte aérea – MFPA; (C, D): massa fresca da raiz – MFR; (E, F): massa fresca total – MFT; (G, H): massa seca da parte aérea – MSPA; (I, J): massa seca total -MST; (K, L): massa seca da raiz – MSR; (M, N): diâmetro da raiz - DR e (O, P): volume da raiz - VR. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos no Apêndice A1 no material suplementar.

#### 4. Discussão

A capacidade de induzir menor variação do  $\Psi_w$  foliar pela redução da condutância estomática em maracujazeiro, sob condições de restrição hídrica, determina a sua classificação como planta isohídrica, segundo as observações de Lozano-Montana et al. (2021), em plantas de maracujazeiro roxo. Entretanto, essa classificação é altamente vulnerável às condições ambientais do estudo, estágio fenológico da cultura, severidade e duração do estresse (Martinez, 2013; Lozano-Montana et al.,



2021). Neste estudo, a matriz de observação são os tratamentos com disponibilidade hídrica variando entre 30 e 120% do regime de irrigação, condição bastante próxima à realidade de cultivo de maracujazeiros, gerados por veranicos, solos mal drenados ou por escolha de manejo incorreto da irrigação (Araújo, et al., 2012). Essa situação pode restringir o vigor de crescimento e desenvolvimento, mas não causa o colapso completo da planta (Huang et al., 2019). Neste estudo, os estresses hídricos propostos e as concentrações do regulador de crescimento não afetaram a integridade dos tecidos, fato observado pela homogeneidade do extravasamento de eletrólitos.

Dentro desse cenário, foram verificadas que as concentrações de 40 e 120 mg L<sup>-1</sup> do regulador de crescimento induziu à menor variação no  $\Psi_w$  foliar ao meio-dia, em função da disponibilidade hídrica, quando relacionado ao controle. De acordo com Restrepo-Diaz et al. (2010) e Goto et al. (2021), situações de extremos hídricos induzem alterações em processos físicos, químicos e biológicos, resultando em sintomas muito semelhantes para a condição de déficit e excesso de água. Para o presente estudo, as plantas do tratamento controle, conduzidas em níveis de restrição hídrica, foram caracterizadas por redução de crescimento,  $\Psi_w$  foliar ao meio-dia, teor relativo de água, condutância estomática e trocas gasosas. Discordando de Goto et al. (2021), Pérez-Jimenez et al. (2021) e Olorunwa et al. (2022), para plantas conduzidas em níveis superiores a 90% do regime de irrigação, somente a redução de  $\Psi_w$  foliar e teor relativo de água foliar foram mantidas como características semelhantes à condição de restrição hídrica.

A habilidade isohídrica relacionada à manutenção do  $\Psi_w$  foliar, decorrente da redução da condutância estomática das plantas, foi manifestada apenas para plantas sob déficit hídrico, não sendo observada para plantas conduzidas em excesso de água.

O fechamento estomático é um processo que pode estabilizar a manutenção  $\Psi_w$  foliar, restringindo a transpiração foliar (Martínez-Vilalta e Garcia-Forner, 2017). Entretanto, existem outros processos dependentes do fechamento estomático que podem reduzir a transpiração da planta, como o ajustamento osmótico e a redução da área foliar total por meio da restrição ao alongamento ou abscisão (Ammar et al., 2020; Bañón et al., 2022). Para plantas conduzidas em ambientes com níveis hídricos superiores a 30% do regime de irrigação, a aplicação do regulador foi associada à redução do  $\Psi_w$  foliar ao meio-dia, sugerindo uma possível ativação do mecanismo de ajuste osmótico nessas plantas. No entanto, esse fato não foi efetivo em manter a condutância estomática superior ao controle. O ajustamento osmótico é um processo em que a transpiração pode

ser reduzida sem fechamento estomático (Ilyas et al., 2020). O aumento de osmólitos, como prolina, betaína ou manitol, condicionam o decréscimo do potencial osmótico celular, resultando em um  $\Psi_w$  foliar mais negativo (Khaleghi et al., 2019; Abobatta, 2020), reduzindo o déficit de pressão de vapor entre planta-atmosfera, levando à diminuição da transpiração, e mantendo os estômatos abertos.

A redução da superfície transpiratória das plantas, condicionada por decréscimos da relação entre número de folhas, área individual e total das folhas em função das concentrações do regulador, constitui-se em economia hídrica, independente do mecanismo de fechamento estomático. Embora a redução da área foliar individual esteja associada à elevação da densidade e das dimensões dos estômatos (Doheny-Adams et al., 2012), resultando em maior condutância estomática e incremento nas taxas de trocas gasosas (Xu e Zaou, 2008; Sousa et al., 2018), quando se analisa a planta como um todo, o efeito da redução da área superficial de transpiração foi preponderante para a otimização hídrica. Contudo, este fato pode ser corroborado pela maior quantidade de água mantida nas folhas, comprovada pela elevação do teor relativo de água foliar em função dos níveis de disponibilidade hídrica.

Para a condição de excesso de água, embora as taxas de transpiração tenham sido elevadas, a capacidade de fluxo transpiratório da planta foi reduzida, devido à menor área foliar total, quando tratada com PBZ, resultando em diminuição na taxa de transporte de água das raízes para a parte aérea, pela corrente transpiratória. Esse efeito foi corroborado pela redução do teor relativo de água, aos 140 DAE, na condição de disponibilidade hídrica superior a 90% no regime de irrigação.

Geralmente, sob condição de excesso de água, a redução da condutância estomática diminui a transpiração, fato não observado para o presente estudo (Rodriguez-Gamir, Juan et al., 2011). Sob condições de excesso de água, pode ocorrer hipóxia radicular e induzir uma diferenciação das raízes laterais, mantendo a absorção de água e as taxas de transpiração (Nicolás, et al., 2005). Em excesso de água, mesmo quando a condutância estomática e a transpiração são mantidas, a redução da condutividade hidráulica do sistema radicular pode causar maior resistência ao fluxo hídrico, reduzindo a capacidade de turgescência e expansão celular (Ehlert et al., 2009), conforme verificado no presente estudo.

Analisando o estresse hídrico em um amplo espectro, o termo que melhor representa os mecanismos de resistência ao estresse para o maracujazeiro - azedo seria "escape", pois este termo agrupa não apenas as relações entre condutância estomática e  $\Psi_w$  foliar,

conforme definido pelo efeito isohídrico, mas também constitui a redução da transpiração, otimização da absorção, transporte e armazenamento de água (Durand et al., 2016). Contudo, estes mecanismos foram manifestados nas plantas de maracujazeiro - azedo e otimizados pelo tratamento com o regulador de crescimento.

Os mecanismos de otimização da absorção de água foram verificados através das relações entre as características do sistema radicular e a disponibilidade de água. Os maiores valores de massa fresca da raiz foram verificados para plantas submetidas à concentração de 40 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, e quanto maior a disponibilidade de água, maiores foram os diferenciais de massa fresca de raiz em relação ao tratamento controle e demais tratamentos. O incremento no volume radicular de plantas, submetidas a concentrações de PBZ de 40, 80 e 120 mg L<sup>-1</sup>, também foi um importante indicativo da ocorrência de aumento da absorção de água, pois possibilita maior frequência de interceptação radicular. O aumento no volume da raiz foi relatado anteriormente para outras espécies sob restrição da síntese de giberelina (Te-chato et al., 2009; Kamran et al., 2018) e para mudas de maracujazeiro - azedo, sendo associado ao aumento do número de camadas celulares e espessura do córtex radicular (Teixeira et al., 2019). A inibição da biossíntese da giberelina pelo PBZ altera o alongamento e a divisão celular, condicionando uma redução no crescimento longitudinal e aumento radial (Nepomuceno et al., 2007).

O inibidor da biossíntese da giberelina afeta, em menor magnitude, os tecidos das fases de diferenciação avançada (Mabvongwe et al., 2016), conforme observado para o diâmetro basal. Para o diâmetro do caule, houve incremento, pois o alongamento celular longitudinal do internódio é restringido pelo regulador, ocorrendo alteração do eixo principal de alongamento celular, resultando em maior crescimento no sentido radial (Wenzel et al., 2000). O incremento da espessura do córtex caulinar, pelo aumento do número de camada celular e no diâmetro do corte transversal, é uma alteração associada ao aumento do diâmetro caulinar em mudas submetidas ao PBZ, conforme observado em estudos anteriores. Quando submetido ao PBZ, o aumento do diâmetro do caule também está associado à maior atividade de diferenciação do câmbio vascular, resultando em menor espessura deste tecido, maior densidade de vasos do xilema com menor calibre e paredes celulares mais lignificadas (Teixeira et al., 2019).

Maior densidade de vasos do xilema pode elevar a condutividade da água e, conseqüentemente, aumentar a eficiência do uso da água sob déficit hídrico (Edziri et al., 2021). Além disso, durante o suprimento de água, vasos xilemáticos com menor diâmetro são menos vulneráveis à embolia, predominante em condições de déficit

hídrico (Knipfer et al., 2015; Hernandez-Espinoza e Barrios- Masias, 2020).

O alongamento celular é o principal processo limitado pela restrição hídrica (Sousa et al., 2018) e inibição da biossíntese de giberelina (Oliveira et al., 2020). Especificamente, redução da área foliar individual, conforme observado, também é um mecanismo de adaptação à redução da disponibilidade hídrica (Sousa et al., 2018). Neste estudo, verificou-se a redução do limbo foliar pelo regulador de crescimento. Essa alteração morfológica induz à maior densidade de venação, resultando em maior condutividade hidráulica foliar (Nardini et al., 2014). Entretanto, essa relação é válida apenas em situações em que ocorram a elevação do número de vasos do xilema e o diâmetro da nervura principal simultaneamente à redução do limbo foliar (Mauri et al., 2020), conforme observado em mudas submetidas ao PBZ (Teixeira et al., 2019).

A inibição da biossíntese de giberelina nas plantas condicionou a elevação do teor de água nos tecidos (Teixeira et al., 2021), sendo este fato verificado a partir do decréscimo da área foliar específica (regime de irrigação de 90%) e da elevação do teor relativo de água nas folhas (regime de irrigação de 30%) em função das concentrações do regulador. A superioridade do teor relativo de água nas folhas e massa fresca nas raízes, em função dos níveis de disponibilidade hídrica para plantas submetidas a  $40 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ, foi um indicativo do potencial de armazenamento de água desses órgãos, induzido pelo regulador. Similarmente, Teixeira et al. (2019, 2021), utilizando concentrações semelhantes de PBZ em mudas de maracujazeiro - azedo, constataram incremento no diâmetro e volume radicular, que foram associados ao maior número de camadas celulares e espessura do córtex. Tais efeitos foram relacionados às alterações na relação fonte-dreno, resultando em maior fluxo de água e nutrientes para o sistema radicular em detrimento da restrição da parte aérea.

O decréscimo de valores da área foliar específica, condicionada pelo regulador de crescimento, sugere aumento da espessura foliar. De acordo com Teixeira et al. (2019), o aumento da espessura do parênquima paliçádico e esponjoso condicionou em incremento na espessura do limbo foliar de maracujazeiro - azedo. Este fato foi associado à elevação do alongamento no sentido longitudinal das células pelo PBZ. Dessa forma, o efeito do regulador sugere estar mais relacionado a alterações do eixo de expansão celular e não simplesmente ao estímulo ou restrição do alongamento das células (Plaza-Wuthrich et al., 2016). De acordo com Sousa et al. (2018), o aumento da espessura do limbo foliar foi relacionado à elevação da capacidade fotossintética das plantas, devido à otimização de mecanismo de fechamento dos estômatos em condições

de restrição hídrica.

As alterações promovidas pelo regulador, para a condutância estomática, condicionaram a elevação da transpiração e fotossíntese em função das concentrações do regulador até 110 DAE, e em função da disponibilidade hídrica, em ambos os períodos de avaliação. No entanto, a partir do coeficiente angular dos modelos, foi verificado maior coeficiente para a fotossíntese (0,0164), quando comparado à transpiração (0,0044), em função das concentrações do regulador. Quando se analisou os modelos estabelecidos em função do regime de irrigação, foi verificada semelhança entre os coeficientes angulares dos modelos. Portanto, conclui-se que o diferencial de condicionamento das plantas de maracujazeiro - azedo, em decorrência das concentrações do regulador de crescimento, não se manifestou para as variações de regimes hídricos impostos neste estudo.

A elevação dos teores de clorofila, em função das concentrações do regulador, foi relacionada ao efeito do PBZ em restringir a expansão do limbo foliar e, conseqüentemente, à elevação da concentração do pigmento (Yooyongwech et al., 2017). O efeito de "diluição" condicionou os decréscimos da relação dos teores de clorofila em função da regime de irrigação.

O aumento de pigmentos carotenoides, em função das concentrações de PBZ, é um indicativo de possibilidade de manejo desse regulador para elevar a capacidade antioxidante das plantas. No entanto, esse efeito foi verificado apenas para a condição de disponibilidade hídrica elevada, restringindo essa possibilidade de intervenção para cultivos em áreas com manejo de irrigação bem estabelecido. O estabelecimento da concentração de 160 mg L<sup>-1</sup> de PBZ também é um fator importante a ser observado, pois a eficácia em elevar os teores de carotenoides, em função do regime de irrigação, não foi observada neste estudo para as menores concentrações do regulador.

Embora as estratégias de alterações morfofisiológicas induzidas pelo PBZ tenham condicionado a maior capacidade de adaptação das plantas à restrição hídrica, não foi verificada a elevação do potencial de crescimento das plantas de maracujazeiro - azedo. A restrição do crescimento e os gastos metabólicos que envolveram os mecanismos de adaptação determinaram o menor acúmulo de massa das plantas submetidas ao regulador de crescimento, em condições de déficit hídrico.

Para condições de níveis supra-ótimos de disponibilidade hídrica (Souza e Ribeiro, 2016), quando analisados os tratamentos com PBZ, o emprego de baixas concentrações (40 mg L<sup>-1</sup>) elevou a área foliar individual aos 110 DAE, a massa fresca da raiz e a

massa seca total. Alterações no tecido foliar e radicular e otimização da expressão de enzimas antioxidantes são algumas das estratégias que as plantas utilizam para aumentar sua resiliência nessas condições. Especificamente, a indução de aerênquima lisogênico é uma das mais importantes alterações no tecido radicular da planta para garantir o suprimento de oxigênio e prevenir outros possíveis danos em condições de excesso de água (Pan et al., 2021). Para o maracujazeiro, as condições de inundação estão associadas ao aumento dos níveis de etileno que induzem a formação de aerênquima e raízes adventícias. O etileno promove a lise das células do córtex, resultando na formação de aerênquima lisogênico, evitando a condição de hipóxia, e formando óxidos de ferro, cobre e manganês (Singh et al., 2020).

A indução de aerênquima, aliada à elevação de compostos fenólicos mediante a exposição das mudas ao inibidor da biossíntese de giberelina (Teixeira et al., 2019), pode resultar na otimização do mecanismo de adaptação das plantas. Portanto, para condições de excesso de água, sugere-se que o tratamento de mudas com 40 mg L<sup>-1</sup> de PBZ induza mecanismos de reserva e absorção, pela elevação da massa fresca das raízes, resultando em maior potencial de acúmulo de massa seca total e vigor das plantas de maracujazeiro - azedo.

## 5. Conclusões

O tratamento com paclobutrazol, na fase de mudas, promove alterações morfofisiológicas relacionadas com o mecanismo de escape ao déficit hídrico e são mantidas após o transplante. Considerando a condição de restrição hídrica, a menor variação no  $\Psi_w$  foliar determinado ao meio-dia é recíproca à condutância estomática, resguardando a expressão isohídrica em plantas de maracujazeiro - azedo submetidos a menores concentrações de reguladores. Para a disponibilidade hídrica, moderadamente acima do nível recomendado, a reciprocidade entre a redução do  $\Psi_w$  foliar determinado ao meio-dia e a condutância estomática só se mantém em tratamentos com menores concentrações de paclobutrazol. Sob estresse induzido por excesso de água, o armazenamento e o aumento da capacidade de absorção hídrica pelas raízes são mecanismos que otimizam o vigor de plantas de maracujazeiro - azedo submetido à menor concentração de paclobutrazol (40 mg L<sup>-1</sup>). As alterações nos parâmetros morfofisiológicos dos mecanismos de escape, induzidas no período anterior ao estresse hídrico pelo regulador, aumentam a

resistência à seca. No entanto, a restrição do crescimento, nas fases iniciais do desenvolvimento vegetativo, reduz o vigor das plantas de maracujazeiro - azedo no desenvolvimento posterior.

### **Contribuições dos autores**

TEC, PLF e ACS conduziram o experimento, realizaram análises de campo e de laboratório, criaram gráficos e redigiram o manuscrito. MSN orientou a condução do experimento, realizou a análise estatística, corrigiu e redigiu o manuscrito. CMA, SCEM e LJC discutiram e corrigiu o manuscrito.

### **Declaração de Interesse Concorrente**

Os autores declaram que não têm interesses financeiros concorrentes conhecidos ou relacionamentos pessoais que possam parecer influenciar o trabalho relatado neste artigo.

### **Disponibilidade de dados**

Os dados serão disponibilizados mediante solicitação.

### **Agradecimentos**

Queremos agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Financiamento Código 001, pela bolsa recebida durante o período da pesquisa. Agradecemos também à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil, e ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia, pelo apoio.

### **Materiais complementares**

O material complementar, associado a este artigo, pode ser encontrado, na versão *online*, em doi:10.1016/j.scienta.2022.111480.

### **Referências**

Abobatta, W.F., 2020. Plant responses and tolerance to combined salt and drought stress. In: Hasanuzzaman M., Tanveer M. (eds). Salt and drought stress tolerance in plants. signaling and communication in plants. Springer, Cham pp. 17-52. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-40277-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-40277-8_2)

Ammar, A., Aissa, I.B., Mars, M., Gouiaa, M., 2020. Comparative physiological behavior of fig (*Ficus carica* L.) cultivars in response to water stress and

Araújo, H.F., Costa, R.N.T., Crisóstomo, J.R., Saunders, L.C.U., Moreira, O.C., Macedo, A.B.M., 2012. Produtividade e análise de indicadores técnicos do maracujazeiro-amarelo irrigado em diferentes horários. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 16(2), 159–164. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000200005>

Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24(1), 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>

Bañón, D., Lorente, B., Bañón, S., Ortuño, M.F., Sánchez-Blanco, M.J., Alarcón, J.J., 2022. Control of substrate water availability using soil sensors and effects of water deficit on the morphology and physiology of potted *Hebe andersonii*. *Agronomy*. 12(1), e206. <https://doi.org/10.3390/agronomia12010206>

Barbieri Jr., E., Rossiello, R.O.P., Morenz, M.J.F.; Ribeiro, R.C., 2010. Comparação de métodos diretos de extração e quantificação dos teores de clorofilas em folhas do capim-tifton 85. *Ciência Rural*. 40(3), 633-636. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010000300022>

Basso, C., Rodríguez, G., Rivero, G., León, R., Barrios, M., Padilla, G.D., 2019. Respuesta del cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) a condiciones de estrés por inundación. *Bioagro*. 31(3), 185-192.

Blanco-Cipollone, F., Lourenço, S., Silvestre, J., Conceição, N., Moñino, M.J., Vivas, A., Ferreira, M.I., 2017. Plant water status indicators for irrigation scheduling associated with iso-and anisohydric behavior: Vine and plum trees. *Horticulturae*. 3(47), e30300047. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3030047>

Borges, A.L., Souza, L.D., 2010. Recomendações de calagem e adubação para o maracujazeiro. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, comunicado técnico 141, 4 p.

Brodribb, T., Brodersen, C.R., Carriqui, M., Tonet, V., Dominguez, C.R., McAdam, S., 2021. Linking xylem network failure with leaf tissue death. *New Phytologist*. 232(1), 68-79. <https://doi.org/10.1111/nph.17577>

Casaroli, D., Jong Van Lier, Q.D., 2008. Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 32(1), 59-66. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100007>

Čatský, J., 1960. Determination of water deficit in disks cut out from leaf blades. *Biologia Plantarum*. 2(1), 76-78. <https://doi.org/10.1007/BF02920701>

Costa, S.J., Erasmo, E.A.L., Silva, J., Oliveira, T.C., 2018. Desempenho de híbridos de dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacq.) nas fases de pré-viveiro e viveiro. *Journal of Neotropical Agriculture*. 5(4), 34-39. <https://doi.org/10.32404/rean.v5i4.1435>

Davari, K., Rokhzadi, A., Mohammadi, K., Pasari, B., 2021. Paclobutrazol and amino acid-based biostimulant as beneficial compounds in alleviating the drought stress effects on safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 1-17. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00677-9>

Doheny-Adams, T., Hunt, L., Franks, P.J., Beerling, D.J., Gray, J.E., 2012. Genetic manipulation of stomatal density influences stomatal size, plant growth and tolerance to restricted water supply across a growth carbon dioxide gradient. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 367(1588), 547-555. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0272>

Durand, M., Porcheron, B., Hennion, N., Maurousset, L., Lemoine, R., Pourtau, N., 2016. Water deficit enhances C export to the roots in *Arabidopsis thaliana* plants with contribution of sucrose transporters in both shoot and roots. *Plant Physiology*. 170(3), 1460-1479. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01926>



- Edziri, H., Chehab, H., Aissaoui, F., Boujnah, D., Mastouri, M., 2021. Photosynthetic, anatomical and biochemical responses of olive tree (*Olea europaea*) cultivars under water stress. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*. 155(4), 740-746. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1779844>
- Ehlert, C., Maurel, C., Tardieu, F., Simonneau, T., 2009. Aquaporin-mediated reduction in maize root hydraulic conductivity impacts cell turgor and leaf elongation even without changing transpiration. *Plant Physiology*. 150(2), 1093-1104. <https://doi.org/10.1104/pp.108.131458>
- Fan, Z.X., Li, S.C., Sun, H.L., 2020. Paclobutrazol modulates physiological and hormonal changes in *Amorpha fruticosa* under drought stress. *Russian Journal of Plant Physiology*. 67(1), 122-130. <https://doi.org/10.1134/S1021443720010069>
- Faria, L.O., Souza, A.G.V., Alvarenga, F.P., Silva, F.C.M., Rego Jr. J.S., Amorim, V.A., Borges, L.P., Matos, F.S., 2020. *Passiflora edulis* growth under different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science*. 12(4), 231-238. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n4p231>
- Ferreira, R.T., Viana, A.P., Silva, F.H.L., Santos, E.A., Santos, J.O., 2016. Seleção recorrente intrapopulacional em maracujazeiro-azedo via modelos mistos. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 38(1), 158-166. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-260/14>
- Garg, N.K., Maheshwari, C., Changan, S.S., Kumar, V., Kumar, A., Singh, A., Ali, K., Tyagi, A., 2019. Paclobutrazol induced physico-biochemical manifestations to improve water stress in rice (*Oryza sativa*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 89(11), 80-84.
- Goto, K., Yabuta, S., Ssenyonga, P., Tamaru, S., Sakagami, J.I., 2021. Response of leaf water potential, stomatal conductance and chlorophyll content under different levels of soil water, air vapor pressure deficit and solar radiation in chili pepper (*Capsicum chinense*). *Scientia Horticulturae*. 281, e109943. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109943>
- Govêa, K.P., Cunha Neto, A.R., Resck, N.M., Moreira, L.L., Veronez Jr. V., Pereira, F.L., Polo, M., Souza, T.C., 2018. Morpho-anatomical and physiological aspects of *Passiflora edulis* Sims (passion fruit) subjected to flooded conditions during early developmental stages. *Biotemas*. 31(3), 15-23. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2018v31n3p15>
- Hernandez-Espinoza, L.H., Barrios-Masias, F.H., 2020. Physiological and anatomical changes in tomato roots in response to low water stress. *Scientia Horticulturae*. 265, e109208. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109208>
- Huang, S., Luo, H., Ashraf, U., Abrar, M., He, L., Zheng, A., Wang, Z., Zhang, T., Tang, X., 2019. Seed treatment with paclobutrazol affects early growth, photosynthesis, chlorophyll fluorescence and physiology of rice. *Applied Ecology and Environmental Research*. 17(1), 999-1012. [http://dx.doi.org/10.15666/aer/1701\\_9991012](http://dx.doi.org/10.15666/aer/1701_9991012)
- Iqbal, S., Parveen, N., Bahadur, S., Ahmad, T., Shuaib, M., Nizamani, M.M., Urooj, Z., Rubab, S., 2020. Paclobutrazol mediated changes in growth and physio-biochemical traits of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) grown under drought stress. *Gene Reports*, 21, e100908. <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2020.100908>
- Kamran, M., Wennan, S., Ahmad, I., Xiangping, M., Wenwen, C., Xudong, Z., Siwei, M., Khan, A., Qingfang, H., Tiening, L., 2018. Application of paclobutrazol affect maize grain yield by regulating root morphological and physiological characteristics under a semi-arid region. *Scientific Reports*. 8(4818), e23166. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23166-z>
- Khaleghi, A., Naderi, R., Brunetti, C., Maserti, B.E., Salami, S.A., Babalar, M., 2019. Morphological, physiochemical and antioxidant responses of *Maclura pomifera* to

drought stress. *Scientific Reports*. 9(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55889-y>

Knipfer, T., Brodersen, C.R., Zedan, A., Kluepfel, D.A., McElrone, A.J., 2015. Patterns of drought-induced embolism formation and spread in living walnut saplings visualized using X-ray microtomography. *Tree physiology*. 35(7), 744-755. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv040>

Kourgialas, N.N., 2021. Hydroclimatic impact on mediterranean tree crops area—Mapping hydrological extremes (drought/flood) prone parcels. *Journal of Hydrology*. 596, e125684. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125684>

Kumar, S., Sachdeva, S., Bhat, K.V., Vats, S., 2018. Plant responses to drought stress: physiological, biochemical and molecular basis. In *Biotic and abiotic stress tolerance in plants*. Springer, Singapore, pp. 1-25.

Litvin, A. G., Iersel, M.W.V., Malladi, A., 2016. Drought stress reduces stem elongation and alters gibberellin-related gene expression during vegetative growth of tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 141(6), 591-597. <https://doi.org/10.21273/JASHS03913-16>

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

Mabvongwe, O., Manenji, B.T., Gwazane, M., Chandiposha, M., 2016. The effect of paclobutrazol application time and variety on growth, yield, and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Advances in Agriculture*. 16, e463. <https://doi.org/10.1155/2016/1585463>

Mariën, B., Papadimitriou, D., Kotilainen, T., Zuccarini, P., Dox, I., Verlinden, M., Heinecke, T., Marien, J., Willems, P., Decoster, M., Gascó, A., Lange, H., Penuelas, J., Campioli, M., 2022. Timing leaf senescence: A generalized additive models for location, scale and shape approach. *Agricultural and Forest Meteorology*, 315, e108823. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108823>

Martínez, L.V.P., 2013. Evaluación ecofisiológica de gulupa *Passiflora edulis* Sims, bajo tres condiciones ambientales. *Dissertação*. p.137.

Martínez-Vilalta, J., Garcia-Forner, N., 2017. Water potential regulation, stomatal behaviour and hydraulic transport under drought: deconstructing the iso/anisohydric concept. *Plant, Cell & Environment*. 40(6), 962-976. <https://doi.org/10.1111/pce.12846>

Mauri, R., Cardoso, A.A., Silva, M.M., Oliveira, L.A., Avila, R.T., Martins, S. C., Da Matta, F. M., 2020. Leaf hydraulic properties are decoupled from leaf area across coffee species. *Trees*. 34(6), 1507-1514. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01983-y>

McDowell N.G., Beerling D.J., Breshears D.D., Fisher R.A., Raffa K.F., Stitt M., 2011. The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. *Trends in Ecology and Evolution*. 26, 523–532. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.06.003>

Mira, M.M., Huang, S., Hill, R.D., Stasolla, C., 2021. Tolerance to excess moisture in soybean is enhanced by over-expression of the *Glycine max* Phytoalbumin (GmPgb1). *Plant Physiology and Biochemistry*. 159, 322-334. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.12.033>

Mohammadi, M.H.S., Etemadi, N., Arab, M.M., Aalifar, M., Arab, M., Pessarakli, M., 2017. Molecular and physiological responses of iranian perennial ryegrass as affected by trinexapac ethyl, paclobutrazol and abscisic acid under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 111, 129-143. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.11.014>

Mohan, R., Kaur, T., Bhat, H.A., Khajuria, M., Pal, S., Vyas, D., 2020. Paclobutrazol induces photochemical efficiency in mulberry (*Morus alba* L.) under water stress and affects leaf yield without influencing biotic interactions. *Journal of Plant Growth Regulation*. 39(1), 205-215. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09975-0>

Nardini, A., Öunapuu-Pikas, E., Savi, T., 2014. When smaller is better: leaf hydraulic conductance and drought vulnerability correlate to leaf size and venation density across four *Coffea arabica* genotypes. *Functional Plant Biology*. 41(9), 972-982. <https://doi.org/10.1071/FP13302>

Nepomuceno, C.F., Rios, A.P.D.S., Queiroz, S.R.D.O.D., Pelacani, C.R., Santana, J.R.F.D., 2007. Controle da abscisão foliar e morfogênese *in vitro* em culturas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. cebil (Griseb) Altschul. *Revista Árvore*. 31(5), 967-975. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000500021>

Nicolás, E., Torrecillar, A., Dell'Amico, T., Alarcón, J.J., 2005. The effect of short-term flooding on the sap flow, gas exchange and hydraulic conductivity of young apricot trees. *Trees*. 19(1), 51-57. <https://doi.org/10.1007/s00468-004-0362-7>

Oliveira, M.B., Figueiredo, M.G.F., Pereira, M.C.T., Mouco, M.A.C., Ribeiro, L.M., Mercadante-Simões, M.O., 2020. Structural and cytological aspects of mango floral induction using paclobutrazol. *Scientia Horticulturae*. 262, e109057. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109057>

Olorunwa, O.J., Adhikari, B., Shi, A., Barickman, T.C., 2022. Screening of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes for waterlogging tolerance using morpho-physiological traits at early growth stage. *Plant Science*. 315, e111136. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.111136>

Onyemaobi, O., Sangma, H., Garg, G., Wallace, X., Kleven, S., Suwanchaikasem, P., Roessner, U., Dolferus, R., 2021. Reproductive stage drought tolerance in wheat: importance of stomatal conductance and plant growth regulators. *Genes*. 12(11), e1742. <https://doi.org/10.3390/genes12111742>

Pan, J., Sharif, R., Xu, X., Chen, X., 2021. Mechanisms of waterlogging tolerance in plants: Research progress and prospects. *Frontiers in Plant Science*. 2319. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.627331>

Pendergrass, A.G., Meehl, G.A., Pulwarty, R., Hobbins, M., Hoell, A., Kouchak, A.A., Bonfils, C.J.W., Gallant, A.J.E., Hoerling, M., Hoffmann, D., Kaatz, L., Lehner, F., Llewellyn, D., Mote, P., Neale, Richard B., Overpeck, J.T., Sheffield, A., Stahl, K., Svoboda, M., Wheeler, M. C., Wood, A.W., Woodhouse, C.A., 2020. Flash droughts present a new challenge for subseasonal-to-seasonal prediction. *Nature Climate Change*. 10(3), 191–199. doi:10.1038/s41558-020-0709-0

Pérez-Jiménez, M., Maimouni, H., Miralles, N., Rojo, C., Navarro-García, N., Pérez-Tornero, O., 2021. Response of three citrus rootstocks to short-term waterlogging. In: IV International Symposium on Horticulture in Europe-SHE2021 1327 (pp. 641-646). <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1327.84>

Plaza-Wüthrich, S., Blösch, R., Rindisbacher, A., Cannarozzi, G., Tadele, Z., 2016. Gibberellin deficiency confers both lodging and drought tolerance in small cereals. *Frontiers in Plant Science*. 7, e643. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00643>

Rasheed, F., Gondal, A., Kudus, K. A., Zafar, Z., Nawaz, M.F., Khan, W.R., Abdullah, M., Ibrahim, F.H., Depardieu, C., Pazi, A.M.M., Anjum, K., Afzal, S., Akram, S., Nazre, M., 2021. Effects of soil water deficit on three tree species of the arid environment: Variations in growth, physiology, and antioxidant enzyme activities. *Sustainability*. 13(6), 3336. <https://doi.org/10.3390/su13063336>

Restrepo-Díaz, H., Melgar, J.C., Lombardini, L., 2010. Ecophysiology of horticultural crops: an overview. *Agronomía Colombiana*. 28(1), 71-79.

- Rodriguez-Gamir, J., Ancillo, G., González-Mas, M.C., Primo-Millo, E., Iglesias, D.J., Forner-Giner, M.A., 2011. Root signalling and modulation of stomatal closure in flooded citrus seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*. 49(6), 636-645. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.03.003>
- Sade, N., Gebremedhin, A., Moshelion, M., 2012. Risk-taking plants: anisohydric behavior as a stress-resistance trait. *Plant Signaling and Behavior*, 7(7), 767-770. <https://doi.org/10.4161/psb.20505>
- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Hemmingsen, E.A., Bradstreet, E.D., 1964. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 52(1), 119-125. <https://doi.org/10.1073/pnas.52.1.119>
- Shahzad, A., Ullah, S., Dar, A.A., Sardar, M.F., Mehmood, T., Tufail, M.A., Shakoor, A., Haris, M., 2021. Nexus on climate change: Agriculture and possible solution to cope future climate change stresses. *Environmental Science and Pollution Research*. 28, 14211-14232. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12649-8>
- Singh, U.P., Dadarwal, B.K., Chauhan, J., 2020. Management of abiotic stress in crop plants. In *Management of abiotic stress in crop plants*. IP Innovative Publication Pvt. Ltd.
- Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas – SAEG, 2007. Version 9.1. <http://arquivo.ufv.br/saeg/> (acessado 28 Jan 2022).
- Sousa, E.M.R., Almeida, L.S., Sousa, A.R.O., Silva, M.C., Ledo, C.A.S., Almeida, A.A.F., Costa M.G.C., Coelho Filho, M.A., Soares Filho, W.S., Gesteira, A.S., 2018. Drought tolerance of a microcitrangemonia when treated with paclobutrazol and exposed to different water conditions. *Scientia Horticulturae*. 238, 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.038>
- Souto, A.G.L., Cordeiro, M.H.M., Rosado, L.D.S., Santos, C.E.M., Bruckner, C.H., 2017. Non-destructive estimation of leaf area in passion fruit (*Passiflora edulis* L.). *Australian Journal of Crop Science*. 11(12), 1534-1538. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.12.pne662>
- Souza, L.M., Barbosa, M.R., Morais, M.B., Palhares Neto, L., Ulisses, C., Camara, T.R., 2020. Biochemical and morphophysiological strategies of *Myracrodruon urundeuva* plants under water deficit. *Biologia plantarum*. 64, 20-31. <https://doi.org/10.32615/bp.2019.070>
- Souza, P.U., Lima, L.K.S., Soares, T.L., Jesus, O.N., Coelho Filho, M.A., Girardi, E.A., 2018. Biometric, physiological and anatomical responses of *Passiflora spp.* to controlled water deficit. *Scientia Horticulture*, 220, 77-90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.019>
- Souza, P.U., Lima, L.K.S., Soares, T.L., Jesus, O.N., Coelho Filho, M.A., Girardi, E.A., 2018. Biometric, physiological and anatomical responses of *Passiflora spp.* to controlled water deficit. *Scientia Horticulturae*. 229, 77-90. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.019>
- Souza, S.F.D., Ribeiro, V.G., 2016. Yellow passion-fruit irrigated in diferent cropping systems. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 38(3), e512. <https://doi.org/10.1590/0100-29452016512>
- Te-Chato, S., Nujeen, P., Muangsorn, S., 2009. Paclobutrazol enhance budbreak and flowering of Friederick's *Dendrobium* orchid *in vitro*. *Journal of Agricultural Technology*. 5(1), 157-165.
- Teixeira, E.C., Matsumoto, S.N., Ribeiro, A.F., Viana, A.E.S., Tagliaferre, C., Carvalho, F.D., Pereira, L.F., Silva, V.A., 2021. Morphophysiology and quality of yellow passion fruit seedlings subjected to gibberellin biosynthesis inhibition. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 43, e.51541. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.51541>

Teixeira, E.C., Matsumoto, S.N., Silva, D.C., Pereira, L.F., Viana, A.E.S., Arantes, A.M., 2019. Morphology of yellow passion fruit seedlings submitted to triazole induced growth inhibition. *Ciência e Agrotecnologia*. 43, e020319. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943020319>

Wanderley, J.A.C., Brito, M.E.B., Azevedo, C.A.V., Silva, F.C., Ferreira, F.N., Lima, R.F., 2020. Cell damage and biomass of yellow passion fruit under water salinity and nitrogen fertilization. *Revista Caatinga*. 33(3), 757-765. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n319rc>

Wenzel, C.L., Williamson, R.E., Wasteneys, G.O., 2000. Gibberellin-induced changes in growth anisotropy precede gibberellin-dependent changes in cortical microtubule orientation in developing epidermal cells of barley leaves. Kinematic and cytological studies on a gibberellin-responsive dwarf mutant, M489. *Plant Physiology*. 124(2), 813-822. <https://doi.org/10.1104/pp.124.2.813>

Wongs-Aree, C., Noichinda, S., Kusal, K.D., Biradar, M.S., 2018. Glycolysis fermentative by-products and secondary metabolites involved in plant adaptation under hypoxia during pre-and postharvest. In *Hypoxia and Anoxia*. London, UK: IntechOpen.

Xu, Z., Zhou, G., 2008. Responses of leaf stomatal density to water status and its relationship with photosynthesis in a grass. *Journal of Experimental Botany*. 59(12), 3317-3325. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern185>

Yooyongwech, S., Samphumphuang, T., Tisarum, R., Theerawitaya, C., Cha-Um, S., 2017. Water-deficit tolerance in sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] by foliar application of paclobutrazol: role of soluble sugar and free proline. *Frontiers in Plant Science*. 8, e1400. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01400>

## Apêndice A1

Regressão e coeficiente de determinação das variáveis apresentadas nas figuras 2, 3, 4 e 5.

Variável	DARH	EQUAÇÃO					
		Concentrações de paclobutrazol (mg L <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>	Regime hídrico (%)	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>		
$\Psi_w$ am	110	0	$\hat{Y} = -1,3781 + 0,0237 \cdot 0,0001x^2$	R <sup>2</sup> =0,9902	30	$\hat{Y}^{**} = -0,7308 + 0,0028x$	r <sup>2</sup> =0,7937
$\Psi_w$ md		0	$\hat{Y}^{\circ} = -0,5013 - 0,0048x - 5 \cdot 10^{-5}x^2$	R <sup>2</sup> =0,9101	120	$\hat{Y} = -0,4992 + 0,0009x$	r <sup>2</sup> =0,5121
$\Psi_w$ am	140	40	$\hat{Y}^* = -0,1438 - 0,0108x - 5 \cdot 10^{-5}x^2$	R <sup>2</sup> =0,9782	30	$\hat{Y}^{**} = -0,571 + 0,0015x$	r <sup>2</sup> =0,6258
$\Psi_w$ md		80	$\hat{Y}^{**} = -0,5725 + 0,0027x$	r <sup>2</sup> =0,9305	120	$\hat{Y}^{**} = -0,1405 + 0,0015x$	r <sup>2</sup> =0,9093
$\Psi_w$ md		160	$\hat{Y}^{\circ} = -0,0325 - 0,0104x - 5 \cdot 10^{-5}x^2$	R <sup>2</sup> =0,9805	30	$\hat{Y}^{\circ} = -1,253 + 0,0083x - 5 \cdot 10^{-5}x^2$	R <sup>2</sup> =0,6554
$\Psi_w$ md		40	$\hat{Y}^{**} = -2,7544 + 0,0607 - 0,0004x^2$	R <sup>2</sup> =0,784	60	$\hat{Y}^{**} = -0,1979 - 0,0158x - 5 \cdot 10^{-5}x^2$	R <sup>2</sup> =0,8623
TRAam	110	120	$\hat{Y}^{**} = -0,9875 + 0,0102x - 5 \cdot 10^{-5}x^2$	R <sup>2</sup> =0,9571	90	$\hat{Y}^{\circ} = -0,4559 - 0,0052x - 5 \cdot 10^{-5}x^2$	R <sup>2</sup> =0,6063
TRAmD		120	$\hat{Y}^{**} = -0,5448 - 0,0047x - 5 \cdot 10^{-5}x^2$	R <sup>2</sup> =0,6654	120	$\hat{Y}^{**} = -0,5448 - 0,0047x - 5 \cdot 10^{-5}x^2$	R <sup>2</sup> =0,6654
TRAmD		160	$\hat{Y}^{**} = 45,768 + 1,0129x - 0,0053x^2$	R <sup>2</sup> =0,9992		$\hat{Y}^{**} = -75,352 + 0,3485x - 0,0018x^2$	R <sup>2</sup> =0,9882
TRAmD		40	$\hat{Y}^{**} = 48,563 + 1,114x - 0,0063x^2$	R <sup>2</sup> =0,9099		$\hat{Y}^{**} = -68,875 + 0,3939x - 0,0019x^2$	R <sup>2</sup> =0,9340
TRAmD		80	$\hat{Y}^{**} = 42,515 + 1,2615x - 0,007x^2$	R <sup>2</sup> =0,9955			
TRAmD	140	120	$\hat{Y}^{**} = 60,217 + 0,718x - 0,004x^2$	R <sup>2</sup> =0,7339			
TRAmD		160	$\hat{Y}^{**} = 60,217 + 0,718x - 0,004x^2$	R <sup>2</sup> =0,9943			
TRAmD		0	$\hat{Y}^{**} = 30,207 + 1,5139x - 0,0073x^2$	R <sup>2</sup> =0,9444	30	$\hat{Y}^{**} = -68,241 + 0,1858x - 0,0008x^2$	R <sup>2</sup> =0,6099
TRAmD		40	$\hat{Y}^{**} = 59,423 + 0,8259x - 0,0046x^2$	R <sup>2</sup> =0,8903			
Car	110	80	$\hat{Y}^{**} = 44,178 + 1,2125x - 0,0073x^2$	R <sup>2</sup> =0,9694			
Clb		160	$\hat{Y}^{**} = 59,574 + 0,6838x - 0,0035x^2$	R <sup>2</sup> =0,9719			
Clb	140	160	$\hat{Y}^{**} = 0,2479 + 0,0021x$	r <sup>2</sup> =0,7328	120	$\hat{Y}^{**} = -0,3615 + 0,001x$	r <sup>2</sup> =0,8584
Clb+b		160	$\hat{Y}^{**} = 1,3144 + 0,002x$	r <sup>2</sup> =0,7997		$\hat{Y}^{**} = -2,0083 - 0,0072x$	r <sup>2</sup> =0,9610
SPAD	110	160	$\hat{Y}^{**} = 0,6826 + 0,0024x$	r <sup>2</sup> =0,8187		$\hat{Y}^{**} = -1,4527 - 0,0077x$	r <sup>2</sup> =0,9608
SPAD		160	$\hat{Y}^{**} = 1,9972 + 0,0043x$	r <sup>2</sup> =0,8151		$\hat{Y}^{**} = 3,461 - 0,0149x$	r <sup>2</sup> =0,9671
SPAD	140	160	$\hat{Y}^{**} = -64,351 - 0,1861x + 0,0002x^2$	R <sup>2</sup> =0,9980			
SPAD		160	$\hat{Y}^{**} = -69,53 - 0,4591x + 0,0022x^2$	R <sup>2</sup> =0,8715			

	110	$\hat{Y}^{**}=0,1206+0,0003x$	$r^2=0,9621$		$\hat{Y}^{**}=-0,0504+0,0026x+0,0001x^2$	$R^2=0,9985$
g <sup>s</sup>	0	$\hat{Y}^{**}=-0,025+0,0015x$	$r^2=0,9764$			
	40	$\hat{Y}^{**}=-0,125+0,008x-0,0001x^2$	$R^2=1,00$			
	140	$+5X10^5x^3$				
	80	$\hat{Y}^{**}=-0,01+0,0012x$	$r^2=0,9559$			
	120	$\hat{Y}^{**}=-0,0263+0,0016x$	$r^2=0,8945$			
	160	$\hat{Y}^{**}=-0,01+0,0009x$	$r^2=0,9438$			
A	110	$\hat{Y}^{**}=-8,8209+0,0164x$	$r^2=0,977$		$\hat{Y}^{**}=-7,5139+0,0749x-0,0004x^2$	$R^2=1,000$
	140				$\hat{Y}^{**}=-0,147+0,0842x$	$r^2=0,9746$
E	110	$\hat{Y}^{**}=-2,6638+0,0044x$	$r^2=0,8646$		$\hat{Y}^{**}=-1,174+0,0491x-0,0003x^2$	$R^2=0,9982$
	140				$\hat{Y}^{**}=-0,0923+0,0398x$	$r^2=0,9728$
G	110				$\hat{Y}^{**}=-183,12+1,5912x-0,0086x^2$	$R^2=0,9926$
	140				$\hat{Y}^{**}=-140,89+2,5141x-0,0142x^2$	$R^2=0,8707$
A/g <sup>s</sup>	110				$\hat{Y}^{**}=-10,783-0,0911x+0,0005x^2$	$R^2=0,9709$
AE	110				$\hat{Y}^{**}=-5,2206-0,00429x+0,0002x^2$	$R^2=0,9969$
ACI	110	$\hat{Y}^{**}=-3,68+40,006x$	$r^2=0,9412$			
	140				$\hat{Y}^{**}=-0,5+0,031x$	$r^2=0,9345$
ALT	0	$\hat{Y}^{**}=-8+2,8883x-0,0144x^2$	$R^2=0,9972$	30	$\hat{Y}^{**}=-79,46-0,2138x$	$r^2=0,6572$
	40	$\hat{Y}^{**}=-2,9062+3,246x-0,0183x^2$	$R^2=0,9999$	60	$\hat{Y}^{**}=-134,73-0,2486x$	$r^2=0,921$
	80	$\hat{Y}^{**}=-66,356+4,4464x-0,0239x^2$	$R^2=1$	90	$\hat{Y}^{**}=-158,51-0,4625x$	$r^2=0,859$
	120	$\hat{Y}^{**}=-49,038+0,6402x$	$r^2=0,6756$	120	$\hat{Y}^{**}=-142,66-0,2106x$	$r^2=0,7738$
	160	$\hat{Y}^{**}=-41,65+0,531x$	$r^2=0,7665$			
DB	0	$\hat{Y}^{**}=-4,4063+0,0485x-0,0002x^2$	$R^2=0,9856$	30	$\hat{Y}^{**}=-5,505-0,0066x$	$r^2=0,693$
	40	$\hat{Y}^{**}=-3,2563+0,0745x-0,0005x^2$	$R^2=0,7853$	60	$\hat{Y}^{**}=-6,57-0,011x$	$r^2=0,9216$
	80	$\hat{Y}^{**}=-4,4875+0,0142x$	$r^2=0,9469$	90	$\hat{Y}^{**}=-6,775-0,0111x$	$r^2=0,816$
	120	$\hat{Y}^{**}=-4,9+0,0057x$	$r^2=0,599$	120	$\hat{Y}^{**}=-6,78-0,0103x$	$r^2=0,7817$
	160	$\hat{Y}^{**}=-4,1875+0,0093x$	$r^2=0,6995$			
DC	140	$\hat{Y}^{**}=-7,2388-0,0069x$	$r^2=0,8735$		$\hat{Y}^{**}=-5,155+0,0205x$	$r^2=0,8904$
	110	$\hat{Y}^{**}=-5,1418+0,0141x-0,00006x^2$	$R^2=0,9589$		$\hat{Y}^{**}=-4,8075+0,0122x$	$r^2=0,8889$
	140	$\hat{Y}^{**}=-5,6159+0,0166x-0,00006x^2$	$R^2=0,9415$		$\hat{Y}^{**}=-4,96+0,0193x$	$r^2=0,9379$
	110	$\hat{Y}^{**}=-17,588-0,0089x$	$r^2=0,8781$		$\hat{Y}^{**}=-14,45+0,0323x$	$r^2=0,839$
NF	0	$y=-0,375+0,557x-0,0029x^2$	$R^2=0,9839$	90	$\hat{Y}^{**}=-28-0,085x$	$r^2=0,888$
	40	$\hat{Y}^{**}=-13+0,0867x$	$r^2=0,8269$			
	80	$\hat{Y}^{**}=-9,5+0,1492x$	$r^2=0,9577$			
	120	$\hat{Y}^{**}=-11,625+0,0983x$	$r^2=0,6976$			
AFT	0	$\hat{Y}^{**}=-5,087+24,825x-0,0828x^2$	$R^2=0,9958$	60	$\hat{Y}^{**}=-1104,2+4,4608x-0,0303x^2$	$R^2=0,6404$
	40	$\hat{Y}^{**}=-71,59+25,628x-0,0825x^2$	$R^2=0,9967$	90	$\hat{Y}^{**}=-1575,5-3,2804x$	$r^2=0,799$
	80	$\hat{Y}^{**}=-365,26+36,924x-0,1942x^2$	$R^2=0,8015$	120	$\hat{Y}^{**}=-1791,3-3,2444x$	$r^2=0,6294$
	120	$\hat{Y}^{**}=-391,4+10,078x$	$r^2=0,9591$			
	160	$\hat{Y}^{**}=-377,88+7,406x$	$r^2=0,7283$			
AFI	0	$\hat{Y}^{**}=-1,2052+71,70x-0,32x^2$	$R^2=0,9800$	90	$\hat{Y}^{**}=-2887,9-7,7649x$	$r^2=0,8978$
	40	$\hat{Y}^{**}=-168,46+24,44x$	$r^2=0,9908$			
	140	80 $\hat{Y}^{**}=-185,11+23,59x$	$r^2=0,8859$			
	120	$\hat{Y}^{**}=-263,05+21,38x$	$r^2=0,9558$			
	160	$\hat{Y}^{**}=-150,92+19,79x$	$r^2=0,8222$			
AFE	0	$\hat{Y}^{**}=-29,129+0,5366x$	$r^2=0,965$	90	$\hat{Y}^{**}=-85,678-0,1342x$	$r^2=0,651$
	40	$\hat{Y}^{**}=-24,864+0,6722x$	$r^2=0,9899$			
	120	$\hat{Y}^{**}=-31,893+0,4676x$	$r^2=0,952$			
	160	$\hat{Y}^{**}=-23,806+0,4549x$	$r^2=0,7476$			
	140				$\hat{Y}^{**}=-9,2382+2,3082x-0,0103x^2$	$R^2=0,978$
MPPA	0	$\hat{Y}^{**}=-1,6407+2,126x-0,0104x^2$	$R^2=0,99$	90	$\hat{Y}^{**}=-105,4+0,2283x-0,0023x^2$	$R^2=0,7067$
	40	$\hat{Y}^{**}=-24,883+1,4854x-0,0073x^2$	$R^2=0,9932$			
	80	$\hat{Y}^{**}=-39,869+3,3615x-0,0185x^2$	$R^2=0,9743$			
	120	$\hat{Y}^{**}=-54,907+0,4384x$	$r^2=0,8481$			
	160	$\hat{Y}^{**}=-43,484+0,4774x$	$r^2=0,7486$			
MFR	0	$\hat{Y}^{**}=-173,76+1,7213x$	$r^2=0,8834$	90	$\hat{Y}^{**}=-200,44-0,4941x$	$r^2=0,9231$
	40	$\hat{Y}^{**}=-12,298+1,7597x$	$r^2=0,9826$	120	$\hat{Y}^{**}=-199,69+0,5623x-0,0039x^2$	$R^2=0,7228$
	80	$\hat{Y}^{**}=-6,6075+1,7479x$	$r^2=0,9164$			
	120	$\hat{Y}^{**}=-15,229+1,7024x$	$r^2=0,9653$			
	160	$\hat{Y}^{**}=-15,236+1,3558x$	$r^2=0,815$			
MFT	0	$\hat{Y}^{**}=-35,025+0,5297x$	$r^2=0,8603$			
	40	$\hat{Y}^{**}=-29,666+0,7434x$	$r^2=0,9256$			
	80	$\hat{Y}^{**}=-24,4+0,5658x$	$r^2=0,9648$			
	120	$\hat{Y}^{**}=-30,488+0,5811x$	$r^2=0,8223$			
	160	$\hat{Y}^{**}=-29,958+0,4967x$	$r^2=0,7677$			
MSPA	0	$\hat{Y}^{**}=-52,401+2,251x$	$r^2=0,8833$	90	$\hat{Y}^{**}=-296,09-0,6971x$	$r^2=0,8921$
	40	$\hat{Y}^{**}=-41,964+2,5031x$	$r^2=0,9767$			
	80	$\hat{Y}^{**}=-31,007+2,3137x$	$r^2=0,9438$			
	120	$\hat{Y}^{**}=-32,175+2,5544x$	$r^2=0,9354$			
	160	$\hat{Y}^{**}=-45,194+1,8525x$	$r^2=0,8029$			
MSPA	0	$\hat{Y}^{**}=-13,624+0,3553x$	$r^2=0,8921$	90	$\hat{Y}^{**}=-51,266-0,1252x$	$r^2=0,8814$
	40	$\hat{Y}^{**}=-9,9688+0,4033x$	$r^2=0,9947$	120	$\hat{Y}^{**}=-52,66+0,098x-0,0009x^2$	$R^2=0,6922$
	80	$\hat{Y}^{**}=-11,14+0,3381x$	$r^2=0,9008$			
	120	$\hat{Y}^{**}=-10,723+0,3549x$	$r^2=0,9814$			

		160	$\hat{Y}^{**}=11,933+0,2662x$	$r^2=0,7366$			
MST	140	0	$\hat{Y}^{**}=19,19+0,3984x$	$r^2=0,8932$	90	$\hat{Y}^{**}=-62,165-0,1501x$	$r^2=0,883$
		40	$\hat{Y}^{**}=14,336+0,4685x$	$r^2=0,9881$	120	$\hat{Y}^*=-62,809+0,1474x-0,00012x^2$	$R^2=0,6352$
		80	$\hat{Y}^{**}=15,321+0,3872x$	$r^2=0,9165$			
		120	$\hat{Y}^{**}=14,151+0,4233x$	$r^2=0,9794$			
		160	$\hat{Y}^{**}=16,705+0,2976x$	$r^2=0,7325$			
MSR	140		$\hat{Y}^{**}=-9,1316-0,0101x$	$r^2=0,6152$		$\hat{Y}^{**}=-4,4633+0,0514x$	$r^2=0,9902$
DR	140					$\hat{Y}^{**}=-0,645+0,0017x$	$r^2=0,6922$
VR	140	0	$\hat{Y}^{**}=32,5+0,3833x$	$r^2=0,9200$			
		40	$\hat{Y}^{**}=28,75+0,6x$	$r^2=0,9495$			
		80	$\hat{Y}^{**}=13,75+0,6417x$	$r^2=0,9923$			
		120	$\hat{Y}^{**}=16,25+0,7583x$	$r^2=0,8796$			
		160	$\hat{Y}^{**}=23,75+0,425x$	$r^2=0,7528$			

°, \* e \*\*: significativo pela análise de regressão a 10%, 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. DARH: dias após o início do período de regime hídrico.

**ARTIGO II**

O inibidor da biossíntese de giberelinas pode otimizar a capacidade de adaptação das plantas de maracujazeiro - azedo sob estresse salino?\*

---

\* **Situação:** Não submetido



# O inibidor da biossíntese de giberelinas pode otimizar a capacidade de adaptação das plantas de maracujazeiro - azedo sob estresse salino?

Ednilson Carvalho Teixeira <sup>a,\*</sup>, Sylvana Naomi Matsumoto <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, BA, Brasil.

## Resumo

Os estresses abióticos, como a salinidade, representam uma das principais restrições para a longevidade e a capacidade produtiva da cultura do maracujazeiro - azedo, sobretudo em regiões áridas e semiáridas onde os recursos hídricos disponíveis para irrigação apresentam altas concentrações de íons salinos. Estudos relevantes têm destacado o efeito do condicionamento químico, mediante a utilização de reguladores vegetais, na ativação e ajuste dos mecanismos de resposta das plantas sob estresse. O objetivo deste estudo foi analisar se as alterações morfofisiológicas que ocorrem em mudas de maracujazeiro - azedo, expostas ao paclobutrazol, podem mitigar os efeitos do estresse salino pós-transplante. Plantas de maracujazeiro, previamente tratadas com paclobutrazol na fase de mudas (0, 40, 80, 120 e 160 mg L<sup>-1</sup>), foram irrigadas com níveis de condutividade elétrica (0,3, 3,3 e 6,3 dS m<sup>-1</sup>). Nível elevado de NaCl reduziu o índice de coloração verde das folhas baixas da haste principal, comprimento do ramo secundário – CR e transpiração. Quanto à taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, pigmentos fotossintéticos, volume e massa fresca radicular, ocorreu efeito oposto, caracterizado como mecanismos de osmorregulação. O regulador de crescimento na concentração de 160 mg L<sup>-1</sup> resultou na antecipação da poda da haste principal e maior número de botões florais das plantas submetidas à condutividade elétrica de 6,3 dS m<sup>-1</sup> em relação ao tratamento de 0,3 dS m<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Estresse salino, glicófitas, qualidade das mudas, *Passiflora edulis*, maracujá.

## 1. Introdução

O maracujazeiro - azedo (*Passiflora edulis* Sims) é uma frutífera tropical considerada economicamente importante no cenário mundial (Lozano-Montaña et al.,

---

\* Autor correspondente.

Endereço de e-mail: ed.cezar@hotmail.com (E. C. Teixeira), snaomi@uesb.edu.br (S. N. Matsumoto).

2021; Zhang et al., 2023), e ainda com grande potencial de crescimento e mercado (Pereira et al., 2023). É cultivada em diversas locais com diferentes condições climáticas, mas predomina em regiões semiáridas (Ramos et al., 2022). As principais regiões produtoras, como o Nordeste do Brasil, onde a precipitação é baixa e a evapotranspiração é alta, é inevitável a irrigação, mas, devido a níveis elevados de sais nas águas superficiais e subterrâneas, tornam limitantes para o potencial produtivo das frutíferas (Cavalcante et al., 2006).

No gênero *Passiflora*, o *P. edulis* é considerado sensível a moderadamente tolerante ao estresse salino (Ramos et al., 2022). Sob tal condição, causam uma série de alterações nas relações hídricas, fotossíntese e metabolismo que afetam imediatamente o crescimento por efeitos osmóticos. Quando a exposição é excessiva e sustentada aos íons salinos, tem-se então um efeito tóxico, causando principalmente desequilíbrio nutricional (Munns et al., 2005). Geralmente ocorre clorose, necrose, senescência prematura das folhas mais velhas, redução da área foliar e, conseqüentemente, as taxas fotossintéticas (Poury et al., 2022).

Os níveis tolerados de salinidade em *Passiflora edulis* ainda são bastante controversos, pois esses podem variar de acordo com o manejo, estágio de desenvolvimento, intensidade, duração do estresse, época de cultivo e espécie (Lima et al., 2023; Pinheiro et al., 2022; Wanderley et al., 2020). Em certas *Passifloras* silvestres, consideradas como glicófitas, podem ocorrer alterações na morfofisiologia, anatomia e mecanismos celulares específicos, quando expostas à salinidade, principalmente nos processos de acúmulo e excreção de  $\text{Na}^+$ , que estão relacionados a uma maior capacidade de adaptação (Hurtado-Salazar et al., 2018). Quanto à *Passiflora edulis*, embora tenha sido pouco explorado sobre esses mecanismos, é possível ocorrer mudanças fisiológicas que estariam relacionadas ao ajuste isohídrico, quando o estresse é ainda osmótico, assim como ocorre em situações de baixa disponibilidade de água (Lozano-Montaña et al., 2021; Teixeira et al., 2023).

Em geral, quando as plantas estão sob estresse salino, iniciam-se, então, um mecanismo de adaptação ou tolerância para preservar o turgor celular (Dutta et al., 2018). Isso é alcançado através da redução da abertura estomática, que limita a transpiração, mas afeta a taxa fotossintética, resultando em menor crescimento. Estratégias de regulação estomática, como a síntese e acumulação de osmólitos sob estresse, por exemplo, pode resultar em uma maior capacidade fisiológica (Hmidi et al., 2018), levando a alterações na condutância estomática, relações hídricas e, conseqüentemente, um maior potencial de

crescimento. Uma pré-modulação dos mecanismos, associados à regulação osmótica, poderia resultar em maior habilidade para lidar com o estresse sem prejudicar o crescimento e o desenvolvimento (Savvides et al., 2016).

Os reguladores de crescimento têm o potencial de desencadear diversos mecanismos morfofisiológicos, bioquímicos e anatômicos que estão ligados à otimização do estresse abiótico em várias culturas (Dou et al., 2023; Zahid et al., 2023). No caso do *Passiflora edulis*, o *priming* com paclobutrazol em mudas leva a uma maior capacidade de absorção e armazenamento de água, resultando em plantas mais vigorosas sob excesso hídrico (Teixeira et al., 2023).

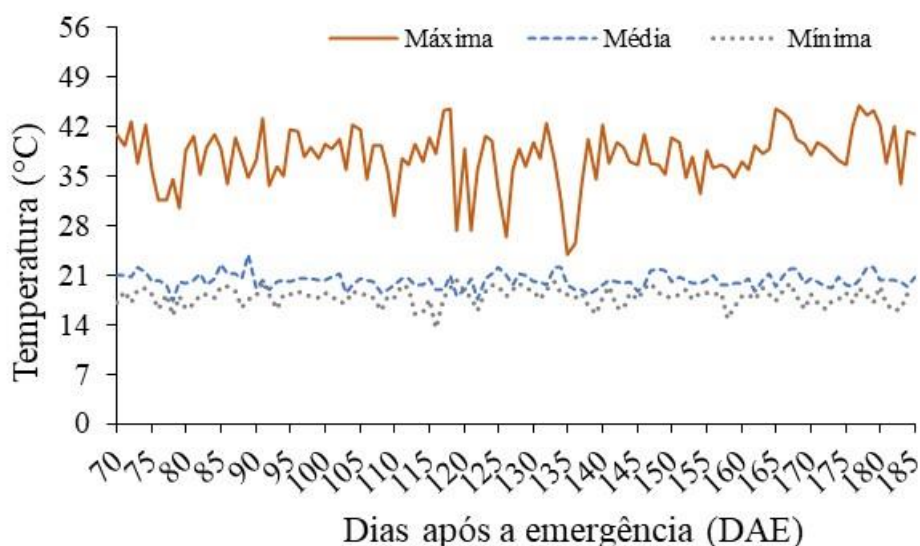
O objetivo deste estudo foi analisar se as alterações morfofisiológicas que ocorrem em mudas de maracujazeiro - azedo, expostas ao paclobutrazol, podem mitigar os efeitos do estresse salino pós-transplântio.

## **2. Material a métodos**

### **2.1 Caracterização do local do experimento**

O estudo foi realizado na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *campus* Vitória da Conquista, Bahia, Brasil, no período de julho de 2022 a fevereiro de 2023. O município está localizado a 14° 53' 08" de latitude sul e 40° 48' 02" de longitude oeste, a 845 m de altitude, e o clima é caracterizado como tropical de altitude (Cwa na classificação de Köppen Geiger).

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, com cobertura plástica de polietileno de 150 micra e 90% de transparência. Durante o estudo, no interior do ambiente, a temperatura mínima, média e máxima foi monitorada por *datalogger* (Figura 1).



**Fig. 1.** Temperatura máxima, média e mínima no interior do ambiente protegido durante a condução do experimento.

## 2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições e uma planta por parcela, em esquema fatorial 3X5, totalizando 15 tratamentos e 75 unidades experimentais. O primeiro fator correspondeu a níveis de salinidade da água de irrigação, com condutividade elétrica de 0,3, 3,3 e 6,3 dS m<sup>-1</sup>; e o segundo às concentrações de paclobutrazol (PBZ): 0, 40, 80, 120 e 160 mg L<sup>-1</sup> de i.a do produto comercial. Os níveis de salinidade da água e as concentrações PBZ foram determinados a partir de estudos realizados por Moura et al. (2021) e Teixeira et al. (2019), respectivamente.

Como o interior do ambiente é heterogêneo, em termos de luz e temperatura, e as avaliações fisiológicas (trocas gasosas) serem altamente dependentes dessas condições, o estudo nesse local ocorreu em delineamento experimental em blocos casualizados.

## 2.3 Produção de mudas

Sementes certificadas de *Passiflora edulis* 'Redondo Amarelo' foram semeadas em tubetes de polietileno de capacidade de 290 cm<sup>3</sup> (16 cm de comprimento e 6,5 cm de diâmetro), contendo substrato comercial à base de casca de pinus, vermiculita, pó de carvão, água e espuma fenólica. Após a estabilização da emergência, aos 25 dias da semeadura, foi realizado o desbaste, mantendo entre as três plântulas por tubete, a de maior vigor.

## 2.4 Instalação e condução do experimento

Aos 30 dias após a emergência (DAE), mudas uniformes contendo 4 folhas definitivas e 12 cm de altura foram submetidas à aplicação de paclobutrazol (PBZ), nas concentrações de 0, 40, 80, 120 e 160 mg L<sup>-1</sup> de ingrediente ativo do produto comercial. Para a realização de cada tratamento, foi selecionada uma bandeja contendo 54 mudas. As bandejas foram imersas em solução de PBZ até o nível do substrato, por um minuto, até atingir saturação (Teixeira et al., 2019).

Aos 70 DAE, no início da emissão das primeiras gavinhas (Lima et al., 2022) de cada tratamento de PBZ, selecionou-se 15 mudas para posterior transplantio para vasos de polietileno, com capacidade de 20 L, contendo solo de textura franco-argilo-arenosa. O solo apresentou as seguintes características químicas: pH (H<sub>2</sub>O): 5,7; P: 2 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup>: 0,20 cmolc dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>: 1,7 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup>: 0,8 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup>: 0,1 cmolc dm<sup>-3</sup> e H<sup>+</sup>: 2,4 cmolc dm<sup>-3</sup>. A fertilização do solo foi realizada seguindo as recomendações técnicas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) / Centro de Pesquisa em Mandioca e Fruticultura (Borges e Souza, 2010), com base na análise química do solo.

As plantas foram aclimatadas por 15 dias, após o transplantio, conforme realizado por Lima et al. (2020), sendo irrigadas com água fornecida pela rede pública local, que apresentava 0,3 dS m<sup>-1</sup>. Após esse período, iniciou-se os tratamentos com fornecimento de água para as plantas com condutividade elétrica de 3,3 e 6,3 dS m<sup>-1</sup>.

A irrigação foi realizada levando-se em consideração as necessidades de água requeridas para o ressuprimento hídrico da planta para atingir 90 % da capacidade de vaso, sendo esta verificada diariamente e determinada pelo método das pesagens descrita por Casaroli e Lier (2008). A capacidade de vaso foi definida anteriormente à instalação do experimento.

Os níveis de condutividade elétrica de 3,3 e 6,3 dS m<sup>-1</sup> foram preparados em um recipiente tampado, com volume de 60 L, obtidas a partir da diluição de NaCl (94% de pureza) em água fornecida pela rede de abastecimento público local com 0,3 dS m<sup>-1</sup>. A condutividade elétrica foi aferida por um condutivímetro portátil (modelo AK51).

O experimento foi conduzido em espaldeira vertical, com um fio de arame galvanizado, número 12 a 1,8 m de altura da superfície do vaso. As plantas foram tutoradas por fitilho em haste única até o arame. Ao chegar no arame, foram iniciadas as podas de formação, primeiramente foi feito o desponte, quando a planta ultrapassou 10 cm acima do arame, para fins de emissão dos ramos secundários, de forma que as duas brotações mais próximas ao arame fossem guiadas em sentidos opostos.

## 2.5 Análises fisiológicas e bioquímicas

Aos 125 e 185 dias após a emergência, nos estádios de crescimento apical e ramos laterais e produtivos (Freire et al., 2011), ou seja, com 40 e 100 dias após o início dos tratamentos condizentes aos níveis de salinidade, foram avaliadas as trocas gasosas, índice de coloração verde das folhas e status hídrico foliar das plantas.

As trocas gasosas foliares foram medidas na mesma folha utilizada para aferir o índice SPAD e os seguintes parâmetros foram registrados: taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A$   $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$   $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), taxa de transpiração ( $E$   $\text{mmol vapor d'água m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> na folha ( $C_i$   $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$ ) e temperatura foliar (TF), entre as oito e onze horas da manhã, por meio de um analisador de gases por radiação infravermelha portátil (IRGA – *infrared gas analyzer*) LCPro, ADC, UK, realizadas com fonte de luz actínica ajustada para 1200  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de radiação fotossinteticamente ativa. A eficiência do uso da água ( $A/E$ ), eficiência de carboxilação ( $A/C_i$ ) e eficiência intrínseca do uso da água ( $A/g_s$ ) foram determinadas a partir da razão entre a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e taxa de transpiração, concentração interna de CO<sub>2</sub> na folha e condutância estomática, respectivamente.

O índice de coloração verde das folhas (Índice SPAD, *Soil Plant Analysis Development*) foi determinado com auxílio de um medidor portátil de clorofila (SPAD 502, MINOLTA, Japão), a partir do valor médio de três leituras na segunda folha totalmente expandida, do ramo principal, no sentido basípeto (SPAD A) e na quarta folha no sentido acrópeto (SPAD B). A partir dos valores encontrados para SPAD A e SPAD B, foi encontrado o SPAD médio (SPAD M). Apenas aos 185 DAE, foi realizado o SPAD na folha do terço médio do ramo secundário (SPAD R).

O potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) foi determinado na mesma folha, a partir da qual as trocas gasosas foram medidas, seguindo a metodologia descrita por Sholander (1964) por meio de uma câmara de pressão PMS 1000, PMS, Corvallis. Os valores foram expressos em MPa. O teor relativo de água na folha (TRA) em % foi obtido conforme a metodologia de Catsky (1960).

Aos 185 DAE, avaliou-se os pigmentos fotossintéticos na primeira folha totalmente expandida, no sentido basípeto. A extração de pigmentos fotossintéticos foi procedida através da metodologia modificada por Arnon's (1949), eliminando-se as etapas de maceração e centrifugação dos discos, descritas por Barbieri Júnior et al. (2010). Em seguida, de acordo com a massa de cada amostra e o volume de acetona utilizado, os

valores foram convertidos, sendo o teor de pigmento expresso em  $\text{mg g}^{-1}$  de massa fresca foliar.

## 2.6 Análises morfológicas

Aos 125 e 185 DAE, foram mensurados os seguintes parâmetros de forma semelhante em ambos os períodos: diâmetro basal (DB) em mm, com auxílio de paquímetro digital (DC-60, Western, China), a 2 cm do nível do substrato; número de folha totais (NFT) e número de folhas trilobadas (NFTR) por contagem direta. Aos 125 DAE, ainda foi avaliada a altura do caule das plantas (ALT) em cm, com fita métrica. Para a poda do ramo principal (P), levou-se em consideração os dias após o transplântio em que a planta atingiu 10 cm acima do arame.

Aos 185 DAE, foram ainda realizadas medições quanto ao comprimento dos ramos secundários (CR) em metros, com uso de fita métrica, cujos valores utilizados foram provenientes da média dos dois ramos secundários; área foliar do ramo principal (AFRP) em  $\text{cm}^2$  através do produto entre largura e comprimento foliar, seguindo a proposta de Souto et al. (2017); número de botões totais (NBT) por meio da contagem de unidades por planta; índice de velocidade de florescimento (IVF), a partir de contagens diárias do surgimento da primeira flor aberta em cada tratamento, através da modificação da equação de Maguire (1962) proposta para o índice de velocidade de germinação em *Passiflora*, conforme a equação 1 descrita a seguir:

$$\text{IVF} = [E1/N1 + E2/N2 + \dots + En/Nn] \quad (1)$$

Em que: E1, E2 e En = número de flores em plena antese na primeira, segunda e última contagem, respectivamente; N1, N2 e Nn = número de dias após o transplântio até primeira, segunda e última contagem, respectivamente.

A massa seca da parte aérea e raiz (MSPA, MSR) foi obtida após pesagem da massa fresca (MFPA, MFR) e secagem em estufa, com circulação forçada de ar (SL 102/480, Solab, Brasil) a  $65^\circ\text{C}$  por 72 horas. Após esse processo, as amostras foram pesadas com balança de precisão (Mark 1300, Analyser, Brasil) para determinar as massas secas em g. A massa seca e fresca total (MFT, MST) foi obtida a partir da soma das variáveis descritas acima. O volume das raízes (VR) foi determinado em  $\text{cm}^3$ , pelo método do deslocamento da água em proveta, segundo a metodologia descrita por Costa et al. (2018).

## 2.7 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas com o *software* Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas, versão 9.1 (SAEG, 2007). Os dados foram submetidos aos testes de homogeneidade de variância (Cochran) e normalidade (Lilliefors). Uma vez atendidos esses testes, foi realizada a análise de variância (ANOVA) para constatar o efeito isolado e de interação entre os fatores em estudo (concentração de paclobutrazol e níveis de salinidade) pelo teste F ( $p < 0,05$  ou  $p < 0,01$ ). Quando o efeito das concentrações de paclobutrazol foi significativo, procedeu-se a análise de variância da regressão, pelo método polinômios ortogonais, cujos modelos de melhor ajuste foram definidos com base no nível de significância pelo teste F ( $p < 0,1$ ,  $p < 0,05$  ou  $p < 0,01$ ) e a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2 \geq 60$ ), associado ao valor biológico. Enquanto para o efeito dos níveis de salinidade, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Por fim, quando houve interação entre os fatores em estudo, foi realizado o desdobramento, cuja a escolha do modelo matemático procedeu os mesmos requisitos listados acima.

## 3. Resultados

Quando se analisou as trocas gasosas foliares, a interação entre os níveis de salinidade (S) e do regulador (PBZ) foi verificada apenas para *A*, aos 185 DAE; para o crescimento vegetativo, a interação entre fatores ocorreu para as características relacionadas ao alongamento da haste principal e dos ramos laterais (número de dias para a planta atingir o arame, P; comprimento do ramo secundário, CR). Quando o crescimento reprodutivo foi analisado, a interação foi verificada para o número de botões florais (Tabela 1).

O efeito isolado das concentrações do regulador (PBZ) para a análise de trocas gasosas foi consistente, sendo verificado para *A*, *gs* e *E*, aos 125 e mantendo-se aos 185 DAE. Para *A/Ci*, o efeito de PBZ foi efêmero, sendo observado apenas aos 125 DAE, não persistindo aos 185 DAE. O PBZ afetou o teor de pigmentos específicos, como os carotenoides e a clorofila, sem alterações dos demais pigmentos cloroplastídicos e índice SPAD. O efeito do regulador foi expressivo, quando foi analisado o crescimento vegetativo da parte aérea da planta (comprimento da haste principal, ALT; diâmetro basal do ramo principal, DB; área foliar do ramo principal, AFRP; e peso de massa seca da parte aérea, MSPA). Na parte aérea, o diâmetro basal da planta (DB) foi a característica mais persistente, ocorrendo aos 125 DAE e mantendo-se aos 185 DAE. O acúmulo de



massa seca total (MST) e volume de raízes (VR) também foram características sensíveis ao regulador (Tabela 1).

Para o efeito isolado da salinidade, observou-se alterações em estágios tardios das trocas gasosas foliares, expressa para  $A$  e  $E$ , não ocorrendo efeito deste fator para  $g_s$ , como observado para PBZ. A salinidade afetou, de modo diferenciado, o índice Spad e os teores de clorofilas. O índice SPAD, nas folhas da porção basal do ramo principal, foi afetado pela salinidade, aos 185 DAE. Efeito contrário ocorreu para as folhas da porção mediana do ramo principal, não sendo observado efeito da salinidade para o índice Spad, mas os teores de clorofilas foram afetados. Para a morfologia das plantas de maracujazeiro - azedo, a salinidade alterou apenas características das raízes, como o peso de massa seca e o volume (Tabela 1).

Nenhum dos fatores em análise afetou as características associadas às relações hídricas (Tabela 1).

**Tabela 1-** Resumo da análise de variância da taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (*A*), condutância estomática (*gs*), taxa de transpiração (*E*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), eficiência intrínseca do uso de água (*A/gs*), eficiência do uso da água (*A/E*), eficiência de carboxilação (*A/Ci*), temperatura foliar (TF), potencial hídrico foliar e teor relativo de água ante-manhã ( $\Psi_w$ , TRA), índice SPAD médio, da porção basal e apical do ramo principal (SPAD M, B, A) e da porção mediana do ramo secundário (SPAD R), teor de carotenoides (Car), teor de clorofila a, b e a+b (Cl: a, b, a+b), altura (ALT), número de dias a partir do transplântio para realização da poda do ramo principal (P), diâmetro basal (DB), número de folhas totais e trilobadas (NFT, NFTR), comprimento do ramo secundário (CR), área foliar do ramo principal (AFTPR), massa fresca e seca da parte aérea (MFPA, MSPA), raiz (MFR, MSR) e total (MFT, MST), volume da raiz (VR), número de botões florais totais (NBT) e índice de velocidade de florescimento (IVF) de plantas de maracujazeiro - azedo (*Passiflora edulis* Sims.) submetidas a diferentes concentrações de regulador de crescimento paclobutrazol (PBZ) e níveis de salinidade (S), avaliadas aos 125 e/ou 185 dias após a emergência.

QUADRADOS MÉDIOS																	
FV	GL	A		gs		E		Ci		A/gs		A/E		A/Ci		TF	
		125	185	125	185	125	185	125	185	125	185	125	185	125	185	125	185
BL	4	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	*	ns	**	*
S	2	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PBZ	4	**	**	**	**	*	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
S x PBZ	8	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		16,0	18,6	25,0	34,5	21,2	20,0	6,5	8,5	18,3	19,8	17,2	16,8	15,6	29,9	2,6	3,6

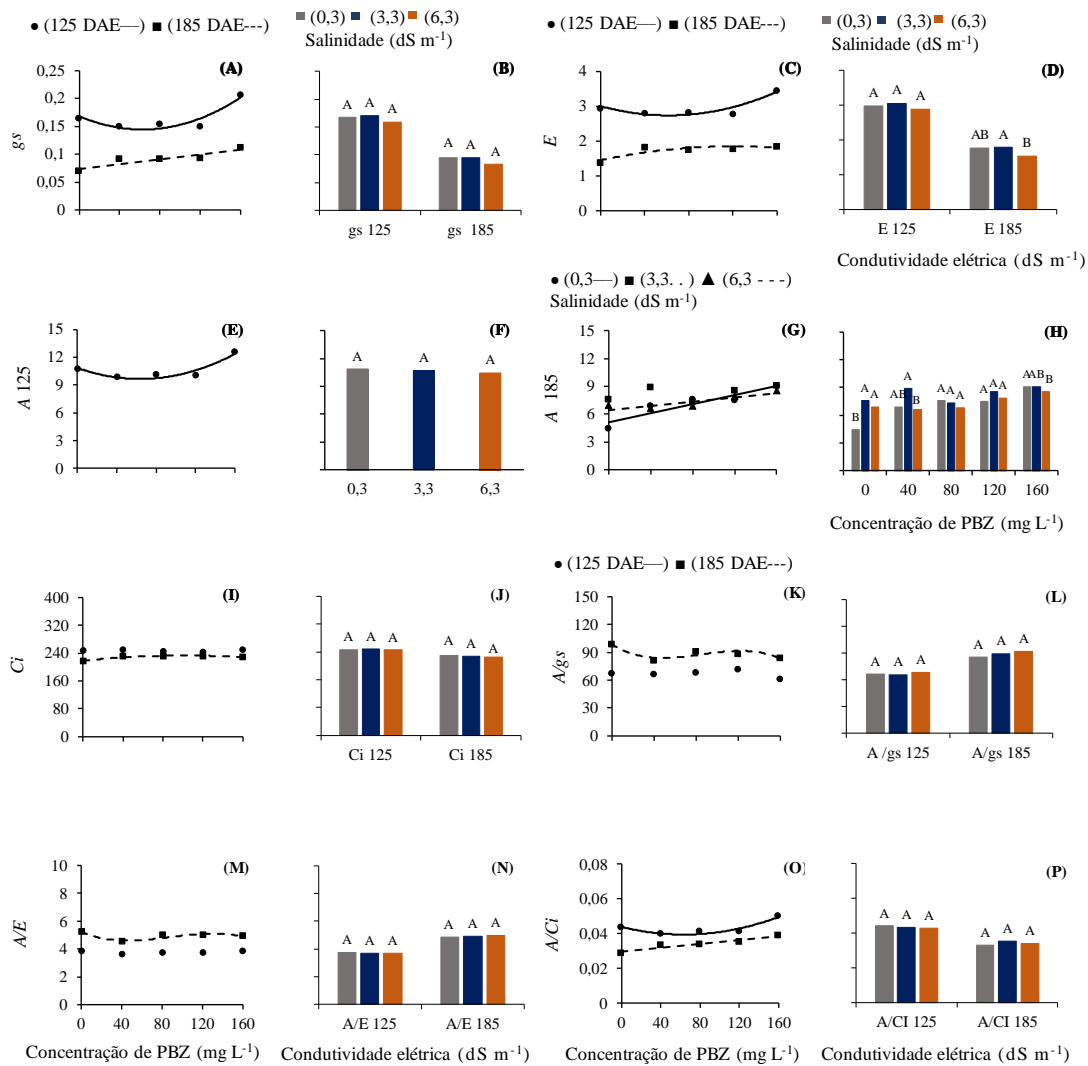
FV	GL	$\Psi_w$		TRA		SPAD						Car		Cl			ALT	P	
						M		B		A		R			a + b				
		125	185	125	185	125	185	125	185	125	185		185	a	b	a + b			125
BL	4	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	*	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
S	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	**	**	**	ns	ns
PBZ	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	**	**	
S x PBZ	8	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
CV (%)		64,4	83,1	4,7	7	6,3	6,3	6,3	9,6	8,4	9,1	7,3	41,7	35,6	39,7	35,6	12,5	9,0	

FV	GL	DB		NFT		NFTR		CR	AFPR	MFPA	MFR	MFT MSPA		MSR	MST	VR	NBT	IVF
		125	185	125	185	125	185					185	185					
BL	4	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	**	*	ns	ns	*
S	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
PBZ	4	**	**	ns	ns	ns	ns	*	**	ns	ns	ns	**	ns	**	*	ns	ns
S x PBZ	8	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
CV (%)		7,27	8,8	9,9	16,9	39,4	24,7	21,9	27,5	10,1	21,3	9,8	11,5	17,7	9,8	15,1	38,1	78,1

ns, \* e \*\*: não significativo, significativo pelo teste “F” a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; BL: bloco; CV: coeficiente de variação.

Modelos quadráticos foram definidos para a relação entre trocas gasosas, avaliadas aos 125 DAE, em função das concentrações de PBZ (Figura 2 A, C, E, O). Para *A*, *gs*, *E* e *A/Ci*, ocorreram decréscimos de valores até 61,3, 66,6, 61,4 e 50 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, respectivamente. Valores superiores ao controle dessas variáveis, foram verificados para concentrações maiores que 123, 133,3, 123 e 100 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, respectivamente. Diferente da relação estabelecida com o fator PBZ, avaliado aos 125 DAE, para os níveis de salinidade, foi observada homogeneidade entre os tratamentos, sem diferença na comparação das médias (Figura 2 B, D, F, J, L, N, P).



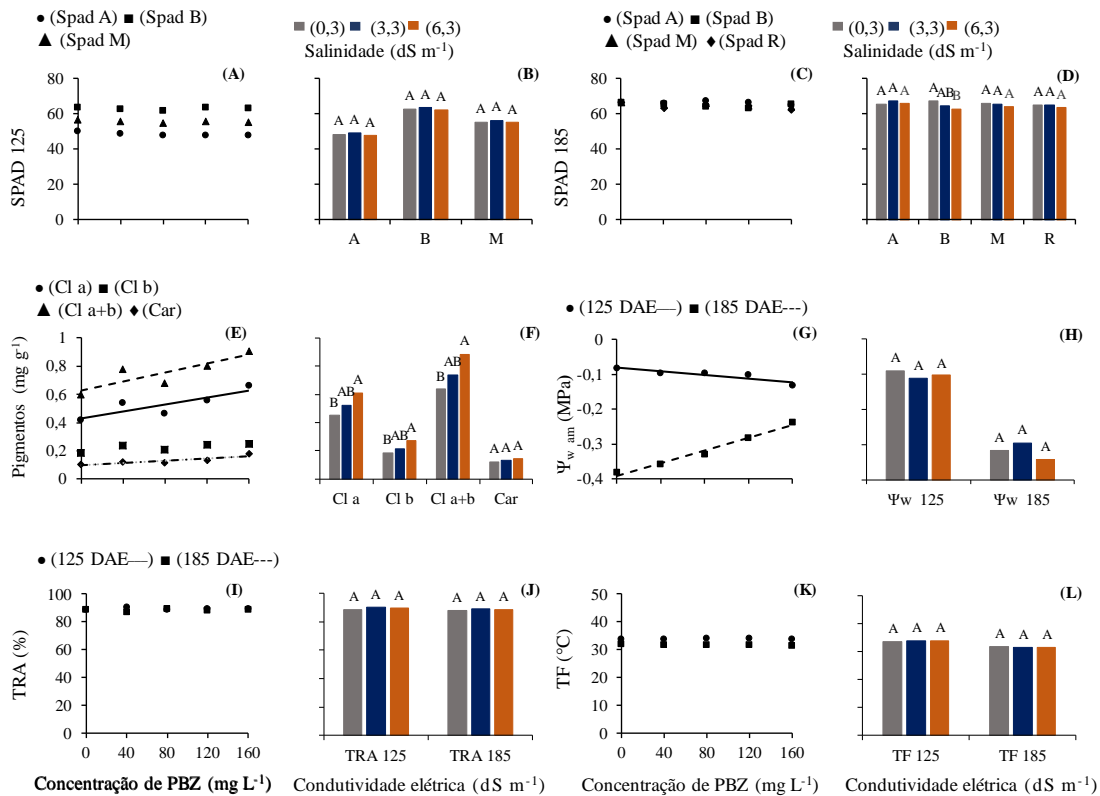
**Fig. 2.** Trocas gasosas foliares de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e níveis de salinidade, aos 125 e 185 dias após a emergência (DAE). (A, B): condutância estomática –  $g_s$ ; (C, D): taxa de transpiração –  $E$ ; (E, F, G, H): taxa de assimilação líquida de  $CO_2$  –  $A$ ; (I, J): concentração interna de  $CO_2$  –  $C_i$ ; (K, L): eficiência intrínseca do uso da água –  $A/g_s$ ; (M, N): eficiência do uso da água –  $A/E$  e (O, P): eficiência da carboxilação –  $A/C_i$ . Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos na Tabela A1.

No desdobramento da interação entre os fatores, quando foi avaliada a taxa de fotossíntese líquida potencial ( $A$ ) aos 185 DAE, em função das concentrações de PBZ, foi possível definir modelo linear crescente para as plantas submetidas a 0,3 e 6,3  $dS\ m^{-1}$  (Figura 2 G). A salinidade restringiu o efeito das concentrações de PBZ, conforme observado por meio do menor coeficiente angular do modelo referente ao tratamento de 6,3  $dS\ m^{-1}$  em relação a 0,3  $dS\ m^{-1}$  (0,0112 comparado a 0,0243, respectivamente) (Figura 1 G). Apesar do valor de  $A$  das plantas submetidas a 0,3  $dS\ m^{-1}$  ser inferior às plantas submetidas a tratamentos de maior condutividade elétrica da água na ausência do

regulador, com a elevação da concentração de PBZ, foi definida inversão deste efeito. Para a concentração de  $160 \text{ mg L}^{-1}$ , em plantas mantidas em condutividade elétrica de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ , foi verificado maior valor de  $A$  em relação àquelas conduzidas em tratamento de  $6,3 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 2 H).

Semelhantemente ao verificado para  $A$ , aos 185 DAE, foram definidos modelos lineares e quadráticos, que caracterizaram elevação de valores de  $g_s$ ,  $E$ ,  $C_i$  e  $A/C_i$  com aumento da concentração do regulador (Figura 2 A, C, I, O). Aos 185 DAE, a elevação das concentrações do regulador reduziram os valores da eficiência do uso da água ( $A/E$ ) e intrínseca do uso da água ( $A/g_s$ ), sendo esta relação caracterizada por modelo cúbico (Figura 2 K e M).

Quando a salinidade foi avaliada aos 185 DAE, apenas para  $E$  foi observada redução de valores para plantas submetidas a  $6,3 \text{ dS m}^{-1}$  em relação a  $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ . Para as demais características de trocas gasosas, não houve diferença entre os tratamentos de salinidade (Figura 2 B, D, J, L, N, F). A elevação do índice SPAD, induzida pelo regulador, é um fato comum, entretanto, não foi observada no presente estudo (Figura 3 A, C). Para o fator salinidade, é clássico o efeito da redução da coloração verde das folhas, sendo verificado, neste estudo, menor índice SPAD para o tratamento  $6,3 \text{ dS m}^{-1}$ , em comparação a  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ , nas medições realizadas na porção basal da haste principal, aos 185 DAE (Figura 2 D).



**Fig. 3.** Características fisiológicas e bioquímicas de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e níveis de salinidade, aos 125 e 185 dias após a emergência (DAE). (A, B, C, D): índice SPAD médio, da porção basal e apical do ramo principal (SPAD M, B, A) e da porção mediana do ramo secundário (SPAD R); (E, F): teor de carotenoides - Car, teor de clorofila a, b e a+b - Cl: a, b, a+b; (G, H): potencial hídrico foliar -  $\Psi_w$  no antemanhã (am); (I, J): teor relativo de água na folha - TRA e (K, L): temperatura foliar - TF. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos na Tabela A1.

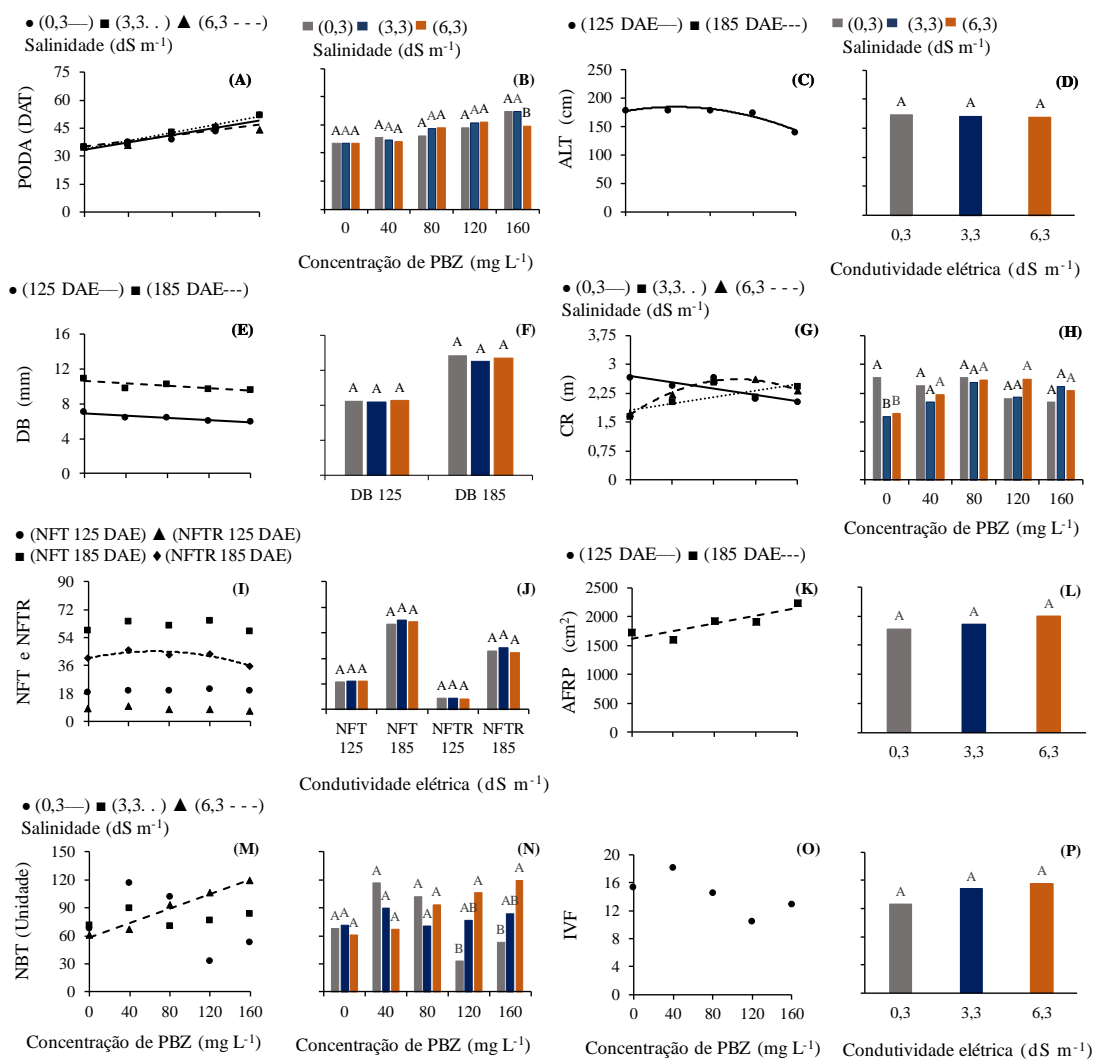
Entretanto, para os pigmentos fotossintéticos determinados em folhas da porção apical, houve elevação de valores para os acréscimos de concentrações do regulador de crescimento, bem como níveis de salinidade (Figura 3 E, F). Esse efeito foi pronunciado para os teores de clorofila a, total e carotenoides, sendo observado aumento de 32,7, 29,1 e 38,8%, respectivamente, entre 0 e 160 mg L<sup>-1</sup> de PBZ (Figura 3 E). O fator salinidade afetou todos os teores de clorofila, sendo verificado acréscimo superior a 30% entre os níveis de salinidade 0,3 e 6,3 dS m<sup>-1</sup> (Figura 3 F). Apesar da relação de elevação dos teores de carotenoides e concentração de PBZ ter sido estabelecida, indicando ativação de um mecanismo de fotoproteção da planta, nenhum efeito foi observado para os níveis de salinidade (Figura 3 F).

Quando analisado o potencial hídrico foliar aos 125 DAE, foi definida uma tendência de redução de valores em função da elevação das concentrações de PBZ,

delineada pelo modelo linear. Entretanto, aos 185 DAE, foi definida tendência oposta, definida pela elevação de valores em função dos acréscimos do regulador, caracterizado pelo modelo linear crescente (Figura 3 G). Para o potencial hídrico, não houve diferenças entre os tratamentos de estresse salino; e, para TRA e temperatura foliar, nenhuma tendência foi estabelecida em função das concentrações do regulador de crescimento e níveis de salinidade (Figura 3 H, I, J, K, L).

Para a análise do período do transplântio até a poda da haste principal (P) em função das concentrações de PBZ, foram definidos modelos lineares crescentes para os três tratamentos relativos à salinidade (Figura 4 A). A diferença na magnitude do coeficiente angular dos tratamentos 0,3 e 3,3 dS m<sup>-1</sup> (0,099 e 0,107, respectivamente), superiores em relação a 6,3 dS m<sup>-1</sup> (0,073), resultou em redução do intervalo de tempo para a realização da poda desse tratamento, quando os níveis de salinidade foram comparados (Figura 4 A, B).

O maior período até a realização da poda da haste principal (P) está diretamente relacionado à restrição de crescimento imposta pelo PBZ na haste principal, conforme foi possível constatar na relação entre altura (ALT) e diâmetro basal (DB) das plantas de maracujazeiro - azedo em função das concentrações do regulador (Figura 4 C, E). Entretanto, esta reciprocidade não foi verificada, quando se analisou o efeito da salinidade para ALT e DB, ocorrendo igualdade entre os tratamentos, diferentemente do observado para P (Figura 4 D, F).



**Fig. 4.** Características morfológicas de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e níveis de salinidade, aos 125 e 185 dias após a emergência (DAE). (A, B): número de dias a partir do transplântio para realização da poda – P; (C, D): altura – ALT; (E, F): diâmetro basal – DB; (G, H): comprimento do ramo secundário – CR; (I, J): número de folhas totais – NFT e número de folhas trilobadas – NFTR; (K, L): área foliar do ramo principal – AFRP; (M, N): número de botões totais – NBT e (O, P): índice de velocidade de florescimento – IVF. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos na Tabela A1.

Quando se analisou o comprimento dos ramos laterais (CR) em função das concentrações de PBZ, foi verificada relação de decréscimos para as plantas submetidas ao tratamento  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ , semelhantemente à relação observada entre altura e diâmetro basal (DB) em função das concentrações do regulador. Este padrão foi alterado para plantas submetidas a  $3,3$  e  $6,3 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo caracterizado por acréscimos com aumento da concentração de PBZ, definidos por modelo linear e quadrático, respectivamente. As plantas sem tratamento com o regulador ( $0 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ), quando irrigadas com água sem adição de NaCl ( $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ ), apresentaram maior comprimento do ramo secundário

em relação às plantas submetidas a 3,3 e 6,3 dS m<sup>-1</sup> de condutividade elétrica da água, aos quais não diferiram entre si (Figura 4 H), sendo superior em 32,6 e 37,47%, respectivamente. Essa superioridade não foi mantida para as demais concentrações do regulador, ocorrendo homogeneidade de valores entre os níveis de salinidade.

Embora o número de folhas totais (NFT) e número de folhas trilobadas (NFTR) não tenham sido alteradas pelo PBZ e níveis de salinidade, em ambos os períodos de avaliação, foi observada tendência definida pelo modelo quadrático para a relação entre número de folhas trilobadas e as concentração do regulador, aos 185 DAE (Figura 4 I, J). Todos os valores mantiveram-se superiores às plantas controle (sem o regulador) até a concentração de 135 mg L<sup>-1</sup> de PBZ (Figura 4 I).

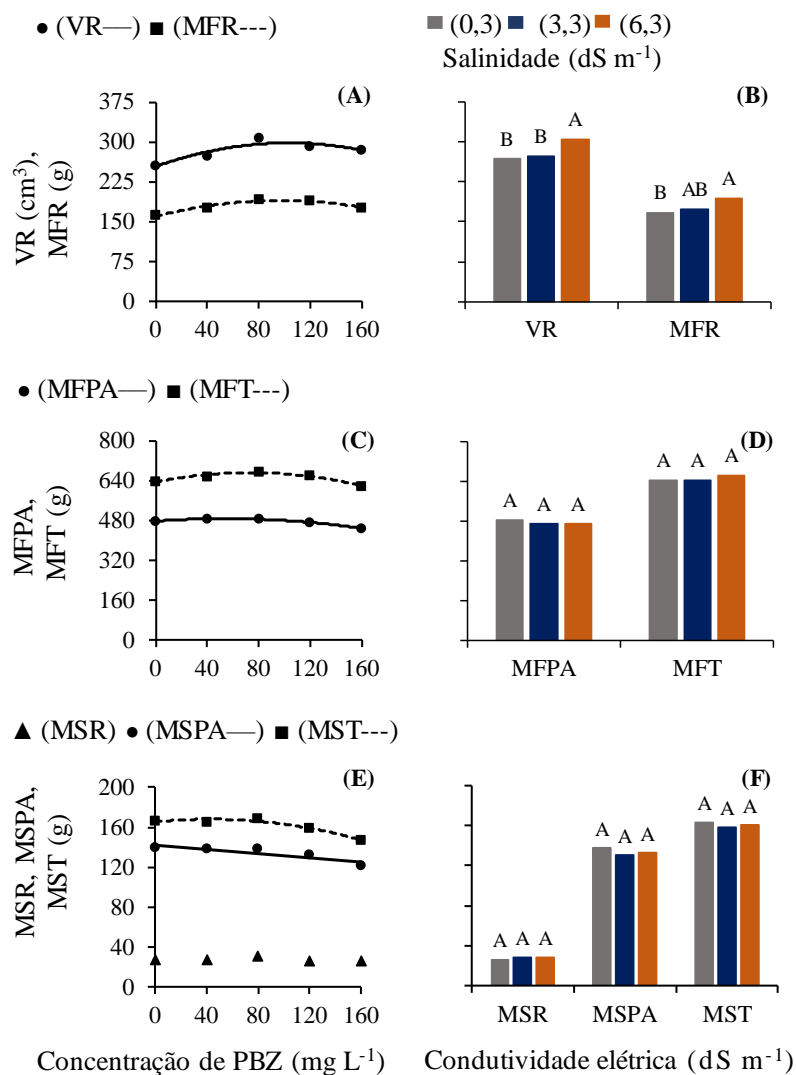
Para área foliar total do ramo principal (AFRP), o efeito do regulador foi mais contundente, com definição de modelo linear crescente, ocorrendo um acréscimo de 24,79% da maior concentração de PBZ em relação ao tratamento controle (Figura 4 K). O efeito do fator salinidade não foi detectado na comparação de médias relacionadas à área foliar total do ramo principal (Figura 4 L).

Quando foi analisado o crescimento reprodutivo em função das concentrações do regulador, foi delineado modelo linear crescente somente para o nível de salinidade de 6,3 dS m<sup>-1</sup>, com acréscimo de 107,09 % de botões florais, verificado para a maior concentração de PBZ em relação ao tratamento controle (Figura 4 M).

Ao estudar os níveis de salinidade em relação a cada tratamento de PBZ, para os botões florais totais, constatou-se maior emissão de botões nas plantas de maracujazeiro, submetidas aos maiores níveis de salinidade (6,3 dS m<sup>-1</sup>) e concentração de PBZ de 120 e 160 mg L<sup>-1</sup>, em comparação às plantas irrigadas com menores níveis de condutividade elétrica da água (Figura 4 N).

A relação entre VR, em função do inibidor da biossíntese de giberelina, foi caracterizada por modelo quadrático, com maiores valores observados para 102,75 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, correspondente a 44,34 cm<sup>3</sup> (14,8% superior ao tratamento controle), (Figura 5 A). Para o fator salinidade, ocorreu maior valor de VR em plantas submetidas à água com maior condutividade elétrica (6,3 dS m<sup>-1</sup>), quando comparada aos demais tratamentos (Figura 5 B).





**Fig. 5.** Massas frescas e secas e volume das raízes de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) e níveis de salinidade, aos 185 dias após a emergência (DAE). (A, B): volume da raiz (VR) e massa fresca da raiz – MFR; (C, D): massa fresca da parte aérea – MFPA e massa fresca total – MFT; (E, F): massa seca da parte aérea – MSPA, massa seca da raiz – MSR e massa seca total -MST. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) são descritos na Tabela A1 Apêndice A1 no material suplementar.

Foram ajustadas tendências quadráticas para as massas frescas da raiz, parte aérea e total em função das concentrações do regulador de crescimento, sendo caracterizado por incremento até 95,84, 54,72 e 73,2 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, respectivamente (Figura 5 A, C). O PBZ também afetou a quase totalidade dos estratos de massas secas, exceto a massa seca da raiz (Figura 5 E). Para a relação entre massa seca da parte aérea e as concentrações do regulador, foi definido o modelo linear decrescente, perfazendo 12 % de decréscimo para 160 mg L<sup>-1</sup> de PBZ em relação à testemunha. Para a relação entre massa seca total e

as concentrações do regulador, foi possível definir modelo quadrático, com máximos até 43,96 mg L<sup>-1</sup> de PBZ.

Houve baixa expressividade para a relação entre massas frescas e secas, quando associadas aos níveis de salinidade, sendo observada diferença apenas para a massa fresca da raiz (MFR) (Figura 5 B, D, F). Maior acúmulo de massa fresca radicular ocorreu para as plantas submetidas a 6,3 dS m<sup>-1</sup> de condutividade elétrica da água, não havendo diferença das condições impostas por 3,3 dS m<sup>-1</sup> (Figura 5 B).

#### 4. Discussão

Algumas espécies do gênero *Passiflora* podem apresentar estratégias de adaptação à salinidade, por intermédio, por exemplo, da excreção ou transporte dos sais para outros tecidos (Hurtado-Salazar et al., 2020). Essa capacidade de aclimatação é comumente observada em plantas glicofíticas, consideradas moderadamente tolerantes. A espécie *Passiflora edulis* é classificada como sensível (Pinheiro et al., 2022), a moderadamente tolerante ao estresse salino (Souto et al., 2022), apresentando alterações morfofisiológicas, bioquímicas e moleculares que mitigam os danos do estresse (Ferreira et al., 2022).

Embora o patamar superior do nível de condutividade elétrica da água seja definido como 1,3 dS m<sup>-1</sup> (Hurtado-Salazar et al., 2018; Soares et al., 2002), para o presente estudo, plantas no início do desenvolvimento vegetativo, conduzidas em níveis de condutividade elétrica da água de 3,3 e 6,3 dS m<sup>-1</sup>, tiveram efeitos da salinidade tardios (185 DAE), afetando, discretamente, o crescimento vegetativo, trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos. Estes fatos corroboram incertezas na definição da classificação e manejo do maracujazeiro - azedo no cenário dos ambientes salinos. Além dos fatores climáticos, edáficos e manejo cultural (Lima et al., 2020), os componentes e limites relativos à condutividade elétrica da água e o estágio de desenvolvimento da espécie parecem ser os argumentos centrais da ausência de um consenso na base de conhecimentos sobre classificação desta cultura em relação à salinidade. Em estudos conduzidos em campo, Ferreira et al. (2022) verificaram que plantas de maracujazeiro - azedo somente apresentaram os sintomas clássicos de salinidade a partir do segundo e terceiro ano de cultivo, com exposição à água com condutividade elétrica superior a 3,8 dS m<sup>-1</sup>. Dessa forma, para estudos relacionados à salinidade da água, o maior período de condução da cultura resulta em maior concentração de sais no meio de cultivo e em maior grau de tolerância das plantas, devido ao estágio de desenvolvimento mais avançado.

Para o presente estudo, a modulação entre o manejo de PBZ e a salinidade foi expressa quando se avaliou o alongamento dos ramos secundários de maracujazeiro - azedo. O efeito do PBZ restringiu o crescimento dos ramos laterais no tratamento 0,3 dS m<sup>-1</sup>; para as plantas sob estresse salino, houve efeito contrário, sendo observado maior crescimento dos ramos laterais em função das concentrações de PBZ (em concentrações de 160 e 99,4 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente para 3,3 e 6,3 dS m<sup>-1</sup>). Esse efeito diferenciado do PBZ pode estar associado às alterações da atividade das enzimas galactosidásicas em condição de salinidade. A ação dessas enzimas, relacionadas ao afrouxamento da parede no processo de alongamento celular, é modulada, de modo diferenciado, para as fases de desenvolvimento e tecidos do caule de plântulas em tratamento salino. De acordo com Sudério et al. (2011), nas fases iniciais de desenvolvimento, há inibição das galactosidases e restrição de crescimento, enquanto nas fases finais, principalmente na região de maior crescimento (epicótilo), ocorre elevação da atividade das enzimas e maior crescimento para plantas submetidas à salinidade em relação ao controle.

O maior vigor de crescimento dos ramos secundários promovido pelo PBZ, em plantas submetidas à salinidade, foi associado ao efeito do regulador manter a condutividade hidráulica no xilema (Ayaci et al., 2023). O comprimento dos ramos é uma característica importante, pois representa o estrato da planta com maior potencial reprodutivo (Cavicchioli et al., 2020; Celestrino et al., 2020; Souza et al., 2016). A aplicação de PBZ em mudas de maracujazeiro - azedo eleva os teores de lignina (Teixeira et al., 2019), que permeia toda a parede celular, aumentando a rigidez e o caráter hidrofóbico desta estrutura. Sob salinidade, a coluna de água no xilema se torna mais susceptível a rupturas, devido à restrição do fluxo de água, definida pela redução do diferencial de potencial hídrico entre solo-planta. A maior espessura da parede celular do xilema, induzida pelo PBZ, em períodos anteriores à submissão ao estresse salino, promove maior resistência física dos vasos, reduzindo a incidência da embolia causada pela salinidade e mantendo a condutividade hidráulica (Lautner, 2013). A tendência de maiores valores para o potencial hídrico foliar em função das concentrações de PBZ foi verificada neste estudo, indicando a ocorrência de suprimento de água necessária para o crescimento dos ramos laterais.

O aumento da espessura da parede celular é um mecanismo de tolerância induzido pela salinidade, entretanto, não foi detectado, até o momento, para o maracujazeiro - azedo. Na comparação realizada entre os tratamentos de salinidade, não foi verificada alteração do potencial hídrico foliar. Embora o suprimento com água salina reduza o

potencial osmótico da planta, a elevação do potencial pressão, ocasionada pela maior rigidez das paredes celulares, induzida pela salinidade, resulta nessa homogeneidade entre os tratamentos. A ausência da relação entre os níveis de salinidade e o potencial hídrico foliar, observada neste estudo, também pode estar associada ao aumento da formação de cristais de pectatos de cálcio, denominados drusas, verificado em maracujazeiro - azedo, submetido a água salina (Moura et al., 2020; Moura et al., 2021). Tais mecanismos alteram o padrão isohídrico do maracujazeiro - azedo, mantendo o patamar do potencial hídrico e da condutância estomática das plantas, mediando as variações de salinidade.

Diversos fatores ou mecanismos podem atuar de forma independente ou em conjunto para possibilitar respostas das plantas a situações de estresses abióticos, principalmente em condições severas de salinidade ou hídrica (Krasensky e Jonak, 2012). Os sintomas da salinidade assemelham – se muito ao estresse hídrico (Munns et al., 2008), relacionadas às várias alterações adversas quanto ao desbalanço hídrico, nutrição mineral e trocas gasosas. Para o presente estudo, a homogeneidade quanto ao status hídrico foliar das plantas, em condições de salinidade, foi relacionada ao incremento na massa fresca e volume radicular.

De acordo a intensidade do estresse hídrico ou salinidade, as plantas podem autorregular sua morfofisiologia para manter o status hídrico equilibrado. Uma das estratégias observada neste estudo foi a alteração da relação fonte-dreno, caracterizada pelo maior acúmulo de massa fresca e volume das raízes. Alterações morfológicas do sistema radicular, em condições de estresse, associada ao condicionamento de vasos xilemáticos e alterações na condutividade hidráulica, pode otimizar a condução e o armazenamento de água nos tecidos (Tan et al., 2020).

Nesse contexto, no que diz respeito à pesquisa em questão, os íons salinos estariam ativando o mecanismo de adaptação. Isto é comprovado através do aumento da capacidade de assimilação de CO<sub>2</sub> como estratégia de manter o funcionamento dos processos essenciais, a exemplo de crescimento (Hussain et al., 2020; Zhang, et al., 2023), efeito este não observado para o crescimento dos ramos, e a similaridade para demais variáveis. Quando as plantas estão em processo de adaptação às condições de estresse, a rota do metabolismo de carbono é direcionada para as vias de síntese de defesa, como a síntese de metabólitos com atividade enzimática em detrimento da função estrutural (síntese de celulose e hemicelulose) (Munns et al., 2015). Tais estratégias comprovam a similaridade no acúmulo de massas secas entre as plantas irrigadas com os diferentes

níveis de condutividade elétrica 0,3, 3,3 e 6,3 dS m<sup>-1</sup>, indicando o maior gasto metabólico para os mecanismos de escape (Bai et al., 2019).

Nas plantas glicofíticas, embora não seja tão eficiente quanto as halófitas, os íons salinos podem induzir mecanismos de adaptação nas plantas, tendo como resultado uma resposta ao estresse (Bai et al., 2019; Carvalho et al., 2017; Rostampour et al., 2023). Para o presente estudo, a presença de sais induziu a manutenção do status hídrico e da condutância estomática, com aumento da taxa fotossintética, semelhantemente ao observado para tomateiros submetidos à salinidade e posteriormente à condição de déficit hídrico (Zhang et al., 2023). Isso não propõe que a salinidade, nas condições de estudo, esteja favorecendo as plantas de maracujazeiro, mas sim a ativação de mecanismos que a planta pode utilizar para evitar ou retardar uma toxicidade iônica, por exemplo.

Em geral, o incremento dos níveis de clorofila, em função do maior teor salino, pode estar relacionado aos principais fatores: redução do alongamento celular, o que torna folhas menores e mais espessas; conseqüentemente, aumento da densidade de cloroplastos por área; e indução de enzimas antioxidantes e hormônios vegetais que atuam no processo de sinalização da aclimação, conferindo mais estabilidade dos pigmentos. Para o presente estudo, embora tenha ocorrido a restrição de crescimento dos ramos, as características relativas às folhas permaneceram inalteradas. Assim, esses fatos poderiam estar mais vinculados ao processo de detecção, sinalização do estresse. A tensão salina pode resultar em uma resposta compensatória em certas espécies, nas quais utilizam carbono assimilado para sustentar as células e formar organelas, em vez de promover o crescimento somático (Shoukat, 2019). O aumento dos níveis de clorofila em plantas de maracujazeiro - azedo, sob salinidade, foi verificado em diversos estudos (Bezerra et al., 2020; Moura et al., 2020).

Maiores concentrações de pigmentos podem estar associadas a maiores taxas fotossintéticas em plantas submetidas à salinidade (Zahra et al., 2022). Nas plantas em estudo, apesar da elevação das clorofilas ocorrerem na porção apical, houve redução do índice Spad em folhas da porção basal da haste principal. Geralmente, são nestes tecidos onde ocorre os primeiros sintomas de clorose foliar, devido à maior concentração de sais, antecipando a senescência.

Diversos estudos mencionam que os reguladores de crescimento têm a capacidade de reduzir os efeitos negativos do estresse abiótico (Soumya et al., 2017). Em *Passiflora edulis* sob estresse hídrico, as menores concentrações do inibidor da biossíntese de giberelina promoveram a maior capacidade de absorção e armazenamento de água sob

excesso hídrico (Teixeira et al., 2023). Neste estudo, embora o regulador não tenha condicionado alterações no status hídrico foliar em função da salinidade, aos 125 e 185 DAE, quando foram avaliadas as trocas gasosas aos 185 DAE ocorreu a maior capacidade de assimilação de CO<sub>2</sub> para as condições de maiores níveis de salinidade. A efetividade do PBZ em incrementar as trocas gasosas já foi observada desde os 125 DAE, quando as plantas não apresentavam efeito da salinidade.

O PBZ promove várias alterações anatômicas, como aumento da espessura foliar e parênquima paliçádico, e redução do parênquima esponjoso (Teixeira et al., 2019), alterações essas que podem ser expressas em *Passiflora* silvestres, quando submetidas a níveis de salinidade, e que são consideradas mais tolerantes aos sais. Esses mecanismos estariam relacionados com a otimização de adaptação e, conseqüentemente, manutenção ou melhorias do aparato fotossintético. O regulador de crescimento pode atuar aumentando a densidade de vasos xilemáticos com menor calibre, o que contribui para a otimização da condutividade hidráulica, favorecendo maior disponibilidade de água e nutrientes das raízes para a parte aérea e as taxas fotossintéticas, sob condições de estresse. Além disso, aumenta os níveis de atividade antioxidante, mantém a estabilidade da membrana e pigmentos fotossintéticos (Soumya et al., 2017). Isto está de acordo com a análise do teor de clorofila aos 185 DAE, em relação ao uso isolado do fator PBZ; e aos 185 DAE, em relação à fotossíntese em condições de níveis elevados de condutividade elétrica e tratadas com o regulador. A maior taxa fotossintética em plantas tratadas com PBZ em salinidade pode ter resultado em maior capacidade de crescimento dos ramos nas plantas.

Sob estresse osmótico salino, as plantas direcionam energia para a síntese de compostos orgânicos e inorgânicos, transporte e reparo de íons, visando aumentar a tolerância e preservar seus tecidos do estresse, reduzindo, assim, os metabólitos para o crescimento (Bai et al., 2019). O pré-tratamento com as moléculas exógenas pode ativar as vias de sinalização de antioxidantes relacionados à defesa da planta contra o estresse, levando a seu acúmulo e, conseqüentemente, menor custo metabólico da planta sob possível estresse (Nguyen, 2018).

A elevação da área foliar da haste principal e o aumento dos teores de pigmentos fotossintéticos e fotoprotetores, em função das concentrações de PBZ, foram fatores que determinaram a maior capacidade fotossintética do maracujazeiro - azedo submetido ao regulador. Para a condição salina, a elevação dos teores dos pigmentos fotossintéticos não foi acompanhada pelo aumento dos pigmentos fotoprotetores, resultando em limitação

destes acréscimos na relação entre fotossíntese líquida em função do PBZ, por processos de fotoinibição.

Para o maior nível de salinidade deste estudo, o crescimento do ramo lateral foi diretamente associado ao número de botões florais, ocorrendo semelhança para a relação destas características em função da elevação das concentrações de PBZ. Geralmente, ramos maiores e entrenós curtos aumentam a capacidade reprodutiva das plantas. Além disso, a hipótese mais aceita seria a precocidade reprodutiva e elevação do número de botões florais induzidas por PBZ, já constatada em plantas de maracujazeiro - azedo (Teixeira et al., 2023). A menor síntese de giberelina induzida por PBZ, na fase de mudas do maracujazeiro - azedo, induz maior acúmulo de amido no tecido caulinar, precocidade heteroblástica, antecipando a transição da fase juvenil para a fase adulta (Teixeira et al., 2023). A salinidade também contribui para a antecipação do estágio reprodutivo, que pode ocorrer em estágios iniciais de estresses, quando as plantas tentam se adaptar, conforme observado no presente estudo.

Em geral, em plantas glicófitas, a elevação da concentração de sais reduz as estruturas reprodutivas, resultando principalmente no abortamento e queda prematura dos botões florais (Turner et al., 2013). Em plantas de tomateiro (*Solanum lycopersicum*), a redução do desenvolvimento reprodutivo, induzida por salinidade, foi associada à alteração fonte dreno, ou seja, à menor alocação de carboidratos solúveis das folhas para as estruturas reprodutivas (Ghanem et al., 2009; Bigot, et al., 2023). Nas plantas de maracujazeiro - azedo deste estudo, o estresse salino estimulou a fase reprodutiva (indução e diferenciação de estruturas) por meio da ativação de genes específicos, que foram expressas em botões florais, devido ao acúmulo de reservas em estruturas como as raízes, induzidas pelo PBZ.

## **5. Conclusões**

Para o presente estudo, a aplicação do inibidor de biossíntese de giberelinas em mudas afeta tanto a fase de crescimento vegetativo quanto reprodutivo, quando a salinidade é imposta no período pós-transplântio. Quando as mudas são tratadas com PBZ, a elevação da capacidade reprodutiva do maracujazeiro - azedo é expressa pelo maior comprimento dos ramos secundários e número de botões florais, nas plantas submetidas à salinidade. Alterações morfológicas do sistema radicular (volume e massa fresca), induzidas por salinidade e PBZ, representam estratégias de disponibilidade hídrica, elevando a capacidade de exploração do substrato, atenuando o efeito osmótico

dos sais na restrição do crescimento da parte aérea. O incremento da área foliar da haste principal e o aumento dos níveis de pigmentos fotossintéticos e fotoprotetores, em resposta às diferentes concentrações de PBZ, são os fatores que elevam a capacidade fotossintética do maracujazeiro - azedo, quando submetido a níveis elevados de salinidade. Os incrementos da taxa de fotossíntese líquida, induzidos pelas concentrações de PBZ, foram reduzidos para as plantas de maracujazeiro - azedo, submetidas ao maior nível de salinidade (6,3 dS m<sup>-1</sup>).

### **Contribuições dos autores**

TEC conduziu o experimento, realizou análises de campo e de laboratório, criou gráficos e redigiu o manuscrito. MSN orientou a condução do experimento, realizou a análise estatística, corrigiu e redigiu o manuscrito.

### **Declaração de Interesse Concorrente**

Os autores declaram que não têm interesses financeiros concorrentes conhecidos ou relacionamentos pessoais que possam parecer influenciar o trabalho relatado neste artigo.

### **Disponibilidade de dados**

Os dados serão disponibilizados mediante solicitação.

### **Agradecimentos**

Queremos agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Financiamento Código 001, pela bolsa recebida durante o período da pesquisa. Agradecemos também à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil, ao Laboratório de Fisiologia Vegetal e ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia, pelo apoio.

## **6. Referências**

- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24(1), 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Ayvaci, U., Koc, F.N., Cetinkaya, H., Dinler, B.S. 2023. Treatment with auxin and paclobutrazol mediates ros regulation, antioxidant defence system and cell wall response in salt treated soybean. *Brazilian Journal of Botany*. e-516. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2835516/v1>
- Bai, X., Dai, L., Sun, H., Chen, M., Sun, Y. 2019. Effects of moderate soil salinity on osmotic adjustment and energy strategy in soybean under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 307-313. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.029>



- Barbieri Jr., E., Rossiello, R.O.P., Morenz, M.J.F.; Ribeiro, R.C., 2010. Comparação de métodos diretos de extração e quantificação dos teores de clorofilas em folhas do capim-tifton 85. *Ciência Rural*. 40(3), 633-636. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010000300022>
- Bezerra, M.A.F., Cavalcante, L.F., Bezerra, F.T.C., Pereira, W.E., Nascimento Neto, E.C. 2020. Calcium as salinity mitigator on the production components of passion fruit cultivated in protected PITS1. *Revista Caatinga*. 33, 500-508. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n222rc>
- Bigot, S. 2023. Salinity impact on flowering and reproduction of *Solanum lycopersicum* and its wild halophyte relative *Solanum chilense* (Doctoral dissertation, UCL-Université Catholique de Louvain).
- Borges, A.L., Souza, L.D., 2010. Recomendações de calagem e adubação para o maracujazeiro. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, comunicado técnico 141, 4 p.
- Carvalho, D.R., Vasconcelos, M.W., Lee, S., Vreugdenhil, D., Heuvelink, E., Carvalho, S.M. 2017. Moderate salinity improves stomatal functioning in rose plants grown at high relative air humidity. *Environmental and Experimental Botany*. 143, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.07.018>
- Casaroli, D., Jong Van Lier, Q.D., 2008. Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 32(1), 59-66. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100007>
- Čatský, J., 1960. Determination of water deficit in disks cut out from leaf blades. *Biologia Plantarum*. 2(1), 76-78. <https://doi.org/10.1007/BF02920701>
- Cavichioli, J.C., Silva, J.S., Marques, L.F.S., Souza, E.M., Celestrino, R.B., Contiero, L. A.F., Vitorino, R.A. 2020. Desenvolvimento e produtividade de maracujazeiro-amarelo enxertado em dois sistemas de condução. *Research, Society and Development*. 9(11), 1-15. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10143>
- Celestrino, R.B., Cavichioli, J.C., Luppi, V.A.S., Vitorino, R.A., Contiero, L.A.F. 2020. Tipos de condução do maracujazeiro amarelo e suas influências sobre as características produtivas. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*. 10(1), 213-218. <https://doi.org/10.21206/rbas.v10i1.9663>
- Costa, S.J., Erasmo, E.A.L., Silva, J., Oliveira, T.C., 2018. Desempenho de híbridos de dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacq.) nas fases de pré-viveiro e viveiro. *Journal of Neotropical Agriculture*. 5(4), 34-39. <https://doi.org/10.32404/rean.v5i4.1435>
- Dou, Z., Abdelghany, A. E., Zhang, H., Feng, H., Zhang, Y., Yu, S., Zhang, F., Li, Z., Fan, J. 2023. Exogenous silicon application improves fruit yield and quality of drip-irrigated greenhouse tomato by regulating physiological characteristics and growth under combined drought and salt stress. *Scientia Horticulturae*. 321, e-112352. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112352>
- Dutta, T., Neelapu, N.R., Wani, S.H., Challa, S. 2018. Compatible solute engineering of crop plants for improved tolerance toward abiotic stresses. In *Biochemical, physiological and molecular avenues for combating abiotic stress tolerance in plants* (pp. 221-254). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813066-7.00012-7>
- Ferreira, J.F.S., Liu, X., Suddarth, S.R.P., Nguyen, C., Sandhu, D. 2022. NaCl accumulation, shoot biomass, antioxidant capacity, and gene expression of *Passiflora edulis* f. *Flavicarpa* Deg. in response to irrigation waters of moderate to high salinity. *Agriculture*. 12, e-1856. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111856>

Freire, J.L.O., Cavalcante, L.F., Rebequi, A.M., Dias, T.J., Souto, A.G.L. 2011. Necessidade hídrica do maracujazeiro amarelo cultivado sob estresse salino, biofertilização e cobertura do solo. *Revista Caatinga*, 24, 82–91.

Ghanem, M.E., Elteren, J.V., Albacete, A., Quinet, M., Martínez-Andújar, C., Kinet, J.M., Pérez-Alfocea, F, Lutts, S. 2009. Impact of salinity on early reproductive physiology of tomato (*Solanum lycopersicum*) in relation to a heterogeneous distribution of toxic ions in flower organs. *Functional Plant Biology*. 36, 125-136. <https://doi.org/10.1071/FP08256>

Hmidi, D., Abdelly, C., Athar, H.U.R., Ashraf, M., Messedi, D. 2018. Effect of salinity on osmotic adjustment, proline accumulation and possible role of ornithine- $\delta$ -aminotransferase in proline biosynthesis in *Cakile maritima*. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 24, 1017-1033. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0601-9>

Hurtado-Salazar, A., Silva, D.F.P., Ocampo, J., Ceballos-Aguirre, N., Bruckner, C.H. 2018. Salinity tolerance of *Passiflora tarminiana* Coppens & Barney. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 12, 11-19. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7335>

Hurtado-Salazar, A., Silva, D.F.P.D., Ceballos-Aguirre, N., Ocampo-Pérez, J., Bruckner, C. H. 2020. Promissory *Passiflora* L. species (Passifloraceae) for tolerance to water-salt stress. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 14, 44-49. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i1.10574>

Hussain, T., Koyro, H.W., Zhang, W., Liu, X., Gul, B., Liu, X. 2020. Low salinity improves photosynthetic performance in *Panicum antidotale* under drought stress. *Frontiers in Plant Science*. 11, e-481. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00481>

Krasensky, J., Jonak, C. 2012. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*. 63, 1593-1608. <https://doi.org/10.1093/jxb/err460>

Lautner, S. Wood formation under drought stress and salinity. In *Cellular Aspects of Wood Formation*; Fromm, J., Ed.; Springer: Berlin, Germany, 2013; V. 20, p. 187–202.

Lima, G.S., Silva, A.A.R., Torres, R.A.F., Soares, L.A.D.A., Gheyi, H.R., Silva, F. A., Nobre, R.G., Azevedo, C.A.V., Lopes, K.P., Chaves, L.H.G., Lima, V. L. A. 2023. NPK accumulation, physiology, and production of sour passion fruit under salt stress irrigated with brackish water in the phenological stages and K fertilization. *Plants*. 12, e-1573. <https://doi.org/10.3390/plants12071573>

Lima, G.S.D., Silva, J.B.D., Pinheiro, F.W.A., Soares, L.A.D.A., Gheyi, H.R. 2020. Potassium does not attenuate salt stress in yellow passion fruit under irrigation management strategies. *Revista Caatinga*. 33, 1082-1091. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n423rc>

Lima, L.K.S., Jesus, O.N., Soares, T.L., Santos, I.S., Oliveira, E.J., Coelho Filho, M.A. 2020. Growth, physiological, anatomical and nutritional responses of two phenotypically distinct passion fruit species (*Passiflora* L.) and their hybrid under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 263, 109037. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109037>

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

Maguire, J.D. 1952. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 2, 176-177. <https://doi.org/10.1590/0100-29452023501>

Moura, R.S., Soares, T.L., Lima, L.K.S., Gheyi, H.R., Dias, E.A., Jesus, O.N., Coelho Filho, M.A. 2021. Effects of salinity on growth, physiological and anatomical traits of *Passiflora* species propagated from seeds and cuttings. Brazilian Journal of Botany. 17-32. <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00675-8>

Moura, R.D.S., Soares, T.L., Lima, L.K.S., Gheyi, H.R., Jesus, O.N., Coelho Filho, M.A. 2020. Salinity-induced changes in biometric, physiological and anatomical parameters of *Passiflora edulis* Sims plants propagated by different methods. Archives of Agronomy and Soil Science. 66(12), 1692-1706. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1688789>

Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist. 167, 645-663. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x>

Munns, R., Gilliham, M. 2015. Salinity tolerance of crops—what is the cost?. New Phytologist. 208, 668-673. <https://doi.org/10.1111/nph.13519>

Munns, R., Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology. 59, 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>

Nguyen, H.C., Lin, K.H., Ho, S.L., Chiang, C.M., Yang, C.M. 2018. Enhancing the abiotic stress tolerance of plants: from chemical treatment to biotechnological approaches. Physiologia Plantarum. 164, 452-466. <https://doi.org/10.1111/ppl.12812>

Pereira, Z.C., Cruz, J. M.A., Corrêa, R.F., Sanches, E.A., Campelo, P.H., Bezerra, J.A. 2023. Passion fruit (*Passiflora* spp.) pulp: A review on bioactive properties, health benefits and technological potential. Food Research International. e-112626. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112626>

Pinheiro, F.W., Lima, G.S.D., Sousa, P.F.D.N., Souza, W.B., Soares, L.A.D.A., Gheyi, H.R., Feliz, C.M. Paiva, F.J.D.S. 2022. Potassium fertilization in the cultivation of sour passion fruit under irrigation strategies with brackish water. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 27, 42-50. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n1p42-50>

Poury, N., Seifi, E., Alizadeh, M. 2022. Effects of salinity and proline on growth and physiological characteristics of three olive cultivars. Gesunde Pflanzen, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00778-0>

Ramos, J.G., Lima, V.L.A.D., Lima, G.S.D., Paiva, F.J.D.S., Pereira, M.D.O., Nunes, K. G. 2022. Hydrogen peroxide as salt stress attenuator in sour passion fruit. Revista Caatinga. 35, 412-422. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n217rc>

Rostampour, P., Hamidian, M., Dehnavi, M.M., Saeidimajd, G.A. 2023. Evaluation of osmoregulation and morpho-physiological responses of *Borago officinalis* under drought and salinity stress with equal osmotic potential. Biochemical Systematics and Ecology. 106, e-104567. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2022.104567>

Savvides, A., Ali, S., Tester, M., Fotopoulos, V. 2016. Chemical *priming* of plants against multiple abiotic stresses: mission possible?. Trends in Plant Science. 21, 329-340. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.11.003>

Scholander, P.F., Hammel, H.T., Hemmingsen, E.A., Bradstreet, E.D., 1964. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. Proceedings of the National Academy of Sciences. 52(1), 119-125. <https://doi.org/10.1073/pnas.52.1.119>

Shoukat, E., Abideen, Z., Ahmed, M.Z., Gulzar, S., Nielsen, B.L. 2019. Changes in growth and photosynthesis linked with intensity and duration of salinity in *Phragmites karka*. Environmental and Experimental Botany. 162, 504-514. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.03.024>

Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas – SAEG, 2007. Version 9.1. <http://arquivo.ufv.br/saeg/> (acessado 24 Jun 2023).

Soares, F.A.L., Gheyi, H.R., Viana, S.B.A., Uyeda, C.A., Fernandes, P.D. Water salinity and initial development of yellow passion fruit. *Scientia Agricola*. 59, 491–497. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000300013>

Soumya, P.R., Kumar, P., Pal, M. 2017. Paclobutrazol: a novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. *Indian Journal of Plant Physiology*. 22, 267-278. <https://doi.org/10.1007/s40502-017-0316-x>

Souto, A.G.D.L., Cavalcante, L.F., Melo, E.N.D., Cavalcante, Í. H., Oliveira, C.J., Silva, R. Í., Mesquita, E.F., Mendonça, R. 2022. Gas exchange and yield of grafted yellow passion fruit under salt stress and plastic mulching. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26, 823-830. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p823-830>

Souto, A.G., Cordeiro, M.H.M., Rosado, L.D.S., Santos, C.E.M., Bruckner, C.H. 2017. Non-destructive estimation of leaf area in passion fruit (*Passiflora edulis* L.). *Australian Journal of Crop Science*. 11(12), 1534-1538. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.12.pne662>

Souza, J.T.A., Cavalcante, L.F., Nunes, J.C., Bezerra, F.T.C., Nunes, J.A.S., Silva, A. R., Oresca, D., Cavalcante, A.G. 2016. Effect of saline water, bovine biofertilizer and potassium on yellow passion fruit growth after planting and on soil salinity. *African Journal of Agricultural Research*. 11(32), 2994-3003. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11233>

Sudério, F.B., Barbosa, G.K.D.C., Gomes-Filho, E., Enéas-Filho, J. 2011. O estresse salino retarda o desenvolvimento morfofisiológico e a ativação de galactosidases de parede celular em caules de *Vigna unguiculata*. *Acta Botanica Brasílica*. 25, 17-24. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000100004>

Tan, J., Ben-Gal, A., Shtein, I., Bustan, A., Dag, A., Erel, R. 2020. Root structural plasticity enhances salt tolerance in mature olives. *Environmental and Experimental Botany*. 179, e-104224. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104224>

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

Teixeira, E.C., Matsumoto, S.N., Pereira, L.F., Silva, D.D.C., Viana, A.E.S., Gonçalves, A.N.S. 2023. Paclobutrazol as a strategy to induce reproductive precocity in sour passion fruit. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 45, e-501. <https://doi.org/10.1590/0100-29452023501>

Teixeira, E.C., Matsumoto, S.N., Silva, D.C., Pereira, L.F., Viana, A.E.S., Arantes, A.M. Morphology of yellow passion fruit seedlings subjected to triazole-induced growth inhibition. 2019. *Ciência e Agrotecnologia*, 43, e-020319. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943020319>.

Turner, N.C., Colmer, T.D., Quealy, J., Pushpavalli, R., Krishnamurthy, L., Kaur, J., Singh, G., Vadez, V. 2013. Salinity tolerance and ion accumulation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) subjected to salt stress. *Plant and Soil*. 365, 347-361. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1387-0>

Wanderley, J.A.C., Brito, M.E.B., Azevedo, C.A.V.D., Silva, F.D.C., Ferreira, F.N., Lima, R.F.D. 2020. Cell damage and biomass of yellow passion fruit under water salinity and nitrogen fertilization. *Revista Caatinga*. 33, 757-765. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n319rc>

Zahid, G., Iftikhar, S., Shimira, F., Ahmad, H.M., Kaçar, Y.A. 2023. An overview and recent progress of plant growth regulators (PGRs) in the mitigation of abiotic stresses

in fruits: A review. *Scientia Horticulturae*. 309, e-111621. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111621>

Zahra, N., Al Hinai, M. S., Hafeez, M. B., Rehman, A., Wahid, A., Siddique, K. H., Farooq, M. 2022. Regulation of photosynthesis under salt stress and associated tolerance mechanisms. *Plant Physiology and Biochemistry*. 178, 55-69. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.03.003>

Zhang, X., Yang, H., Shukla, M.K., Du, T. 2023. Proposing a crop-water-salt production function based on plant response to stem water potential. *Agricultural Water Management*. 278, e-108162. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108162>

**Tabela A1**

Regressão e coeficiente de determinação das variáveis apresentadas nas figuras 2, 3, 4 e 5

Parâmetro	DAE	EQUAÇÃO	
		Concentrações de paclotrazol (mg L <sup>-1</sup> )	Níveis de salinidade (dS m <sup>-1</sup> )
<i>gs</i>	125	$\hat{Y}^{**}=0,1682-0,0008x+0,000006x^2$	$R^2=0,8727$
	185	$\hat{Y}^{**}=0,0737+0,0002x$	$r^2=0,8237$
<i>E</i>	125	$\hat{Y}^{**}=3,0015-0,0086x+0,00007x^2$	$R^2=0,8595$
	185	$\hat{Y}^{\circ}=1,4516+0,0065x-0,00003x^2$	$R^2=0,7235$
<i>A</i>	125	$\hat{Y}^{**}=10,829-0,0368x+0,0003x^2$	$R^2=0,9014$
	185		0,3 $\hat{Y}^{**}=5,1368+0,0243x$ $r^2=0,8505$ 6,3 $\hat{Y}^*=6,4568+0,0112x$ $r^2=0,7465$
<i>Ci</i>	185	$\hat{Y}^{\circ}=-218,05+0,289x-0,0014x^2$	$R^2=0,8499$
<i>A/gs</i>	185	$\hat{Y}^*=-0,6946x-0,6946x+0,01x^2-0,004x^3$	$R^2=0,8027$
<i>A/E</i>	185	$\hat{Y}^{\circ}=-5,1985-0,0295x+0,0004x^2-0,000002x^3$	$R^2=0,7719$
<i>A/Ci</i>	125	$\hat{Y}^{**}=0,0295+0,000006x$	$r^2=0,9299$
	185	$\hat{Y}^{**}=-0,0439-0,001x+0,000001x^2$	$R^2=0,9128$
<i>Car</i>		$\hat{Y}^{**}=-0,1009+0,0004x$	$r^2=0,7755$
<i>Cl a</i>	185	$\hat{Y}^{**}=-0,4279+0,0013x$	$r^2=0,7316$
<i>Cl a + b</i>		$\hat{Y}^{**}=-0,6247+0,0016x$	$r^2=0,7335$
$\Psi_w$	125	$\hat{Y}^{\circ}=-0,0859+0,00001x-0,000002x^2$	$r^2=0,8872$
	185	$\hat{Y}^{\circ}=-0,3908+0,0009x$	$r^2=0,9818$
<i>ALT</i>	125	$\hat{Y}^{**}=177,43+0,3062x-0,0032x^2$	$R^2=0,9226$
<i>P</i>			0,3 $\hat{Y}^{**}=33,6+0,0985x$ $r^2=0,8891$ 3,3 $\hat{Y}^{**}=34+0,107x$ $r^2=0,975$ 6,3 $\hat{Y}^{**}=35,16+0,073x$ $r^2=0,8002$
	<i>DB</i>	125	$\hat{Y}^{**}=6,8871-0,0063x$ $r^2=0,8839$
		185	$\hat{Y}^{**}=10,587-0,0067x$ $r^2=0,6328$
<i>CR</i>			0,3 $\hat{Y}^*=2,688000-0,004015x$ $R^2=0,7181$ 3,3 $\hat{Y}^*=1,8124+0,0042x$ $R^2=0,5801$ 6,3 $\hat{Y}^*=1,6909+0,0179x-0,00009x^2$ $R^2=0,9879$
	<i>AFRP</i>	185	$\hat{Y}^{**}=1613,3+3,3219x$ $r^2=0,7575$
	<i>NFTR</i>	185	$\hat{Y}^*=40,735+0,1347x-0,001x^2$ $R^2=0,8754$
<i>NBT</i>	185		6,3 $\hat{Y}^{**}=58,267+0,39x$ $r^2=0,9732$
<i>VR</i>	185	$\hat{Y}^*=253,7+0,8631x-0,0042x^2$ $R^2=0,8424$	
<i>MFR</i>	185	$\hat{Y}^*=160,13+0,6134x-0,0032x^2$ $R^2=0,9697$	
<i>MFPA</i>	185	$\hat{Y}^*=477,62+0,3831x-0,0035x^2$ $R^2=0,9986$	
<i>MFT</i>	185	$\hat{Y}^{**}=635,25+1,0248x-0,007x^2$ $R^2=0,9313$	
<i>MSPA</i>	185	$\hat{Y}^*=142,45-0,1068x$ $r^2=0,7749$	
<i>MST</i>	185	$\hat{Y}^*=165,27+0,1319x-0,0015x^2$ $R^2=0,9456$	

°, \* e \*\*: significativo pela análise de regressão a 10%, 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. DAE: dias após a emergência.

**ARTIGO III**

Estabelecimento em campo de vigor fisiológico - nutricional e precocidade reprodutiva do maracujazeiro - azedo a partir de *priming* em mudas com inibidor da biossíntese de giberelinas\*

---

\* **Situação:** Submetido

## **Estabelecimento em campo de vigor fisiológico - nutricional e precocidade reprodutiva do maracujazeiro - azedo a partir de *priming* em mudas com inibidor da biossíntese de giberelinas\***

Ednilson Carvalho Teixeira <sup>a, \*</sup>, Sylvana Naomi Matsumoto <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, BA, Brasil.

### **Resumo**

A ocorrência de pragas e doenças é uma das principais causas da redução da produtividade e longevidade de plantas de maracujazeiro - azedo. A utilização de reguladores de crescimento pode ser um método alternativo para modular a qualidade do material propagativo e obter precocidade reprodutiva. O objetivo deste estudo consiste em analisar se o uso do paclobutrazol interfere no início do ciclo reprodutivo, na produção por planta, nas características físico-químico dos frutos, bem como na fisiologia e nutrição foliar de plantas de maracujazeiro - azedo, cultivadas em campo a partir de mudas tratadas com paclobutrazol. Mudas de maracujazeiro - azedo foram tratadas com diferentes concentrações de PBZ (0, 40, 80, 120 e 160 mg L<sup>-1</sup>) aos 30 dias após a emergência – DAE. Aos 65 DAE, as mudas foram transplantadas em campo e o estudo foi conduzido em delineamento em blocos casualizados. Foram analisadas as trocas gasosas foliares no ramo primário e secundário, o período relacionado ao ciclo reprodutivo e os parâmetros físico-químico dos frutos provenientes de duas floradas. O PBZ afetou as trocas gasosas, com maior expressividade para os ramos secundários em relação à haste principal. Concentrações de PBZ, entre 40 e 80 mg L<sup>-1</sup>, induziram os maiores índices de vigor fisiológico, vigor reprodutivo, produção por planta e qualidade físico-química dos frutos de plantas de maracujazeiro - azedo. O inibidor da biossíntese de giberelinas em mudas das plantas de maracujazeiro - azedo estabeleceu níveis nutricionais ótimos na fase de desenvolvimento pós transplante em campo.

**Palavras-chave:** Precocidade reprodutiva, giberelina, florescimento, qualidade de frutos, nutrição foliar, maracujá.

---

\* Autor correspondente.

Endereço de *e-mail*: ed.cezar@hotmail.com (E. C. Teixeira), snaomi@uesb.edu.br (S. N. Matsumoto).



## 1. Introdução

Os reguladores de crescimento exógenos têm sido amplamente empregados isoladamente ou em conjunto ao manejo de diversas culturas agrícolas para modular a morfofisiologia, aumentar a produtividade e a precocidade das colheitas, sobretudo em condições de estresses abióticos (Zahid et al., 2023). Em plantas frutíferas, triazóis específicos são utilizados no manejo da indução floral, visando uniformizar a frutificação e aumentar o rendimento. Para plantas de mangueira e pereira, o paclobutrazol está relacionado a um maior percentual de floração, produção e qualidade físico-química dos frutos (Carra et al., 2023; Ranhan et al., 2023).

O maracujazeiro - azedo é amplamente cultivado no Brasil, e possui uma grande importância econômica e social na indústria mundial de frutas. A região Nordeste do país destaca-se como principal produtora, especialmente nos estados do Ceará e Bahia, que contribuem com mais de 50% do lucro gerado na cadeia produtiva (IBGE, 2023). Nos últimos anos, tanto o mercado de sucos quanto o de frutas frescas têm apresentado crescimento, porém a demanda ainda não consegue suprir as necessidades do mercado. É possível aumentar a produtividade do maracujazeiro por meio de um manejo mais eficiente em relação à adubação, irrigação, controle fitossanitário e polinização (Ramaiya et al., 2020).

Embora os pontos específicos relacionados ao sucesso da cadeia produtiva tenham sido estabelecidos e podendo ser otimizados, ainda existem limitações pontuais relacionadas a pragas e doenças, para as quais não existe a erradicação, e que interferem no crescimento e desenvolvimento da cultura (Santos-Jiménez et al., 2022). As doenças virais e fúngicas, como o *Cowpea aphidborne mosaic virus* (CABMV) e a fusariose, estão presentes em todas as regiões de cultivo, ocasionando redução e oscilações expressivas na produtividade e, principalmente, na longevidade do pomar (Correia et al., 2022; Costa et al., 2020).

Os principais tópicos centrais de discussões e pesquisas têm sido consistentes e direcionados para o desenvolvimento de tecnologias que visem solucionar ou reduzir o impacto dessas problemáticas. Algumas ações preventivas estão sendo desenvolvidas, como métodos de propagação utilizando mudas avançadas e vazios fitossanitários (Petry et al., 2020), enxertia, seleção de genótipos mais tolerantes (Cavichioli et al., 2011) e, mais recentemente, tem sido proposta a utilização de inibidor da biossíntese de giberelinas em mudas de maracujazeiro - azedo (Teixeira et al., 2023).

Devido a redução da longevidade dos pomares pelas referidas patologias, o menor período no campo entre a fase juvenil e a fase adulta vegetativa - reprodutiva possibilita a exploração máxima da produtividade nas primeiras colheitas, antes que as doenças tornem o pomar inviável (Jesus et al. 2016). Atualmente, uma das técnicas mais demandadas e trabalhadas pelo melhoramento vegetal é o desenvolvimento de materiais que apresentem níveis de resistência ou tolerância a doenças, aliado a uma reprodução precoce (Jesus et al., 2021). Além disso, um dos focos principais dos programas de melhoramento é a obtenção de frutos com alta qualidade físico-química, visando sua aceitação na indústria e para o consumo in natura. Apesar do manejo preventivo e dos avanços tecnológicos serem fundamentais para a manutenção do setor produtivo, os protocolos relacionados a essas estratégias ainda são morosas e as limitações no cultivo do maracujazeiro persistem nas plantações.

A utilização de concentrações reduzidas de paclobutrazol no substrato de propagação tem resultado em melhor qualidade das mudas de maracujazeiro - azedo, além de promover alterações morfológicas e metabólicas associadas à indução da precocidade reprodutiva em ambiente protegido (Teixeira et al., 2023). Além disso, esse manejo melhora o status hídrico das plantas, permitindo a expressão de mecanismos de escape ao estresse hídrico (Teixeira et al., 2023). Essa técnica pode ser considerada um manejo *priming* de baixo custo para complementar as práticas que vêm sendo desenvolvidas.

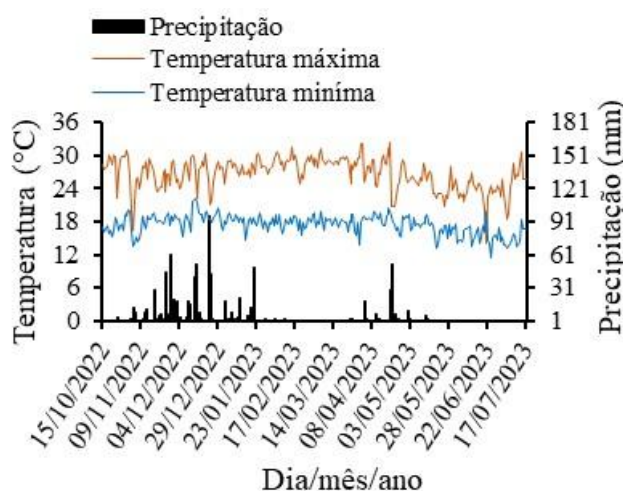
Apesar dos avanços tecnológicos na aplicação do paclobutrazol no cultivo do maracujazeiro - azedo, é necessário investigar o impacto deste regulador de crescimento nas plantas em condições de cultivo em campo externo, bem como avaliar seu efeito nas fases posteriores do ciclo reprodutivo, a fim de estabelecer protocolos adequados para a cultura. O objetivo deste estudo consiste em analisar se o uso do paclobutrazol interfere no início do ciclo reprodutivo, na produção por planta, nas características físico-químico dos frutos, bem como na fisiologia e nutrição foliar de plantas de maracujazeiro - azedo, cultivadas em campo a partir de mudas tratadas com paclobutrazol.

## **2. Material a métodos**

### **2.1 Caracterização do local do experimento**

O estudo foi conduzido no *campus* experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil entre o período de outubro de 2022 a julho de 2023. O município está localizado a 14° 53' 08" de latitude sul e 40° 48' 02" de longitude oeste, a 845 m de altitude, e o clima é caracterizado como tropical de altitude

(Cwa) na classificação de Köppen Geiger. A precipitação e temperatura média anual são 733,9 mm e 20,2 °C, respectivamente, com período chuvoso bem definido, concentrado principalmente entre novembro e janeiro (Sei, 2013). Os dados de temperatura e precipitação durante o experimento estão dispostos na Figura 1.



**Fig. 1.** Temperatura mínima e máxima (°C) e precipitação (mm) registrados pela estação meteorológica da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *campus* Vitória da Conquista, Bahia, Brasil, durante o período experimental.

A área que foi implantada o experimento apresentava relevo plano, com solo do tipo Latossolo Amarelo distrófico, textura franco-argilo-arenosa, apresentando, na camada de 0-20 cm de profundidade, as seguintes características químicas: pH (H<sub>2</sub>O): 7,0; P: 3,0 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup>: 0,3 cmolc dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>: 4,5 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup>: 2,2 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup>: 0,0 cmolc dm<sup>-3</sup>; H<sup>+</sup>: 1,3 cmolc dm<sup>-3</sup> e M.O.: 22 g dm<sup>-3</sup>.

## 2.2 Delineamento experimental

O ensaio foi constituído por cinco tratamentos, definidos pela aplicação de paclobutrazol, nas concentrações de 0, 40, 80, 120 e 160 mg L<sup>-1</sup> de ingrediente ativo do produto comercial aplicado via substrato, na fase de mudas de maracujazeiro - azedo “Redondo Amarelo”. As concentrações de PBZ foram determinadas a partir de estudos realizados por Teixeira et al. (2019). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 20 parcelas. Cada unidade experimental foi composta por 10 plantas.

### **2.3 Tratamentos**

A aplicação do inibidor da biossíntese de giberelina foi realizada aos 30 dias após a emergência (DAE), quando as mudas apresentavam 12 cm de altura e 4 folhas totalmente expandidas. As mudas foram imersas até o nível do substrato, em solução de PBZ e água (testemunha), durante 60 segundos, até atingir saturação.

Para a formação de mudas, foram utilizadas sementes certificadas, semeadas em tubete de polietileno, com capacidade de 290 cm<sup>3</sup> (16 cm de comprimento e 6,5 cm de diâmetro), contendo substrato comercial composto de casca de pinus bioestabilizada, vermiculita, moinha de carvão vegetal, água e espuma fenólica. Foram conduzidas em ambiente protegido coberto por filme de 150 micra e 90% de transparência, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *campus* de Vitória da Conquista – BA.

### **2.4 Instalação e condução do experimento**

Aos 35 dias da aplicação do regulador de crescimento, correspondente a 65 DAE, as mudas foram transplantadas para covas com dimensões 40x40x40cm. O espaçamento de plantio utilizado foi de 2,0 metros entre plantas e 3,0 metros entre linhas, totalizando 1666 plantas por hectare (Souto et al., 2022)

As plantas foram conduzidas em espaldeira vertical com um fio de arame galvanizado número 12, posicionado a 1,8 m de altura da superfície do solo. Para a formação da cortina de produção, a haste principal foi podada a 10 cm acima do arame, e conduzidas horizontalmente as duas brotações mais próximas do arame em direções opostas, eliminando-se os demais brotos laterais.

A adubação de fundação e cobertura foram realizadas com base na análise química do solo e conforme as recomendações técnicas para a cultura fornecidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Centro de Pesquisa em Mandioca e Fruticultura (Borges e Souza, 2010). A irrigação foi realizada utilizando-se o método localizado por gotejamento, com vazão de 8 L hora<sup>-1</sup>. Durante o período experimental, foram realizados tratamentos fitossanitários de forma preventiva e curativa para o controle de pragas e doenças, de acordo com as recomendações disponíveis na base de dados AGROFIT (MAPA, 2022, 2023). Foi realizada diariamente a polinização artificial, entre 13h00 e 17h00, de acordo com as recomendações de Silva et al. (2022).

## 2.5 Análises morfofisiológicas

Aos 60 dias após o transplantio (DAT) das mudas, correspondente ao início da floração das plantas, foram avaliadas as trocas gasosas foliares, seguindo as recomendações de Freire et al. (2014), número total de folhas trilobadas (NFTR) por contagem direta e índice SPAD.

As trocas gasosas foram avaliadas na porção mediana do ramo principal (RP) e ramo secundário (RS). A taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), taxa de transpiração ( $E \text{ mmol vapor d'água m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> na folha ( $C_i \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$ ) e temperatura foliar (TF), entre as oito e onze horas da manhã por meio de um analisador de gases por radiação infravermelha portátil (IRGA – *infrared gas analyzer*) LCPro, ADC, UK, realizadas com fonte de luz actínica, ajustada para 1200  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de radiação fotossinteticamente ativa. A eficiência do uso da água ( $A/E$ ), eficiência de carboxilação ( $A/C_i$ ) e eficiência intrínseca do uso da água ( $A/g_s$ ) foram determinadas a partir da razão entre a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e taxa de transpiração, concentração interna de CO<sub>2</sub> na folha e condutância estomática, respectivamente.

O índice de coloração verde das folhas (Índice SPAD, *Soil Plant Analysis Development*) foi determinado com auxílio de um medidor portátil de clorofila (SPAD 502, MINOLTA, Japão). As medições foram realizadas em três pontos da folha da porção mediana do ramo principal.

Foi determinado o índice de velocidade de florescimento (IVF) e índice de velocidade de colheita (IVC). O IVF foi obtido a partir da contagem diária das flores em plena antese, em um período de quarenta dias, e o IVC foi determinado através do número de frutos colhidos semanalmente. Para a obtenção dos resultados, os dados foram submetidos à equação adaptada de Maguire (1962), proposta para o índice de velocidade de germinação em *Passiflora*, conforme a equação 1 descrita a seguir:

$$\text{IVF} = [E1/N1 + E2/N2 + \dots + En/Nn] \quad (1)$$

Em que: E1, E2 e En = número de flores em plena antese na primeira, segunda e última contagem, respectivamente; E1, E2, En = número de frutos colhidos na semana um, semana dois e última semana. N1, N2 e Nn = número de dias após o transplantio até primeira, segunda e última contagem, respectivamente.

Foi estabelecido o número de dias, a partir do transplantio, para a primeira colheita dos frutos correspondente a cada tratamento, bem como o número de frutos totais colhidos por planta (NFP) até 288 DAT. A produção de frutos por planta foi estimada em

quilograma, por meio do número de frutos totais colhidos, multiplicado pelo peso médio dos frutos.

## **2.6 Qualidade físico-química dos frutos**

A colheita dos frutos foi realizada semanalmente, iniciando aos 145 DAT até aos 288 DAT, quando os frutos apresentavam casca parcialmente amarela, e antes de se desprenderem da planta, conforme recomendação de Lima et al. (2022). Para as avaliações referentes às características físico-químico dos frutos, foram analisados vinte frutos por parcela, em cada período de floração (floração 1 e floração 2), totalizando oitocentos frutos.

Avaliou-se os parâmetros físicos relacionados ao diâmetro equatorial (DF) e comprimento longitudinal (CF) com auxílio de paquímetro digital (DC-60, Western, China) em mm; peso do fruto (PF), casca (PC), polpa com semente (PP), polpa sem semente (PPSS) e semente (PS) por meio de balança analítica; espessura da casca (EC) através da média da leitura realizada em três pontos na região equatorial do fruto com paquímetro digital; rendimento de polpa com semente (RP) e sem semente (RPSS), expresso em porcentagem, a partir da razão entre peso da polpa e peso do fruto.

As características químicas avaliadas na polpa foram teor de sólidos solúveis em refratômetro digital portátil (Milwaukee, modelo MA871), com valores obtidos em °Brix e pH determinado, utilizando-se um potenciômetro digital (Marte, modelo MB-10).

## **2.7 Análise foliar**

Para a análise foliar foram coletadas cinco folhas por parcela experimental após a florada 1. A folha amostrada foi a quinta folha do ramo produtivo, no sentido do ápice até a base adaptado de Malavolta et al. (1997). O material colhido foi lavado em água destilada, seco a 65°C em estufa de circulação forçada de ar por 72 horas e moído em moinho tipo Willey. As amostras foram enviadas para o Laboratório de Análise Foliar – Universidade Federal de Lavras/MG, Brasil, para determinação dos níveis dos elementos de acordo os métodos especificados de N (método titulométrico); P (método colorimétrico); K (método fotômetro de Chama); Ca, Mg, B, Cu, S, Mn, Zn e Fe (método absorção atômica) (Harris, 2001; Malavolta et al. 1997).

## **2.8 Análise estatística**

Os dados foram submetidos a testes de homogeneidade de variância (Cochran) e de normalidade (Lilliefors) e à análise de variância. Posteriormente, foi realizada a análise de variância da regressão para a relação entre as características de interesse em função das concentrações de PBZ, sendo considerados para determinação do modelo o grau de significância ( $p < 0,05$ ) e o maior valor do coeficiente de determinação ( $R^2 \geq 60$ ), associado ao significativo valor biológico. Os procedimentos de cálculos descritos foram realizados por meio do programa Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas, SAEG, versão 9.1 (SAEG, 2007).

## **3. Resultados**

Para as avaliações fisiológicas, verificou-se efeito para as trocas gasosas foliares, relativo à condutância estomática, taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , transpiração e eficiência de carboxilação em relação ao ramo secundário. No ramo principal, apenas a condutância estomática e concentração interna de  $\text{CO}_2$  foram afetadas. O índice de coloração verde das folhas foi alterado pelo regulador (Tabela 1).

Quando avaliado os parâmetros relacionados ao estágio reprodutivo, o inibidor da biossíntese de giberelina foi efetivo para o índice de velocidade de florescimento e colheita, primeira colheita, número de frutos por planta e produção. Para a qualidade físico-química dos frutos, associada à florada 1 e florada 2, foram identificados os efeitos do regulador de crescimento para a quase totalidade dos parâmetros avaliados. O diâmetro, comprimento e peso total dos frutos, bem como peso da polpa com semente e sem semente foram afetados em ambos os períodos. O peso da semente e rendimento de polpa foram impactados pelo regulador apenas nos frutos provenientes da florada 1, enquanto a espessura da casca e sólidos solúveis totais foram afetados somente nos frutos da florada 2. As respostas do regulador não foram efetivas, quando avaliados o peso da casca, rendimento de polpa com semente e pH. Com relação à análise foliar, houve efeito do regulador de crescimento para os elementos N, P, K, Mg, B e Cu (Tabela 1).

**Tabela 1-** Resumo da análise de variância da taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (*A*), condutância estomática (*gs*), taxa de transpiração (*E*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), eficiência intrínseca do uso de água (*A/g<sub>s</sub>*), eficiência do uso da água (*A/E*), eficiência de carboxilação (*A/Ci*) e temperatura foliar (TF), de plantas de maracujazeiro - azedo (*Passiflora edulis* Sims.) submetidas a diferentes concentrações de regulador de crescimento paclobutrazol (PBZ), avaliadas no ramo principal (RP) e ramo secundário (RS). Índice SPAD (SPAD), número de folhas trilobadas (NFTR), índice de velocidade de florescimento (IVF), índice de velocidade de colheita (IVC), dias após o transplântio para a primeira colheita (1<sup>a</sup>C), número de frutos por planta (NFP) e produção. Diâmetro do fruto (DF), comprimento do fruto (CF), peso total do fruto (PF), peso da casca (PC), peso da semente (PS) espessura da casca (EC), peso da polpa (PP), peso da polpa sem semente (PPSS), rendimento de polpa com semente (RPCS), rendimento de polpa sem semente (RPSS), sólidos solúveis totais (SST) e pH avaliados na florada 1 (1) e florada 2 (2). Níveis de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), manganês (Mn), cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn) avaliados em folhas de maracujazeiro - azedo após o transplântio em campo.

QUADRADOS MÉDIOS																
FV	GL	A		gs		E		Ci		A/g <sub>s</sub>		A/E		A/Ci		SPAD
		RP	RS	RP	RS	RP	RS	RP	RS	RP	RS	RP	RS	RP	RS	
BL	3	ns	ns	ns	ns	**	*	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	ns	ns
PBZ	4	ns	**	*	**	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**
CV (%)		3,5	13	4,6	10,6	5,7	9	2	4,6	5,3	13,7	9,5	16,3	4,2	17,7	4,9

FV	GL	TF		NFTR	IVF	IVC	1 <sup>a</sup> C	NFP	DF		CF		PF		PC	
		RP	RS						1	2	1	2	1	2	1	2
BL	3	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PBZ	4	ns	ns	*	**	**	**	**	**	**	*	*	**	**	ns	ns
CV (%)		1,8	2,3	1,7	12	11,8	3,5	18,2	1,8	2,3	3,1	1,8	1,8	1,7	9,5	12,1

FV	GL	PS		EC		PP		PPS		RPCS		RPSS		SST	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
BL	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PBZ	4	**	ns	ns	*	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns	**
CV (%)		3,5	18,7	5,1	5,3	2,5	5,3	3,5	4,5	2,8	4,1	7,1	9,7	8,3	2

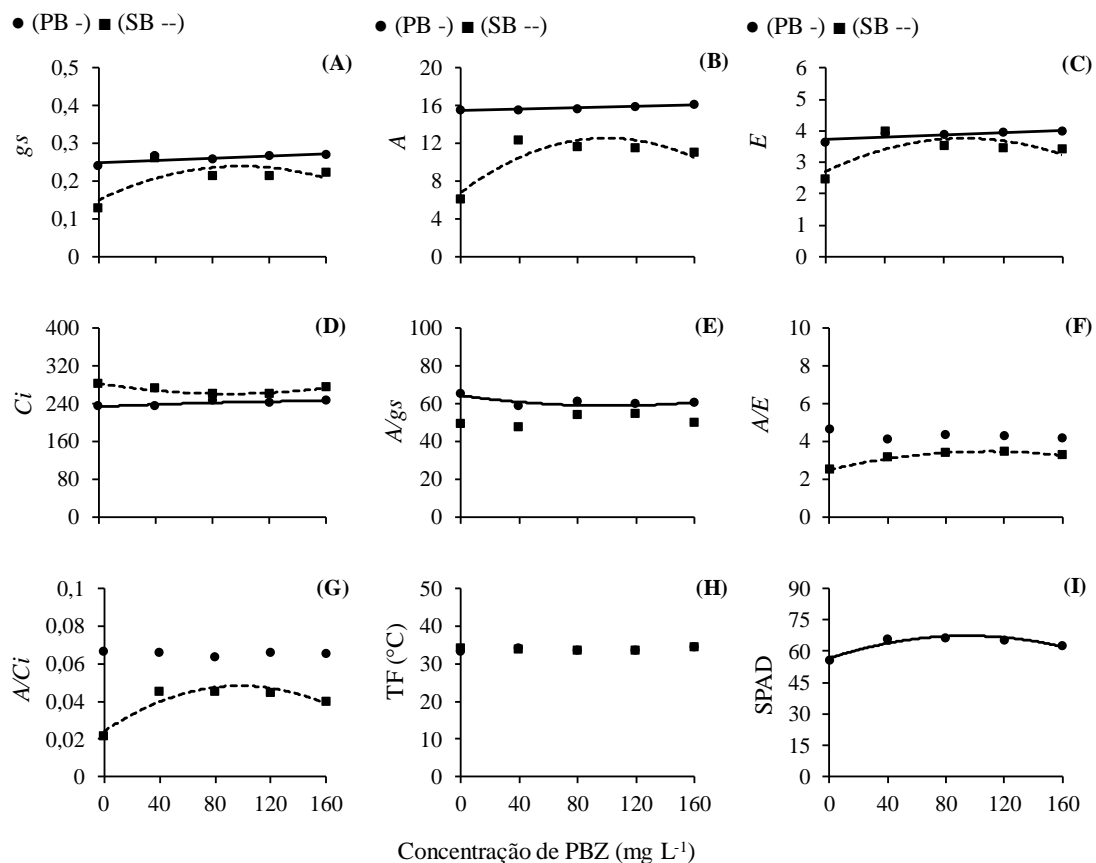
  

FV	GL	pH		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Mn	Cu	Fe	Zn	Produção
		1	2												
BL	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PBZ	4	ns	ns	**	**	**	ns	**	ns	**	ns	**	ns	ns	**
CV (%)		1,9	2,8	5,3	7,3	13	10,6	7,57	11,5	21,3	27,3	5,59	22,3	20,7	18,1

ns, \* e \*\*: não significativo, significativo pelo teste “F” a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; BL: bloco; CV: coeficiente de variação.

Foram estabelecidos modelos de regressão linear para a avaliação das trocas gasosas foliares no ramo principal, relacionando às concentrações de PBZ (Figura 2 A, B, C, D). No entanto, a eficiência intrínseca do uso da água (*A/g<sub>s</sub>*) apresentou uma tendência quadrática, com decréscimos de valores até 106,7 mg L<sup>-1</sup> de PBZ (Figura 2 E). Para a condutância estomática (*gs*), taxa de fotossíntese líquida (*A*), transpiração (*E*) e concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), houve elevação dos valores entre 0 e 160 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, mas com baixa expressividade.



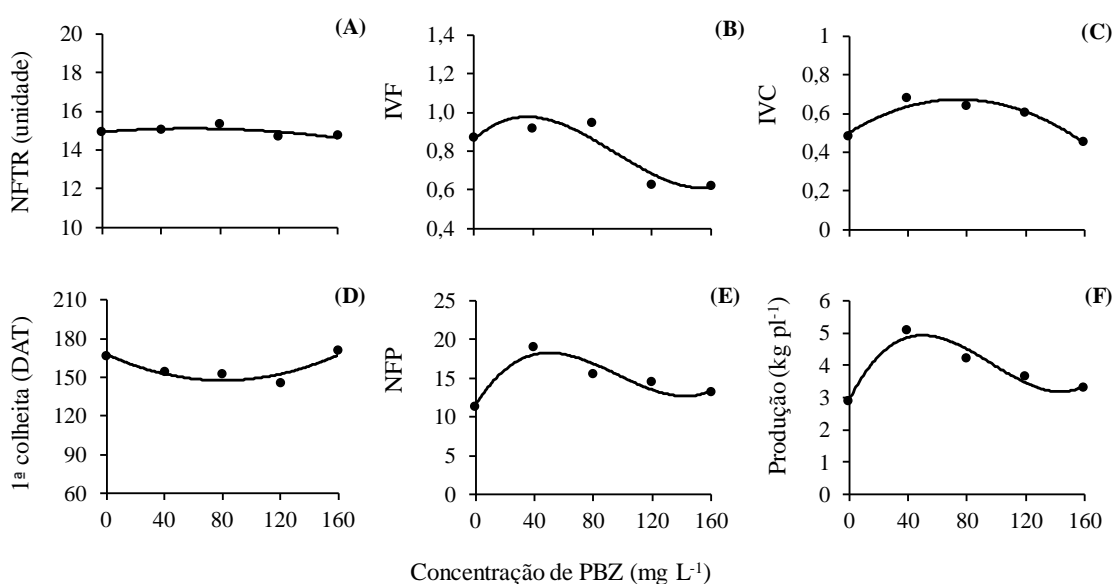


**Fig. 2.** Trocas gasosas de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) medidos no ramo primário (RP) e ramo secundário (RS) e índice SPAD. (A): condutância estomática –  $g_s$ ; (B): taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> –  $A$ ; (C): taxa de transpiração –  $E$ ; (D): concentração interna de CO<sub>2</sub> –  $C_i$ ; (E): eficiência intrínseca do uso da água –  $A/g_s$ ; (F): eficiência do uso da água -  $A/E$  e (G): eficiência da carboxilação -  $A/C_i$ ; (H): temperatura foliar – TF e (I): índice SPAD - SPAD. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) são descritos na Tabela A1.

Ao analisar as trocas gasosas foliares no ramo secundário, foi delineado modelo quadrático com incrementos expressivos (Figura 2 A, B, C, D, F, G). Para  $g_s$ ,  $A$ ,  $E$ ,  $A/E$  e  $A/C_i$ , foram verificados acréscimos nos valores até as concentrações médias de 83,3 a 112,5 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, representando incrementos de 42,6 e 93,18 % em relação à testemunha. A partir destas concentrações, mantiveram-se em patamar ainda superior ao tratamento sem adição do regulador de crescimento (Figura 2 A, B, C, F, G).

A relação entre  $C_i$  e PBZ, no ramo secundário das plantas de maracujazeiro - azedo, foi também definida por modelo quadrático, porém, com valores inferiores e pouco expressivos entre a testemunha e as concentrações de PBZ (Figura 2 D). O ponto mínimo alcançado foi em 91,94 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, equivalente a 7,7% inferior em relação ao observado para 0 mg L<sup>-1</sup> de PBZ. O índice SPAD avaliado foi alterado pelo tratamento com PBZ, atingindo valor máximo em 94,54 mg L<sup>-1</sup> (Figura 2 I).

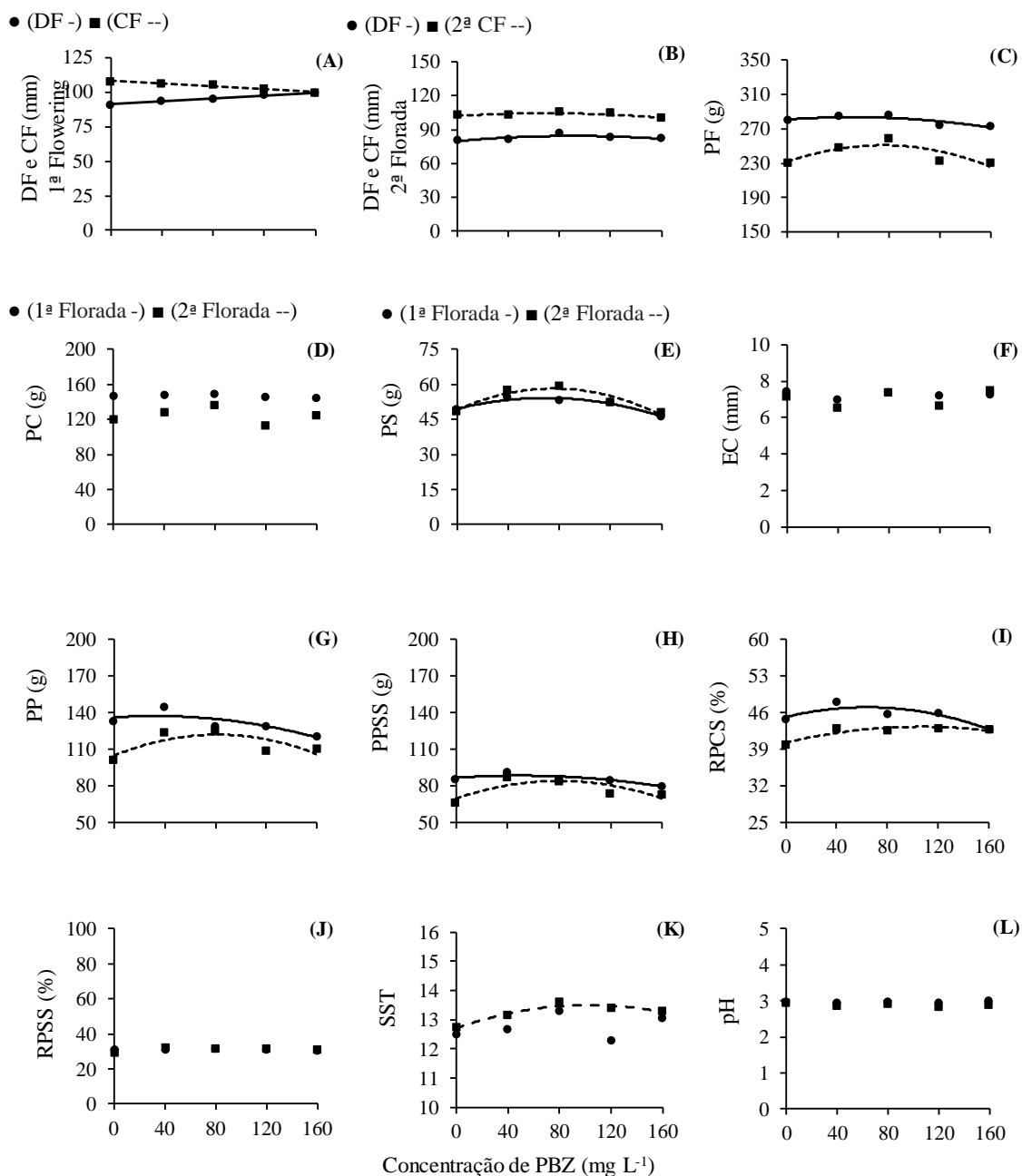
No presente estudo, para o número de folhas trilobadas, foi delineado modelo quadrático, sendo caracterizado por elevação pouco acentuada de valores até 58 mg L<sup>-1</sup> de PBZ (Figura 3 A). Foi observado um ajuste de modelo cúbico para o índice de velocidade de florescimento, número de frutos por planta e produção, quando associado ao regulador de crescimento, com incremento máximo até as concentrações de 54,0; 50,0 e 51,0 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, respectivamente (Figura 3 B, E, F). Em comparação ao tratamento controle, essas concentrações permitiram aumentos de 19,32% para o índice de velocidade de florescimento, 58,41 % para o número de frutos por planta e 70,97% de produção por planta.



**Fig. 3.** Características morfológicas de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ). (A): número de folhas trilobadas – NFTR; (B): índice de velocidade de florescimento (IVF); (C): índice de velocidade de colheita (IVC); (D): dias após o transplante para a primeira colheita; (E): número de frutos por planta (NFP) e (F): produção por planta. Os modelos de regressão e coeficiente e determinação (R<sup>2</sup>) são descritos na Tabela A1.

No que se refere ao índice de velocidade de colheita e à primeira colheita dos frutos maduros nas plantas de maracujazeiro - azedo, submetidas aos tratamentos com o regulador vegetal, foi observado modelo quadrático (Figura 3 C, D). O índice velocidade de colheita foi máximo na concentração de 76,6 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, o que representou um aumento de 35,17 % em relação ao tratamento controle (Figura 3 C). Já para a primeira colheita, valores mínimos foram encontrados em 81,04 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, resultando em uma antecipação de 20,36 dias em comparação com as plantas que não foram tratadas com o regulador. (Figura 3 D).

Para o diâmetro e comprimento dos frutos resultantes da florada 1, foi observado um padrão linear crescente e decrescente em função do gradiente de PBZ, respectivamente. O diâmetro aumentou em 9,3 % entre a máxima concentração de PBZ estudada e o tratamento controle, enquanto o comprimento reduziu 7,25 % (Figura 4 A). Por outro lado, os frutos da florada 2 apresentaram uma resposta quadrática, com uma menor variação. O diâmetro e comprimento dos frutos foram maximizados em 83,58 e 67,5 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, respectivamente, resultando em um aumento de 5,23 e 2,22 % em relação à testemunha, respectivamente (Figura 4 B).



**Fig. 4.** Qualidade físico-química dos frutos de plantas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) resultantes da florada 1 e florada 2 (A, B): diâmetro do fruto – DF e comprimento do fruto - CF; (C): peso total do fruto – PF; (D): peso da casca – PC; (E): peso da semente – PS; (F): espessura da casca – EC; (G): peso da polpa – PP; (H): peso da polpa sem semente (PPSS); (I): rendimento de polpa com semente – RPCS; (J): rendimento de polpa sem semente (RPSS); (K): sólidos solúveis totais – SST; (L): pH. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2/r^2$ ) estão descritos na Tabela A1.

Em geral, apesar dos valores correspondentes aos parâmetros físicos dos frutos da florada 1 serem superiores em relação à florada 2, o efeito do regulador de crescimento foi mais contudente ao se analisar os frutos da florada 2 (Figura 4 A, B, C, G, H, I). O

peso do fruto, peso da semente e polpa com e sem semente, assim como rendimento de polpa com semente, foram caracterizados por um modelo quadrático em resposta ao PBZ, em ambos os períodos de avaliação. Na florada 1, foram observados maiores valores para 52,3; 67,65; 32,45; 51,07 e 58,5 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, respectivamente, condizente a 0,96; 9,23; 0,84; 2,09 e 3,77% dos valores superiores à testemunha, respectivamente (Figura 4 C, E, G, H, I).

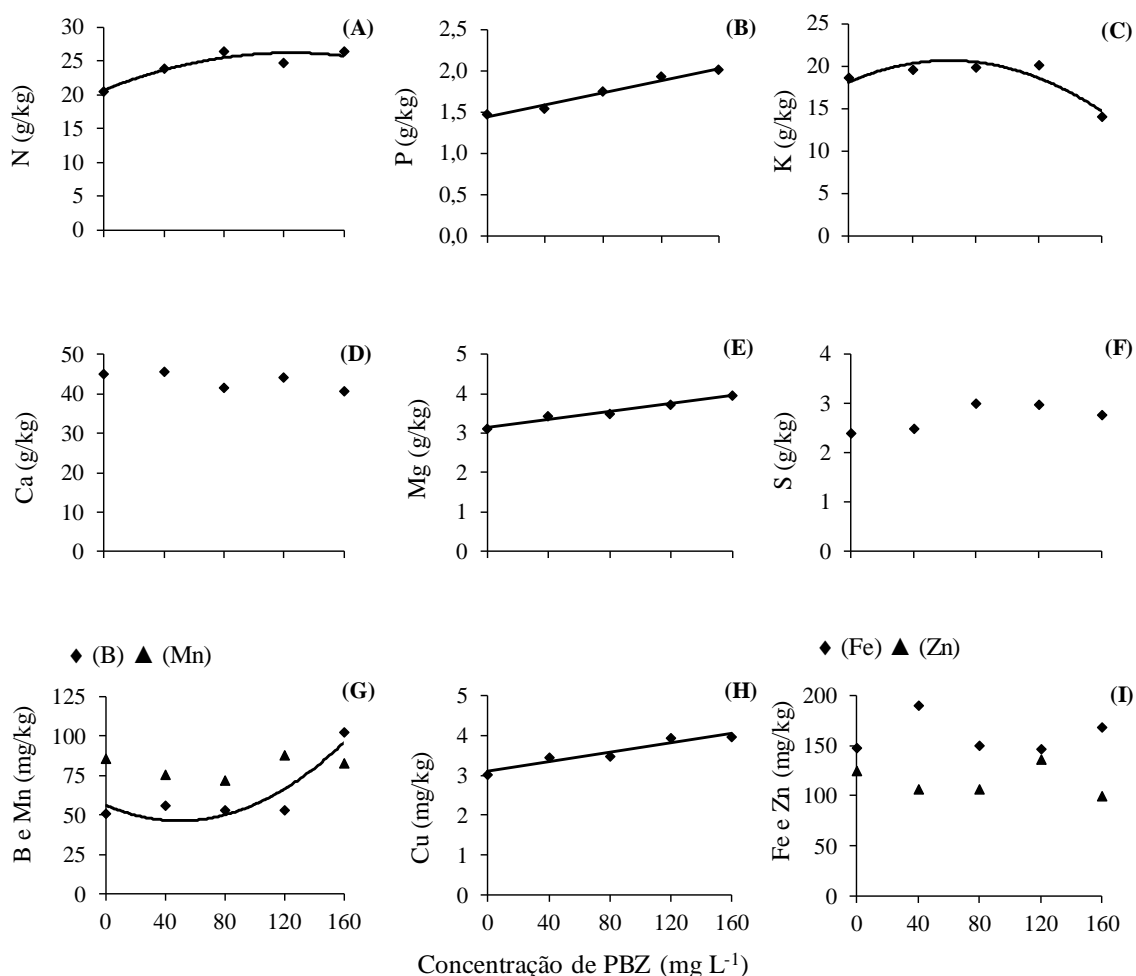
Na florada 2, houve um aumento de 19,15 g (8,27%), 9,2 g (18,74%), 17,15 g (16,38%), 14,37 g (20,66%) e 2,67 % (6,63%), no peso do fruto, peso da semente, peso da polpa com e sem semente e rendimento de polpa, respectivamente, entre o ponto máximo atingido e o tratamento controle. Para esses parâmetros, a resposta máxima foi pronunciada, quando adotado entre 73,97 e 94,5 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, respectivamente (Figura 4 C, E, G, H, I).

O peso e espessura da casca, rendimento de polpa sem semente e pH não foram afetados em ambos os períodos de avaliação pelo tratamento com o inibidor da biossíntese de giberelina, assim como os sólidos solúveis totais dos frutos da florada 1 (4, D, F, J, K, L). Os sólidos solúveis totais dos frutos da florada 2 foram máximos na concentração de 96,87 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, o que resultou em 13,45 ° Brix, sendo superior na ordem de 5,83 % em relação ao tratamento controle (Figura 4 K).

Quando os macronutrientes foram analisados, modelos de regressão quadrática foram estabelecidos para N e K, sendo caracterizado por incrementos máximos nos valores até atingirem as concentrações de 110,5 e 67,58 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, respectivamente (Figura 5 A, C). Para N, a partir dessa concentração, os valores permaneceram em um patamar ainda elevado em relação ao tratamento controle, enquanto para K, teve-se um decréscimo para as maiores concentrações de PBZ, com valores inferiores em relação à testemunha. Em relação ao P e Mg, houve aumento linear crescente em função das concentrações do regulador, com acréscimo de 40,91 e 25,39 %, respectivamente, para 160 mg L<sup>-1</sup> de PBZ quando comparado ao tratamento controle (Figura 5 B, E).

Para o B, modelo quadrático foi ajustado, estabelecendo uma redução nos valores até atingirem a concentração de 49,51 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, representando 19,61 % em relação ao tratamento controle. A partir desse decréscimo, foram observados acréscimos expressivos, tornando superior nos valores encontrados para a testemunha a partir de 100 mg L<sup>-1</sup> de PBZ (Figura 5 G). Um modelo linear crescente foi observado para o Cu, com acréscimo de 30,48% na comparação entre as plantas representadas pelo tratamento de

160 mg L<sup>-1</sup> e 0 mg L<sup>-1</sup> de PBZ (Figura 5 H). Para os demais elementos (Ca, S, Mn, Fe e Zn) não houve diferença entre os tratamentos (Figura 5 D, F, G, I).



**Fig. 5.** Macronutrientes e micronutrientes de folhas de maracujazeiro - azedo em resposta ao regulador de crescimento (PBZ) (A): nitrogênio – N; (B): fósforo – P; (C): potássio – K; (D): cálcio – Ca; (E): magnésio – Mg; (F): enxofre – S; (G): boro – B e manganês – Mn; (H): cobre – Cu; (I): ferro – Fe e zinco – Zn. Os modelos de regressão e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup> /r<sup>2</sup>) são descritos na Tabela A1.

#### 4. Discussão

O paclobutrazol está sendo proposto como uma tecnologia promissora para o manejo do maracujazeiro - azedo. Em ambiente protegido, o regulador de crescimento induziu precocemente a transição da fase adulta vegetativa para reprodutiva (Teixeira et al., 2023). No presente estudo, também se mostrou eficaz na antecipação do ciclo reprodutivo, além do aumento da produção, qualidade dos atributos físico-químicos do fruto e otimização da fisiologia e nutrição das plantas.

A diferenciação precoce da morfologia está associada a um maior número de folhas trilobadas em plantas de maracujazeiro tratadas com PBZ (Teixeira et al., 2023),

conforme tendência observada neste trabalho. A transição heteroblástica em *Passiflora* pode ser atribuída à maior síntese de hormônios vegetais, como a citocinina; e a mecanismos específicos que influenciam a expressão de genes envolvidos na sinalização para as modificações do tecido foliar (Silva et al., 2019). As citocininas atuam na morfogênese, durante a transição juvenil para adulto vegetativo reprodutivo (Shwartz et al., 2016).

Os mecanismos que estão diretamente relacionados com a diferenciação heteroblástica em *Passiflora edulis* associada ao PBZ ainda são pouco esclarecidos, mas tem sido sugerido que a maior densidade de carboidratos, no teste histoquímico do tecido caulinar em mudas tratadas com PBZ, pode induzir precocidade heteroblástica e, conseqüentemente, antecipar o florescimento (Teixeira et al., 2023), como verificado no presente estudo para o parâmetro índice de velocidade de florescimento. Isso pode ocorrer devido ao fato de que a expressão de microRNAs específicos pode ser modulada pelo maior teor de açúcares (Gioppato e Dornelas, 2021; Silva et al., 2019).

O aumento dos metabólicos primários é característico em plantas tratadas com o regulador (Kumara et al., 2023). A menor síntese de giberelina causada pelo PBZ e, possivelmente, a promoção de outros hormônios vegetais, também foram eficazes na indução da floração antecipada em plantas de mangueira (Rahman et al., 2023; Upreti et al., 2013). O índice de velocidade de florescimento das plantas tratadas com paclobutrazol teve impacto no índice de velocidade colheita, resultando em antecipação de cerca de 20 dias para o início da primeira colheita em relação ao tratamento controle. A precocidade reprodutiva é vista como uma estratégia promissora para superar a ineficiência no controle de doenças no cultivo do maracujazeiro, a exemplo do CABMV (Preisigke et al., 2020), e ainda possibilitar o manejo para obtenção de frutos durante os períodos de entressafra (Santos et al., 2021).

Além de adiantar o ciclo reprodutivo, o regulador condicionou incrementos no número de frutos e na produção por planta, verificado também em tomateiro (Rohach et al., 2023), videira (Wassel et al., 2023) e quiabeiro (Iqbal et al., 2020). O incremento de 58,41 % (6,72 frutos) para o número de frutos e 70,97% (2,07 kg) para a produção por planta das máximas respostas em relação ao tratamento controle, no início dos ciclos reprodutivos, representa um grande impacto deste estudo. O equilíbrio do crescimento, as alterações hormonais e a maior capacidade de aumento do vigor radicular para plantas provenientes de mudas tratadas com PBZ (Teixeira et al., 2021) podem ser atribuídos à

maior eficiência de absorção de nutrientes e, conseqüentemente, à maior produção e qualidade físico-química dos frutos.

O incremento e o equilíbrio da nutrição do maracujazeiro estão entre os fatores que mais impactam na qualidade físico-química dos frutos (Pacheco et al., 2018; Pinheiro et al., 2022). Neste estudo, o regulador potencializou o nível nutricional foliar nas plantas em relação ao tratamento controle.

A nutrição foliar está diretamente relacionada à maior capacidade de absorção dos nutrientes no solo (Honnabyraiah, 2020). Tecnologias que aumentem a capacidade de exploração e requisição de nutrientes pelas plantas têm sido uma demanda global, diante da disponibilidade de fontes de fertilizantes cada vez mais limitadas e de uma agricultura mais sustentável (Maharajan et al., 2021; Kumar et al., 2022). Para algumas culturas agrícolas, como o milho, por exemplo, a utilização de PBZ tem sido adotada como estratégia para melhorar a eficiência na absorção de nutrientes e otimizar o uso de fertilizantes (Hütsch e Schubert., 2021).

Embora ainda não tenha sido relatada a relação entre o uso de PBZ e a nutrição foliar no maracujazeiro - azedo, em geral, os estudos realizados em outras frutíferas são bastantes heterogêneos. Em plantas de mangueira, foram observadas reduções nos níveis de N e K, bem como aumentos nos níveis de Ca, Mg, Fe e Zn (Sahoo et al., 2022; Kishore et al., 2019). Para o pessegueiro, a aplicação do regulador não afetou os teores de N e P nas folhas, contudo, houve um aumento nas concentrações de Ca e K (Arzani et al., 2009).

Neste estudo, o aumento da nutrição foliar, quando se utiliza PBZ, pode estar relacionado às alterações na condutividade hidráulica (Navarro et al., 2009). No caso de mudas de maracujazeiro, há uma redução no diâmetro dos vasos xilemáticos no tecido caulinar, mas um aumento na densidade, conforme observado por Teixeira et al. (2019). Um maior número de vasos do xilema com menor calibre pode compensar as perdas na condutância, devido à redução do diâmetro, proporcionando maior condutividade hidráulica, e, ainda assim, reduzir possíveis embolias (Echeverria et al., 2019). Além disso, ajustes morfológicos, como o aumento do crescimento radicular com o regulador de crescimento (Teixeira et al., 2019, 2021), podem favorecer uma maior obtenção de nutrientes pela planta (Cuong et al., 2017; Chandrasekaran, 2022).

O teor dos elementos nutricionais presentes no tecido foliar pode variar, de acordo com a fase fenológica das plantas (Almeida et al., 2020), o manejo da adubação, os níveis de nutrientes no solo (Borges et al., 2002), as condições climáticas do local de cultivo (Kondo et al., 2020) e o método utilizado para quantificação (Malavolta et al., 1997;



Nascimento et al., 2011). Para o maracujazeiro, embora seja necessário realizar mais investigações para aumentar a precisão da faixa ideal de nutrição foliar, estudos pioneiros recomendam níveis de N e K nas folhas, na faixa de 40 e 50 g kg<sup>-1</sup> e 20 e 30 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Oliveira et al., 2002).

Para o presente estudo, especificamente para N, os níveis estão abaixo dos mencionados, mas com valores superiores para o tratamento com PBZ em relação ao controle. É importante ressaltar que a análise foliar foi realizada após a florada 1, quando os frutos estavam em estágio de crescimento. Segundo Li et al. (2006), há uma maior demanda e direcionamento de nutrientes no período de frutificação, podendo ocorrer o decréscimo para determinados nutrientes no tecido fonte.

O N e K desempenham diferentes funções metabólicas e celulares, essenciais para o crescimento vegetativo e produtivo das plantas (Kondo et al., 2020), e estão entre os mais requeridos pela cultura do maracujazeiro (Borges et al., 2002; Mattar et al., 2018). O N possui um papel estrutural, sendo componente dos aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas e ácidos nucleicos (Borges e Souza, 2010; Malavolta, 2006), estimula a floração e pegamentos dos frutos (Ferreira et al., 2022), rendimento de polpa (Pacheco et al., 2018) e produção do maracujazeiro (Mattar et al., 2021).

Entre os efeitos do K no maracujazeiro, destaca-se o aumento da qualidade físico-química dos frutos (Araújo et al., 2006; Lima et al., 2022) e da produtividade (Araújo et al., 2006). Neste estudo, sugere-se que o incremento do teor de sólidos solúveis e da produção por planta com o uso de PBZ possa estar relacionado a níveis mais elevados de K foliar. Em plantas de citrus, foi observada que a maior alocação de K para os frutos favoreceu o aumento do teor de glicose, sacarose, frutose e açúcar solúvel (Wu et al., 2021). Quanto aos teores de açúcares nos frutos, o nutriente desempenha uma função importante no transporte de sacarose entre o mesofilo e o floema, por meio do co-transporte apoplástico (Branco e Carley, 2010). Além disso, o K também atua como ativador enzimático e participa de diversos processos essenciais para o crescimento e desenvolvimento dos frutos (Moreira et al., 2022). Também se destaca a sua atuação para uma maior eficiência na fotossíntese e no balanço hídrico (Lima et al., 2023), além de sua capacidade de atenuar estresses ambientais (Souza et al., 2023), regulando a abertura e o fechamento estomático (Taiz et al., 2017).

Os valores dos elementos P, Mg, Cu e S foram expressos em maiores concentrações nas plantas tratadas com o regulador de crescimento, mantendo-se dentro dos limites recomendados para a cultura (Oliveira, 2002). São nutrientes que estão

envolvidos em vários processos metabólicos do maracujazeiro, como fotossíntese e crescimento (Cardenas-Pira et al., 2021). Os menores níveis de B nas folhas são observados nas concentrações de 49,51 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, que correspondem a valores próximos ao que induziu a precocidade reprodutiva obtida com o regulador. A maior demanda de B, na florada 1, devido ao tratamento com PBZ, pode ter resultado aos menores níveis dentro dessa faixa de concentrações. O B aumenta a emissão de botões florais e de frutos e a porcentagem de frutificação (Quiroga-Ramos et al., 2018). A realização de análise foliar e adubação periódica com micronutrientes, incluindo fonte de B, são necessárias para manter o vigor reprodutivo subsequente das plantas.

Neste estudo, o tratamento com o regulador afetou as características físico-química dos frutos, com efeito mais pronunciado na florada 1, quando relacionado à florada 2. Os frutos provenientes das mudas tratadas com PBZ apresentaram tendências de maiores diâmetros e menores comprimentos em relação ao tratamento controle. Efeito similares foram observados em abacaxi (Antunes et al., 2008) e lichia (Jain et al., 2022). Os atributos relacionados ao comprimento e diâmetro são visualmente importantes para o mercado de frutas frescas, que preferem frutos grandes e ovais (Cavichioli et al., 2011). Entretanto, frutos que apresentam maior diâmetro podem estar correlacionados com maior peso e rendimento da polpa (Negreiros et al., 2007).

Embora este estudo não tenha avaliado a classificação dos frutos de acordo com os modelos estabelecidos (Brasil, 2000), na florada 1, os frutos corresponderam, em média, a uma escala 5 (diâmetro superior a 85 mm), com os maiores valores relacionados às concentrações de PBZ, indicando uma tendência de frutos mais globosos. Enquanto ao longo do ciclo, conforme observado na florada 2, os frutos estão inseridos na categoria 4 (75 até 85 mm) e apresentaram uma amplitude menor de variação com o uso do PBZ em comparação ao tratamento controle. Essas sutis alterações não desclassificam a qualidade e o padrão de frutos para comercialização.

Os reguladores de crescimento endógenos, como a auxina, giberelinas e etileno, assim como a superexpressão de genes específicos, têm a capacidade de modular e regular a expansão celular durante o desenvolvimento e crescimento dos frutos (Fenn e Giovannoni, 2021; Li et al., 2023). Mudanças nos níveis hormonais podem afetar o alongamento celular. Por exemplo, o tratamento com GA<sub>3</sub>, em plantas de tomateiro, resulta na formação de frutos alongados, enquanto o PBZ induz frutos mais achatados (Chen et al., 2020).

Embora a aplicação do regulador tenha sido realizada na fase de mudas, as alterações hormonais podem resultar, após o transplante em campo, em efeitos que persistem discretamente durante o desenvolvimento das plantas. Isso fica evidente na restrição do crescimento inicial em plantas de maracujazeiro - azedo após o transplante, tratadas com concentrações de PBZ, na fase de mudas (Teixeira et al., 2023). Em citros, o efeito residual do PBZ também foi observado no crescimento subsequente, quando o tratamento foi aplicado na fase de mudas (Hadlow e Allan 1989).

Entre os parâmetros desejáveis do fruto do maracujá para comercialização, destaca-se o peso, rendimento de polpa e suco, assim como os sólidos solúveis (°Brix) (Jesus et al., 2022). Com relação ao peso do fruto, ao considerarmos a média entre as duas floradas para as plantas tratadas com PBZ, obteve-se um valor de 272,0 g, enquanto nas plantas controle o valor foi de 254,75 g. Esses resultados são superiores à média da maioria das cultivares comerciais (207 a 215 g), inclusive a cultivar 'Redondo Amarelo' (207 g), utilizado neste estudo (Jesus et al., 2018), e para os materiais (225,01 g) considerados promissores para o mercado no melhoramento genético (Jesus et al., 2022).

A capacidade de expressar o potencial máximo depende, por exemplo, das condições ambientais de cultivo (Munoz-Ordenez et al., 2023), da adoção de polinização artificial (Silva et al., 2023) e, principalmente, da safra colhida (Jesus et al., 2021). Munoz-Ordenez et al. (2023), estudando dois ciclos consecutivos de produção de maracujazeiro, observou, para o primeiro ciclo, plantas com maior produção, com frutos de maior peso e tamanho em relação ao segundo ciclo. Essas variações foram atribuídas à baixa temperatura e radiação ao longo do segundo ciclo de produção.

Para o presente estudo, em relação à maioria dos parâmetros físico-químicos analisados, os incrementos observados foram em concentrações médias entre 40 e 80 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, com tendências de reduções para concentrações superiores. Embora o diferencial dos valores, obtidos para as plantas tratadas com PBZ em relação ao controle, não seja tão expressivo, é de grande pertinência, tendo em vista que elevar as características desejáveis, como peso do fruto, é moroso com as tecnologias disponíveis.

Os atributos referentes ao peso e rendimento de polpa, para as plantas do tratamento com PBZ, superaram o tratamento controle. Geralmente, o peso da polpa é congruente ao número de sementes (Ramaiya et al., 2020), conforme observado. A maior eficiência da polinização, germinação dos grãos de pólen, como também o crescimento do tubo polínico, resulta em maior número de óvulos fertilizados e, conseqüentemente, mais sementes e biomassa da polpa (Soares et al., 2018).

Diversos fatores podem estar associados ao maior vigor reprodutivo, quando se utiliza reguladores de crescimento. Por exemplo, o estímulo ao crescimento radicular com PBZ pode aumentar a capacidade de absorção de micronutrientes, como boro (Kishore et al., 2019), conforme observado no presente estudo. Este elemento atua no desenvolvimento e na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico (Stino et al., 2011). Os hormônios vegetais, como as giberelinas, também estão relacionados à formação e à viabilidade das estruturas reprodutivas (Davies, 2012). A restrição de GAs pode afetar o desenvolvimento e a viabilidade dos órgãos, enquanto os níveis elevados podem causar o efeito oposto (Izhaki et al., 2002). As maiores concentrações de PBZ promoveram uma tendência de redução nos parâmetros físico-químico do fruto em relação ao tratamento controle, com maiores variações no início do ciclo reprodutivo.

A eficiência reprodutiva do maracujazeiro está relacionada ao equilíbrio de crescimento entre a parte aérea e a raiz. Embora, após o transplântio, as alterações morfológicas promovidas pelo regulador de crescimento sejam menos expressivas, a aplicação de PBZ impacta na qualidade das mudas. Dentre os principais insumos que estão relacionados com o maior estabelecimento e produtividade da cultura do maracujazeiro, destaca-se a qualidade, envolvendo tanto a fitossanidade quanto o balanço do crescimento e vigor das mudas. O vigor radicular, sob condições de campo, representa uma maior capacidade de exploração de água e nutrientes para suprir a maior demanda nas fases de floração e frutificação, refletindo em maior capacidade produtiva (Pandey et al., 2017).

Para o presente estudo, a relação entre as trocas gasosas foliares e as concentrações de PBZ foi semelhante, tanto na haste principal quanto nos ramos secundários, seguindo um padrão clássico, de acordo com estudos prévios sobre este tema (Teixeira et al., 2019; Teixeira et al., 2021).

O paclobutrazol tem um efeito positivo nas características anatômicas do caule de mudas de *Passiflora edulis* (Teixeira et al., 2019). Quando submetidas ao PBZ, as mudas apresentam uma maior densidade e menor diâmetro dos vasos xilemáticos, o que pode resultar em uma melhor capacidade de transporte de água para os demais tecidos da planta. Embora essas observações tenham sido verificadas na fase de mudas, os tecidos analisados estavam em processo de diferenciação, ocorrendo a persistência de efeitos do PBZ, mesmo após o transplântio. Tais mecanismos, aliados a um maior vigor radicular, proporcionam maior capacidade de absorção e transporte de água para toda a planta. A

otimização do status hídrico, aliada à maior densidade estomática foliar, ambos induzidos pelo PBZ (Shalaby et al., 2022; Teixeira et al., 2019), resulta em maior condutância estomática, conforme observado.

Nos ramos secundários, devido ao maior vigor do desenvolvimento reprodutivo, a alteração na relação fonte-dreno resultou em maior demanda metabólica por água e nutrientes, acentuando a expressão do efeito positivo do PBZ para a condutância estomática, fotossíntese e transpiração, quando comparado à haste principal. Em estudo realizado sobre plantas de maracujazeiro - azedo por Kondo e Morizono (2022), foi verificado que o melhor status hídrico resultou na emissão de um maior número de flores, condicionado à maior fotossíntese líquida.

Embora a relação entre as trocas gasosas foliares e as concentrações de PBZ tenha seguido um padrão semelhante, a intensidade dos efeitos do regulador foi diferenciada. O efeito mais pronunciado de PBZ para  $g_s$ , em relação à fotossíntese líquida, pode ser observado a partir da redução da eficiência intrínseca do uso da água ( $A/g_s$ ) em função dos acréscimos da concentração do regulador. Além da condutância estomática, fatores como a atividade da Rubisco, o volume do parênquima lacunoso, concentração, distribuição e tipos de pigmentos fotossintéticos, o teor de amido na folha, a taxa respiratória e a fotorrespiração afetam a fotossíntese líquida (Lambers et al., 2019). Dessa forma, a dependência em relação ao PBZ torna-se menos direta. A maior efetividade do regulador para a fotossíntese líquida, em comparação à transpiração, quando se analisa a eficiência intrínseca de uso da água, parece estar relacionada a possíveis mecanismos relacionados à atenuação da transpiração, induzidos pelo regulador, devido ao acúmulo de prolina, elevação da espessura das folhas e deposição de cutícula no limbo foliar.

## **5. Conclusões**

A relação entre a condutância estomática foliar e as concentrações de paclobutrazol determina as taxas de fotossíntese líquida e a transpiração, ocorrendo efeito diferenciado nas folhas da haste principal em comparação aos ramos laterais. O efeito mais pronunciado do regulador, nas trocas gasosas foliares, está vinculado ao vigor do desenvolvimento reprodutivo que ocorre no ramo lateral. Embora o manejo do paclobutrazol tenha sido realizado na fase de mudas, a precocidade e vigor do desenvolvimento reprodutivo e a produção das plantas de maracujazeiro - azedo em campo são modulados pelo regulador. Para as características físico-químicas do fruto, o efeito mais pronunciado das concentrações de paclobutrazol ocorre com o avanço do ciclo

reprodutivo das plantas de maracujazeiro - azedo. As concentrações de PBZ, entre 40 e 80 mg L<sup>-1</sup>, induziram aos maiores índices de vigor fisiológico, vigor reprodutivo, produção por planta e qualidade físico-química nas plantas de maracujazeiro - azedo. A aplicação do inibidor da biossíntese de giberelinas em mudas otimizou os parâmetros da nutrição foliar das plantas de maracujazeiro - azedo pós transplante, com superioridade de valores para a maioria dos níveis de macro e micronutrientes.

### **Contribuições dos autores**

TEC conduziu o experimento, realizou análises de campo e de laboratório, criou gráficos e redigiu o manuscrito. MSN orientou a condução do experimento, realizou a análise estatística, corrigiu e redigiu o manuscrito.

### **Declaração de Interesse Concorrente**

Os autores declaram que não têm interesses financeiros concorrentes conhecidos ou relacionamentos pessoais que possam parecer influenciar o trabalho relatado neste artigo.

### **Disponibilidade de dados**

Os dados serão disponibilizados mediante solicitação.

### **Agradecimentos**

Queremos agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Financiamento Código 001, pela bolsa recebida durante o período da pesquisa. Agradecemos também à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil, ao Laboratório de Fisiologia Vegetal e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelo apoio.

### **6. Referências**

- Almeida, W.A., Araújo Neto, S.E., Uchôa, T.L., Souza, L.G., Silva, N.M., Ferreira, R.L.F., Tomio, D.B. 2020. Chemical soil and leaf properties in yellow passion fruit cultivation with organic fertilization. *Comunicata Scientiae*. 11, e3342. <https://doi.org/10.14295/cs.v11i0.3342>
- Antunes, A.M., Ono, E.O., Sampaio, A.C., Rodrigues, J.D. 2008. Physico-chemical and harvest time alterations in pineapple fruits 'smooth cayenne' caused by paclobutrazol. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 51, 19-26. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132008000100003>
- Araújo, R.C., Bruckner, C.H., Martinez, H.E.P., Salomão, L.C.C., Alvarez, V.H., Souza, A. P., Pereira, W.E., Hizumi, S. 2006. Quality of yellow passionfruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) as affected by potassium nutrition. *Fruits*, 61, 109-115. <https://doi.org/10.1051/fruits:2006009>

Arzani, K., Bahadori, F., Piri, S. 2009. Paclobutrazol reduces vegetative growth and enhances flowering and fruiting of mature 'JH Hale' and 'Red Skin' peach trees. *Horticulture Environment and Biotechnology*. 50, 84-93.

Borges, A. L., Caldas, R.C., Lima, A.D.A., Almeida, I.E.D. 2002. Efeito de doses de NPK sobre os teores de nutrientes nas folhas e no solo, e na produtividade do maracujazeiro amarelo. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 24, 208-213. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000100045>

Borges, A.L., Souza, L.D., 2010. Recomendações de calagem e adubação para o maracujazeiro. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, comunicado técnico 141, 4 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta. 2000. Cardenas-Pira, W.T., Torres-Moya, E., Magnitskiy, S., Melgarejo, L.M. 2021. Physiological responses of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) plants to deficiencies of the macronutrients, Fe, Mn, and Zn during vegetative growth. *International Journal of Fruit Science*. 21, 344-358. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1890673>

Carra, B., Herter, F.G., Pinto, F.A.M.F., Brighenti, A.F., Pasa, C.P., Mello-Farias, P.C., Dini, M., Abreu, E.S., Pasa, M.S. 2023. Return bloom and yield of 'rocha' pear trees are improved by ethephon and paclobutrazol. *Journal of Plant Growth Regulation*. 42, 3650-3661. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10827-7>

Cavichioli, J.C., Corrêa, L.D.S., Boliani, A.C., Santos, P.C.D. 2011. Características físicas e químicas de frutos de maracujazeiro-amarelo enxertado em três porta-enxertos. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 33, 906-914. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000300026>

Cavichioli, J.C.; Corrêa, L.S.; Garcia, M.J.M.; Fischer, I.H. 2011. Desenvolvimento, produtividade e sobrevivência de maracujazeiro amarelo enxertado e cultivado em área com histórico de morte prematura de plantas. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 33, 567-574. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011005000056>

Chandrasekaran, M. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced biomass, root morphological traits and nutrient uptake under drought stress: A meta-analysis. *Journal of Fungi*. 8, e-660. <https://doi.org/10.3390/jof8070660>

Chen, S., Wang, X.J., Tan, G.F., Zhou, W.Q., Wang, G.L. 2020. Gibberellin and the plant growth retardant Paclobutrazol altered fruit shape and ripening in tomato. *Protoplasma*. 257, 853-861. <https://doi.org/10.1007/s00709-019-01471-2>

Correia, A.O., Alexandre, R.S., Pfenning, L.H., Cabanez, P.A., Ferreira, A., Ferreira, M.F.S., Lima, P.A.M., Mello, T., Otono, W.C., Lopes, J.C. 2022. *Passiflora mucronata*, a passion fruit wild species resistant to fusariosis and a potential rootstock for commercial varieties. *Scientia Horticulturae*. 302, e-111174. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111174>

Costa, A.P., Nogueira, I., Peixoto, J.R., Blum, L.E.B. 2020. Screening of sour passion fruit for reaction to bacterial spot and passion fruit woodiness disease. *Journal of Agricultural Science*. 12.

Cuong, T.X., Ullah, H., Datta, A., Hanh, T.C. 2017. Effects of silicon-based fertilizer on growth, yield and nutrient uptake of rice in tropical zone of Vietnam. *Rice Science*. 24, 283-290. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.06.002>

Davies, P.J. 2012. Plant hormones and their role in plant growth and development. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3585-3>

Echeverría, A., Anfodillo, T., Soriano, D., Rosell, J.A., Olson, M.E. 2019. Constant theoretical conductance via changes in vessel diameter and number with height

growth in *Moringa oleifera*. *Journal of Experimental Botany*. 70, 5765-5772. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz329>

Fenn, M.A., Giovannoni, J.J. 2021. Phytohormones in fruit development and maturation. *The Plant Journal*. 105, 446-458. <https://doi.org/10.1111/tpj.15112>

Ferreira, R.B., Leonel, S., Lima, G.P.P., Leonel, M., Minatel, I.O., Souza, J.M.A., Monteiro, G.C., Silva, M.S. 2022. Contents of nitrogen compounds during bud break and peach tree performance in response to budburst-inducing products. *Scientia Horticulturae*. 305, e-111388. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111388>

Freire, J.L.D.O., Dias, T.J., Cavalcante, L.F., Fernandes, P.D., Lima Neto, A.J.D. 2014. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. *Revista Ciência Agronômica*. 45, 82-91. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000100011>

Gioppato, H.A., Dornelas, M.C. 2021. Plant design gets its details: Modulating plant architecture by phase transitions. *Plant Physiology and Biochemistry*. 163, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.046>

Hadlow, A.P. Allan, P. 1988. Effect of paclobutrazol on vegetative growth in citrus nursery trees. *South African Journal of Plant and Soil*. 6, 50-52.

Honnabyraiah, M.K. 2020. Influence of combination of different levels of pruning, nutrition and paclobutrazol on soil and leaf nutritional status in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Alphonso. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 9, 166-170.

Hütsch, B.W., Schubert, S. 2021. Can nutrient-utilization efficiency be improved by reduced fertilizer supply to maize plants treated with the plant growth regulator paclobutrazol?. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 207, 884-900. <https://doi.org/10.1111/jac.12521>

Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia - IBGE. Área destinada à colheita, área colhida, quantidade reduzida e valor da produção da lavoura permanente. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1613>. Acesso em julho de 2023

Iqbal, S., Parveen, N., Bahadur, S., Ahmad, T., Shuaib, M., Nizamani, M.M., Urooj, Z., Rubab, S. 2020. Paclobutrazol mediated changes in growth and physio-biochemical traits of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) grown under drought stress. *Gene Reports*. 21, e-100908. <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2020.100908>

Izhaki, A., Borochoy, A., Zamski, E., Weiss, D. 2002. Gibberellin regulates post-microsporogenesis processes in petunia anthers. *Physiologia plantarum*. 115, 442-447. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150314.x>

Jain, P., Rai, R., Pant, R., Jat, R. 2022. Assessment of residual effect of paclobutrazol on the growth, flowering, yield and quality of litchi. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 11, 65-76. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2022.1108.008>

Jesus, C.A.S.D., Carvalho, E.V.D., Girardi, E.A., Rosa, R.C.C., Jesus, O.N.D. 2018. Fruit quality and production of yellow and sweet passion fruits in northern state of São Paulo. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 40, e-8968. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018968>

Jesus, O.N., Lima, L.K.S., Soares, T.L., Silva, L.N., Santos, I.S., Sampaio, S.R., Oliveira, E.J. 2022. Phenotypic diversity and alternative methods for characterization and prediction of pulp yield in passion fruit (*Passiflora* spp.) germplasm. *Scientia Horticulturae*. 292, e-110573. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110573>

Jesus, O.N., Santos, I.S., Lima, L.K.S., Soares, T.L., Oliveira, E.J. 2021. Field assessment of a second generation backcross (BC1× *Passiflora edulis*) of passion fruit for agronomic performance and resistance to CABMV. *Plant Breeding*. 140, 150-166. <https://doi.org/10.1111/pbr.12888>



- Jesus, O.N., Soares, T.L., Girardi, E.A., Rosa, R.C.C., Oliveira, E.J., Santos, V.T. 2016. Evaluation of intraspecific hybrids of yellow passion fruit in organic farming. *African Journal of Agricultural Research*. 11, 2129-2138. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.10819>
- Jesus, O.N.D., Lima, L.K.S., Souza, P.U., Girardi, E. A. 2021. Genetic parameters, correlation and repeatability of agronomic characters of yellow passion fruit genotypes in three harvest cycles. *Bragantia*. 80, e-0294. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200294>
- Kishore, K., Singh, H.S., Sharma, D., Rupa, T.R., Kurian, R.M., Samant, D. 2019. Influence of paclobutrazol on vegetative growth, nutrient content, flowering and yield of mango (*Mangifera indica* L.) and its residual dynamics. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 21, 1557-1567.
- Kondo, T., Koga, K., Sato, D. 2020. Effects of nitrogen concentration in fertilizer solution on vegetative growth, flowering, and fruit quality in passion fruit. *Tropical Agriculture and Development*. 64, 161-164. <https://doi.org/10.11248/jsta.64.161>
- Kondo, T., Morizono, H. 2022. Effects of drought stress on flower number in ‘summer queen’ passion fruit. *The Horticulture Journal*. 91, 448-452. <https://doi.org/10.2503/hortj.QH-006>
- Kumar, S., Sharma, S.K., Thakral, S.K., Bhardwaj, K.K., Jhariya, M.K., Meena, R.S., Jangir, C.K., Bedwal, S., Jat, R.D., Gaber, A., Atta, A.A., Hossain, A. 2022. Integrated nutrient management improves the productivity and nutrient use efficiency of *Lens culinaris* Medik. *Sustainability*. 14, e-1284. <https://doi.org/10.3390/su14031284>
- Kumara, K.T.N., Singh, H., Kaur, N., Kang, B.K., Devi, I. 2023. Uniconazole improves mango flowering and fruit yield by regulating gibberellins and carbon–nitrogen nutrition. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 1-18. <https://doi.org/10.1007/s13580-023-00541-y>
- Lambers, H., Oliveira, R.S., Lambers, H., Oliveira, R.S. 2019. Photosynthesis, respiration, and long-distance transport: photosynthesis. *Plant Physiological Ecology*. 11-114. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29639-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29639-1_2)
- Li, Q., Luo, S., Zhang, L., Feng, Q., Song, L., Sapkota, M., Xuan, S., Wang, Y., Zhao, J., Knaap, E.V.D., Chen, X., Shen, S. 2023. Molecular and genetic regulations of fleshy fruit shape and lessons from Arabidopsis and rice. *Horticulture Research*. e-108. <https://doi.org/10.1093/hr/uhad108>
- Li, Q., Wang, L., Liu, Z., Li, S., Qian, J., Tan, H. 2006. Absorption and distribution of nitrogen, phosphorus and potassium in mini watermelon in different growth stages. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*. 19, 838-841.
- Lima, G.S., Pinheiro, F.W.A., Gheyi, H.R., Soares, L.A.A., Soares, M.D.M., Silva, F.A., Azevedo, C.A.V., Lima, V.L.A. 2022. Postharvest quality of sour passion fruit under irrigation strategies with brackish water and potassium application in two crop cycles. *Water, Air, & Soil Pollution*. 233, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05922-0>
- Lima, G.S.D., Pinheiro, F.W., Gheyi, H.R., Soares, L.A.D.A., Sousa, P.F.D.N., Fernandes, P.D. 2022. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 26, 180-189. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n3p180-189>
- Lima, G.S.D., Pinheiro, F.W., Souza, W.B., Soares, L.A.D.A., Gheyi, H.R., Nobre, R. G., Queiroga, R.C.F., Fernandes, P.D. 2023. Physiological indices of sour passion fruit under brackish water irrigation strategies and potassium fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 27, 383-392. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n5p383-392>

Maguire, J.D. 1962. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 2, 176-177. <https://doi.org/10.1590/0100-29452023501>

Maharajan, T., Ceasar, S.A., Krishna, T.P.A., Ignacimuthu, S. 2021. Management of phosphorus nutrient amid climate change for sustainable agriculture. *Journal of Environmental Quality*. 50, 1303-1324. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20292>

Malavolta, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Ceres. 638p.

Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba, p.319, 1997.

Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A.D. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 319 p.

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Base de dados AGROFIT. 2022-2023. Disponível em: [https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons).

Mattar, G.S., Moraes, C.C.D., Meletti, L.M.M., Purquerio, L.F.V. 2018. Accumulation and exportation of nutrients by yellow Passion fruit cv. IAC 275. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 40, e-178. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018178>

Mattar, G.S., Purquerio, L.F.V., Meletti, L.M.M., Valentini, S.R.D.T., Paula, L.F.D., Duart, A.M. 2021. Nitrogen fertilization and spacing in productivity and quality of passion fruit implanted with advanced seedlings. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 43, e-004. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021004>

Moreira, L.C.J., Silva, L.D., Nascimento, B.M., Silva, A. J. B., Teixeira, A.D.S., Oliveira, M.R. R. 2022. Agronomic performance and fruit quality of yellow melon fertilized with doses of nitrogen and potassium. *Revista Caatinga*. 35, 320-330. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n208rc>

Munoz-Ordóñez, F.J., Gutiérrez-Guzmán, N., Hernández-Gómez, M.S., Fernández-Trujillo, J.P. 2023. The climatic conditions limit fruit production and quality in gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) under integrated fertilization. *South African Journal of Botany*. 153, 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.11.043>

Nascimento, J.A.M.D., Cavalcante, L.F., Dantas, S.A.G., Silva, S.A.D. 2011. Estado nutricional de maracujazeiro-amarelo irrigado com água salina e adubação organomineral. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 33, 729-735. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500102>

Navarro, A., Sanchez-Blanco, M.J., Morte, A., Banon, S. 2009. The influence of mycorrhizal inoculation and paclobutrazol on water and nutritional status of *Arbutus unedo* L. *Environmental and Experimental Botany*. 66, 362-371. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.04.005>

Negreiros, J.R.D.S., Álvares, V.D.S., Bruckner, C.H., Morgado, M.A.D.O., Cruz, C.D. 2007. Relations among physical fruit traits and pulp content in yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 29, 546-549. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000300026>

Oliveira, S.A. 2002. Análise foliar. In: Sousa, D.M.G., Lobato, E. (Ed.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, Brazil. p. 245-256.

Pacheco, A.L.V., Pagliarini, M.F., Freitas, G.B.D., Vieira, G. 2018. Yellow passion fruit postharvest conservation and quality according to organic and mineral fertilizer. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 40, 1-8. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018001>

Pandey, A.K., Singh, P., Singh, S.K., Gupta, K. 2017. Application methods and doses of paclobutrazol affect growth, yield and fruit quality of litchi (*Litchi chinensis*

Sonn.) International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 6, 3280-3288. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.391>

Petry, H.B., Moritz, D., Silva, D.D., Mees, A., Santos, F.D., Marchesi, D., Ternus, R. 2020. Ações conjuntas entre produtores de maracujá e iniciativa pública no combate da virose-do-endurecimento-dos- frutos em Santa Catarina. Revista Agropecuária Catarinense. 33, 10-13.

Pinheiro, F.W., Lima, G.S.D., Sousa, P.F.D.N., Souza, W.B., Soares, L.A.D.A., Gheyi, H.R., Felix, C.M., Paiva, F.J.D.S. 2022. Potassium fertilization in the cultivation of sour passion fruit under irrigation strategies with brackish water. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 27, 42-50. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n1p42-50>

Preisigke, S.D.C., Viana, A.P., Santos, E.A., Santos, P.R.D., Santos, V.O.D., Ambrósio, M., Walter, F.H.D.B. 2020. Selection strategies in a segregating passion fruit population aided by classic and molecular techniques. Bragantia. 79, 47-61. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190291>

Quiroga-Ramos, I.A., Fischer, G., Melgarejo, L.M. 2018. Effect of foliar applications of boron on the phenological development and fruit set of purple passion fruits (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 12, 20-30. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7457>

Rahman, M.H., Rahman, M.H., Halder, B.C., Ahmed, M., Nishi, N.J. 2023. Applying paclobutrazol and flower bud pruning modify the fruiting time and fruit quality of 'Amrapali' mango (*Mangifera indica* L.). The Horticulture Journal. e-061. <https://doi.org/10.2503/hortj.QH-061>

Ramaiya, S.D., Bujang, J.S., Zakaria, M.H., Shahbani, N.S. 2020. Floral behaviour, flowering phenology and fruit production of Passion fruit (*Passiflora* Species) in East Malaysia. Journal of Agriculture Food and Development. 6, 1-9.

Rohach, V.V., Kuryata, V.G., Kiriziy, D.A., Sytnyk, S.K., Grabyk, I.H., Kaitanyuk, O.V., Tarasyuk, M.V., Rohach, T.I. 2023. Effect of antigibberellins on morphogenesis, photosynthetic apparatus, productivity and their residual content in tomato fruits. Biosystems Diversity. 31, 191-201. <https://doi.org/10.15421/012320>

Sahoo, M.R., Kishore, K., Dash, D.K., Panda, C.M., Panda, R.K., Nayak, P.K. 2022. Influence of paclobutrazol on growth, root traits, anatomical modifications and leaf nutrient status in mango. Journal of Environmental Biology. 43, 468-476. <http://doi.org/10.22438/jeb/43/3/MRN-2012>

Santos, I.S., Lima, L.K.S., Sampaio, S.R., Soares, T.L., Jesus, O.N. 2021. Phenological precocity and resistance to CABMV in passion fruit progenies of the third generation backcross [(*P. edulis* × *P. cincinnata*) × *P. edulis*]. Euphytica. 217, 112. <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02842-8>

Santos-Jiménez, J.L., Montebianco, C.B., Olivares, F.L., Canellas, L.P., Barreto-Bergter, E., Rosa, R. C.C., Vaslin, M.F.S. 2022. Passion fruit plants treated with biostimulants induce defense-related and phytohormone-associated genes. Plant Gene. 30, e-100357. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2022.100357>

SEI – Superintendência de Estudos Econômicos e sociais da Bahia. Estatísticas dos municípios baianos. Salvador: SEI, 2013. 452p.

Shalaby, T.A., Taha, N.A., Taher, D.I., Metwaly, M.M., El-Beltagi, H.S., Rezk, A.A., El-Ganainy, S.M., Shehata, W.F., El-Ramady, H.R., Bayoumi, Y. A. 2022. Paclobutrazol improves the quality of tomato seedlings to be resistant to *Alternaria solani* Blight disease: Biochemical and histological perspectives. Plants. 11, 425. <https://doi.org/10.3390/plants11030425>

Shwartz, I., Levy, M., Ori, N., Bar, M. 2016. Hormônios no desenvolvimento da folha de tomate. *Developmental Biology*. 419, 132–142. doi:10.1016/j.ydbio.2016.06.023

Silva, N.M., Araújo Neto, S.E., Souza, L.G., Pinto, G.P., Ferreira, R.L.F., Uchôa, T.L. 2023. Quality of yellow passion fruit as a function of irrigation, artificial pollination, and protected cultivation. *Comunicata Scientiae*. 14, e3803. <https://doi.org/10.14295/cs.v14.3803>

Silva, N.M., Neto, S.E.D.A., Souza, L.G.D.S.E., Uchôa, T.L., Pinto, G.P. 2022. Profitability of organic yellow passion fruit as a function of irrigation, protected cultivation and pollination. *Revista Caatinga*. 35, 633-640. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n314rc>

Silva, P.O., Batista, D.S., Cavalcanti, J.H.F., Koehler, A.D., Vieira, L.M., Fernandes, A.M., Barrea-hojas, C.H., Ribeiro, D.M., Nogueira, F.T.S., Otoni, W.C. 2019. Leaf heteroblasty in *Passiflora edulis* as revealed by metabolic profiling and expression analyses of the microRNAs miR156 and miR172. *Annals of Botany*. 123, 1191-1203. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz025>

Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas – SAEG, 2007. Version 9.1. <http://arquivo.ufv.br/saeg/> (acessado 24 Jun 2023).

Soares, T.L., Jesus, O.N., Souza, E.H., Oliveira, E. J. 2018. Floral development stage and its implications for the reproductive success of *Passiflora* L. *Scientia Horticulturae*. 238, 333-342. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.034>

Souto, A.G.D.L., Cavalcante, L.F., Melo, E.N.D., Cavalcante, Í.H., Oliveira, C.J., Silva, R.Í., Mesquita, E.F., Mendonça, R. 2022. Gas exchange and yield of grafted yellow passion fruit under salt stress and plastic mulching. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 26, 823-830. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p823-830>

Souza, W.B.B.D., Lima, G.S.D., Paiva, F.J.D.S., Soares, L.A.D.A., Fátima, R.T.D., Silva, A.A.R. D., Gheyi, H.R., Fernandes, P.D. 2023. Potassium fertilization as salt stress attenuator in sour passion fruit. *Ciência Rural*. 53, e-769. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210769>

Stino, R.G., Abd El-Wahab, S.M., Habashy, S.A., Kelani, R.A. 2011. Productivity and fruit quality of three mango cultivars in relation to foliar sprays of calcium, zinc, boron or potassium. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*. 3, 91-98.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I., Murphy, A. 2017. *Plant physiology and development*. 6 ed. Oxford University Press, Oxford, UK.

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

Teixeira, E.C., Matsumoto, S.N., Pereira, L.F., Silva, D.D.C., Viana, A.E.S., Gonçalves, A.N.S. 2023. Paclobutrazol as a strategy to induce reproductive precocity in sour passion fruit. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 45, e-501. <https://doi.org/10.1590/0100-29452023501>

Teixeira, E.C., Matsumoto, S.N., Ribeiro, A.F., Viana, A.E.S., Tagliaferre, C., Carvalho, F.D., Pereira, L.F., Silva, V.A., 2021. Morphophysiology and quality of yellow passion fruit seedlings subjected to gibberellin biosynthesis inhibition. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 43, e.51541. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.51541>

Teixeira, E.C., Matsumoto, S.N., Silva, D.C., Pereira, L.F., Viana, A.E.S., Arantes, A.M. 2019. Morphology of yellow passion fruit seedlings subjected to triazole-induced

growth inhibition. *Ciência e Agrotecnologia*, 43, e-020319. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943020319>.

Upreti, K.K., Reddy, Y.T.N., Prasad, S.S., Bindu, G.V., Jayaram, H.L., Rajan, S. 2013. Hormonal changes in response to paclobutrazol induced early flowering in mango cv. Totapuri. *Scientia Horticulturae*. 150, 414-418. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.11.030>

Wassel, A.H.M., Ahmed, F.F., Abada, M., Nagy, D.M. 2023. The Influence of paclobutrazol on the yield and fruit quality of superior seedless grapevines. *Scientific Journal of Agricultural Sciences*. 5, 8-16. <https://doi.org/10.21608/SJAS.2023.204508.1292>

Wu, S., Zhang, C., Li, M., Tan, Q., Sun, X., Pan, Z., Deng, X., Hu, C. 2021. Effects of potassium on fruit soluble sugar and citrate accumulations in Cara Cara navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Scientia Horticulturae*. 283, e-110057. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110057>

Zahid, G., Iftikhar, S., Shimira, F., Ahmad, H.M., Kaçar, Y.A. 2023. An overview and 789 recent progress of plant growth regulators (PGRs) in the mitigation of abiotic stresses in fruits: A 790 review. *Scientia Horticulturae*. 309, e-111621. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111621>

**Tabela A1**

Regressão e coeficiente de determinação dos parâmetros apresentados nas figuras 2, 3 e 4

Parâmetro	Posição	Equação	
gs	RP	$\hat{Y}^{**} = 0,2476 + 0,0002x$	$R^2 = 0,6173$
	RS	$\hat{Y}^* = 0,15 + 0,0018x - 0,000009x^2$	$R^2 = 0,5253$
A	RP	$\hat{Y}^* = 15,446 + 0,0037x$	$r^2 = 0,8791$
	RS	$\hat{Y}^{**} = 6,8338 + 0,1149x - 0,0006x^2$	$R^2 = 0,793$
E	RP	$\hat{Y}^* = 3,7139 + 0,0019x$	$r^2 = 0,6463$
	RS	$\hat{Y}^{**} = 2,7043 + 0,0225x - 0,0001x^2$	$R^2 = 0,582$
Ci	RP	$\hat{Y}^{**} = 234,33 + 0,0769x$	$r^2 = 0,6906$
	RS	$\hat{Y}^* = 282,69 - 0,4781x + 0,0026x^2$	$R^2 = 0,9158$
A/gs	RP	$\hat{Y}^\circ = 64,231 - 0,1067x + 0,0005x^2$	$R^2 = 0,6444$
A/E	RS	$\hat{Y}^{**} = 2,4894 + 0,0178x - 0,00008x^2$	$R^2 = 0,9928$
A/Ci	RS	$\hat{Y}^{**} = 0,0241 + 0,0005x - 0,000003x^2$	$R^2 = 0,8709$
SPAD		$\hat{Y}^{**} = 56,575 + 0,2269x - 0,0012x^2$	$R^2 = 0,918$
NFTR		$\hat{Y}^* = 14,943 + 0,0058x - 0,00005x^2$	$R^2 = 0,5243$
IVF		$\hat{Y}^* = 0,8568 + 0,0073x - 0,0001x^2 + 0,0000004x^3$	$R^2 = 0,8569$
IVC		$\hat{Y}^{**} = 0,5012 + 0,0046x - 0,00003x^2$	$R^2 = 0,9097$
1ª Colheita		$\hat{Y}^{**} = 167,75 - 0,5025x + 0,0031x^2$	$R^2 = 0,8089$
NFP		$\hat{Y}^* = 11,516 + 0,306x - 0,0041x^2 + 0,00001x^3$	$R^2 = 0,8782$
Produção		$\hat{Y}^{**} = 2,9176 + 0,0914x - 0,0012x^2 + 0,000004x^3$	$R^2 = 0,9377$
Florada			
DF	1	$\hat{Y}^{**} = 91,063 + 0,0528x$	$r^2 = 0,9881$
	2	$\hat{Y}^{**} = 79,78 + 0,1003x - 0,0006x^2$	$R^2 = 0,5513$
CF	1	$\hat{Y}^{**} = 108,01 - 0,049x$	$r^2 = 0,923$
	2	$\hat{Y}^* = 102,04 + 0,0675x - 0,0005x^2$	$R^2 = 0,6662$
PF	1	$\hat{Y}^* = 280,98 + 0,1046x - 0,001x^2$	$R^2 = 0,7356$
	2	$\hat{Y}^{**} = 231,55 + 0,5178x - 0,0035x^2$	$R^2 = 0,6664$
PS	1	$\hat{Y}^{**} = 49,526 + 0,1353x - 0,001x^2$	$R^2 = 0,9421$
	2	$\hat{Y}^\circ = 49,08 + 0,2427x - 0,0016x^2$	$R^2 = 0,8913$
PP	1	$\hat{Y}^{**} = 135,94 + 0,0714x - 0,0011x^2$	$R^2 = 0,6791$
	2	$\hat{Y}^{**} = 104,7 + 0,4224x - 0,0026x^2$	$R^2 = 0,6113$
PPSS	1	$\hat{Y}^{**} = 86,693 + 0,0715x - 0,0007x^2$	$R^2 = 0,7555$
	2	$\hat{Y}^{**} = 69,574 + 0,3637x - 0,0023x^2$	$R^2 = 0,611$
RP	1	$\hat{Y}^{**} = 45,125 + 0,0585x - 0,0005x^2$	$R^2 = 0,7664$
	2	$\hat{Y}^\circ = 40,248 + 0,0567x - 0,0003x^2$	$R^2 = 0,8325$
SST	2	$\hat{Y}^{**} = 12,708 + 0,0155x - 0,00008x^2$	$R^2 = 0,9232$
N		$\hat{Y}^{**} = 20,717 + 0,0884x - 0,0004x^2$	$R^2 = 0,8555$
P		$\hat{Y}^{**} = 1,447 + 0,0037x$	$r^2 = 0,9757$
K		$\hat{Y}^{**} = 18,081 + 0,0811x - 0,0006x^2$	$R^2 = 0,8469$
Mg		$\hat{Y}^{**} = 3,15 + 0,005x$	$r^2 = 0,9754$
B		$\hat{Y}^{**} = 56,344 - 0,406x + 0,0041x^2$	$R^2 = 0,8221$
Cu		$\hat{Y}^{**} = 3,097 + 0,0059x$	$r^2 = 0,9042$

°, \* e \*\*: significativo pela análise de regressão a 10%, 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, DAE: dias após a emergência.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo do maracujazeiro - azedo é de extrema importância socioeconômica para o país. No entanto, estresses bióticos e abióticos têm impactado negativamente a produtividade da cultura, reduzindo-a e afetando a longevidade do pomar. Através de estudos pioneiros que realizamos anteriormente, utilizando paclobutrazol em mudas de maracujazeiro - azedo, foi possível obter mudas com características morfofisiológicas e anatômicas otimizadas, bem como a intensificação de metabólitos secundários relacionados à proteção contra estresses ambientais. Além disso, observamos uma modulação do ciclo reprodutivo em ambiente protegido. Esses resultados foram determinantes para aprimorar e aprofundar as hipóteses que foram abordadas no presente estudo.

Este estudo apresentou contribuições originais, relevantes e promissoras para o avanço de tecnologias de manejo do maracujazeiro - azedo em ambientes diversos. Obtivemos resultados com um potencial técnico – científico e socioeconômico significativo em relação a cultura do maracujazeiro. Isso foi alcançado através do desenvolvimento e implementação de técnicas de manejo com o paclobutrazol, com o objetivo de aumentar a tolerância das plantas a fatores que atualmente são considerados as principais limitações do cultivo, como estresse hídrico e salino, e a redução da longevidade dos pomares devido a doenças que acometem a cultura.

Em geral, constatamos que concentrações mais baixas do regulador de crescimento mantiveram a expressão isohídrica e favoreceram uma maior capacidade de expressão dos mecanismos de escape dos estresses hídrico e salino. O uso do regulador também otimizou a nutrição foliar e resultou em maior vigor fisiológico e reprodutivo, maior qualidade físico-química dos frutos e uma floração e frutificação precoce. Isso representa um avanço tecnológico inovador no manejo da cultura, especialmente para lidar com doenças virais e fúngicas, como o *Cowpea aphidborne mosaic virus* (CABMV) e a fusariose, que estão presentes em todas as regiões de cultivo e causam redução na produtividade e na longevidade das plantas de maracujazeiro - azedo.

A escassez de recursos para controle e a ineficácia na erradicação dessas doenças que afetam a cultura, têm despertado o interesse das instituições de pesquisas e dos programas de defesa fitossanitária, que buscam encontrar soluções práticas e eficientes.

Apesar da importância das medidas preventivas e dos avanços tecnológicos, as restrições ao cultivo do maracujazeiro ainda persistem nas áreas de produção.

Dentre as possibilidades para resolver os problemas existentes, a redução do período no campo entre a fase juvenil e a fase adulta vegetativa-reprodutiva, alcançada por meio do uso do regulador obtida nesse estudo, permite explorar ao máximo a produtividade nas primeiras colheitas, antes que as doenças inviabilizem o pomar. Com essa abordagem de manejo, os produtores de maracujá poderão aumentar significativamente a produção e a lucratividade. No entanto, é necessário investigar ainda o efeito desse regulador em diferentes regiões de cultivo e em colaboração com os produtores para avaliar a aceitabilidade do manejo e determinar os impactos da precocidade reprodutiva a longo prazo. Além disso, é importante expandir os estudos em campo externo abrangendo também situações de estresse hídrico e salino, com o objetivo de assegurar a sustentabilidade dessa técnica e buscar, futuramente, o registro dessa molécula para a cultura.



# ANEXOS

Scientia Horticulturae 307 (2023) 111480



Contents lists available at ScienceDirect

Scientia Horticulturae

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scihorti](http://www.elsevier.com/locate/scihorti)



## Paclotrazole use as a tool for anticipate water stress response of sour passion fruit

Ednilson Carvalho Teixeira<sup>a,\*</sup>, Sylvana Naomi Matsumoto<sup>a,\*</sup>, Luanna Fernandes Pereira<sup>b</sup>, Maria Aparecida Castellani<sup>a</sup>, Carla de Souza Almeida<sup>b</sup>, Carlos Eduardo Magalhães dos Santos<sup>b</sup>, José Carlos Lopes<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus Vitória da Conquista, BA, Brazil

<sup>b</sup> Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, MG, Brazil

<sup>c</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Campus Alegre, ES, Brazil

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Irrigation regime  
Isohydric  
Seedling quality  
Water availability

### ABSTRACT

Water status such as drought or excess water, have led to great socio-economic impacts on sour passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) crops. Relevant studies have highlighted the impact of growth regulators on the activation and modulation of plant escape mechanisms to water stress. This study aimed to analyze whether PBZ affect morphophysiology and biochemistry of sour passion-fruit seedlings inducing a better adaptation to water stress after transplanting. In general, the irrigation regime was the factor that promoted the most expressive effect for all the evaluated characteristics, while the PBZ concentration factor affected only the morphology. The interaction between these factors was observed for leaf water potential ( $\psi_w$ ) and mass accumulation, characterized by increases as a function of increasing water availability. The 40 and 80 mg L<sup>-1</sup> PBZ concentration induced the maintenance of higher  $\psi_w$  throughout the variation of water regime evaluated in this study, when it was determined at 140 days after emergence. The shifting from the quadratic model to the linear model of morphological characteristics as a function of the irrigation regimes, corroborates regulator effect to becoming it more directly associated with water availability, without interactions with other factors not addressed. The relationship between mass accumulation and PBZ concentrations were evidenced for the water excess regimes (90 and 120% pot capacity), characterized by decreases. Under water excess, 40 mg L<sup>-1</sup> of PBZ results greater water uptake and storage capacity, increasing the plants' vigor. Although the anticipation of the escape mechanisms optimizes the plant's water status, the growth restriction imposed by the regulator reduced the biomass accumulation potential of the plants under water restriction.

### 1. Introduction

Global climate change has affected water availability with irregular rainfall patterns causing frequent scenarios of floods or droughts (Pendergrass et al., 2020; Shahzad et al., 2021). Fruit crops are highly susceptible to this variability within the agricultural sectors due to their perennial nature, summing up all these changes of plant throughout the phenological cycle (Kougiyalas, 2021).

The sour passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) is of great socio-economic importance for Brazil, standing out on the world stage due to its vigor, productivity, organoleptic quality, and juice yield (Ferreira et al., 2016). However, this species is considered sensitive to abiotic stresses such as water stress, which is one of the main factors responsible

for decreasing the productive potential of plants (Basso et al., 2019; Faria et al., 2020).

In condition of water stress, oxygen depletion induces hypoxia or anoxia, which causes plant disturbances such as changes in of photosynthetic and water relations, reduced root growth and chlorophyll contents, and biomass accumulation (Wongs-aree et al., 2018; Mira et al., 2021). Some morphophysiological and anatomical strategies passion fruit plants are expressed as an adjustment of extreme water stress conditions (Faria et al., 2020). For example, the formation of lysigenous aerenchyma was observed in sour passion-fruit roots subjected to excess water, a mechanism of supplemental oxygenation directed to the root system (Govea et al., 2018).

Although the scape mechanisms area mainly expressed by a greater

\* Corresponding authors.

E-mail addresses: [ed.cezar@hotmail.com](mailto:ed.cezar@hotmail.com) (E.C. Teixeira), [snaomi@uesb.edu.br](mailto:snaomi@uesb.edu.br) (S.N. Matsumoto).

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111480>

Received 17 April 2022; Received in revised form 19 August 2022; Accepted 26 August 2022

Available online 18 September 2022

0304-4238/© 2022 Elsevier B.V. All rights reserved.

root development and quickly stomatal closure, the higher vigor of vegetative growth of sour passion fruit defines an elevated water consumption to maintain the plant structure resulting in high sensitivity to water stress (Sousa et al., 2018). The classification regarding isohydricity (isohydric or anisohydric) has been applied to characterize the physiological response of plants (Sade et al., 2012; Blanco-Cipollone et al., 2017). For sour passion fruit, the state of the art of classification regarding isohydricity is quite controversial, with important interacting factors being questioned such as environmental conditions of the planting area, phenological stage of the crop, and severity and time of the stress (Martínez, 2013; Lozano-Montana et al., 2021). However, the greater stomatal sensitivity and maintenance of leaf water potential for plants under low water availability conditions have been defined as an isohydric adjustment strategy (Lozano-Montana et al., 2021).

The isohydric strategy is less vulnerable to the effects of prolonged water deficit, mainly due to stomatal closure leading to reduced water loss by transpiration (Onyemaobi et al., 2021). Nonetheless, the low CO<sub>2</sub> assimilation rate may result in lower biomass accumulation (Kumar et al., 2018). Furthermore, depletion of non-structural carbohydrate reserves to maintain the plant's physiological system functionality under these conditions can compromise plant growth, development, and longevity (McDowell et al., 2011).

Regulating and anticipating the main plant mechanisms that provide isohydric characteristics, increased energy metabolism, water uptake, transport, and storage capacity would be a strategy to increase or maintain plant growth under water deficit conditions.

Growth restriction is related to reduced cell elongation that may be induced by gibberellin biosynthesis inhibitors or by moderate water stress (Litvin et al., 2016). This strategy has been used in several crops to induce plant acclimation by optimizing protoplasm escape mechanisms and desiccation tolerance (Mohammadi et al., 2017; Sousa et al., 2018; Garg et al., 2019; Mohan et al., 2020). When growth reduction is related to lower water availability due to an internal plant adjustment, there is an acceleration of the reproductive stage and senescence (Mariën et al., 2022), resulting in superoxide elevation (Rasheed et al., 2021), cell structure fragility (Brodrick et al., 2021), chlorophyll degradation (Fan et al., 2020), and leaf abscission (Souza et al., 2020). However, the management of growth regulator results of, vegetative growth maintenance (Fan et al., 2020; Iqbal et al., 2020), increasing ability to regulate water status and gas exchange, resulting in greater biomass accumulation (Mohan et al., 2020). In addition, increased relative water content, photosynthetic pigments (Garg et al., 2019; Fan et al., 2020), and antioxidant system (Mohammadi et al., 2017; Davari et al., 2021) are reported in several studies as effects of the gibberellin biosynthesis inhibitor.

For sour passion fruit, the gibberellin biosynthesis inhibitor promotes morphophysiological and anatomical changes related to water relations optimization, such as increased reserve tissues, differentiation of conductive tissues, and optimization of leaf gas exchange relationships (Teixeira et al., 2019; Teixeira et al., 2021). Given these changes in seedlings subjected to water restriction, using the growth regulator could modulate the isohydric expression and lead to less variation in water status while maintaining growth.

This study aimed to analyze whether the morphophysiological and biochemical changes in sour passion-fruit seedlings submitted to a gibberellin biosynthesis inhibitor would be effective in modulating the isohydric expression during water deficit or inducing better adaptation to excess water after transplanting.

For this study, under water stress conditions, morphological and physiological changes induced by the gibberellin biosynthesis inhibitor favored the expression of drought escape mechanisms in passion-fruit plants, optimizing the plants' water status. However, the regulator's growth restriction during the propagation material's formation stages reduced the plants' mass accumulation potential sour passion fruit after transplanting.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Study site characterization and experimental design

The study was conducted in Vitória da Conquista, Bahia, Brazil (14° 53' South latitude and 40° 48' West longitude, 845 meters altitude), from February to July 2021, in a greenhouse, covered with a 150-micron film with 90% transparency, blocking ultraviolet rays, not presenting a homogeneous environment in relation to the environmental conditions. According to the Köppen-Geiger classification, the city has a Cwa (high altitude tropical) climate. The average annual rainfall and temperature are 733.9 mm and 20.2°C, respectively (Sei, 2013). During the test, the average temperature inside the greenhouse was 20.7°C, with the maximum and minimum averages varying between 32.9°C and 13.9°C, respectively. The temperature data referring to the experiment conduction period were monitored by datalogger (Fig. 1).

The experiment was set up in a randomized block design with four repetitions in a 5 × 4 factorial scheme. The heterogeneity in relation to luminosity, temperature and relative humidity inside the greenhouse can influence, mainly, in the physiological analyzes (gas exchange), justifying, therefore, the adoption of the experimental design in randomized blocks.

The treatments consisted of five paclobutrazol (PBZ) concentrations of 0, 40, 80, 120, and 160 mg L<sup>-1</sup> and four irrigation regime (IR) levels equivalent to 30, 60, 90, and 120% of pot capacity (PC). We used the gravimetric method to define the pot capacity, as described by Casaroli and Lier (2008).

### 2.2. Seedling production

Three sour passion-fruit seeds of the 'Redondo Amarelo' cultivar were sown in polyethylene tubes, with a 290 cm<sup>3</sup> capacity, containing a commercial substrate constituted by bio-stabilized pine bark, vermiculite, charcoal pellets, and phenolic foam. The seedlings' emergence stabilized on the fifteenth day after sowing, and thinning was carried out to keep them more vigorous.

### 2.3. Experiment set up and conduction

At 30 days after emergence (DAE), when the seedlings presented an average height of 12 cm and four expanded leaves, they were immersed in aqueous solutions of PBZ (0, 40, 80, 120, and 160 mg L<sup>-1</sup>) up to the substrate level for 60 s, reaching the substrate's saturation.

Sixty-five days after emergence, the sour passion-fruit seedlings were transplanted into 20 dm<sup>3</sup> pots containing unstructured soil with a sandy clay loam texture, classified as Typic Hapludox. Soil fertilization was performed following the crop's technical recommendations according to

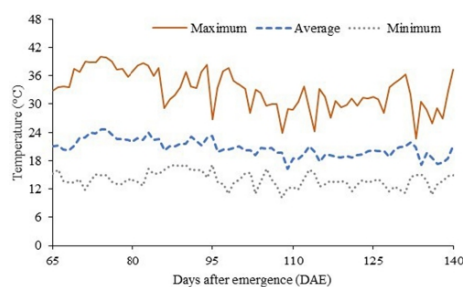


Fig. 1. Maximum, average and minimum temperature inside the greenhouse (05/14/2021 to 07/28/2021).

the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA)/Centro de Pesquisa em Mandioca e Fruticultura (Borges and Souza, 2010) based on the chemical analysis of the soil.

The plots were irrigated for 15 days at 90% of pot capacity to favor establishment and adaptation, and then the previously determined irrigation regime treatments were applied: 30, 60, 90, and 120% of pot capacity, with water supply using the weighing method at this stage.

The plants in the 0, 40, 80, 120, and 160 mg L<sup>-1</sup> PBZ treatments had an average stem height of 63.4, 34.1, 27.8, 21.2, and 17.4 cm, respectively. Then, they were grown in a vertical espalier system, using flat wires at 1.8 m above ground level. First, the side branches were removed, and a ribbon guided the main branch to 10 cm above the wire, where it was pruned to form secondary branches.

#### 2.4. Physiological and biochemical analyses

The readings on SPAD index, gas exchange, and leaf water status at predawn (pd) and midday (md) were taken at 110 and 140 DAE. The SPAD index was determined using a portable chlorophyll meter (SPAD 502, MINOLTA, Japan). The measurements were taken at three points on the leaf lamina of the second fully expanded leaf in the basipetal direction. This leaf was also used to evaluate gas exchange and leaf water potential ( $\Psi_w$  leaf).

Gas exchange was measured between 8 and 11 am with an infrared radiation gas analyzer (LCPro, ADC Bio Scientific Limited, Hoddesdon) using an actinic light source set at 1200  $\mu\text{mol}$  of photons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  of photosynthetically active radiation. The following characteristics were measured: net CO<sub>2</sub> assimilation rate ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), stomatal conductance ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiration rate ( $E$ ,  $\text{mmol water vapor m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), internal CO<sub>2</sub> concentration in the leaf ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$  air), and leaf temperature (LT). In addition, intrinsic water use efficiency ( $A/g_s$ ), water use efficiency ( $A/E$ ), and carboxylation efficiency ( $A/C_i$ ) were determined based on the ratio between CO<sub>2</sub> assimilation rate and stomatal conductance, transpiration rate and internal CO<sub>2</sub> concentration in the leaf, respectively.

Leaf water potential ( $\Psi_w$ ) expressed in MPa was determined following the methodology described by Sholander et al. (1964) using a pressure chamber (PMS 1000, PMS Instrument Company, Albany). The relative leaf water content (RLWC) was obtained according to the methodology described by Catsky (1960) in percentages.

Electrolyte leakage (EL) and photosynthetic pigments were measured at 140 DAE on the first fully expanded leaf starting from the apex. First, the EL in percentage was determined according to the method established by Wanderley et al. (2020) and the extraction of photosynthetic pigments by Arnon's (1949) modified methodology, eliminating the discs' maceration and centrifugation steps, described by Barbieri Júnior et al. (2010). Then, according to the mass of each sample and the volume of acetone used, the values were converted, and the pigment content was expressed in  $\text{mg g}^{-1}$  of leaf fresh mass.

#### 2.5. Morphological analyses

Within 110 days after emergence (DAE), the plant stem height (SH) was evaluated with a tape measure in centimeters from the stem's base to the apex. While at 110 and 140 DAE, the following measurements were performed: basal diameter (BD) close to the level of the substrate and stem diameter (SD) at the sixth internode in the acropetal direction, both determined using a digital caliper (DC-60, Western, China), and the results were expressed in millimeters; the number of leaves (NL) by direct counting, total leaf area (TLA) at 110 DAE through the product of width and length measurements following the methodology proposed by Souto et al. (2017) and at 140 DAE using a leaf area integrator (LI 3100, LI-COR, USA); and individual leaf area (ILA) from the ratio between TLA/NL, with the values expressed in square centimeters.

In the last evaluation at 140 DAE, in addition to the morphological variables described above, we evaluated: the specific leaf area (SLA)

according to the ratio between TLA and leaf dry mass, estimated in  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ; the root diameter (RD), analyzed at 3 cm from the root cap, with the results expressed in millimeters; and the root volume (RV), using the water displacement method in a measuring cylinder, in cubic centimeters (COSTA et al., 2018). The dry mass of the aerial part and root (DMAP, RDM) were obtained after weighing the fresh masses (FMAP, RFM) and drying the tissues in an oven with forced air circulation (SL 102/480, Solab, Brazil) at 65°C for 72 h. The masses were obtained on an analytical balance (Mark 1300, Analyser, Brazil) in grams (0.01g). To obtain the total fresh and dry mass (TFM, TDM).

#### 2.6. Statistical analysis

The statistical analyses were conducted using the Statistical and Genetic Analysis System software, version 9.1 (SAEG, 2007). First, the data were submitted to tests for homogeneity of variance (Cochran) and normality (Lilliefors) and then to the analysis of variance (ANOVA) to determine the isolated and interaction effects between PBZ concentrations and irrigation regimes. Posteriorly, regression analysis was performed using the orthogonal polynomial method, whose best-fit models were defined based on the level of significance by the "F" test (10, 5, and 1% probability) and the magnitude of the coefficient of determination ( $R^2 \geq 60$ ) associated with the biological value. The assumptions associated with the definition of the tested regression models can be found in Appendix A2. Complementary Materials.

For some characteristics (stomatal conductance and relative leaf water content at noon evaluated at 140 DAE) regardless of the interaction occurrence in the analysis of variance, we performed an unfolding.

### 3. Results

Irrigation regimes affected a majority of evaluated characteristics, but PBZ concentration was not so effective as aforementioned factor mainly when were analyzed physiological characteristics as predawn  $\Psi_w$  leaf, RLWC, CAR, EL, SPAD index, leaf gas exchanges. The greater expression of PBZ concentrations was verified to mass accumulation and morphology of shoot, except for RD and ILA at 140 DAE. The interaction between irrigation regime and PBZ concentrations was observed for midday  $\Psi_w$ , predawn  $\Psi_w$  and RLWC at 140 DAE and leaf carotenoid content (Table 1).

When  $\Psi_w$  leaf and RLWC were analyzed as a function of PBZ concentrations and irrigation regimes, it was more expressive at midday than pre-dawn period and at final evaluation (140 DAE) in comparison to first one (110 DAE) (Fig. 2 A-N). The relations between  $\Psi_w$  leaf and RLWC with irrigation regimes and PBZ concentrations were delineated by a rising values with exception to  $\Psi_w$  leaf evaluated at 140 DAE, for both predawn and midday period. The ranging of PBZ concentrations results in a decrease of predawn  $\Psi_w$  leaf values in plants submitted to 120% of pot capacity (PC), contrasting to increasing values of plants submitted to 30% PC (Fig. 2 E). At midday, despite a establishment of quadratic equation to  $\Psi_w$  leaf as a function of PBZ concentration to all irrigation regimes, 30% PC maintain a rising values in relation to plant regulator, but to others PC treatments the values remains lower than control (Fig. 2 G). At 140 DAE, when  $\Psi_w$  leaf was evaluated at predawn and associated to irrigation regimes, there were an increasing of values to controls and a slight change to plants that received 40, 80 and 160 mg L<sup>-1</sup> of PBZ (Fig. 2 F). Still at 140 DAE, for control and plants submitted to 40 and 120 mg L<sup>-1</sup> concentrations of PBZ, greater amplitude of values were verified when  $\Psi_w$  leaf was evaluated at midday period (Fig. 2 H) compared to that observed in predawn (Fig. 2 F, H).

For all adjustments to RLWC related to PBZ concentration and irrigation regimes, it was defined a quadratic model (Fig. 2 J, L, M, N). Regarding the growth regulator factor, there it was not possible to delineate mathematical model for RLWC (Fig. 2 I, K), except for plants maintained at a 30% PC irrigation regime evaluated at 140 DAE, at the predawn time, being characterized by slight increments of RLWC (Fig. 2



Table 1

Summary of variance analysis of leaf water potential at predawn and midday ( $\Psi_w$  pd and  $\Psi_w$  md), relative leaf water content at predawn and at noon (RLWC pd and RLWC md), stomatal conductance ( $g_s$ ), net  $CO_2$  assimilation rate ( $A$ ), transpiration rate ( $E$ ), internal  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ), electrolyte leakage (EL), intrinsic water use efficiency ( $A/g_s$ ), water use efficiency ( $A/E$ ), carboxylation efficiency ( $A/C_i$ ), leaf temperature (TF), basal diameter (BD), stem diameter (SD), number of leaves (NL), carotenoid content (Car), SPAD index (SPAD), total leaf area (TLA), individual leaf area (ILA), height (SH), specific leaf area (SLA), shoot fresh and dry mass (FMAP, DMAP), root fresh and dry mass (RFM, RDM), total fresh and dry mass (TFM, TDM), root diameter (RD) and root volume (RV), chlorophyll a, b and a + b content (Chl: a, b, a + b) of sour passion fruit plants subjected to different concentrations of growth regulator (C) and irrigation regimes (IR), evaluated at 110 and/or 140 days after emergence.

SV	DF	MEAN SQUARES																
		$\Psi_w$				RLWC				$g_s$	A		E		$C_i$		EL	
		pd		md		pd		md										
BL	3	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	**	ns	**	*	**	ns	**
IR	3	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**
C	4	ns	ns	**	**	ns	**	ns	ns	**	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns
IR x C	12	ns	**	**	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		25.7	33.2	29.6	37	4.2	5.3	4.8	5.4	21.8	24.4	13.9	23.7	17.2	24.8	6.6	16.2	25.5
SV	DF	A/ $g_s$		A/E		A/ $C_i$		TF		BD	SD	NL	Car	SPAD				
BL	3	**	ns	**	ns	ns	*	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IR	3	**	**	**	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**	**	ns	ns	ns	ns
C	4	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns
IR x C	12	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	*	ns	ns
CV (%)		15	29.4	20.5	41.3	15.3	31.2	3.9	3.7	8	8.7	10.1	10.5	7.7	19.8	16.7	12.5	12.6
SV	DF	TLA		ILA		SH	SLA	FMAP	RFM	TDM	RDM	RD	RV	DMAP	TFM	a	b	a + b
BL	3	**	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
IR	3	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**
C	4	**	**	**	ns	*	**	**	**	**	**	ns	*	**	**	*	**	**
IR x C	12	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	**	**	ns	ns	ns
CV (%)		12.5	15.1	14.1	18.6	14.7	10.6	13.9	24.3	12.7	20.9	25.4	29.9	13	11.7	18.2	30.1	29

ns, \* and \*\*: not significant, significant by the "F" test at the level of 5 and 1% of probability, respectively. SV: source of variation; DF: degrees of freedom; BL: block; RES: residue; CV: coefficient of variation.

M). The RLWC values remained higher than the 30% PC treatment for all irrigation regimes studied (Fig. 2 M). When irrigation regime was analyzed, at 110 DAE, a slight rising of RLWC in function to irrigation regime increases was verified with higher values taken at predawn period in comparison to midday time (Fig. 2 J). In condition of 30% PC, the RLWC all of plants exposed to PBZ treatment was higher than control (Fig. 2 L, N).

At 140 DAE, when RLWC was analyzed as a function of irrigation regimes, it was verified increases between 83.04 and 97.68% PC at predawn and between 88.41 and 95.55% PC at midday evaluations (Fig. 2 L, N). It is worth to point that throughout the water availability, to plants submitted to 40 mg L<sup>-1</sup> PBZ treatment, the values remained higher in comparison to other treatments (Fig. 2 N), at 140 and 110 DAE too.

There was a rising of carotenoid content for plants subjected to 120% water availability (Fig. 2 O) and 160 mg L<sup>-1</sup> of PBZ (Fig. 2 P) when the interaction between PBZ concentrations and irrigation regime was unfolded. Increases of chlorophyll contents (Cl a, Cl b, and Cl a, b) were established when a gradient of growth regulator concentrations was evaluated (Fig. 2 Q). The opposite effect occurs to irrigation regime's, characterized by a decreasing linear model (Fig. 2 R), being dully supported by the same behavior to Spad index at 110 and 140 DAE (Fig. 2 T). Electrolyte leakage at 140 DAE was not affected by growth regulator treatments and the irrigation regimes (Fig. 2 S, T).

In all evaluating dates, when irrigation regimes and PBZ concentration were considered as an independent factor, there was a high similarity among  $g_s$ , A and E models adjustments (Fig. 3). The rising of  $g_s$ , A, E and A/ $C_i$  values in function to PBZ concentration was verified only at early evaluation time (110 DAE), being defined by a linear model. However, no adjustments were maintained at late one (140 DAE), indicating that even the direct or indirect effect of PBZ was not persistent at later stages of sour passionfruit development (Fig. 3 A, E, G, O). At 110 DAE, when irrigation regime was evaluated, the rising of  $g_s$ , A, E and  $C_i$  was, initially, defined by a quadratic model, setting an

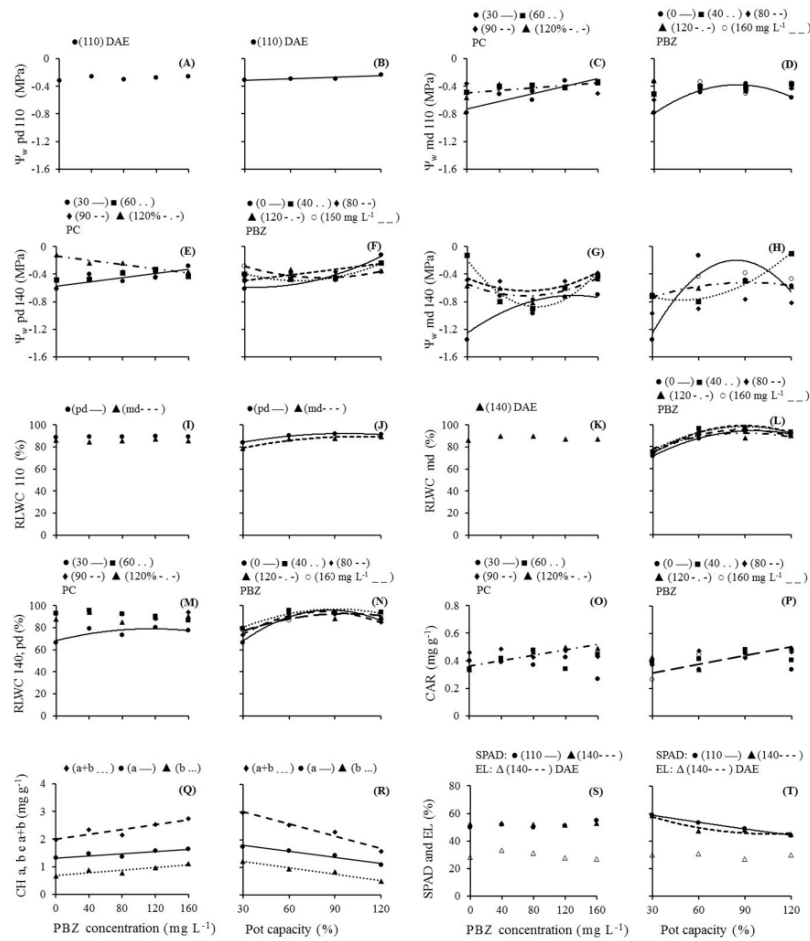
intermediate level as an optimum water level availability (Fig. 3 B, F, H, J).

At later stages (140 DAE), the increasing values of relations between leaf gas exchange parameters related to irrigation regimes was maintained, but there was a shifting to linear model, indicating that the major water requirement at reproductive phase of sour passion fruit development is related to  $g_s$ , A and E performance (Fig. 3 D, F, H). There was an interesting behaviour of plants submitted to 40 mg L<sup>-1</sup> pf PBZ that established a third order model, characterizing, at intermediate levels (between 60 to 90% PC), a patamar of maintenance of  $g_s$  values (Fig. 3 D).

When the relation between  $C_i$  and irrigation regime was analyzed, distinctly, the quadratic model fitted at early stage persists at 140 DAE, defining the interval of 88.52 to 92.5% as a water condition that results the major  $C_i$  values (Fig. 3 J). At 140 DAE, the contrasting decrease of  $C_i$  in comparison to maintained rising of  $g_s$ , A and E as a function to irrigation regime from 88% was related to higher performance of enzymatic metabolism that contributed to mitigate the  $C_i$  at intercellular spaces of leaf tissue (Fig. 3 J).

To the rates involving A as a numerator, only to A/ $C_i$  at 110 DAE there was a linear models fitted to PBZ concentration, denoting rising in relation to increasing of regulator concentration (Fig. 3 O). A decreasing of values of A/ $g_s$  and A/E was verified when irrigation regime was analyzed with a minor value determined to 92.74% and 107.25%, respectively, corresponding to 16.87 and 22.72% lower in comparison to the minor water availability (30%), respectively (Fig. 3 L, N). Although the rising of gas exchange parameters in relation to irrigation regimes, when the rates involving A as a numerator was considered, there was a tendency of decreasing of A/ $g_s$  and A/E, denoting the minor magnitude of A increases in comparison to  $g_s$  and E values (Fig. 3 L, N).

At 140 DAE, conversely to previous evaluations obtained at 110 DAE of other rates involving A as a function with irrigation regimes, there was a rising of A/ $C_i$  rates, with an increase of 194.24% for plants grown at 120% water availability in comparison to those grown at 30%, is



**Fig. 2.** Physiological and biochemical characteristics of sour passion fruit plants in response to growth regulator (PBZ) and % pot capacity (PC). (A, B): leaf water potential -  $\Psi_w$  at 110 days after emergence (DAE) in predawn (pd); (C, D):  $\Psi_w$  at 110 DAE in the midday period (md); (E, F):  $\Psi_w$  pd at 140 DAE; (G, H):  $\Psi_w$  md at 140 DAE; (I, J): relative water content in the leaf - RLWC pd and md at 110 DAE; (K, L): RLWC md at 140 DAE; (M, N): RLWC pd at 140 DAE; (O, P): carotenoid content - Car at 140 DAE; (Q, R): chlorophyll content a, b, a + b - Ch at 140 DAE and (S, T): SPAD index - SPAD at 110 and 140 DAE and electrolyte leakage - EL at 140 DAE. The regression models and coefficient of determination ( $R^2/r^2$ ) are described in Table A1 Appendix A1 in the supplementary material.

decreased in relation to PBZ concentration, fitted by a linear (Fig. 3 P).

Decreasing of a majority of morphological characteristics was verified in relation to PBZ concentration, fitted by a linear equation and quadratic (Fig. 4 A, C, E, G, K, M, O, S), but only to SD it was verified a slight increasing related to a usually anatomy alteration resulting of triazole treatment (Teixeira et al., 2019) (Fig. 4 E). To the models fitted in function to PBZ concentrations, the lower level of water availability (30% PC) determined the growth restriction resulting in minor values of SH and BD in all range of this regulator in comparison to others irrigation regimes (Fig. 4 A, C). To leaf characteristics this decreasing was better expressed by plants submitted to higher level of water availability, mainly at 90% of pot capacity (Fig. 4 I, M, O, S). By opposite way, it

was verified an increasing value when irrigation regime was analyzed, fitting a linear and quadratic model. As expected, the PBZ treatment induced vigor growth restriction, resulting in ranking of control plants among the major values of morphological characteristics. The shifting the quadratic to linear model of association between some shoot characteristics as SH, BD, NL, TLA, SLA with water availability, promoted by PBZ treatment was a fact that corroborated the establishment of a more orthodox relation between growth and water availability (Fig. 4 B, D, J, L, N, T).

The relations between mass accumulation and PBZ concentrations was expressed only to higher levels of irrigation regimes (90 and 120% PC) (Fig. 5 A, E, G, I). A linear decreasing model was observed for FMAP,

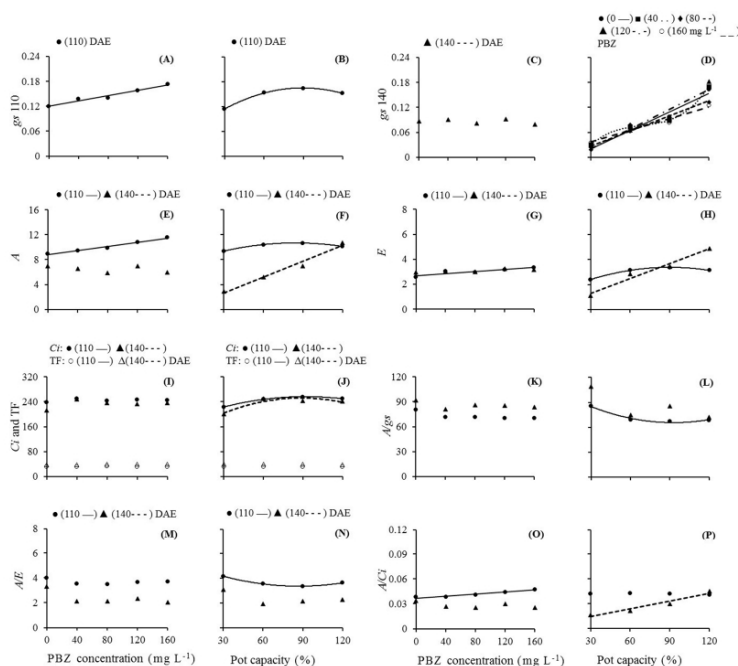


Fig. 3. Leaf gas exchange of sour passion fruit plants in response to growth regulator (PBZ) and % pot capacity (PC), at 110 and 140 days after emergence (DAE). (A, B, C, D): stomatal conductance –  $g_s$ ; (E, F):  $CO_2$  net assimilation rate –  $A$ ; (G, H): transpiration rate –  $E$ ; (I, J): internal concentration of  $CO_2$  –  $C_i$  and leaf temperature –  $TF$ ; (K, L): intrinsic efficiency of water use –  $A/g_s$ ; (M, N): water use efficiency –  $A/E$  and (O, P): carboxylation efficiency –  $A/C_i$ . The regression models and coefficient of determination ( $R^2/r^2$ ) are described in Table A1 Appendix A1 in the supplementary material.

TFM, DMAP, and TDM only at 90% irrigation regime condition, with 39.44, 37.66, 39.07, and 38.63% decrease to comparison between plants submitted to 160  $mg L^{-1}$  of PBZ and control, respectively (Fig. 5 A, E, G, I). A quadratic model was verified for a 120% irrigation regime when FMAP, DMAP, and TDM at 140 DAE were associated with PBZ concentrations, being characterized by an increase up to 72.08, 54.44, and 61.41  $mg L^{-1}$  of PBZ, respectively (Fig. 5 A, G, I). It could be inferred that when PBZ treatment was analyzed, the mass accumulation for the 120% irrigation regime resulted in higher values when compared to the 90% irrigation regime (Fig. 5 A, G, I).

An increasing linear growth was observed for fresh and dry mass accumulation and to root characteristics when irrigation regime was considered (Fig. 5 B, D, F, H, J, L, N, P), describing that the superior limit of water availability of this study do not restrict the plant growth. The largest angular coefficient (RFM: 0.74; TFM: 2.50; DMAP: 0.40; TDM: 0.46) for plants submitted to 40  $mg L^{-1}$  concentration, being associated to the greater sensitivity of plants treated with 40  $mg L^{-1}$  to increasing levels of the irrigation regime percentage. The greatest differential regarding the control (0  $mg L^{-1}$  of PBZ) was verified for RFM with 20.6% increase (Fig. 5 D). For the plants supplied with 160  $mg L^{-1}$  PBZ concentration, smaller values were observed, associated with lower angular coefficients (RFM: 0.49; TFM: 1.85; DMAP: 0.26; TDM: 0.29) in comparison to other treatments.

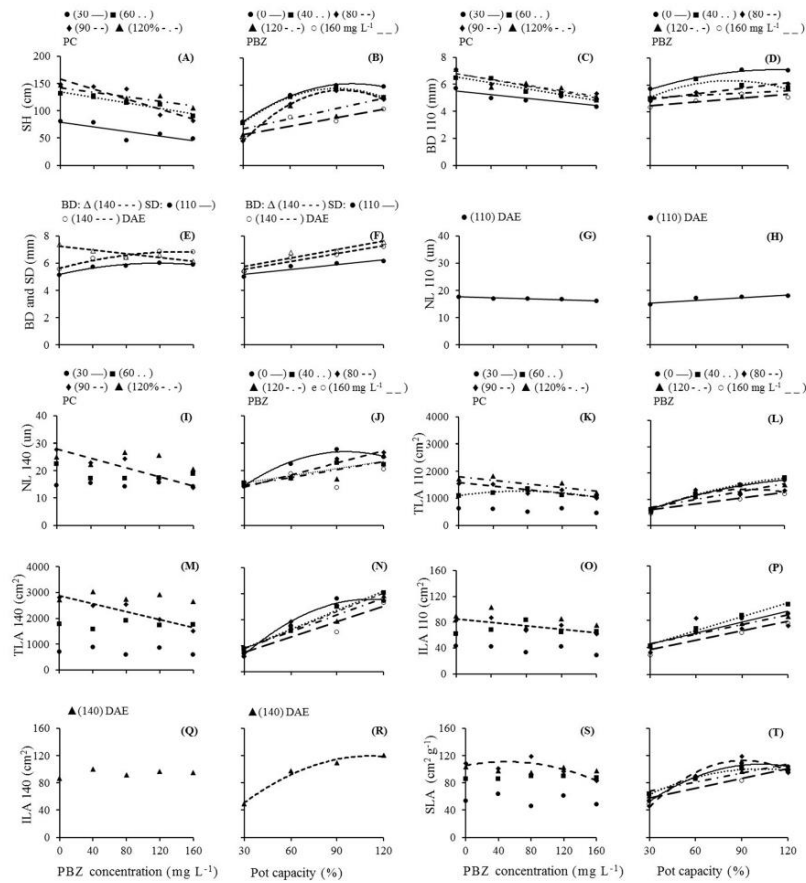
#### 4. Discussion

The ability to induce less variation in  $\Psi_w$  leaf by reducing stomatal conductance in passion fruit under water restriction conditions determines its classification as an isohydric plant, according to the observations of Lozano-Montana et al. (2021) in purple passion-fruit

plants. However, this classification is highly vulnerable to the study's environmental conditions, crop phenological stage, and stress severity and duration (Martínez, 2013; Lozano-Montana et al., 2021). In this study, the observation matrix is the treatments with water availability ranging between 30 and 120% of irrigation regime, usually occur at field, generated by “veranicos”, poorly drained soils or a choice of incorrect irrigation management (Araújo, et al., 2012). This situation can restrict the growth vigor and development but do not cause the complete collapse of plant (Huang et al., 2019). Under these conditions, water stress and regulator concentrations did not affect tissue integrity, a fact observed from the homogeneity of electrolyte leakage.

Within this scenario, we found that the concentrations of 40 and 120  $mg L^{-1}$  of the growth regulator induced the smallest variation in  $\Psi_w$  leaf at midday as a function of water availability in relation to the control. According to Restrepo-Díaz et al. (2010) and Goto et al. (2021), extreme water situations induce changes in physical, chemical, and biological processes, resulting in very similar symptoms for water deficit and excess condition. To present study, control treatment plants grown under water restriction levels were characterized by reduced growth, midday  $\Psi_w$  leaf, relative water content, stomatal conductance, and gas exchange. Pérez-Jiménez et al. (2021), and Olorunwa et al. (2022), verified that the similar characteristics between plants conducted at levels greater than 90% irrigation regime and water restriction condition were the reduction in  $\Psi_w$  leaf and relative leaf water content. The isohydric ability related to the maintenance of  $\Psi_w$  leaf due to the reduction of plant stomatal conductance was manifested only for plants under water deficit and was not observed for plants grown in excess water.

Stomatal closure is a process that can stabilize the maintenance of  $\Psi_w$  leaf by restricting leaf transpiration (Martínez-Vilalta and



**Fig. 4.** Morphological characteristics of sour passion fruit plants in response to growth regulator (PBZ) and % pot capacity (PC). (A, B): height – SH; and (C, D): basal diameter – BD at 110 days after emergence (DAE); (E, F): BD 140 DAE and stem diameter – SD at 110 and 140 DAE; (G, H): number of leaves – NL at 110 DAE; (I, J): NL at 140 DAE; (K, L): total leaf area – TLA at 110 DAE; (M, N): TLA at 60 DAE; (O, P): individual leaf area – ILA at 110 DAE; (Q, R): ILA at 140 DAE and (S, T): specific leaf area – SLA at 140 DAE. The regression models and coefficient of determination ( $R^2/r^2$ ) are described in Table A1 Appendix A1 in the supplementary material.

García-Fórner, 2017). However, other processes depend on stomatal closure that can reduce plant transpiration, such as osmotic adjustment and reduction of total leaf area by restricting elongation or abscission (Ammar et al., 2020; Bañón et al., 2022). For plants grown in environments with water levels above 30% of the irrigation regime, the regulator application was associated with reduced  $\Psi_w$  leaf at midday suggesting a possible activation of the osmotic adjustment mechanism in these plants. However, this was ineffective in keeping stomatal conductance higher than the control. Osmotic adjustment is when transpiration can be reduced without stomatal closure (Ilyas et al., 2020). The increase in osmolytes such as proline, betaine, or mannitol conditions the decrease in cellular osmotic potential, resulting in a more negative  $\Psi_w$  leaf (Khaleghi et al., 2019; Abobatta, 2020), reducing the plant-atmosphere vapor pressure deficit, leading to decreased transpiration, keeping stomata open.

The reduction in the transpiration surface of the plants, conditioned by decreases in the ratio between leaf number, individual, and total leaf area as a function of the regulator concentrations, constituted a water-saving, unrelated to the stomatal closure mechanism. Although the reduction in individual leaf area is associated with increased stomata density and dimensions (Doheny-Adams et al., 2012), resulting in increased stomatal conductance and increment in gas exchange ratios (Xu and Zou, 2008; Sousa et al., 2018), when analyzing the plant as a whole, the reduced transpiration surface area effect was predominant for water optimization. However, this fact can be corroborated by the greater amount of water held in the leaves, proven by the increase in relative leaf water content as a function of water availability levels.

For the excess water condition, although transpiration rates were elevated, the transpiratory flow capacity of the plant was reduced due to the smaller total leaf area when treated with PBZ, resulting in decreased



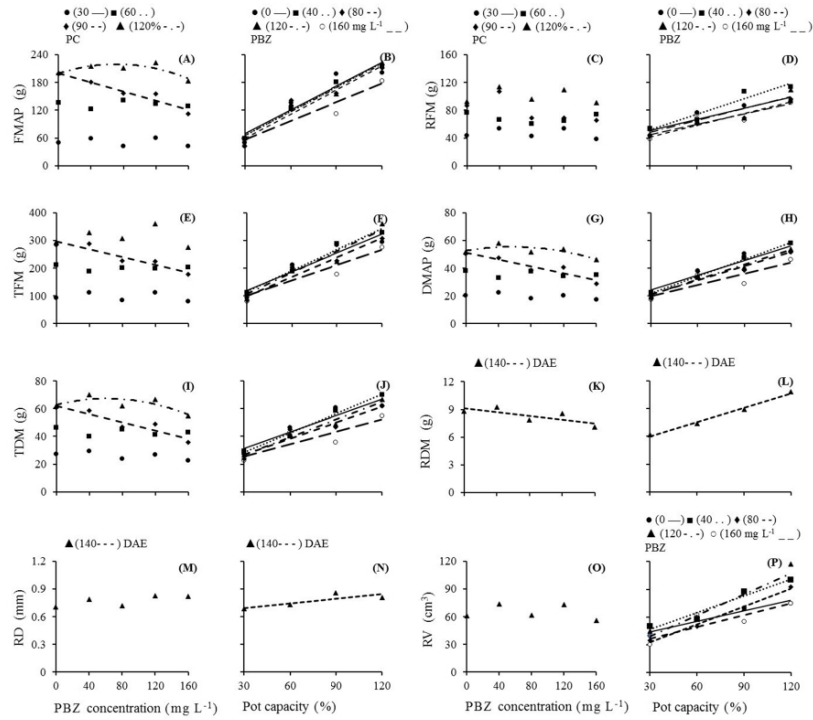


Fig. 5. Fresh and dry masses and root system morphology of sour passion fruit plants in response to growth regulator (PBZ) and % pot capacity (PC). (A, B): shoot fresh mass – FMAP; (C, D): root fresh mass – RFM; (E, F): total fresh mass – TFM; (G, H): shoot dry mass – DMAP; (I, J): total dry mass – TDM; (K, L): root dry mass – RDM; (M, N): root diameter – RD and (O, P): root volume – RV. The regression models and coefficient of determination ( $R^2/r^2$ ) are described in Table A1 Appendix A1 in the supplementary material.

rates of water transport from the roots to the aerial part by the transpiratory current. This effect was corroborated by the reduction in relative leaf water at 140 DAE content under the condition of water availability greater than 90% irrigation regime. Generally, under water excess condition, the decrease in stomatal conductance reduces transpiration, a fact not observed for the present study (Rodríguez-Gamir, Juan et al., 2011). Under conditions of fast flooding, brief root hypoxia may induce a differentiation of lateral roots, maintaining water uptake and transpiration rates (Nicolás, et al., 2005). Under excess water condition, even when stomatal conductance and transpiration are maintained, the decrease in hydraulic conductivity of the root system may cause greater resistance to water flow, reducing cell turgor capacity and limb expansion (Ehlert et al., 2009), as verified in the present study.

Analyzing water stress in a broad spectrum, the term that best represents the mechanisms of resistance to stress for the sour passion-fruit plant would be "escape" because this term groups not only the relationships between stomatal conductance and  $\Psi_w$  leaf, as defined by the isohydric effect, but also constitutes the reduction of transpiration, optimization of water uptake, transport, and storage (Durand et al., 2016). However, these mechanisms were manifested in sour passion-fruit plants and optimized by treatment with the growth regulator.

Water uptake optimization mechanisms were verified through the relationships between root system characteristics and water availability

levels. The highest root fresh mass values were verified for plants subjected to the 40 mg L<sup>-1</sup> PBZ concentration, and the higher the water availability, the greater were the root fresh mass differentials compared to the control and other treatments. The increment in root volume of plants subjected to PBZ concentrations of 40, 80, and 120 mg L<sup>-1</sup> was also an important indication of the occurrence of increased water uptake, as it enables increased frequency of root interception. The increase in root volume has been previously reported for other species under restriction of gibberellin synthesis (Te-chato et al., 2009; Kamran et al., 2018) and for sour passion-fruit seedlings, being associated with an increase in the number of cell layers and root cortex thickness (Teixeira et al., 2019). Segundo, the inhibition of gibberellin biosynthesis by PBZ alters the elongation and cell division, conditioning a reduction in the longitudinal plane and an increase in the radial plane (Nepomuceno et al., 2007).

The gibberellin biosynthesis inhibitor affects, to a lesser magnitude, tissues at advanced differentiation stages (Mabvongwe et al., 2016), as observed for basal diameter. The stem diameter, increased because the longitudinal cell elongation of the internode is restricted by the regulator, altering the main axis of cell elongation, resulting in greater growth in the radial direction (Wenzel et al., 2000). By increasing the number of cell layers and diameter in cross-section, the increase in the thickness of the stem cortex is a change associated with the increase in stem diameter in seedlings submitted to PBZ, as observed in previous



studies. When subjected to PBZ, the increase in stem diameter is also associated with higher differentiation activity of the vascular cambium, resulting in this tissue's lower thickness, higher density of xylem vessels with smaller caliber, and more lignified cell walls (Teixeira et al., 2019).

Higher xylem vessel density can increase water conductivity and, consequently, increase water use efficiency under water deficit (Edziri et al., 2021). In addition, during water supply, xylem vessels with smaller diameters are less vulnerable to embolism, prevalent under water deficit conditions (Knipfer et al., 2015; Hernandez-Espinoza and Barrios-Masias, 2020).

Cell elongation is the main process limited by water restriction (Sousa et al., 2018) and gibberellin biosynthesis inhibition (Oliveira et al., 2020). Specifically, as observed, individual leaf area reduction is also an adaptation mechanism to reduced water availability (Sousa et al., 2018). This study verified the reduction of the leaf lamina by the growth regulator. This morphological change induces higher venation density, resulting in higher leaf water conductivity (Nardini et al., 2014). However, this relationship is valid only in situations where an increase in the number of xylem vessels and the diameter of the main vein occurs simultaneously with a reduction in the leaf lamina (Mauri et al., 2020), as observed in seedlings submitted to PBZ (Teixeira et al., 2019).

The gibberellin biosynthesis inhibition in plants conditioned the increased water content in tissues (Teixeira et al., 2021), and this fact was verified by the decrease of the specific leaf area (90% irrigation regime) and the increased relative water content in leaves (30% irrigation regime) as a function of the regulator concentrations. Furthermore, the superiority of relative water content in leaves and fresh mass in roots as a function of water availability levels for plants subjected to 40 mg L<sup>-1</sup> of PBZ indicated the water storage potential of these organs induced by the regulator. Also, Teixeira et al. (2019, 2021) used similar concentrations of PBZ in sour passion-fruit seedlings and found increases in root diameter and volume, which were associated with a greater number of cell layers and cortex thickness. Such effects were related to changes in the source-drain relationship, resulting in a greater flow of water and nutrients to the root system at the expense of restricting the aerial part.

The decrease in specific leaf area values conditioned by the growth regulator suggests increased leaf thickness. According to Teixeira et al. (2019), the increase in the thickness of the palisade and spongy parenchyma is conditioned on an increase in the thickness of the sour passion-fruit leaf lamina. This fact was associated with increased elongation in the longitudinal direction of the cells by PBZ. Thus, the regulator's effect suggests being more related to changes in the cell expansion axis and not simply stimulating or restricting cell elongation (Plaza-Wuthrich et al., 2016). According to Sousa et al. (2018), the increase in leaf blade thickness was related to an increase in the photosynthetic capacity of plants due to the optimization of the stomata closure mechanism under water restriction conditions.

The changes promoted by the regulator for stomatal conductance conditioned the increase in transpiration and photosynthesis as a function of the regulator concentrations until 110 DAE, and as a function of water availability, in both evaluation periods. However, the angular coefficient of the models showed a higher coefficient for photosynthesis (0.0164) when compared to transpiration (0.0044) as a function of the regulator concentrations. Furthermore, when the models established as a function of the irrigation regime were analyzed, we verified the similarity between the models. Therefore, we concluded that the differential conditioning of sour passion-fruit plants due to growth regulator concentrations did not manifest itself for the variations in irrigation regimes imposed in this study.

The increased chlorophyll contents as a function of regulator concentrations were related to the PBZ's effect in restricting leaf lamina expansion and, consequently, increasing pigment concentration (Yooyongwech et al., 2017). Conversely, the "dilution" effect conditioned the decreases in the chlorophyll contents ratio as a function of the

irrigation regime.

The increased carotenoid pigments as a function of PBZ concentrations indicate the possibility of managing this regulator to increase the plants' antioxidative capacity. However, this effect was only verified for the high water availability condition, restricting this intervention possibility to crops in areas with well-established irrigation management. Furthermore, the establishment of the 160 mg L<sup>-1</sup> PBZ concentration is also an important factor to be observed because the effectiveness of increasing the carotenoid contents as a function of the irrigation regime was not observed in this study for the lower regulator concentrations.

Although PBZ-induced morpho-physiological changes strategies have conditioned a greater plant ability to adapt to water restriction, there was no increase in sour passion-fruit plant growth potential. The growth restriction and the metabolic expenditure involving adaptation mechanisms determined the lower mass accumulation of plants submitted to the growth regulator under water deficit conditions.

For supra-optimal water availability levels conditions (Souza and Ribeiro, 2016), when analyzing the treatments with PBZ, the use of low concentrations (40 mg L<sup>-1</sup>) elevated individual leaf area at 110 DAE, root fresh mass, and total dry mass. Changes in leaf and root tissue and the optimization of antioxidant enzyme expression are some of the strategies plants use to increase their resilience under such conditions. Specifically, induction of lysogenic aerenchyma is one of the most important changes in plant root tissue to ensure oxygen supply and prevent other possible damage under excess water conditions (Pan et al., 2021). For passion fruit, flooding conditions are associated with increased ethylene levels that induce aerenchyma and adventitious root formation. In addition, ethylene promotes the lysis of cortex cells, resulting in the formation of lysogenic aerenchyma, avoiding the hypoxic condition, and forming iron, copper, and manganese oxides (Singh et al., 2020).

Aerenchyma induction coupled with increased phenolic compounds upon seedlings' exposure to the gibberellin biosynthesis inhibitor (Teixeira et al., 2019) may optimize plants' adaptation mechanism. Therefore, for excess water conditions, we suggest that seedling treatment with 40 mg L<sup>-1</sup> of PBZ induces reserve and uptake mechanisms by increasing root fresh mass, resulting in greater potential for total dry mass accumulation and vigor of sour passion-fruit plants.

## 5. Conclusions

The paclobutrazol treatment of seedling stage promotes a several morpho-physiological changes consistent with the drought escape mechanism maintained after transplanting. Considering the water restriction condition, the smaller variation in  $\Psi_w$  leaf determined at midday is mutual to the stomatal conductance, safeguarding the isohydric expression in sour passion-fruit plants submitted to lower regulator concentrations. For the water availability moderately above the optimum level, the reciprocity between the reduction in  $\Psi_w$  leaf determined at midday and stomatal conductance is only maintained in low PBZ concentration treatments. Under stress induced by water excess, water storage and increased root uptake capacity are mechanisms that optimize the vigor of sour passion-fruit plants submitted to the lowest paclobutrazol concentration (40 mg L<sup>-1</sup>). The morpho-physiological changes characteristic of escape mechanisms, induced in the period prior to water stress by the regulator, increasing resistance to drought. However, growth restriction in the early vegetative development stages reduces the vigor of sour passion-fruit plants in later development.

## Authors contributions

TEC, PLF and ACS conducted the experiment, performed field and laboratory analyses, created graphs and wrote the manuscript. MSN guided the conduct of the experiment, performed the statistical analysis, corrected and wrote the manuscript. CMA, SCEM and LJC discussed and



