

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Efeito do aminoácido L-prolina exógeno nas características agronômicas e fisiológicas do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado em condições de campo

Rolando Ismael Corella Caballero
Doctor Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

ROLANDO ISMAEL CORELLA CABALLERO

Efeito do aminoácido L-prolina exógeno nas características agronômicas e fisiológicas do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado em condições de campo

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Derly J. H. da Silva

Coorientadores: Wagner Luiz Araujo
Alcinei Místico Azevedo

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

C797e
2024
Corella Caballero, Rolando Ismael, 1984-
Efeito do aminoácido L-prolina exógeno nas características
agronômicas e fisiológicas do tomateiro (*Solanum lycopersicum*
L.) cultivado em condições de campo / Rolando Ismael Corella
Caballero. – Viçosa, MG, 2024.

1 tese eletrônica (107 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Derly José Henriques da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2024.

Referências bibliográficas: f. 88-96.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.006>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Tomate - Fisiologia. 2. Osmoregulação. 3. Produtividade
agrícola. I. Silva, Derly José Henriques da, 1961-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.
III. Título.

CDD 22. ed. 635.6428

ROLANDO ISMAEL CORELLA CABALLERO

Efeito do aminoácido L-prolina exógeno nas características agronômicas e fisiológicas do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado em condições de campo

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 11 de dezembro de 2024.

Assentimento:

Rolando Ismael Corella Caballero
Autor

Derly Jose Henriques da Silva
Orientador

Essa tese foi assinada digitalmente pelo autor em 07/01/2025 às 11:27:51 e pelo orientador em 08/01/2025 às 10:18:26. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **RURU.BQPE.6EUD** e clique no botão 'Validar documento'.

A Deus pai Javé que sempre me guiou.

A minha mãe Virginia até o céu, e meu pai Telesforo.

A minha esposa Dayane.

A minha família, e todo aquele que acreditou em mim.

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS pai todo-poderoso, pelo presente da vida, pela saúde, a oportunidade e a coragem para alcançar essa meta profissional.

A minha mãe Virginia quem se foi para o céu durante meus estudos, por seu infinito amor. A meu pai Telesforo, pelo amor, grande exemplo de integridade e de ser humano.

A minha esposa Dayane, pelo seu amor e carinho, por ser também minha amiga e colega, por ter me apoiado e estimulado, por ser minha companheira em todo momento.

À minha irmã Vielka, a meus avós, minhas sobrinhas, toda minha família no Panamá e no Brasil, por todo o apoio e a compreensão durante todos estes anos, e por acreditar no valor de meu esforço por este grande objetivo profissional.

A todos meus amigos e colegas, pelo carinho, a compreensão, amizade e apoio recebido. Desejo honrar também ao Prof. Rodrigo Cambra e à Lic. Jacqueline de Colucci com muito carinho e agradecimento.

Ao meu orientador PhD Derly Jose Henriques da Silva por acreditar em mim, pela confiança, conselhos e ensinamentos, as orientações, a sinceridade e fortaleza projetada, pelo incentivo e grande exemplo de excelência profissional. Também a meus coorientadores: Ph.D Wagner Luiz Araujo e Alcinei Místico Azevedo pela confiança e o apoio.

Aos funcionários da Unidade técnica-operacional de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) - Horta nova (DAA-UFV). Ao Jamilton Soares, técnico de laboratório de Manejo de Recursos Genéticos, e ao Prof. Tiago Mendes e membros do Laboratório de Biotecnologia Molecular (LBM) do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular pelo grande apoio.

Ao Grupo de Pesquisa em Ecofisiologia Aplicada (GPEAM), pela grande ajuda durante esta grande fase, amizade, parceria, disponibilidade e pelos momentos que ficarão sempre na minha memória. Ednângelo, Manoel, Shimada, Daniel, Edmundo, Thiago e Higor.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Igualmente agradeço à FAPEMIG pelo apoio com recursos.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), ao Departamento de Agronomia e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela formação de alta qualidade neste doutorado.

À Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias (UP-FCA), Departamento de Fitotecnia; e à Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá (SENACYT) pelo financiamento

pessoal durante a realização deste Doutorado.

Enfim, agradeço profundamente a todos que contribuíram direta e indiretamente.
Com profunda gratidão digo...

A vitória é nossa... Muito Obrigado!

“Por isso eu afirmo a vocês: quando vocês orarem e pedirem alguma coisa, creiam que já a receberam, e assim tudo lhes será dado”.
(Marcos 11:24)

“Porque DEUS amou tanto o mundo que deu seu filho único, para que todo o que nele crer não pereça, mas tenha a vida eterna. DEUS enviou seu filho ao mundo não para condenar o mundo, mas para salvá-lo por meio dele”.
(João 3:16)

RESUMO

CABALLERO, Rolando Ismael Corella, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2024. **Efeito do aminoácido L-prolina exógeno nas características agrônômicas e fisiológicas do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado em condições de campo.** Orientador: Derly Jose Henriques da Silva. Coorientadores: Wagner Luiz Araujo e Alcinei Místico Azevedo.

Técnicas de manejo para uma melhor absorção de água e nutrientes podem maximizar o desempenho agrônômico do tomateiro. Neste contexto, o uso de osmorreguladores pode promover interessantes parâmetros e aumentos da produtividade. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do aminoácido L-prolina exógeno, principalmente os associados à osmorregulação; utilizando um modelo de agricultura para altas produtividades. Foram conduzidos dois experimentos, de setembro a dezembro de 2021 (estação chuvosa), e de abril a agosto de 2022 (estação seca), no centro técnico operacional da Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Agronomia. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 3x2 com 1 tratamento adicional. O primeiro fator considerou o número de dias depois da irrigação para a aplicação da prolina (1, 3 e 6 dias) sob irrigação a cada 7 dias. O segundo fator correspondeu a duas doses de prolina, sendo elas 100 mg L⁻¹ e 150 mg L⁻¹. O tratamento testemunha (controle) não recebeu aplicação de prolina. Na estação seca o uso de prolina na dose de 100 mg L⁻¹ aplicada 6 dias depois da irrigação aumentou o potencial hídrico da folha na tarde, entre o número de flores por planta e os açúcares redutores foliares. As 11h da manhã na estação seca todos os tratamentos com prolina reduziram a atividade da superóxido dismutase e aumentaram os açúcares redutores foliares, seguido de um aumento geral nos açúcares solúveis foliares as 14h. Em ambas estações aumentou significativamente a produtividade total de frutos e a eficiência produtiva no uso da água com a prolina na dose de 100 mg L⁻¹ aplicada 6 dias depois da irrigação, embora os efeitos significativos encontrados nas trocas gasosas foram poucos. Foram verificadas correlações importantes, em ambas estações; entre a produtividade total de frutos e o número de flores por planta, entre o número de flores por planta e a eficiência produtiva no uso da água, eficiência de carboxilação instantânea e o carbono interno; e na estação seca entre a taxa fotossintética líquida com o potencial hídrico da folha na madrugada e com a atividade da superóxido dismutase. Conclui-se que a prolina na agricultura para altas produtividades e na cultura do tomate cultivado sob condições de campo, contribui ao tornar o potencial hídrico menos negativo, tem um efeito benéfico nas respostas da atividade da

superóxido dismutase, no aumento do número de flores por planta, açúcares foliares, da produtividade total de frutos e em consequência na eficiência produtiva no uso da água.

Palavras-chave: produtividade; potencial hídrico; açúcares foliares; superóxido dismutase

ABSTRACT

CABALLERO, Rolando Ismael Corella, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2024. **Effect of the exogen amino acid L-proline on the agronomic and physiological characteristics of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivated in field conditions.** Adviser: Derly Jose Henriques da Silva. Co-advisers: Wagner Luiz Araujo and Alcinei Mistico Azevedo.

Management techniques for better water and nutrients absorption can maximize the agronomic performance of tomato plants. In this context, the use of osmoregulators can promote interesting parameters and increases in productivity. The objective of this study was to evaluate the effect of the exogenous amino acid L-proline, mainly those associated with osmoregulation; using an agricultural model for high productivity. Two experiments were conducted, from September to December 2021 (rainy season), and from April to August 2022 (dry season), at the operational technical center of the Federal University of Viçosa - Department of Agronomy. A randomized block design was used in a 3x2 factorial scheme with 1 additional treatment. The first factor considered the number of days after irrigation for the application of proline (1, 3, and 6 days) under irrigation every 7 days. The second factor corresponded to two doses of proline, 100 mg L⁻¹ and 150 mg L⁻¹. The control treatment did not receive proline application. In the dry season, the use of proline at a dose of 100 mg L⁻¹ applied 6 days after irrigation increased the midday water potential, the number of flowers per plant, and reduced the leaf reducing sugars. At 11 a.m. in the dry season, all treatments with proline reduced the superoxide dismutase activity and increased the leaf reducing sugars, followed by a general increase in leaf soluble sugars at 2 p.m. In both seasons, total fruit productivity and productive efficiency in water use increased significantly with proline at a dose of 100 mg L⁻¹ applied 6 days after irrigation, however the significant effects found in gas exchange were few. Important correlations were observed in both seasons; between total fruit productivity and number of flowers per plant, between the number of flowers per plant and productive efficiency in water use, instantaneous carboxylation efficiency and internal carbon; and in the dry season between net photosynthesis with the predawn leaf water potential and with the superoxide dismutase activity. It is concluded that proline in agriculture for high productivity and in tomato cultivated under field conditions, contributes to osmoregulation turning the water potential less negative, has a beneficial effect in the responses of superoxide dismutase activity, in the increase of the number of flowers per plant, leaf sugars, total fruit productivity and consequently in the productive efficiency in

water use.

Keywords: tomato productivity; water potential; leaf sugars; superoxide dismutase

LISTA DE SIGLAS

Ar	Açúcares redutores foliares
As	Açúcares solúveis foliares
PCA	Análise de componentes principais
AF	Área foliar total
Ci	Carbono interno
CoPa	Carbono orgânico da parte aérea
Cof	Carbono orgânico dos frutos
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros quadrados
cc	Coefficiente de correlação
gs	Condutância estomática
DPV	Déficit de pressão de vapor
DSAT	Déficit de saturação
DAT	Dias após transplântio
ddi	Dias depois da irrigação
CEi	Eficiência de carboxilação instantânea
EUA	Eficiência produtiva no uso da água
A _N	Taxa fotossintética líquida
G3P	Gliceraldeído-3-fosfato
g planta ⁻¹	Gramas por planta
g	Gramas
°C	Graus Celsius
Ica	Índice de clorofila a
Icb	Índice de clorofila b
Cl ⁻	Íons cloro
H ⁺	Íons hidrogênio
K ⁺	Íons potássio
kg ha ⁻¹	Kilogramas por hectare
Kpa	Kilopascal
mSpa	Massa seca da parte aérea
MSf	Massa seca de frutos
MPa	Megapascal
m	Metros
m ⁻³	Metros cúbicos
m ⁻² s ⁻¹	Metros por segundo
m ²	Metros quadrados
µm	Micromoles
mg L ⁻¹	Miligramas por litro
MJ m ⁻²	Milijoule por metro quadrado
mL	Mililitros
mm	Milímetros
mM	Milimoles
M	Moles
NADPH	Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato
NFp	Número de flores por planta
-Ψf	Potencial hídrico da folha
PHm	Potencial hídrico da folha na madrugada
PhT	Potencial hídrico da folha na tarde

Prod	Produtividade total de frutos
PL	Prolina livre na folha
RUBISCO	Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase
RuBP	Ribulose 1,5-bifosfato
6 ddi	Seis dias depois da irrigação
SOD	Superóxido dismutase
TFf	Taxa de fixação de frutos
t ha ⁻¹	Toneladas por hectare
3 ddi	Três dias depois da irrigação
ATP	Trifosfato de adenosina
1 ddi	Um dia depois da irrigação
μmol/g ⁻¹ ms	Micromol por grama de massa seca
mg/ml de amostra	Miligramas por mililitros de amostra
μmol AsA/mg proteína/min	Micromol de ascorbato por miligrama de proteína por minuto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1. O tomateiro: Aspectos Gerais e Importância.....	17
2.2. Ecofisiologia do tomateiro.....	18
2.3. Fotossíntese, trocas gasosas e regulação da abertura estomática	19
2.4. Sistema de cultivo: agricultura estômato aberto em tomateiro	20
2.5. L-prolina na osmorregulação celular e abertura estomática	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Caracterização da área experimental	24
3.1.1 Local do experimento.....	24
3.1.2 Características físico-químicas e hídricas do solo.....	24
3.1.3 Variáveis climáticas.....	25
3.2. Produção de mudas.....	26
3.3. Sistema de agricultura.....	27
3.4. Preparo, correção do solo e adubação	27
3.5. Sistema de plantio e tratos culturais	28
3.6. Sistema de irrigação e manejo	29
3.7. Delineamento experimental e tratamentos.....	30
3.8. Características avaliadas	33
4. RESULTADOS	39
4.1. Taxa de fixação de frutos e número de flores por planta.....	39
4.2. Acúmulo de massa seca	39
4.3. Teor de carbono orgânico da parte aérea e dos frutos.....	41
4.2. Área foliar total.....	42
4.3. Clorofila a e b.....	42
4.4. Potencial hídrico da folha.....	42
4.5. Trocas gasosas	45
4.6. Teor de prolina livre	56
4.7. Açúcares redutores foliares.....	57
4.8. Açúcares solúveis foliares.....	58
4.9. Atividade da enzima Superóxido Dismutase	59

4.10.	Produtividade total de frutos.....	61
4.11.	Eficiência produtiva no uso da água.....	62
4.13.	Análise de correlações de Pearson	65
4.14.	Comparação de variáveis por estação	68
4.15.	Análise de componentes principais.....	72
5.	DISCUSSÃO	76
6.	CONCLUSÃO.....	87
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
8.	APÊNDICES	97

1. INTRODUÇÃO

A produção de alimentos no mundo enfrenta grandes desafios, como a necessidade de incrementar a produtividade agrícola de forma sustentável, no cenário de eventos climáticos extremos, de forma a atender a demanda futura de alimentos da população mundial, projetada em 9.4 a 10 bilhões de pessoas para o ano 2050 (ONU, 2022).

No contexto da segurança e soberania alimentar, a produção de hortaliças e frutas assumir papel fundamental. O consumo de hortaliças promove a saúde, pois sua ingestão é sinônimo de uma alimentação adequada e saudável (LOPES; MENEZES; ARAÚJO, 2017). A produção mundial de hortaliças em 2022 alcançou mais de 297 milhões de toneladas, das quais a China foi o primeiro e o Brasil o nono dentre os 10 maiores países produtores (FAOSTAT, 2024).

A influência do agronegócio na economia brasileira é de grande importância. No ano 2020 teve uma participação de 26.6% no produto interno bruto (CNA, 2021). Dentre as culturas de maior importância destaca-se o tomate, cuja produtividade tem sido aumentada desde o ano 2010. Em 2022 a produtividade média foi de 69.9 t ha⁻¹, com uma produção total de 3.809.986 toneladas, em uma área total de 54.502 hectares; e um valor da produção de R\$8.656.263 (IBGE, 2024). Em consequência, é grande a importância socioeconômica e o benefício que diretamente incide na cadeia produtiva, agroindustrial e comercial do tomate.

O tomate é uma cultura muito apreciada no Brasil pela qualidade nutricional, potencial para a agroindústria e outros atributos culinários que ao longo da história da sociedade atual tem lhe-fornecido importância e presença dentro da dieta comum das populações. consumo *in natura* oferece vários benefícios na saúde humana, na prevenção de doenças cardiovasculares, na ação contra o câncer de próstata e os benefícios de seu alto poder antioxidante (ROMANO et al., 2013). Porém, a produção e consumo de molhos e concentrados é o principal destino do tomate produzido no Brasil (CLEMENTE; BOITEUX, 2012). Já seu

O tomateiro é uma cultura de alta capacidade produtiva, e por conseguinte alta exigência de água, sendo o mínimo 80% de água disponível no solo, principalmente na fase de vegetação e frutificação (FILGUEIRA, 2007). Contudo, deve-se garantir uma adequada oferta de água no sistema radicular – que pode atingir até 2m de profundidade –, para evitar as consequências do estresse hídrico, incluindo a redução da expansão foliar, o fechamento de estômatos (EPSTEIN; BLOOM, 2006), e a diminuição de processos metabólicos, como a fotossíntese, determinantes para o crescimento e a produtividade (PANDA; MISHRA; BEHERA, 2021).

As mudanças climáticas representam uma realidade que pode limitar a disponibilidade de recursos. A baixa disponibilidade de água em muitas regiões produtoras afeta a produção agrícola, e conseqüentemente a segurança alimentar (HASAN et al., 2018; ILYAS et al., 2021). Neste âmbito é necessário tornar mais eficientes os sistemas de produção de tomateiro, mediante métodos e tecnologias que integrem os conhecimentos fisiológicos no manejo dos sistemas produtivos agrônômicos. O manejo do tomateiro deve ser direcionado para o uso de cultivares de alta genética e produtividade, e a aplicação de técnicas que promovam e potencializem os processos fisiológicos, notadamente a absorção de água, nutrientes e CO₂, para maximizar a produtividade de forma sustentável (ALMEIDA et al., 2017).

A produtividade depende da produção de fotoassimilados oriundos do processo fotossintético; mantendo uma relação direta com a densidade do fluxo radiante, sendo a energia radiante do sol o principal combustível para os processos físico-químicos envolvidos na assimilação do carbono atmosférico pelas plantas (LOPES; DE SOUZA L., 2015). Nelas, a fotossíntese guarda intrínseca dependência com a abertura dos estômatos, ou condutância estomática, que por sua vez é subordinada às condições fisiológicas e à disponibilidade de recursos do ambiente. A abertura estomática é promovida pelo aumento da turgescência das células guarda. Sob condições ideais, o acúmulo de solutos como açúcares, ácidos orgânicos e de íons potássio induzem a redução do potencial osmótico no vacúolo (alta pressão osmótica) provocando o influxo de água nestas células (PEIXOTO et al., 2020), resultando na abertura do poro estomático.

Os solutos orgânicos, além de auxiliarem à planta sob condições de diversos tipos de estresse, também exercem participação ativa na regulação osmótica celular. Estes solutos também são chamados de solutos compatíveis (osmolitos compatíveis) que em concentrações altas não afetam o metabolismo celular, tais como a glicina-betaína, sorbitol e a prolina (MUNNS, 2005; TAIZ et al., 2017). (). A prolina, como soluto compatível tem uma função benéfica na manutenção do turgor celular e no equilíbrio osmótico (BHATLA; A. LAL, 2018; HAYAT et al., 2012; TAIZ et al., 2017). Tonhati et al. (2020) observaram uma resposta positiva de parâmetros fisiológicos e na produtividade do tomate sob condições do estresse térmico mediante o uso da prolina em tomate. Em adição, outros cultivos de importância como o milho, arroz, feijão, batata e a soja também apresentam efeito osmoprotector pela L-prolina (KIDO et al., 2019) .

A cultura do tomate ao ser exigente em disponibilidade de água pode diminuir a produtividade sob déficit hídrico, como observou Cui et al. (2020). Por isso há necessidade de

aumentar a produtividade e eficiência no uso dos recursos disponíveis. Em vista disso a utilização de osmorreguladores como a prolina nesta cultura pode ser benéfica.

Visando otimizar o processo de osmorregulação, abertura estomática, trocas gasosas e fotossíntese, produtividade e sustentabilidade, avaliando parâmetros agronômicos, fisiológicos e metabólicos de interesse, o presente trabalho investigou o efeito do aminoácido L-prolina na cultura do tomateiro indeterminado tipo italiano/saladette em condições de campo; seguindo o modelo de agricultura ‘estômatos abertos’ para altas produtividades e em um sistema de tutoramento tipo Viçosa, proposto por Almeida et al. (2015) . Este modelo inclui um manejo do solo e frequência de irrigação adequados para aprofundamento do sistema radicular, melhor absorção de água e nutrientes como mostrado por Jorge (2019), Delazari (2018) e Fara et al. (2019).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O tomateiro: Aspectos Gerais e Importância

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma planta dicotiledónea, pertencente ao gênero *Lycopersicon*, família *Solanaceae*, e à ordem *Tubiflorae* (CLEMENTE; BOITEUX, 2012). O centro de origem compreende a região andina entre o Equador, Chile e a Cordilheira dos Andes (FILGUEIRA, 2007), incluindo o Peru e as Ilhas Galápagos (CLEMENTE; BOITEUX, 2012). A sua domesticação começou com seu transporte desde o centro de origem para a região do México, onde iniciou-se seu cultivo e melhoramento antes da colonização espanhola, e posteriormente foi introduzido na Europa pelos espanhóis entre 1523 e 1554 (FILGUEIRA, 2007). O tomateiro é uma planta de porte arbustivo e crescimento rasteiro, ereto ou semiereto que possui tipo de crescimento determinado ou indeterminado (ALVARENGA, 2013). Seu caule é fibroso e anguloso quando maduro; folhas compostas e alternadas, com tricomas nas folhas e em outros órgãos da planta. No final do século XIX os primeiros imigrantes italianos iniciaram no Brasil o hábito de consumir tomate (MINAMI; MELLO, 2017).

O tomate é uma cultura de grande importância agrícola para o Brasil. Dados da FAO mostram que a produtividade média ($t\ ha^{-1}$) foi de 60.49; 65.87 e 71.84 para os anos 2010, 2015 e 2019, respectivamente (FAOSTAT, 2021). O cenário atual do tomate o coloca como a décima primeira cultura no ranking 2022 por valor da produção agrícola (IBGE, 2024).

Nutricionalmente, o tomate destaca-se pelas suas propriedades. Apresenta princípios ativos de grande importância, como o licopeno e o β -caroteno que possuem funções antioxidantes e estão relacionados à prevenção do câncer e de doenças cardíacas; e também compostos fenólicos como quercetina, kaempferol, neringenina, ácido caféico, luteína que promovem a saúde e atividades antiproliferativas, antidiabéticas, anti-inflamatórias e outras. Além de ser rico em nutrientes como vitaminas, proteínas, ácidos graxos essenciais, fitoesteróis, carotenoides, açúcares vermelhos e fibras alimentares (ALI et al., 2021).

2.2. Ecofisiologia do tomateiro

O tomateiro é uma cultura adaptada a condições tropicais de altitude, superiores a 800 m ou subtropical temperado seco (FILGUEIRA, 2007). As condições de temperaturas diurnas que favorecem o crescimento e a frutificação variam entre 20 a 25 °C (ARIM et al., 2019) e noturnas entre 13 a 19 °C (DE SOUZA, 2015). Sob condições acima de 35 °C ou abaixo de 10 °C inicia a ocorrência de diversos danos a distintos órgãos da planta, como problemas na polinização e fixação de flores, e outros distúrbios fisiológicos (ALVARENGA, 2013), o que diminui a produtividade, como é o caso do tomate industrial, que na ocorrência de temperaturas do ar em 38 °C o seu fruto pode atingir até 50 °C provocando escaldadura/queimadura pelo sol.

O tomateiro forma parte das culturas com metabolismo C3 (MAMATHA et al., 2014), embora considerada de ampla adaptação climática, é altamente influenciado pela temperatura, o fotoperíodo, a umidade atmosférica e pela umidade do solo (ALVARENGA, 2013). As condições de temperatura e umidade relativa no ar definem o déficit de pressão de vapor (ALLEN et al., 1998), bem como a transpiração das folhas, de grande importância para o estabelecimento da coluna d'água no sistema solo-planta-atmosfera (KAWABATA; SASAKI; SAKIYAMA, 2005). O movimento de água dentro da planta é de grande importância no balanço energético através do esfriamento da folha, evitando que esta alcance temperaturas letais; assim, 70-95% da biomassa não lenhosa da planta é água, sendo o principal agente para o mecanismo de transporte de nutrientes, metabólitos, íons, compostos orgânicos, açúcares, aminoácidos e proteínas, vitais para a vida da planta (LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 2009).

2.3. Fotossíntese, trocas gasosas e regulação da abertura estomática

A fotossíntese é o processo biologicamente mais importante para a vida na terra (PEIXOTO et al., 2020), por meio dela obtemos recursos de extrema importância, como matérias-primas, biomassa e principalmente a produção de alimentos para o mundo (MALNOË, 2018).

O processo fotossintético envolve duas fases, a fase fotoquímica ou das reações luminosas, que ocorrem nos tilacoides dos cloroplastos, em que a energia da luz é captada pelas clorofilas e utilizada para a quebra da molécula da água, impulsionando a transferência de elétrons que serão usados para gerar ATP e NADPH (TAIZ et al., 2017); e a fase bioquímica (Ciclo de Calvin-Benson) caracterizada pela fixação do CO₂ atmosférico catalisada pela enzima Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (RUBISCO) e geração do 3-fosfoglicerato que será reduzido consumindo o ATP e NADPH gerados nas reações luminosas da fotossíntese, resultando na produção de gliceraldeído-3-fosfato (G3P ou GAP) como substrato para a síntese de amido, açúcares, aminoácidos, ácidos carboxílicos, e outros.

A fotossíntese e os processos envolvidos são também coordenados pela condutância estomática (*g_s*) (MEDRANO et al., 2002; XUE et al., 2021), que por sua vez é regulada pelo fechamento ou abertura dos poros estomáticos, dando lugar às trocas gasosas que incluem a água, o O₂ e o CO₂ atmosférico (EPSTEIN; BLOOM, 2006). O mecanismo de abertura ou fechamento dos estômatos tem por objetivo minimizar as perdas excessivas de água por transpiração, evitando a desidratação e morte da planta; como também aumentar a absorção de CO₂, uma vez que este mecanismo é regulado por diversos fatores como o déficit de pressão de vapor (DPV) e a sinalização em resposta ao estado hídrico do solo, mediada pelo ácido abscísico (ABA) (LOMBARDINI; ROSSI, 2019), e a luz (CRANG; LYONS-SOBASKI; WISE, 2018).

O tomateiro é classificado como planta com metabolismo C₃ (MARQUES et al., 2022), portanto dependente em grande medida da abertura estomática para a absorção e fixação do carbono. Deste modo ocorre a difusão do CO₂ para a câmara subestomática e entre as células do mesofilo até ingressar ao citosol da célula e os cloroplastos (TAIZ et al., 2017). Devido a esta condição metabólica do tomateiro, para atingir altas produtividades é fundamental providenciar as condições que favorecem a abertura estomática.

Condições que limitam a disponibilidade de água no solo causam estresse hídrico e ou osmótico ao diminuir o potencial hídrico da planta; ao tempo que induzem a sinalização radicular a longa distância mediada pelo ácido abscísico, que irá resultar no fechamento estomático (ILYAS et al., 2021; YAN; LI; LIU, 2017). Deste modo, assegurar uma boa

disponibilidade hídrica na região do sistema radicular é fundamental para manter os estômatos abertos (ALMEIDA et al., 2017), promovendo assim a atividade fotossintética para a fixação de carbono.

O processo de abertura estomática essencialmente ocorre como resultado do aumento da turgescência das células guarda causado por um gradiente osmótico; é influenciado pela luz, temperatura e pela umidade da folha (SAMPAIO, 2010). Sob condições normais de água disponível, a luz ativa as bombas de prótons (H^+ ATPase) nas células guarda, as quais exportam H^+ de dentro para a membrana plasmática, tornando o potencial de membrana negativo, e como resultado são abertos os canais seletivos de entrada de íons K^+ e Cl^- que entram desde as células adjacentes (LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 2009). Por consequência, o aumento da concentração de íons K^+ e Cl^- dentro das células guarda, aumenta seu potencial osmótico, causando um gradiente que promove o fluxo de água para dentro, aumentando a pressão de turgescência, e como resultado as células guardas se expandem, o que resulta na abertura do poro estomático (CRANG; LYONS-SOBASKI; WISE, 2018).

A abertura dos estômatos, causada pelo aumento do potencial osmótico e redução do potencial hídrico das células guarda, é um processo chave, já que dele depende a condutância estomática da água e de CO_2 , para fora e para dentro da planta, respectivamente (LAWSON; VON CAEMMERER; BAROLI, 2011). O CO_2 que entra pelos estômatos e passa à câmara subestomática e aos espaços intercelulares constitui o carbono interno (C_i) (ENGINEER et al., 2016), que depois é integrado à fase líquida ao ingressar ao citosol e ao estroma do cloroplasto, para ser fixado mediante o processo de carboxilação catalisado pela enzima RUBISCO (EVANS et al., 2009), seguidos das reações de redução do G3P e de regeneração da ribulose 1,5-bifosfato (RuBP) (BHATLA; A. LAL, 2018).

2.4. Sistema de cultivo: agricultura estômato aberto em tomateiro

A adoção de estratégias de manejo da cultura do tomateiro para aumentar a abertura dos estômatos, objetiva um aumento na fixação de CO_2 e, por conseguinte, elevação da produtividade desta cultura.

Um aspecto importante é a redução do déficit de pressão de vapor, por meio do sistema de cultivo e disposição de plantas no campo, conforme foi estudado por Almeida et al., (2015), mostrando que utilizando o sistema de tutoramento Viçosa na densidade de 25.000 plantas ha^{-1} aumentaram a produtividade e lucratividade da cultura.

Outro fundamento do manejo visando maximizar a produtividade e sustentabilidade na produção da cultura do tomateiro no Brasil, é a preparação e correção do solo, como relatado por Jorge (2019). Em esse trabalho, o pesquisador observou que na correção do solo, a construção do perfil por meio da incorporação antecipada de gesso e silicatos, garantiu uma adequada oferta de água para as plantas ao longo do dia devido ao aprofundamento radicular, e em consequência melhorou os parâmetros de trocas gasosas e de produtividade.

Resultados similares foram obtidos por Delazari (2018) que realizando a correção do solo com gesso e calagem, junto a diferentes frequências de irrigação, observou que a frequência de irrigação de 7 dias resultou em melhorias no sistema radicular, trocas gasosas, eficiência no uso da água e produtividade. Fara et al. (2019) também testando frequências de irrigação em tomateiro sob manejo com gesso, calagem e uso do sistema de tutoramento Viçosa observaram que as frequências de 4 e 5 dias resultaram em maior produtividade, economia energética e no uso da água.

Similarmente aos resultados obtidos por Delazari (2018) e Fara et al. (2019); a irrigação intermitente subsuperficial aumentou o volume de raízes em nas camadas subsuperficiais de 40 a 60 cm conforme observado por Yang et al. (2024). Assim, a configuração da distribuição do sistema radicular, quanto à densidade do comprimento das raízes ao longo do perfil do solo, exerce um rol de importância na absorção e utilização da água (ZHANG et al., 2009) junto nutrientes, como recursos para a síntese de fotoassimilados.

Considerando que junto as práticas de manejo integradas na agricultura estômatos abertos, a irrigação intermitente em frequência de 7 dias tem mostrado importantes benefícios no uso de água e nutrientes, produtividade e eficiência; a adição de substâncias osmorreguladoras; que pela ação reguladora do metabolismo da planta, pode ser uma estratégia com potencial de aprimorar mais o desempenho agrônômico das culturas sob este sistema de cultivo. Uma questão de importância seria o momento em que devem ser aplicadas; e que em definitiva, tem relação direta com o dia ou o momento da irrigação.

2.5. L-prolina na osmorregulação celular e abertura estomática

Para maximizar a abertura estomática e a fixação de carbono com eficiência e sustentabilidade, estratégias de redução do déficit de pressão de vapor mediante arranjo de plantas em campo, e a garantia da plena oferta de água e nutrientes mediante o manejo da irrigação visando o aprofundamento radicular, o modelo agricultura ‘estômato aberto’ tem

mostrado resultados promissores (ALMEIDA et al., 2017; DELAZARI, 2018; FARA et al., 2019; JORGE, 2019). Adicionalmente, uma outra estratégia com grande potencial para a regulação positiva da abertura estomática poderia ser a aplicação de osmorreguladores, com a subsequente redução do potencial osmótico e aumento da turgescência nas células guarda, causando a sua expansão pela pressão de turgor e resultando na abertura dos estômatos.

É conhecido que as plantas sob diversas situações de estresse, incluindo o estresse osmótico, respondem com a produção e acumulação de solutos compatíveis que exercem diferentes tipos de respostas, entre elas a ação osmorreguladora para manter a turgescência celular (SINGH et al., 2022). Estes solutos incluem açúcares como a trealose, aminas como as poliaminas, glicinabetaína, e aminoácidos principalmente a prolina, sendo todos solúveis em água (HOSSAIN et al., 2019).

A biossíntese da prolina envolve tanto o glutamato e como a ornitina como seus precursores; onde inicialmente a enzima 1-pirrolina-5 carboxilato sintetase (P5CS) converte o glutamato a γ -glutamato-semialdeído (GSA) como composto intermediário, o qual é ciclado de forma espontânea a 1-pirrolina-5 carboxilato (P5C); e depois reduzido a prolina pela enzima 1-Pirrolina-5-carboxilato reductase (P5CR). Como processo relacionado, pode ocorrer a reconversão de prolina em glutamato novamente, envolvendo as enzimas prolina desidrogenasa (PRODH) e P5C desidrogenasa (P5CDH) (LIANG et al., 2013).

Uma via alternativa para a síntese de prolina é a partir do aminoácido Ornitina; onde este é convertido em P5C e GSA pela enzima ornitina-d aminotransferase (OAT), e depois reduzido a prolina pela P5CR. Assim, o processo de síntese da prolina a partir do glutamato ocorre no citoplasma, e o processo a partir da ornitina ocorre na mitocôndria (SINGH et al., 2022).

Um forte efeito osmorregulador é atribuído à prolina, devendo-se a suas propriedades intrínsecas moleculares. A prolina tem uma solubilidade de 1.620 gramas por litro de água (25 °C), e é diferenciada de outros aminoácidos porque suas moléculas possuem uma cadeia lateral hidrocarbonada ou grupo R (-CH₂) unida por um lado ao carbono central (carbono α), e pelo outro a uma amina (-NH₂); o que faz com que essa amina seja classificada como secundária, e torna a prolina um aminoácido (AMAYA-FARFAN; BERTOLDO PACHECO, 2003), com alta afinidade pelas moléculas de água (SANTIAGO, 2015).

A prolina exerce uma função osmorreguladora em plantas, reduzindo o potencial osmótico com o conseqüente aumento do potencial hídrico (GHOLAMI ZALI; EHSANZADEH, 2018; HAYAT et al., 2012; TAIZ et al., 2017). Assim, podem ser esperados interessantes resultados, como o aumento da produção total e comercial de frutos por planta,

alívio dos danos produzidos por altas temperaturas; bem como aumento considerável em variáveis como: condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i), e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) obtidos por Tonhati et al. (2020).

Resultados semelhantes foram obtidos por De Moraes et al. (2013) ao encontrarem maior teor de proteína em feijão miúdo tratados com 150 mM de NaCl e 20 mM de prolina mediante aplicação foliar. Kahlaoui et al. (2018) também reportaram maior conteúdo de proteína solúvel em folhas e raízes de tomateiro irrigados com água salina e com a utilização de doses de 10 e 20 mg L⁻¹ de prolina via foliar.

Frente a diversos tipos de estresse o mecanismo enzimático de defesa em plantas envolve enzimas como a Superóxido dismutase (SOD), e é ativado quando ocorre um excesso de espécies reativas de oxigênio (ROS); no entanto, a capacidade celular pode ser ultrapassada (HAYAT et al., 2012). A enzima SOD atua em sítios de importância na célula, como mitocôndrias, cloroplastos, peroxissomas, apoplastos e citosol; sendo a primeira barreira de defesa contra ROS na célula (ALSCHER; ERTURK; S., 2002), atuando pela dismutação do radical superóxido, gerando H₂O₂ (BARBOSA et al., 2014).

A prolina além de colaborar com o ajuste osmótico nas células vegetais, também participa do equilíbrio de radicais livres seja atuando na produção de ROS, ou pela redução direta; ajudando assim à planta com as respostas a fatores adversos estressantes (HAYAT et al., 2012); além de exercer um papel de chaperona e osmoprotetora (SINGH et al., 2022), estabilizante das membranas, de proteínas e no equilíbrio redox (ASHRAF; FOOLAD, 2007; LIANG et al., 2013).

Recentemente foi verificado que o pré-tratamento com prolina ajudou a atenuar os impactos do estresse hídrico em plantas de *Physalis peruviana* L., quanto a variáveis das trocas gasosas, do crescimento e principalmente nas relações hídricas, em que o potencial hídrico foi menos negativo em plantas com baixo déficit hídrico (-0.56 MPa) e pré-tratadas com 20 mM de prolina (LEITE et al., 2022).

O uso de osmorreguladores tem sido amplamente citado na literatura; mas não o momento mais adequado para sua aplicação. Portanto, para aprimorar ainda mais as respostas da planta com o propósito de maximizar a abertura estomática e a eficiência fotossintética mediante o uso do modelo de agricultura ‘estômato aberto’, adicionando a utilização de osmorreguladores; este trabalho estudou e verificou as respostas ao uso do aminoácido L-prolina na cultura do tomate tipo italiano/saladette, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, visando verificar principalmente o efeito osmorregulador; estudando duas doses e três momentos de aplicação em relação à irrigação ocorrida a cada 7 dias.

H+Al (cmol _c dm ⁻³)	4,3	3,0	2,6	2,6	1,7	4,3	3,0	3,0	1,3	1,7
T (cmol _c dm ⁻³)	9,3	4,1	3,5	3,1	2,6	9,5	6,9	6,6	4,1	5,0
V (%)	53,6	7,0	6,2	5,8	4,2	54,7	56,6	55,0	68,0	67,0
m (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MO (dag kg ⁻¹)	2,4	2,0	1,3	1,1	0,7	3,0	1,9	1,1	0,4	0,8
P-rem (mg L ⁻¹)	29,6	24,6	18,1	14,5	14,5	31,5	25,4	17,2	18,2	15,4
Zn (mg dm ⁻³)	9,6	5,1	1,8	1,5	1,0	6,8	3,2	1,0	0,5	0,6
Fe (mg dm ⁻³)	52,4	50,9	29,5	35,1	25,0	64,7	59,0	48,7	23,1	39,0
Mn (mg dm ⁻³)	87,2	67,1	30,4	20,9	10,4	73,6	39,5	20,4	5,5	11,8
Cu (mg dm ⁻³)	2,7	2,7	2,3	2,8	1,6	2,9	3,3	3,8	1,3	2,5
Bo (mg dm ⁻³)	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,4
θFC	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
θWP	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
SB	5,0	4,1	3,5	3,1	2,6	5,2	3,9	3,6	2,8	3,4
Ds (g/cm ³)	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
Argila (%)	41,0	52,0	55,0	59,0	48,0	48,0	53,0	60,0	41,0	58,0
Silte (%)	21,0	19,0	20,0	19,0	26,0	18,0	19,0	19,0	29,0	24,0
Areia (%)	38,0	29,0	25,0	22,0	26,0	34,0	28,0	21,0	30,0	18,0

P - Na - K - Fe - Zn - Mn e Cu avaliados pelo extrator Mehlich I; Ca, Mg e Al extraídos com KCl (1 mol L⁻¹); H+Al- extrator acetato de cálcio 0,5 1 mol L⁻¹a pH 7,0; B Extraído por água quente. S - Extrator - Fosfato monocalcico em ácido acético Mat. Org. (MO) = C. Org x 1,724 - Walkley-Black. V = Índice de Saturação de Bases, m = Índice de Saturação de Alumínio, P-rem = Fósforo Remanescente, CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; Capacidade de campo (θFC), (θWP) Ponto de murcha permanente; SB = Soma de Bases Trocáveis, Ds (Densidade do solo) e 3 Classificação da textura de acordo com a sociedade brasileira de ciência do solo

3.1.3 Variáveis climáticas

Os dados meteorológicos do local do experimento foram obtidos baseados na medição de uma estação meteorológica automática E 4000 (IRRPLUS). Os dados fornecidos pela estação foram: Precipitação (mm), evapotranspiração de referência (ET_o, mm), temperatura (°C), umidade relativa (%), radiação solar (W m⁻² dia⁻¹) e velocidade do vento (m s⁻¹). A evapotranspiração de referência ET_o foi utilizada para o cálculo da lâmina de irrigação. Também foi calculado o déficit de pressão de vapor (DPV) mediante método proposto por Allen et al., (1998) a partir dos dados máximos e mínimos diurnos de temperatura e umidade relativa, calculando a partir destes a pressão de saturação de vapor de água no ar e a pressão parcial de vapor de água, e a partir deles o DPV.

Foi monitorada a precipitação pluvial acumulada (230,3 e 161,3 mm) e as médias diárias nas estações chuvosa e seca, respectivamente, para os fatores: temperatura (21,4 e 18,9 °C); umidade relativa diurna (70,8 e 72,3 %); radiação solar (12,9 e 18,9 MJ m⁻²); evapotranspiração de referência (2,2 e 1,8 mm); e déficit de pressão de vapor diurno (0,21 e 0,24 KPa), apresentados na figura 1.

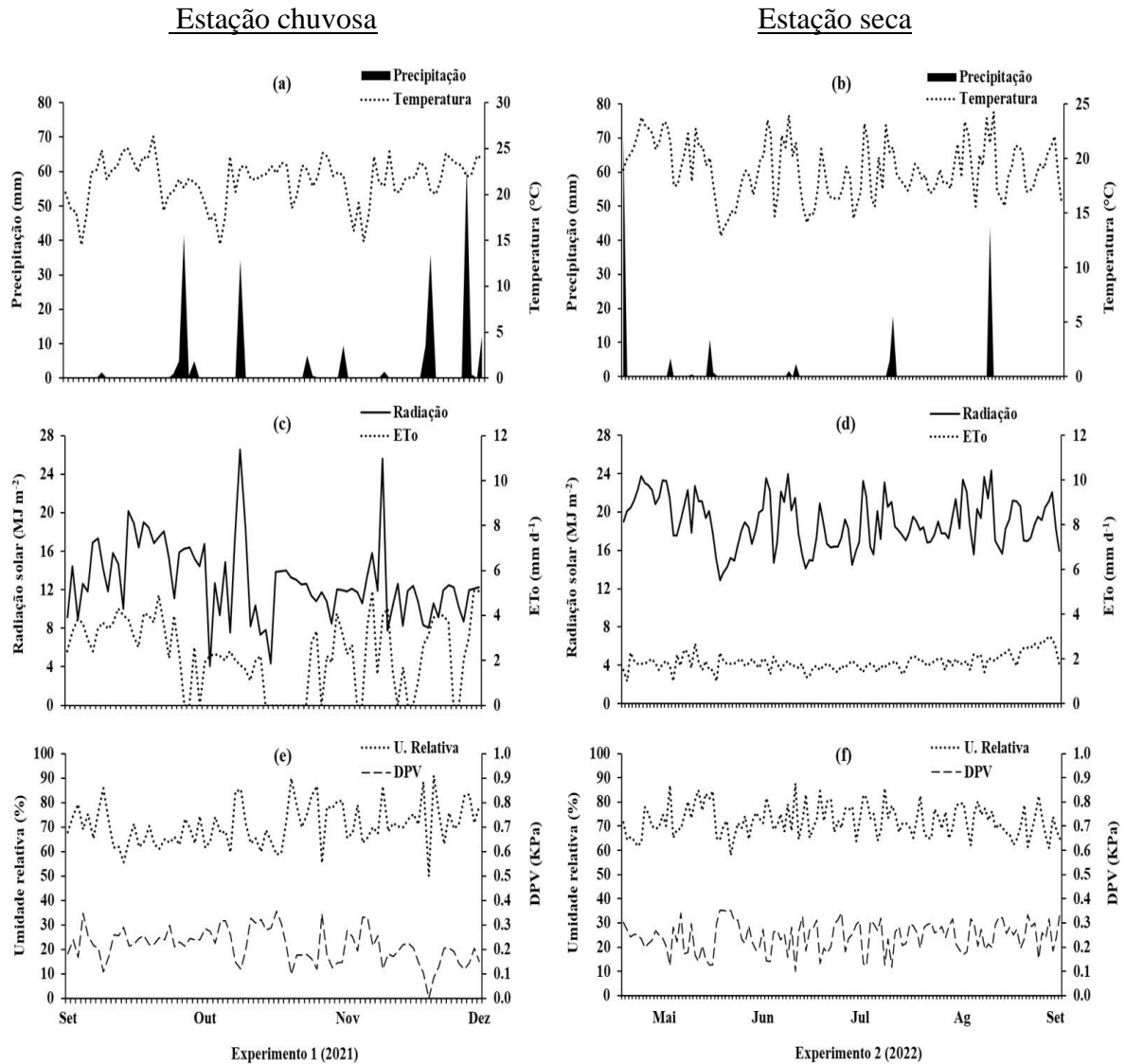


Figura 1 – Médias diárias dos experimentos nas respectivas estações chuvosa e seca, para os fatores: Precipitação e Temperatura (a e b), Radiação solar e Evapotranspiração de referência (c e d). Média diária diurna da Umidade relativa e Déficit de pressão de vapor (e e f) em Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

3.2. Produção de mudas

Foi utilizado o cultivar híbrido F1 de tomate italiano/saladete 'Vivacy' obtido pela empresa Feltrin sementes, de hábito de crescimento indeterminado, e ciclo aproximado de 90 a

100 dias para início da colheita; caracterizadas como plantas com boa cobertura foliar e internódios curtos, frutos firmes e de cor vermelho intenso, com peso de 150 a 170 gramas e alta tolerância ao vírus do mosaico do tomate (TMV), Multivírus (TSWV) e (TYLCV), Fusarium raça 1, 2 e 3 e murcha de verticílio (FELTRIN, 2021), de boa produtividade e performance promissora (BERNI et al., 2019).

A semeadura foi realizada em bandejas de polipropileno com espaço de 128 células em viveiro comercial próximo à cidade de Viçosa-MG, com substrato comercial a base de fibra de coco. As mudas foram transplantadas ao campo quando tinham de 4 a 6 folhas verdadeiras e altura média de 15 cm.

O manejo de pragas e doenças durante as fases de semeadura, transplântio e condução da cultura no campo foi feito segundo Alvarenga (2013).

3.3. Sistema de agricultura

O sistema de agricultura utilizado foi o modelo ‘estômatos abertos’ incluindo o tratamento controle, que objetiva principalmente altas produtividades, maximização na absorção de água, CO₂ e nutrientes; e alta eficiência na produção de frutos (ALMEIDA et al., 2017). Para isto o manejo envolveu técnicas baseadas em princípios de importância como o equilíbrio do déficit de pressão de vapor, utilizando o sistema de tutoramento Viçosa na densidade de 25.000 plantas ha⁻¹ (ALMEIDA et al., 2015); a preparação e correção do solo com gesso e calagem, junto à frequência de irrigação de 7 dias, que resultou em melhoria nos quesitos de aprofundamento radicular, trocas gasosas, eficiência no uso da água e produtividade (DELAZARI, 2018; FARA et al., 2019).

3.4. Preparo, correção do solo e adubação

O manejo do solo visou a obtenção de altas produtividades, considerando providenciar as condições para tal fim; pelo qual foram realizadas diferentes práticas. Inicialmente foi realizada a aração, gradagem e subsolagem da área experimental com hastes de até 80 cm para melhorar as condições de aeração e drenagem, beneficiando o crescimento das raízes.

Quinze dias após o preparo do solo e com a finalidade de melhorar a distribuição e disponibilidade de nutrientes no perfil, nas camadas amostradas até 1 m de profundidade, foi realizada a aplicação de calcáreo (PRNT 100%) em dose de 1,5 t ha⁻¹ e 1,4 t ha⁻¹ para os

experimentos 1 e 2, respectivamente; para elevar a saturação por bases a 70%. Também foi aplicado gesso na área de cada parcela com o equivalente a 1,0 t ha⁻¹ para os experimentos 1 e 2. O cálculo do calcáreo e do gesso agrícola foi baseado nas recomendações de Ribeiro; Guimarães; Alvarez (1999) e Alvarenga (2013).

Para beneficiar o crescimento radicular ao longo do perfil do solo previamente corrigido foi realizada a adubação fosfatada aplicada aproximadamente 53% em superfície no dia do transplante e 47% em profundidade (40 cm) um dia depois do transplante, utilizando como fonte superfosfato simples (tabela 2). As demais fontes de nutrientes foram aplicados a cada 7 dias por fertirrigação, o cálculo foi realizado segundo Alvarenga (2013); Ribeiro; Guimarães; Alvarez (1999) e a distribuição das fontes de nutrientes foi baseada nas recomendações de Alvarenga (2013). As fontes e quantidades de nutrientes aplicados são especificados na tabela 2.

Tabela 2 - Fontes de nutrientes aplicados via fertirrigação nos experimentos 1 e 2.

Fonte	Teor de nutrientes	Exp.1 – Estação chuvosa (2021)	Exp. 2 – Estação seca (2022)
		Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹
Nitrato de Cálcio	15(N)-20(Ca)	298	298
UREIA	45-00-00	716	954
Cloreto de potássio	00-00-60	119	298
Sulfato de magnésio	9,5(Mg)-12(S)	199	199
Sulfato de zinco	21(Zn)-11(S)	22	22
Sulfato de manganês	25(Mn)-14(S)	20	20
Ácido Bórico	17 (B)	20	20
Superfosfato Simples	18%	775,4 (superfície), 676 (em profundidade)	1.034 (superfície), 894 (em profundidade)

Teor de nutrientes (%) e quantidades de nutrientes aplicados (kg ha⁻¹)

3.5. Sistema de plantio e tratos culturais

Para o estabelecimento dos experimentos foi utilizado o sistema Viçosa (ALMEIDA et al., 2015), com espaçamento de 0,2 m entre plantas e 2 m entre fileiras, com uma população de 25.000 plantas por hectare. O tutoramento foi realizado em uma haste, utilizando fitilhos de cor branco amarrados de forma alternada de dois arames paralelos a uma altura de 2 m. A inclinação das hastes das plantas foi de aproximadamente 75° em relação ao solo, de maneira a formar um

“V”, como mostrado na figura 2. Para o suporte ao sistema de tutoramento foram utilizadas estacas de eucalipto e de bambu colocadas a 4 m entre uma e outra, com altura de 2 m de altura aproximadamente, onde foram fixados em cada linha de cultivo os dois arames N° 12 que suportaram os fitilhos nos quais as plantas foram conduzidas (figura 2).

A desbrota foi realizada durante todo o ciclo da cultura, nos dois experimentos, retirando os brotos laterais ao longo do caule principal, de maneira que só foi mantido o broto principal da planta conduzindo seu crescimento em uma haste. Quando as plantas atingiram 2 metros de altura foi realizado o corte do broto principal (capação) para otimizar o enchimento dos frutos ao redirecionar mais fotoassimilados para os racimos.



Figura 2 – Sistema de cultivo Viçosa para tomateiro. Plantas do cultivar de tomate italiano/saladete ‘Vivacy’ híbrido F1 durante as estações seca (A) e chuvosa (B) na Unidade técnica-operacional de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) Horta nova, do Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, (UFV-MG).

O controle de plantas daninhas foi realizado mediante capinas manuais, e o manejo de pragas e doenças durante o crescimento vegetativo, florescimento, enchimento de frutos e senescência, realizados segundo Alvarenga (2013).

3.6. Sistema de irrigação e manejo

Foi utilizado sistema de irrigação por gotejamento, utilizando uma fita de irrigação de polietileno, marca Irritec com vazão de 2,1 litros por hora a 0,7 bar (7.1 mca) de pressão

máxima, com diâmetro interno de 16,1 mm, espessura de parede de 8 mil (0,2 mm), e distância entre gotejadores de 0,20 metros.

A avaliação da eficiência do sistema foi realizada determinando o coeficiente de uniformidade de Christiansen - CUC (MANTOVANI et al., 2013).

A irrigação foi realizada seguindo uma frequência de sete dias para 28 parcelas da área experimental. O cálculo da necessidade hídrica foi feito considerando a evapotranspiração da cultura (ETc) e os coeficientes de ajuste em relação à evapotranspiração de referência (ETo). A lâmina de irrigação foi dada mediante o balanço hídrico, considerando a quantidade de água irrigada e sua saída do sistema pela evapotranspiração da cultura (ETc). A ETc foi calculada segundo Allen; Pereira (2009); Delazari et al. (2016) através da equação:

$$ETc = ETo \times Kc$$

$$Kc = (Kcb \times Ks) + Ke$$

Em que:

ETc = evapotranspiração da cultura (mm d⁻¹)

ETo = Evapotranspiração de referência (mm d⁻¹)

Kc = coeficiente da cultura

Kcb = coeficiente basal da cultura

Ke = coeficiente de evaporação do solo

Ks = coeficiente de estresse

O coeficiente basal da cultura (Kcb) variou em cada estágio de desenvolvimento, em função do sombreamento da área influenciada pelo crescimento vegetativo da cultura, em cada fase fenológica. Para os cálculos se utilizaram os valores de Kcb segundo Allen et al., (1998), em que os estádios inicial 1, vegetativo 2, florescimento 3, frutificação 4 e maturação 5 tiveram valores de Kcb de 0,6; 0,75; 1,15; 0,90; e 0,60, respectivamente.

3.7. Delineamento experimental e tratamentos

As plantas de tomateiro foram irrigadas a cada 7 dias, e os experimentos foram conduzidos sob Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), em esquema fatorial de 2 doses x 3 dias de aplicação em relação ao dia da irrigação, uma testemunha sem prolina (controle) como tratamento adicional, com quatro repetições. As doses utilizadas foram escolhidas

baseadas no estudo realizado por Tonhati et al. (2020); e os momentos de aplicação foram determinados em função da irrigação ocorrida a cada 7 dias. Assim, os níveis dos fatores do experimento foram:

1. Doses de L-prolina: 100 mg L⁻¹ e 150 mg L⁻¹;
2. Dias de aplicação em relação ao dia de irrigação: 1, 3 e 6 dias depois da irrigação.

Assim, o experimento foi composto de sete tratamentos, que foram irrigados a cada sete dias de acordo com Fara et al. (2019), incluindo o controle sem prolina (tratamento adicional):

1. Um dia depois da irrigação em dose de 100 mg L⁻¹ (1D-P100);
2. Três dias depois da irrigação em dose de 100 mg L⁻¹ (3D-P100);
3. Seis dias depois da irrigação em dose de 100 mg L⁻¹ (6D-P100);
4. Um dia depois da irrigação em dose de 150 mg L⁻¹ (1D-P150);
5. Três dias depois da irrigação em dose de 150 mg L⁻¹ (3D-P150);
6. Seis dias depois da irrigação em dose de 150 mg L⁻¹ (6D-P150);
7. Controle sem prolina.

O experimento foi estabelecido com quatro blocos e 7 parcelas dentro de cada bloco. Cada parcela teve uma área de 4,8 m², com dimensões de 4 m de comprimento e 1,2 m de largura, composta por três linhas de plantio separadas a 2 metros entre cada uma, e 7 plantas por linha com espaçamento de 0,2 m entre plantas. As plantas das linhas laterais junto com a primeira e a última planta da linha central foram consideradas bordaduras, e as 5 plantas do centro da linha central foram consideradas plantas úteis, usadas para as avaliações (figura 3 a).

O aminoácido L-prolina utilizado foi da empresa Sigma-Aldrich (número de produto P0380) com pureza mediante HPLC $\geq 99\%$.

As aplicações foliares de L-prolina foram realizadas três vezes no total (figura 3 b), uma em cada fase fenológica, nos estádios 1, 2 e 3; correspondendo aos 30, 60 e 80 dias após transplante (DAT). Em cada estágio foram aplicadas as 2 doses, cada uma em 3 dias distintos (1, 3 e 6 dias depois da irrigação, respectivamente) da seguinte forma:

- 1- Primeira aplicação: na fase vegetativa, 30 dias após o transplante (estádio 1);
- 2- Segunda aplicação: na fase de máximo florescimento e enchimento de frutos; 60 dias após o transplante (estádio 2);
- 3- Terceira aplicação: na fase de máximo enchimento de frutos, 80 dias após o transplante (estádio 3).

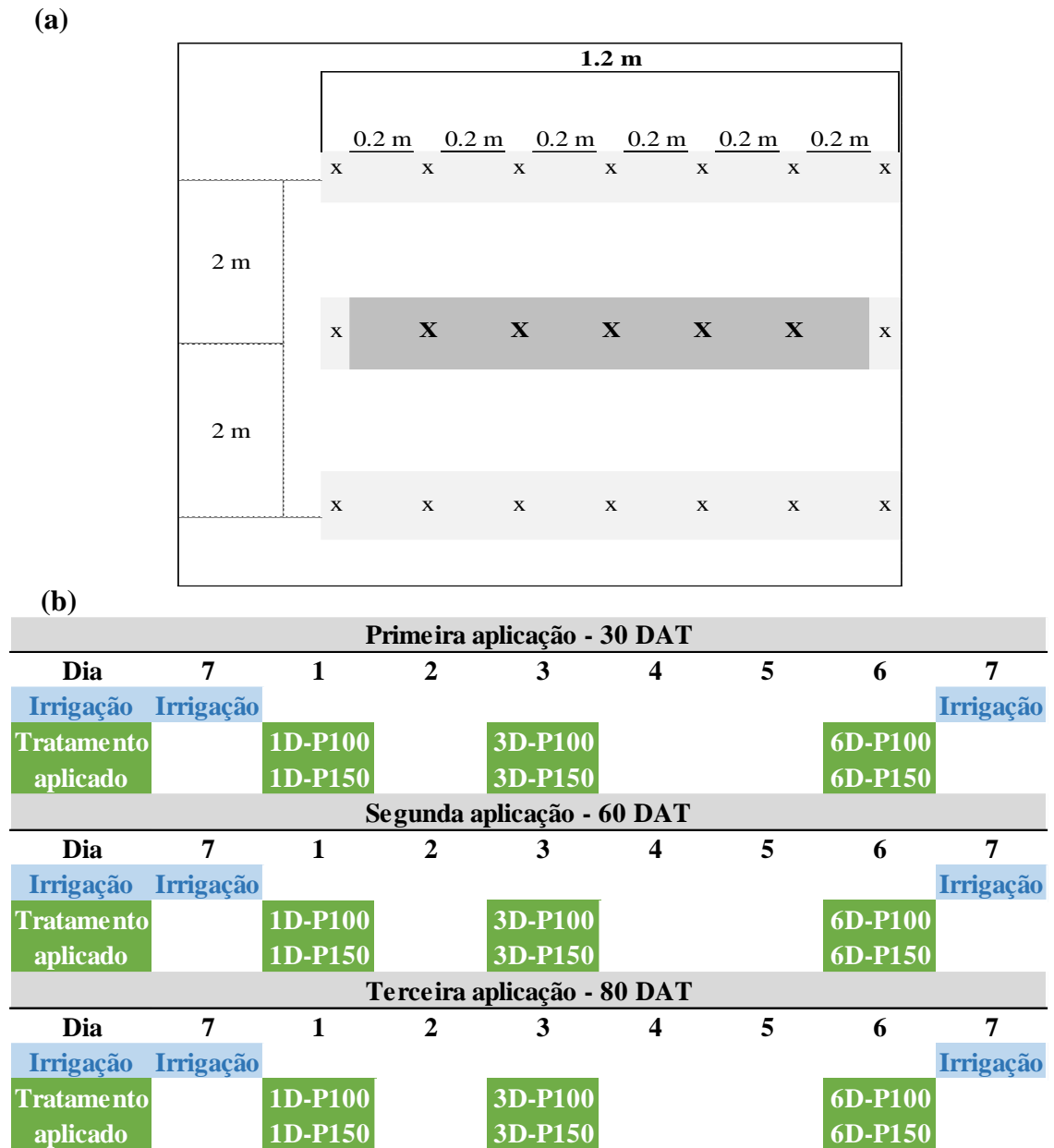


Figura 3 – (a) Croqui de uma parcela. Plantas da bordadura (x), Plantas da parcela útil (X). 16 plantas de bordadura e 5 plantas centrais (plantas úteis usadas para as avaliações). Área total: 4.8 m². (b) Esquema de aplicações de prolina durante o experimento. Dias após transplante (DAT), um dia depois da irrigação em dose de 100 mg L⁻¹ (1D-P100); três dias depois da irrigação em dose de 100 mg L⁻¹ (3D-P100); seis dias depois da irrigação em dose de 100 mg L⁻¹ (6D-P100); um dia depois da irrigação em dose de 150 mg L⁻¹ (1D-P150); três dias depois da irrigação em dose de 150 mg L⁻¹ (3D-P150); seis dias depois da irrigação em dose de 150 mg L⁻¹ (6D-P150).

Cada aplicação foi realizada no período da manhã, entre 9h e 10h, sempre sobre folhas secas, sem o orvalho da noite e com luz solar incidente, havendo iniciado atividade fotossintética. A aplicação foliar foi realizada com um pulverizador de costal de uso exclusivo para o experimento com a finalidade de evitar contaminação da calda de aplicação, que foi

composta pela L-prolina dissolvida em água deionizada. Quanto ao tratamento controle, este também foi irrigado a cada 7 dias, e conduzido sem receber aplicação de prolina, nem de água pura.

O volume de calda aplicado por planta variou de acordo ao estágio em que foi aplicado, e foi baseado na calibração realizada para gerar um aproximado de calda suficiente para pulverizar completamente uma planta de acordo ao estágio fenológico. Assim, para o estágio 1 foi de 70 mL/planta, no estágio 2 de 280 mL/planta e no estágio 3 de 280 mL/planta.

3.8. Características avaliadas

3.8.1. Parâmetros Fisiológicos

Dentre os parâmetros fisiológicos, o potencial hídrico foi avaliado em quatro momentos durante todo o ciclo da cultura, nos dias 30, 60, 80 e 100 dias após o transplante. As variáveis de trocas gasosas e índice de clorofila foram avaliados aos dias 30, 60 e 80 dias após o transplante (DAT), correspondendo aos estádios fenológicos: vegetativo, máximo florescimento e enchimento de frutos, e máximo enchimento de frutos (estádios 1, 2, 3 e 1, 2, 3 e 4 respectivamente).

As avaliações destes parâmetros ocorreram no sétimo dia, ou seja, no dia seguinte de realizar as aplicações de prolina do tratamento 6 ddi. Foram avaliados o índice de clorofila a e b, o potencial hídrico entre 2 e 5 da madrugada e ao meio dia; e quanto às trocas gasosas foram avaliadas a fotossíntese líquida, eficiência de carboxilação instantânea, carbono interno e a condutância estomática.

Nas avaliações das trocas gasosas, ao serem realizadas em três horários durante o dia, foram comparados os dias de aplicação com os horários do dia para cada dose, adicional à comparação dos fatores dias de aplicação e doses.

Índice de clorofila a e b

As medições das clorofilas se realizaram sempre sob condições de dias claros e ensolarados, na terceira/quarta folha totalmente expandida de uma planta por repetição, e em horário da manhã entre 8h e 10h. O resultado foi obtido em índice de clorofila. O equipamento utilizado para as medições foi um clorofilômetro marca Falker (ClorofiLog®, modelo CFL 1030).

Potencial hídrico da folha

As avaliações do potencial hídrico da folha (Ψ_f) foram realizadas com o auxílio de uma câmara de pressão Scholander (Soil Moisture Corp., EUA). A amostragem realizou-se em dois horários; na madrugada (PHm) entre 2h e 5h da madrugada; e a partir do meio dia (PhT). Foram usadas duas plantas por repetição, tomando um folíolo sadio da terceira folha totalmente expandida (lignificado/sub-lignificado). O resultado foi expresso em megapascal (MPa).

Trocas gasosas

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas em três horários: manhã, meio dia e a tarde sob condições de dias claros e ensolarados. As medições foram tomadas de um folíolo da terceira ou quarta folha totalmente expandida, de uma planta por parcela. O protocolo incluiu luz actínica constante ($1.000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), CO_2 atmosférico a $385 \mu\text{mol mol}^{-1}$ a temperatura ambiente.

As variáveis de trocas gasosas avaliadas e suas unidades de medida foram: Condutância estomática (g_s) em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, concentração interna de CO_2 (C_i) em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, taxa fotossintética líquida (A_N) em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco (CE_i) dada pela relação A/C_i e expressa em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. O equipamento utilizado foi um analisador de gases infravermelho IRGA (Infrared Gas Analyzer) em sistema aberto, modelo LCI-SD (ADC BioScientific, Hoddesdon, Reino Unido).

3.8.2. Parâmetros biométricos e Produção de massa seca

Aos 80-90 DAT, foram avaliados os parâmetros de área foliar total, produção de massa seca da parte aérea da planta e dos frutos, teor de carbono orgânico da parte aérea e dos frutos. Ao longo de todo o ciclo de crescimento das plantas também foram avaliadas o número de flores por planta e a taxa de fixação de frutos.

Área foliar total

As medições de área foliar total (AF) foram realizadas nas estações chuvosa e seca, aos 80 DAT, amostrando uma planta por repetição. Esta foi retirada do campo e seguidamente foram separadas todas as folhas e analisadas no medidor de área foliar LAI-3100 (LICOR). As medidas foram dadas em cm^2 .

Produção de massa seca da parte aérea e dos frutos

As análises ocorreram aos 80 DAT na estação chuvosa e seca. Avaliando a produção de massa seca na parte aérea da planta (mSpa) e nos frutos (MSf). Foi retirada uma planta de cada parcela experimental, depois foi realizada a pesagem da parte aérea e dos frutos de forma separada. Após esse procedimento as amostras da parte aérea e dos frutos foram colocadas para secagem separadamente em sacolas de papel dentro de uma estufa com circulação forçada de ar, sob temperatura de $65\pm 5^{\circ}\text{C}$ por 72 horas, até atingir um peso constante, sendo indicativo de não ter mais alteração por perda de água.

Após a secagem as amostras foram pesadas utilizando uma balança de precisão (0,01 g). Os resultados foram expressados em gramas de massa seca por planta (g planta^{-1}).

Teor de carbono orgânico da parte aérea e dos frutos

A determinação do teor de carbono orgânico foi realizada na estação seca, avaliando a parte aérea da planta (CoPa) e os frutos (Cof). A amostragem realizou-se aos 90 DAT retirando uma planta por parcela experimental, separando as amostras e lavando-as com água deionizada, depois foram colocadas em sacolas de papel dentro de uma estufa com circulação forçada de ar, sob temperatura de $65\pm 5^{\circ}\text{C}$ por 72 horas até obter peso constante.

Logo após as amostras secas foram moídas em um moinho Willey com peneira de 20 mesh. Foram identificadas e levadas para o laboratório para análise de acordo com a metodologia proposta por Neto; Barreto (2011). O resultado foi expresso em gramas de carbono orgânico por planta (g planta^{-1}).

Número de flores por planta e Taxa de fixação de frutos

A taxa de fixação de frutos (TFf) foi definida pela relação porcentual entre o número de flores fixadas (NFF) e o total de flores produzidas (TFp). Estas avaliações se realizaram durante as estações chuvosa e seca. O método consistiu em realizar a contagem do total de cachos de cada planta em direção ascendente, realizando a identificação, e registrando periodicamente o número de flores em cada cacho. Depois desse procedimento e havendo transcorrido algumas semanas foram contabilizadas de maneira periódica todas as flores fixadas nos cachos e em processo de enchimento de frutos.

As avaliações foram realizadas durante todo o ciclo da cultura, até que foi realizada a capação da planta (desbrota da gema principal). O cálculo foi realizado por planta útil, obtendo uma média por parcela, utilizando a equação 1. O resultado foi obtido em porcentagem, da seguinte forma:

$$TFf = \frac{NFF}{TFp} \times 100 \quad (1)$$

em que:

TFf = taxa de fixação de frutos, dada em %;

NFF = número de flores fixadas;

TFp = total de flores produzidas.

O número de flores por planta (NFp) foi obtido mediante a contagem de todas as flores de cada planta da parcela útil, obtendo uma média por parcela.

3.8.3. Análises metabólicas

Inicialmente foi realizada a coleta das amostras das folhas aos 80 DAT, sendo a fase de maior demanda de fotoassimilados pelos frutos. Foi tomada a terceira ou quarta folha totalmente expandida de uma planta por repetição, colocada em sacolas de papel alumínio em refrigeração por aproximadamente 1 hora, depois foram transportadas para o departamento de bioquímica e biologia molecular da Universidade Federal de Viçosa, e armazenadas a -80 °C.

As amostras congeladas a -80°C foram posteriormente liofilizadas, depois trituradas em um moinho e guardadas a 10°C. A partir dessas amostras trituradas foram avaliadas as variáveis metabólicas de teor foliar de prolina livre (PL), atividade antioxidante da enzima superóxido dismutase (SOD), açúcares solúveis foliares (As) e açúcares redutores foliares (Ar).

A análise de prolina livre foi realizada com amostras colhidas no período entre as 11h e 12h, considerando como o início das condições de maior nível de estresse para a planta devido ao aumento da radiação solar e da temperatura. O método utilizado foi por espectrofotometria, baseado no protocolo proposto por Bates; Waldren; Teare, (1973) com adaptações. O resultado foi expresso em micromol por grama de massa seca ($\mu\text{mol/g-1 ms}$).

O conteúdo de açúcares solúveis foliares e açúcares redutores foliares foi realizado com amostras colhidas no horário das 8h, 11h, 14h e 16h. Foi avaliado por método espectrofotométrico, segundo a metodologia proposta por Doran; de Souza (2021) e Gonçalves et al. (2010), respectivamente. O resultado foi obtido em miligramas por mililitros de amostra (mg/ml de amostra).

Por ser a prolina um aminoácido de rol ativo em situações de estresse, foi avaliada a atividade antioxidante da enzima superóxido dismutase (SOD) frente às aplicações de prolina exógena. As análises foram referente as amostras colhidas no horário das 11h, 14 h e 16 h nas estações chuvosa e seca; utilizando o protocolo proposto por (GIANNOPOLITIS; RIES, 1977). O resultado foi obtido em micromol de ascorbato por miligrama de proteína por minuto ($\mu\text{mol AsA/mg proteína/min}$).

3.8.4. Componentes de Produtividade

Produtividade total de frutos

A produtividade total de frutos (Prod) foi calculada com base no peso total dos frutos colhidos das cinco plantas de cada tratamento, e extrapolada no cálculo a toneladas por hectare segundo a densidade de 25.000 plantas ha^{-1} . A colheita iniciou-se aos 90 DAT, foi realizada semanalmente e expressada em toneladas por hectare (t ha^{-1}).

Eficiência produtiva no uso da água

A eficiência produtiva no uso da água (EUA) foi calculada com base na relação entre a produtividade total de matéria fresca de frutos (PT) e o volume total (V) de água aplicada em cada tratamento, expressa em kg m^{-3} de água aplicada, mediante a equação 2:

$$EUA = \frac{PT}{V} \quad (2)$$

em que:

EUA = eficiência produtiva do uso da água, (kg m^{-3});

PT = produtividade total de matéria fresca de frutos, expressa em kg ha^{-1} ;

V = volume de água aplicado ($\text{m}^{-3} \text{ha}^{-1}$).

Produtividade de frutos grandes, médios e pequenos

Foi determinada com base na classificação dos frutos de acordo a seu diâmetro na região equatorial em milímetros (mm) e segundo a normativa N° 33, de 18 de julho de 2018 (MAPA, 2018). Devido ao fato de que o cultivar utilizado é tipo italiano/saladete e nenhum fruto superou 70 mm de diâmetro, a classificação dos frutos coincidiu com os 3 primeiros calibres. Assim os

frutos foram classificados em Pequenos (FP) < 35 mm (calibre 1), Médios (FM) 35 – 49 mm (calibre 2) e Grandes (FG) \geq 50 mm (calibre 3).

3.9. Análise estatística

Os dados coletados de todas as variáveis nas avaliações foram tabulados e analisados separadamente para cada estação (chuvosa e seca); também para cada horário nas variáveis de trocas gasosas, açúcares redutores foliares, açúcares redutores foliares e atividade da superóxido dismutase, analisadas em diferentes horários; pelos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e o teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett.

Seguidamente foi realizada a análise de variância e de agrupamento de médias de Scott-Knott a 5% de significância. O tratamento adicional (controle sem prolina) foi comparado com os tratamentos segundo o teste de Dunnett a 5% de significância. Também foi realizada uma análise de variância e de comparação das médias gerais das estações chuvosa Vs. seca nas variáveis estudadas em ambas estações; utilizando o teste de tukey a 5% de significância.

Após as análises das variáveis, foi realizada uma análise de correlações de Pearson entre as variáveis estudadas em nível de médias dos tratamentos. Adicionalmente foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) em nível de médias dos tratamentos para reduzir a dimensionalidade dos dados, observar conjuntos de dados e seus aportes à variância. As correlações encontradas foram interpretadas segundo o teste de Pearson, e classificadas de acordo com Mukaka (2012) com base no coeficiente de correlação, em positivas ou negativas, considerando os tipos: muito alta (cc de 0,9 a 1), alta (cc de 0,7 a 0,9) e moderada (cc de 0,5 a 0,7).

Para as análises dos dados foi utilizado o software livre R Studio (versão 4.4.0). Foram utilizados os pacotes de análises de dados *Tratamentos.ad*: para análise de experimentos com testemunhas adicionais Azevedo (2022); Pacote *easyanova* para análise de variâncias e agrupamento de médias, *FactoMineR* para análise exploratória multivariada de dados e mineração de dados, versão 2.11.

4. RESULTADOS

4.1. Taxa de fixação de frutos e número de flores por planta

Os resultados da taxa de fixação de frutos (TFf) não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos na estação chuvosa (apêndice 8). Já na estação seca houve interação dos fatores *doses x dias de aplicação*, em que os tratamentos com maior TFf foram 1D-P150 (95,5%), 3D-P100 (95,3%) e 6D-P100 (95,4%), mas em relação ao controle (94,5%) para estes tratamentos não houveram diferenças significativas. A TFf mais baixa (91,2%) foi no tratamento 1D-P100, seguido por 3D-P150 (92,1), ambos foram menores do que o controle (tabela 3). Por outro lado, quanto ao número de flores por planta (NFp), o tratamento 6D-P100 foi 14,7% mais alto do que 6D-P150, e 13% a mais sobre o controle (Tabela 3

Tabela 3 – Taxa de fixação de frutos (TFf) e Número de flores (NFf) por planta em tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, em dose de 100 e 150 mg L⁻¹, sob uma frequência de irrigação de 7 dias - Estação seca.

Taxa de fixação de frutos (%) - Estação seca			
Dias de aplicação			
Doses	1D	3D	6D
P100	91,2 B b *	95,3 A a	95,4 A a
P150	95,5 A a	92,1 B b *	92,8 B b
Controle	94,5		
Número de flores por planta - Estação seca			
Dias de aplicação			
Doses	1D	3D	6D
P100	76,9 A b	76,3 A b	88,2 A a *
P150	74,5 A a	77,7 A a	76,8 B a
Controle	77,8		

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

4.2. Acúmulo de massa seca

O acúmulo de massa seca dos frutos (MSf) e da parte aérea (mSpa) na estação chuvosa não apresentou diferenças significativas nem entre os níveis dos fatores, nem entre a interação destes (apêndice 8). Na estação seca houve interação dos fatores *doses x dias de aplicação*, em que os maiores valores de MSf foram 173,2 e 184,0 g planta⁻¹, observados nos tratamentos 1D-

P100 e 6D-P100, respectivamente, apresentando porcentagens de 6,2% e 12,8% a mais em relação ao tratamento 3D-P100 (163,1 g planta⁻¹).

O menor valor de MSf foi de 141,8 g planta⁻¹ observado no tratamento 3D-P150, sendo este o único tratamento diferente do controle (186,02 g planta⁻¹) com um valor 31,2 % menor no acúmulo de MSf; além de ser 15% menor do que 3D-P100, 17,5% menor do que 1D-P150, e 18,5% menor do que 6D-P150 (tabela 4).

A produção de massa seca da parte aérea (mSpa) na dose de 100 mg L⁻¹ mostrou que os tratamentos de prolina 1D-P100 e 6D-P100 apresentaram um acúmulo de 147,59 e 173,7 g planta⁻¹, respectivamente, ou seja, 16,2% e 36,7% a mais em relação ao tratamento 3D-P100, que acumulou 127 g planta⁻¹, ao mesmo tempo 3D-P100 mostrou ser 35,1% menor do que o tratamento 3D-P150 (171,6 g planta⁻¹), e diferente do controle que acumulou 165,6 g planta⁻¹. A interação *doses x dias de aplicação* mostrou que os maiores valores de mSpa foram observados nos tratamentos 6D-P100 e 3D-P150 que acumularam valores de 171,6 e 173,7 g planta⁻¹. No entanto, estes tratamentos não diferiram do controle (tabela 4).

Tabela 4 – Acúmulo de massa seca de frutos (MSf) e massa seca da parte aérea (mSpa) em tomateiro cv. 'Vivacy' tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ - Estação seca.

Massa seca de frutos (g planta ⁻¹) - Estação seca						
Doses	Dias de aplicação					
	1D		3D		6D	
P100	173,2	Aa	163,1	Aa	184,0	Aa
P150	166,7	Aa	141,8	Bb*	168,8	Aa
Medias	170,02		152,5		176,4	
Controle	186,2					
Massa seca da parte aérea (g planta ⁻¹) - Estação seca						
Doses	Dias de aplicação					
	1D		3D		6D	
P100	147,5	A b	127,0	B c *	173,7	A a
P150	151,7	A b	171,6	A a	149,0	B b
Medias	149,6		149,3		161,3	
Controle	165,6					

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

4.3. Teor de carbono orgânico da parte aérea e dos frutos

Foi observado efeito significativo da interação dos fatores *doses x dias de aplicação* sobre o teor de carbono orgânico em frutos e na parte aérea. O carbono orgânico em frutos (Cof) dos tratamentos 1D-P100 e 6D-P100 (87,2 e 95,5 g planta⁻¹, respectivamente) foram os maiores observados entre os tratamentos, no entanto, não mostraram diferenças com o controle. O menor teor de Cof observado foi de 65,8 g planta⁻¹, observado no tratamento 3D-P150, mostrando assim ser diferente dos tratamentos 3D-P100, 1D-P150, 6D-P150, e do controle que acumulou 90,2 g planta⁻¹ (tabela 5).

Quanto ao teor de carbono orgânico da parte aérea (CoPa), os maiores teores foram encontrados nos tratamentos 1D-P100 e 6D-P100, ou seja, 24% e 18% a mais do que o controle, sendo que 1D-P100 mostrou ser diferente do controle. O menor valor de CoPa encontrado (62,1 g planta⁻¹) foi no tratamento 3D-P100 (tabela 5).

Tabela 5 – Teor de carbono orgânico de frutos (Cof) e da parte aérea (CoPa) em tomateiro cv. 'Vivacy' tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ – Estação seca.

Carbono orgânico em frutos (g planta ⁻¹) - Estação seca						
Doses	Dias de aplicação					
	1D		3D		6D	
P100	87,2	Aa	81.8	Aa	95.5	Aa
P150	80,1	Aa	65.8	Bb*	84.1	Aa
Medias	83,7		73.8		88.3	
Controle	90,2					
Carbono orgânico da parte aérea (g planta ⁻¹) - Estação seca						
Doses	Dias de aplicação					
	1D		3D		6D	
P100	85,6	Aa *	62.1	Ab	81.6	Aa
P150	78,1	Aa	74.2	Aa	75.2	Aa
Medias	81,9		68.1		78.4	
Controle	69,0					

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

4.2.Área foliar total

Em ambas estações não foram observadas diferenças significativas entre os níveis dos fatores, nem na interação destes, nem em nenhuma situação em relação ao controle (apêndice 8).

4.3.Clorofila a e b

Em nenhuma das estações a concentração de clorofila a e b mostrou diferenças entre os níveis dos fatores, nem entre a interação destes, nem em nenhuma situação em relação ao controle (apêndices 1 – 7).

4.4. Potencial hídrico da folha

De acordo com os resultados na estação chuvosa só foi observado efeito significativo do fator *dias de aplicação* sobre o potencial hídrico da folha no meio dia (PhT) no estágio 1 – inicial (apêndice 1). Neste, a prolina aplicada nos dias 1 (-0,80 MPa) e 6 (-0,85 MPa) depois da irrigação (ddi) mostraram valores menos negativos do que quando aplicada 3 ddi, sendo este de -0,94 MPa (tabela 6). Além de esta observação, nos estádios 2, 3 e 4 não foram encontradas diferenças entre os níveis dos fatores, nem entre a interação destes, nem em nenhuma situação em relação ao controle (apêndices 2, 3 e 7); provavelmente devido às condições de precipitações ocorridas nos períodos das avaliações. Durante a estação seca o efeito dos níveis dos fatores e dos tratamentos foi observado nas diferenças significativas entre estes.

Estádio 1 – inicial, vegetativo:

No estágio 1 - inicial não foram verificados efeitos significativos dos tratamentos sobre o potencial hídrico da madrugada (PHm) (apêndice 4). No potencial hídrico do meio dia (PhT) - Estação seca, observou-se interação dos fatores, sendo o mais alto -0,49 MPa no tratamento 3D-P150, mostrando ser maior do que o controle (-0,68 MPa) e dos tratamentos 3D-P100 (-0,68 MPa), 1D-P150 (-0,94 MPa) e 3D-P150 (-0,77 MPa). Em adição, o tratamento 6D-P100 mostrou um PhT de -0,54 MPa, mas sem apresentar diferença com o controle (tabela 6).

Estádio 2 – vegetativo, florescimento e enchimento de frutos:

No estágio 2 - vegetativo da estação seca, o PHm do tratamento 1D-P150 foi de -0,18 MPa, maior ao observado no controle (-0,26 MPa) e maior do que os tratamentos 1D-P100, 3D-

P150 e 6D-P150. No meio dia as diferenças foram mais notáveis; em que o PhT mais alto encontrado foi de -0,30 MPa no tratamento 6D-P100 e contrastou ao ser 0,29 MPa maior em relação ao controle (-0,59 MPa) (tabela 6). Os resultados também mostram que o Ψ_f dos tratamentos na dose de 100 mg L⁻¹, na madrugada ou ao meio dia, foi mais alto em relação ao controle (tabela 6).

Foi observado também durante a madrugada que o tratamento com prolina aplicada 1 ddi aumentou o $-\Psi_f$ mais do que o controle (tabela 6).

Tabela 6 - Potencial hídrico ($-\Psi_f$) em folhas de tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ – Estádios 1 - inicial e 2 - vegetativo (Estações chuvosa e seca).

Potencial hídrico ($-\Psi_f$) da folha - Estádio 1 – inicial, vegetativo							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias de aplicação	Tarde Doses (mg L ⁻¹)		Medias	Dias de aplicação	Tarde Doses (mg L ⁻¹)		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	-0,80 A a	-0,81 A a	-0,80 A	1D	-0,80 B a	-0,94 C b *	-0,87 B *
3D	-0,93 A a	-0,95 A a	-0,94 B	3D	-0,68 B b	-0,49 A a *	-0,58 A
6D	-0,90 A a	-0,80 A a	-0,85 A	6D	-0,54 A a	-0,77 B b	-0,66 A
Medias	-0,87	-0,85		Medias	-0,67	-0,73	
Controle			-0,94	Controle			-0,68
Potencial hídrico ($-\Psi_f$) da folha - Estádio 2 – vegetativo, florescimento e enchimento de frutos							
Estação seca (2022)							
Dias de aplicação	Madrugada Doses (mg L ⁻¹)		Medias	Dias de aplicação	Tarde Doses (mg L ⁻¹)		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	-0,19 A a *	-0,18 A a *	-0,18 *	1D	-0,41 A a	-0,66 A b	-0,54
3D	-0,19 A a *	-0,23 B a	-0,21	3D	-0,47 A a	-0,52 A a	-0,49
6D	-0,20 A a	-0,25 B a	-0,23	6D	-0,30 A a *	-0,50 A b	-0,40 *
Medias	-0,19 *	-0,22		Medias	-0,40 a *	-0,56 b	
Controle			-0,26	Controle			-0,59

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

Estádio 3 - enchimento de frutos e maturação:

No estágio 3 - enchimento de frutos e maturação, em ambas as estações não foram encontrados efeitos significativos sobre o potencial hídrico da folha (apêndices 3 e 6).

Estádio 4 – maturação e senescência:

No estágio 4 – maturação e senescência, não houve nenhum efeito sobre o PHm (apêndice 7). As avaliações de PhT mostraram resultados similares ao estágio 2, o tratamento 1D-P100 teve um valor de -0,69 MPa, maior do que no tratamento de 1D-P150 (-0,90 MPa), sendo esse valor também significativamente maior do que o controle (-0,88MPa) (tabela 7). Os tratamentos 1D-P100 (-0,69 MPa) e 6D-P150 (-0,71 MPa) mostraram ter os maiores valores de PhT, e contrastaram ao serem significativamente maiores do que o controle de -0,88 MPa (tabela 7).

Tabela 7 - Potencial hídrico ($-\Psi_f$) em folhas de tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ – Estádio 4 - maturação e senescência (Estação seca).

Potencial hídrico ($-\Psi_f$) da folha - Estádio 4 - maturação e senescência			
Estação seca (2022)			
Tarde			
Dias de aplicação	Doses (mg L ⁻¹)		Médias
	P100	P150	
1D	-0,69 A a *	-0,90 B b	-0,80
3D	-0,83 B a	-0,81 B a	-0,82
6D	-0,81 B a	-0,71 Aa*	-0,76
Medias	-0,77	-0,81	
Controle			-0,88

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

Análise de médias do $-\Psi_f$ dos 4 estádios fenológicos – Estação seca

Na análise das médias dos 4 estádios fenológicos, os fatores doses e momentos de aplicação no horário da madrugada tiveram efeitos significativos isolados sobre o Ψ_f , em que A aplicação e prolina, independentemente da dose e do dia resultou em PHm maior (menos negativo) que o controle (tabela 8).

Nas avaliações do período do meio dia foi encontrada interação significativa dos fatores *doses x dias de aplicação*, em que o PhT mais alto encontrado correspondeu ao tratamento 6D-P100 (-0,59 MPa), sendo menos negativo e diferente do controle (-0,73 MPa) e do que os

tratamentos 1D-P100 (-0,67 MPa) e 3D-P100 (-0,70 MPa). Foi observado também que os tratamentos 3D-P150 e 6D-P150 apresentaram valores maiores do que 1D-P150. Assim, estes resultados mostram que o PhT aumentou significativamente em relação ao controle com aplicações de prolina 6 ddi, principalmente na dose de 100 mg L⁻¹ (tabela 8).

Tabela 8 - Potencial hídrico (-Ψ_f) em folhas de tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ - Estação seca.

Potencial hídrico (-Ψ _f) da folha - Estação seca							
Madrugada				Tarde			
Dias de aplicação	Doses (mg L ⁻¹)		Medias	Dias de aplicação	Doses (mg L ⁻¹)		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	-0,21	-0,19	-0,20*	1D	-0,67 B a	-0,82 B b	-0,74
3D	-0,19	-0,20	-0,19 *	3D	-0,70 B a	-0,65 A a	-0,68
6D	-0,20	-0,19	-0,19 *	6D	-0,59 A a *	-0,67 A a	-0,63 *
Medias	-0,20 *	-0,19 *		Medias	-0,65 a *	-0,71 b	
Controle			-0,23	Controle			-0,73

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

4.5. Trocas gasosas

Estádio 1 – inicial, vegetativo

De acordo com a análise de variância dos fatores doses e dias de aplicação, no estágio 1 da estação chuvosa foi encontrado efeito significativo da interação dos fatores sobre o conteúdo de carbono interno; observando-se que o Ci no tratamento 1D-P100 (301,6 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) foi significativamente menor, quando comparado com o tratamento controle. Dentro da comparação destes dois fatores não foram encontrados mais efeitos significativos (tabela 9).

Na estação seca foi observado que a fotossíntese líquida no tratamento 6D-P100 (35,3 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) foi 14,6% a mais do que 6D-P150 (30,8 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), embora 6D-P100 não tenha apresentado diferenças com o controle. Também foi observado um aumento da CEi no tratamento 1D-P100 (0,19 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) em relação ao tratamento 1D-P150, no entanto, 1D-P100 não diferiu do controle (tabela 9).

Tabela 9 – Trocas gasosas em folhas de tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ (doses x dias de aplicação) – Estádio 1. Estação chuvosa e seca.

Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	31,3	31,0	31,1	1D	33,7 A a	30,7 A a	32,2
3D	30,6	31,3	31,0	3D	33,4 A a	32,4 A a	32,9
6D	32,3	30,1	31,2	6D	35,3 A a	30,8 A b	33,0
Medias	31,4	30,8		Medias	34,1 a	31,3 b	
Controle	30,6			Controle	32,9		
Eficiência de carboxilação instantânea ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	0,10	0,09	0,10	1D	0,19 A a	0,15 A b	0,17
3D	0,09	0,09	0,09	3D	0,17 A a	0,18 A a	0,17
6D	0,10	0,09	0,09	6D	0,17 A a	0,15 A a	0,16
Medias	0,10	0,09		Medias	0,17	0,16	
Controle	0,09			Controle	0,17		
Carbono interno ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	301,6 A a*	321,0 A a	311,3	1D	194,3	208,2	201,3
3D	322,2 A a	326,5 A a	324,3	3D	204,3	197,4	200,8
6D	312,3 A a	312,8 A a	312,5	6D	213,1	205,3	209,2
Medias	312,1 a*	320,1 a		Medias	203,9	203,6	
Controle	333,8			Controle	205,1		
Condutância estomática ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	430,8	465,8	448,3	1D	240,8	238,3	239,5
3D	479,1	531,6	505,4	3D	265,8	250,0	257,9
6D	509,1	470,8	490,0	6D	271,3	256,9	264,1
Medias	473,0	489,4		Medias	259,3	248,4	
Controle	523,3			Controle	268,3		

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

Estádio 1 – inicial, vegetativo. Estação chuvosa

No estágio 1, estação chuvosa, a análise dos fatores dias de aplicação 1, 3 e 6 ddi com os horários de avaliação encontrou-se que na fotossíntese líquida para ambas doses nenhuma das médias diferiu do controle.

Quanto à eficiência de carboxilação, foi verificada interação dos fatores *horários x dias de aplicação*. No horário das 8h, o tratamento 1D-P100 foi de 0,11 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mostrando diferença em relação ao controle (0,09 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). No horário das 12h, o tratamento 6D-P100 com valor de 0,10 $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ foi significativamente maior do que o controle (0,08 $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (tabela 10).

Observou-se também que os tratamentos 3D-P100 e 6D-P100, no horário das 8h, mostraram um conteúdo de carbono interno mais alto em relação a 1D-P100. No horário das 12h, o conteúdo de Ci nos tratamentos 1D-P100 (310 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e 6D-P100 (309 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi mais baixo em relação ao controle (340 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Já a média diária de 1D-P100 mostrou menor Ci do que o controle geral (333,8 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (tabela 10).

A condutância estomática para ambas doses nenhuma das médias mostrou diferenças significativas com o controle.

Tabela 10 – Trocas gasosas em folhas de tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L^{-1} (horários x dias de aplicação) Estádio – 1 inicial, vegetativo. Estação chuvosa.

Eficiência de carboxilação instantânea ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					Carbono interno ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)				
Dose 100 mg L^{-1}					Dose 100 mg L^{-1}				
Horário					Horário				
Dias	8h	12h	15h	Medias	Dias	8h	12h	15h	Medias
1D	0,11*	0,09	0,09	0,10	1D	327,0 Ba	310 Aa*	268 Ab	301,6 *
3D	0,09	0,09	0,09	0,09	3D	368,2 Aa	319,5 Ab	279 Ac	322,2
6D	0,10	0,10*	0,09	0,10	6D	336,5 Aa	309 Ab*	291,6Ab	312,3
Medias	0,106	0,10	0,09		Medias	343,9	312,8	279,55	
Controle	0,09	0,08	0,09	0,092	Controle	373,3 a	340,0 b	288,2 c	333,8

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Em cada horário, as médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

Estádio 1- inicial, vegetativo. Estação seca

Na avaliação do estágio 1 - inicial, vegetativo da estação seca, a análise dos fatores dias de aplicação 1, 3 e 6 ddi com os horários de avaliação, em nenhuma das variáveis observaram-se diferenças com o controle em nenhuma situação.

Estádio 2 – vegetativo, florescimento e enchimento de frutos

As avaliações de fotossíntese líquida e conteúdo de carbono interno no estágio 2, em ambas as estações não mostraram diferenças significativas entre os níveis dos fatores, entre a interação destes, nem quando foram comparados com o controle (apêndices 2 e 5) (tabela 12).

Por outro lado, na estação chuvosa foi constatado efeito significativo isolado dos dias de aplicação na eficiência de carboxilação instantânea, em que o tratamento com prolina 6 ddi mostrou diferenças em relação a 1 e 3 ddi. Na estação seca a interação dos fatores mostrou que os tratamentos 3D-P100 e 6D-P100 tiveram uma CEi mais alta em relação a 1D-P100. Da mesma forma, observou-se que o tratamento 1D-P150 foi superior a 1D-P100, ao mesmo tempo que 1D-P150 também foi diferente de 3D-P150 e 6D-P150. Na comparação com o controle, nenhum tratamento apresentou diferenças significativas (tabela 12).

Houve diferença entre a dose de prolina de 100 mg L⁻¹ com o controle, quanto à condutância estomática na estação chuvosa; a dose de 100 mg L⁻¹ teve um valor de 466,3 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹, sendo menor quando comparada com o controle (520 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹). Na estação seca, o tratamento 6D-P150 (202,2 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹) foi superior a 1D-P150 (165,5 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹) e 3D-P150 (181,1 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹), embora o tratamento 6D-P150 apresentasse um valor 18% mais alto, essa diferença não foi significativa quando comparado com o controle (tabela 12).

Tabela 12 – Trocas gasosas em folhas de tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ (doses x dias de aplicação) – Estação chuvosa e seca.

Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	29,0	28,7	28,8	1D	25,1	27,8	26,4
3D	28,1	27,8	28,0	3D	28,1	25,5	26,8
6D	29,6	29,9	29,7	6D	28,0	28,8	28,4
Medias	28,9	28,8		Medias	27,0	27,3	
Controle	29,77			Controle	25,0		
Eficiência de carboxilação instantânea ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	0,082	0,080	0,081 B	1D	0,15 B b	0,21 A a	0,18
3D	0,077	0,082	0,080 B	3D	0,18 A a	0,18 B a	0,18
6D	0,087	0,087	0,087 A	6D	0,20 A a	0,18 B a	0,19
Medias	0,082	0,083		Medias	0,18	0,19	
Controle	0,08			Controle	0,18		
Carbono interno ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	345,7	353,8	349,7	1D	170,7	141,8	156,3
3D	349,0	348,3	348,6	3D	162,8	146,2	154,5
6D	346,9	339,1	343,0	6D	135,5	159,2	147,4
Medias	347,2	347,11		Medias	156,3	149,1	
Controle	342,14			Controle	159,80		
Condutância estomática ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	478,3	470,8	474,5	1D	171,6 A	165,5 B	168,6
3D	465,8	470,0	467,9	3D	177,2 A	181,1 B	179,1
6D	455,0	473,3	464,1	6D	180,5 A	202,2 A	191,3
Medias	466,3 *	471,3		Medias	176,4	182,9	
Controle	520,00			Controle	171,30		

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

Estádio 2 – vegetativo, florescimento e enchimento de frutos. Estação chuvosa

Na comparação dias de aplicação e horários, as avaliações de trocas gasosas do estágio 2 mostraram que as 15h os tratamentos 3D-P100 ($24,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e 6D-P100 ($26,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) apresentaram fotossíntese líquida mais baixa quando comparados com o controle ($27,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), enquanto que a média geral nesse horário ($25,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) também foi menor em comparação com o controle geral ($29,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Para a dose de 150 mg L^{-1} no horário das 15h, o tratamento 3D-P150 foi menor em relação a 1D-P150 e 6D-P150, assim como em relação ao controle (tabela 13).

Tabela 13 – Trocas gasosas em folhas de tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L^{-1} (horários x dias de aplicação). Estádio 2 – vegetativo, florescimento e enchimento de frutos – Estação chuvosa.

Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)									
Dose 100 mg L^{-1}					Dose 150 mg L^{-1}				
Horário					Horário				
Dias	8h	12h	15h	Medias	Dias	8h	12h	15h	Medias
1D	33,5 a	27,8 b	25,7 b	29,0	1D	32,8 Aa	27,2 Ab	26,0 Ab	28,7
3D	35,0 a	24,9 b	24,5 b*	28,1	3D	32,2 Aa	27,3 Ab	24,0 Bb*	27,8
6D	36,4 a	25,4 b	26,8 b*	29,6	6D	36,0 Aa	26,9 Ab	26,9 Ab	29,9
Medias	35,0 a	26,0 b	25,7 b*	cg	Medias	33,7 a	27,1 b	25,6 b	cg
Controle	35,7a	25,7 b	27,8 b	29,7	Controle	35,7 a	25,7 b	27,8 b	29,7
Eficiência de carboxilação instantânea ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)									
Dose 100 mg L^{-1}					Dose 150 mg L^{-1}				
Horário					Horário				
Dias	8h	12h	15h	Medias	Dias	8h	12h	15h	Medias
1D	0,09 a	0,09 a	0,07 b	0,08	1D	0,08 Ba	0,08 Aa	0,07 Aa	0,07
3D	0,09 a	0,07 b	0,07 b	0,08	3D	0,08 Ba	0,08 Aa	0,07 Ab	0,08
6D	0,10 a	0,08 b	0,07 b	0,08	6D	0,10 Aa	0,08 Ab	0,08 Ab	0,09
Medias	0,09 a	0,08 b	0,074 b*	cg	Medias	0,09 a	0,08 a	0,07 b	cg
Controle	0,99 a	0,08 b	0,08 b	0,08	Controle	0,09 a	0,08 b	0,08 b	0,08

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Em cada horário, as médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

Em relação à CEi do estágio 2, na dose de 100 mg L^{-1} , a média dos tratamentos avaliados no horário das 15h apresentou um valor de $0,074 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, menor do que o controle, que teve uma CEi de $0,08 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Por outro lado, quanto à dose de 150 mg L^{-1} , observou-

se que o tratamento 6D-P150 as 8h aumentou em relação a 1D-P150 e 3D-P150; no entanto, nenhuma diferença significativa foi encontrada na CEi quando as medias da dose de 150 mg L⁻¹ foram comparados com o controle (tabela 13).

Nas avaliações de carbono interno e da condutância estomática não houveram diferenças em relação ao controle geral.

Estádio 2 – vegetativo, florescimento e enchimento de frutos. Estação Seca

Durante a estação seca, estágio 2, a fotossíntese líquida na dose de 100 mg L⁻¹ não apresentou diferenças com o controle em nenhuma situação. Igualmente quanto à CEi e no Ci em ambas doses, observou-se que nenhum dos tratamentos mencionados mostrou diferenças com o controle em nenhuma situação.

Uma maior condutância estomática foi encontrada com aplicações de prolina 6 ddi na dose de 150 mg L⁻¹ (202,2 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹), mostrando ser superior ao controle (168,7 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹); o que similarmente foi observado também com a dose de 100 mg L⁻¹, neste último sem mostrar diferença estatística com o controle (tabela 14).

Tabela 14 – Trocas gasosas em folhas de tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ (horários x dias de aplicação). Estádio 2 – vegetativo, florescimento e enchimento de frutos – Estação seca.

Fotossíntese líquida (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)					Condutância estomática (mmol m ⁻² s ⁻¹)				
Dose 150 mg L ⁻¹					Dose 150 mg L ⁻¹				
Horário					Horário				
Dias	8h	12h	15h	Medias	Dias	8h	12h	15h	Medias
1D	35,3 a	27,3 b	20,8 b	27,8	1D	226,6 Aa	146,6 Ab	123,3 Bb	165,5 B
3D	29,3 a	23,7 a	23,4 a	25,5	3D	220,0 Aa	166,6 Ab	156,6 Bb	181,1 B
6D	37,1 a	23,2 b	26,0 b	28,8	6D	240,0 Aa	163,3 Ab	203,3 Aa	202,2A*
Medias	33,9 a	24,7 b	23,4 b	cg	Medias	228,8 a	158,8 b	161,1 b	cg
Controle	27,99 a	23,9 a	23,3 a	25,0	Controle	166,6	170,5	170,7	168,7

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Em cada horário, as medias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

Estádio 3 – enchimento de frutos e maturação

No estágio 3 (80 DAT) durante a estação chuvosa, a fotossíntese líquida no tratamento 6D-P150 ($12,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) aumentou de forma significativa em relação ao controle ($10,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), e similarmente na estação seca o maior valor obtido foi neste tratamento, embora sem diferença com o controle (tabela 15).

A eficiência de carboxilação na estação chuvosa não apresentou diferenças entre tratamentos, nem em relação ao controle. No entanto, durante a estação seca foi constatada interação dos fatores, sendo que nos tratamentos 3D-P150 ($0,21 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e 6D-P150 ($0,22 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) houve um aumento significativo, o que os diferenciou do tratamento 1D-P150 ($0,17 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); da mesma forma que 3D-P150 foi superior a 3D-P100 ($0,17 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), e 6D-P150 foi maior que 6D-P100 ($0,18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Estes efeitos incidiram em aumentos nas medias gerais dos tratamentos com prolina 3 ddi e 6 ddi, mas nenhum destes tratamentos teve diferenças em relação ao controle ($0,20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (tabela 15).

O carbono interno na estação chuvosa não apresentou diferença entre os tratamentos, nem entre os tratamentos e o controle. Na estação seca foi observada uma interação dos fatores, em que o maior conteúdo de carbono interno foi no tratamento 1D-P150 ($181,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sendo mais alto do que 3D-P150 ($149,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e 6D-P150 ($147,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). No entanto em termos gerais a dose de 100 mg L^{-1} apresentou maior Ci ($175,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) do que a dose de 150 mg L^{-1} ($159,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Contudo, foi observado que aplicações de prolina 1 ddi ($180,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi o único tratamento que apresentou diferença significativa sendo superior ao controle ($161,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (tabela 15).

Tabela 15 – Trocas gasosas em folhas de tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ (doses x dias de aplicação). Estádio 3, enchimento de frutos e maturação – Estação chuvosa e seca.

Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	11,7 A a	11,2 A a	11,5	1D	29,4	31,0	30,2
3D	11,3 A a	11,5 A a	11,4	3D	30,1	30,5	30,3
6D	11,7 A a	12,9 A a*	12,3	6D	29,9	32,8	31,4
Medias	11,6	11,9		Medias	29,8	31,4	
Controle	10,7			Controle	30,5		
Eficiência de carboxilação instantânea ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	0,03	0,03	0,03	1D	0,18 A a	0,17 B a	0,17 B
3D	0,03	0,03	0,03	3D	0,17 A b	0,21 A a	0,19 A
6D	0,03	0,03	0,03	6D	0,18 A b	0,22 A a	0,20 A
Medias	0,03	0,03		Medias	0,18 b	0,20 a	
Controle	0,03			Controle	0,20		
Carbono interno ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	337,0	345,0	341,0	1D	179,2 A a	181,0 A a	180,1 A*
3D	338,1	340,9	339,5	3D	180,4 A a	149,9 B b	165,1 B
6D	345,8	331,8	338,8	6D	167,1 A a	147,0 B b	157,1 B
Medias	340,3	339,2		Medias	175,5 a	159,3 b	
Controle	344,2			Controle	161,5		
Condutância estomática ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	211,6	205,8	208,7	1D	231,6	241,6	236,6
3D	198,7	216,5	207,6	3D	211,6	227,5	219,5
6D	219,9	222,5	221,2	6D	208,3	234,1	221,2
Medias	210,1	214,9		Medias	217,2	234,4	
Controle	216,6			Controle	215,0		

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

Estádio 3 – enchimento de frutos e maturação. Estação chuvosa

Durante a estação chuvosa houve interação dos fatores em estudo (tabela 16), em que o tratamento 6D-P150 ($11,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) no horário das 15h teve uma maior atividade fotossintética do que 1D-P150 ($8,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e 3D-P150 ($8,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), além de se diferenciar do controle ($9,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Adicionalmente, houve um efeito dos dias de aplicação, em que foi observado um aumento no tratamento com prolina aplicada 6 ddi ($12,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), o que o diferenciou do controle ($10,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e dos tratamentos com prolina 1 ddi ($11,2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e 3 ddi ($11,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

A eficiência de carboxilação e a condutância estomática nas doses de 100 e 150 mg L^{-1} não mostraram diferenças entre os tratamentos e o controle em nenhuma situação. Por outro lado, no conteúdo de carbono interno, na dose de 100 mg L^{-1} , não se encontraram diferenças entre os tratamentos e o controle. Paralelo a isto, na dose de 150 mg L^{-1} no horário das 12h, foi observado um valor de Ci mais baixo nos tratamentos 1D-P150 ($319,2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e 3D-P150 ($330,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) quando comparados com o controle ($354,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (tabela 16).

Tabela 16 – Trocas gasosas em folhas de tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L^{-1} (horários x dias de aplicação) Estádio 3, enchimento de frutos e maturação – Estação chuvosa.

Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					Carbono interno ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)				
Dose 150 mg L^{-1}					Dose 150 mg L^{-1}				
Horário					Horário				
Dias	8h	12h	15h	Medias	Dias	8h	12h	15h	Medias
1D	14,4 A a	10,6 A b	8,7 B b	11,2 B	1D	379,6 a	319,2 b*	336,2 b	345,0
3D	16,5 A a	10,0 A b	8,0 B b	11,5 B	3D	352,7 a	330,6 a*	339,3 a	340,9
6D	16,8 A a	10,3 A b	11,6 Ab*	12,9A*	6D	349,7 a	339,0 a	306,6 b	331,8
Medias	15,9 a	10,3 b	9,4 b		Medias	360,7 a	329,6 b	327,4 b	
Controle	15,1 a	8,5 b	8,4 b	10,7	Controle	358,6	354,0	320,0	344,2

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Em cada horário, as medias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

Estádio 3 – enchimento de frutos e maturação. Estação seca

Na fotossíntese líquida e condutância estomática os resultados não mostraram diferenças em nenhuma situação em relação ao controle nos horários avaliados.

Quanto à eficiência de carboxilação instantânea foram observadas diferenças entre tratamentos e doses, indicando interação dos fatores em estudo. No horário das 12h os tratamentos 1D-P100 ($0,20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e 3D-P100 ($0,20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) obtiveram valores maiores do que 6D-P100 ($0,12 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sendo este último menor do que o controle ($0,27 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e menor em relação aos horários das 8h e 15h. No entanto, no horário das 15h o tratamento 6D-P100 ($0,22 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) mostrou uma CEi superior aos demais tratamentos nesse horário, e superior ao controle ($0,12 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Também foi possível verificar que a CEi quanto à dose de 150 mg L^{-1} nenhum nível dos fatores horários e dias de aplicação, nem da interação destes teve diferença significativa com o controle (tabela 17).

No conteúdo de carbono interno foi constatada interação dos fatores, sendo que no horário das 12h, o tratamento 6D-P100 ($218,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) se destacou dos demais tratamentos, inclusive foi superior ao controle ($127,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); seguidamente no horário das 15h o mesmo tratamento foi inferior ao controle que obteve valor de $206,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e aos demais tratamentos deste horário (tabela 17).

Tabela 17 – Trocas gasosas em folhas de tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L^{-1} (horários x dias de aplicação) Estádio 3, enchimento de frutos e maturação. Estação seca.

Eficiência de carboxilação instantânea ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					Carbono interno ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)				
Dose 100 mg L^{-1}					Dose 100 mg L^{-1}				
Horário					Horário				
Dias	8h	12h	15h	Medias	Dias	8h	12h	15h	Medias
1D	0,22 A a	0,20 A a	0,10 B b *	0,18	1D	148,5 Ab	155,5 B b	233,6 Aa	179,2
3D	0,15 A a	0,20 A a	0,14 B a	0,17	3D	185,2 A a	149,9 B b	201,0 Aa	180,4
6D	0,21 A a	0,12 Bb *	0,22 A a *	0,18	6D	157,0 Ab	218,3Aa *	126,1Bb *	167,1
Medias	0,20	0,18	0,15 *		Medias	163,5 a	176,2 a	186,9 a *	
Controle	0,23	0,27	0,12	0,20	Controle	151,0 b	127,3 b	206,3 a	161,55

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Em cada horário, as medias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

4.6. Teor de prolina livre

Na estação chuvosa houve um efeito da interação *dias de aplicação x doses* sobre o teor de prolina livre. O menor teor de prolina livre foi no tratamento 6D-P100 (0,014 $\mu\text{mol/g}^{-1}$ de massa seca), e os maiores nos tratamentos aplicados 1D-P100 e 3D-P100 com 0,20 e 0,21 $\mu\text{mol/g}^{-1}$ de massa seca, respectivamente (tabela 18). A prolina em 6D-P150 (0,15 $\mu\text{mol/g}^{-1}$ de massa seca) foi maior do que com 6D-P100 (0,014 $\mu\text{mol/g}^{-1}$ de massa seca); no entanto os tratamentos com prolina na dose de 100 mg L^{-1} aplicados 1, 3 e 6 ddi foram todos iguais estatisticamente. Em adição, não houve diferenças entre nenhum dos tratamentos com o controle.

Em relação às avaliações na estação seca houve um aumento geral no teor de prolina livre em todos os níveis dos fatores, e também se observou efeito da interação dos fatores *doses x dias de aplicação* sobre o teor de prolina livre (PL), em que os tratamentos diferenciados do controle foram 1D-P100, 1D-P150 e 3D-P150 ao apresentarem teores de PL de 0,012, 0,15 e 0,12 $\mu\text{mol/g}^{-1}$ de massa seca; maiores do que o controle (0,007 $\mu\text{mol/g}^{-1}$ de massa seca). As aplicações de prolina 1 ddi mostrou maior teor de PL (0,014 $\mu\text{mol/g}^{-1}$ de massa seca) e se destacou em relação aos tratamentos 3 ddi (0,10 $\mu\text{mol/g}^{-1}$ de massa seca) e 6 ddi (0,010 $\mu\text{mol/g}^{-1}$ de massa seca) (tabela 18).

Tabela 18 – Teor de prolina livre (PL) em folhas de tomateiro cv. 'Vivacy' tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, nas doses de 100 e 150 mg L^{-1} – Estações chuvosa e seca.

Teor de prolina livre na folha ($\mu\text{mol/g}^{-1}$ de massa seca) - Estação chuvosa				
Doses	Dias de aplicação			Medias
	1D	3D	6D	
P100	0,020 Aa	0,021 Aa	0,014 Ba	0,18
P150	0,016 Aa	0,015 Ab	0,015 Aa	0,15
Medias	0,018	0,018	0,014	
Controle		0,016		
Teor de prolina livre na folha ($\mu\text{mol/g}^{-1}$ de massa seca) - Estação seca				
Doses	Dias de aplicação			Medias
	1D	3D	6D	
P100	0,012 Aa *	0,010 Aa	0,010 Aa	0,011 *
P150	0,015 Aa *	0,012 Ab *	0,010 Ab	0,012 *
Medias	0,014 b *	0,010 b *	0,010 a *	
Controle		0,007		

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

4.7. Açúcares redutores foliares

Os resultados demonstraram que os dias de aplicação e as doses tiveram efeito significativo isolado sobre o conteúdo de açúcares redutores foliares (Ar). Em plantas tratadas 6 ddi, a concentração foi significativamente mais alta do que o controle nos horários das 8h, 11h e 14h. No horário das 11 h as plantas tratadas 1 ddi apresentaram um maior conteúdo de Ar, em relação ao controle. Se observou que às 8h, 11h e 14h não houve diferenças entre os dias de aplicação da prolina. Nas plantas tratadas 6 ddi, às 16 h houve um aumento significativo no conteúdo de Ar, comparada com 1 ddi e 3 ddi. Possivelmente a aplicação de prolina um ddi, de alguma forma beneficiou o conteúdo de Ar nas folhas no horário das 16h (tabela 19).

Quanto às doses avaliadas, quase todas apresentaram maiores valores de Ar ao longo do dia, quando comparados com o controle. As 8h ambas doses 100 mg L⁻¹ e P150 mg L⁻¹, com valores de 0,226 e 0,232 mg/ml de amostra, respectivamente, superaram significativamente ao controle (0,185 mg/ml de amostra). As 11h o conteúdo de Ar nas plantas tratadas na dose de 150 mg L⁻¹ (0,245 mg/ml de amostra) superou significativamente o tratamento de 100 mg L⁻¹ (0,197 mg/ml de amostra), e também o controle (0,165 mg/ml de amostra). As 14h e 16h, ambas as doses mostraram iguais conteúdos de Ar, sendo estes valores mais altos do que o controle nesses horários, embora essa diferença não foi significativa (tabela 19).

Tabela 19 – Açúcares redutores foliares em tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, nas doses de 100 e 150 mg L⁻¹, sob uma frequência de irrigação de 7 dias – Estação seca.

Açúcares redutores foliares (mg/ml de amostra) - Estação seca							
Dias de aplicação em cada horário							
8h		11h		14h		16h	
1D	0,219 A a	1D	0,231 A a*	1D	0,194 A a	1D	0,199 B a
3D	0,225 A a	3D	0,199 A a	3D	0,201 A a	3D	0,171 B a
6D	0,243 A a*	6D	0,233 A a*	6D	0,236 A a*	6D	0,248 A a
Controle 0,185 a		Controle 0,165 a		Controle 0,163 a		Controle 0,193 a	
Doses em cada horário							
8h		11h		14h		16h	
P100	0,226 A a*	P100	0,197 B a	P100	0,211 A a	P100	0,206 A a
P150	0,232 A a*	P150	0,245 A a*	P150	0,210 A a	P150	0,206 A a
Controle 0,185 a		Controle 0,165 a		Controle 0,163 a		Controle 0,193 a	

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Em cada horário, as medias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

4.8. Açúcares solúveis foliares

No horário das 8h da manhã foi observado maior conteúdo de açúcares com aplicação de prolina 1 ddi (0,059 mg/ml de amostra), comparado com a aplicação 3 ddi e 6 ddi, e com o controle (0,035 mg/ml de amostra). As 11h não houve diferenças entre os dias de aplicação, nem em relação ao controle (tabela 20).

Foi observada interação significativa dos fatores *dias de aplicação x doses* às 14h. A concentração de açúcares solúveis (As) aumentou significativamente em relação ao controle em todos os tratamentos, exceto para 3D-P150, sendo maior nas plantas tratadas com prolina 1 e 6 ddi. Essa mesma tendência de maior aumento nos mesmos tratamentos também foi observada anteriormente pelo conteúdo de açúcares redutores. No entanto, nos açúcares solúveis esse efeito teve maior significância as 14h (tabela 20).

Às 11h observou-se efeito das doses sobre o conteúdo de As, em que a dose de 150 mg L⁻¹ mostrou um valor superior (0,103 mg/ml de amostra) quando comparada com a dose de 100 mg L⁻¹ (0,087 mg/ml de amostra) e também com o controle (0,079 mg/ml de amostra). No horário das 14 horas, as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ apresentaram conteúdos de As de 0,097 e 0,098 mg/ml de amostra, que em média representa cerca de 27% a mais do que no controle (0,076 mg/ml de amostra) (tabela 20).

No horário das 16h não se encontraram efeitos significativos entre os tratamentos, nem entre tratamentos e o controle (tabela 20).

Tabela 20 - Açúcares solúveis foliares em tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, nas doses de 100 e 150 mg L⁻¹, sob uma frequência de irrigação de 7 dias – Estação seca.

Açúcares solúveis totais (mg/ml de amostra)									
Dias de aplicação em cada horário									
8h		11h		14h			16h		
				Dose 100	Dose 150	Medias			
1D	0,059 Ab*	1D	0,092 Aa	1D	0,112 A*	0,120 A*	0,116 Aa*	1D	0,055 Ab
3D	0,037 Bb	3D	0,100 Aa	3D	0,060 B*	0,074 C	0,067 Bb	3D	0,063 Ab
6D	0,040 Bb	6D	0,094 Aa	6D	0,119 A*	0,100 B*	0,110 Aa*	6D	0,056 Ab
Controle 0,035 a		Controle 0,079 a		Controle 0,076 a			Controle 0,061 a		
Doses em cada horário									
8h		11h		14h		16h			
P100	0,046 A b	P100	0,087 B a	P100	0,097 A a*	P100	0,063 A b		
P150	0,044 A b	P150	0,103 A a*	P150	0,098 A a*	P150	0,053 A b		

Controle 0,035 a	Controle 0,079 a	Controle 0,076 a	Controle 0,061 a
------------------	------------------	------------------	------------------

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Em cada horário, as medias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

4.9. Atividade da enzima Superóxido Dismutase

Na avaliação das 11h foi observado efeito significativo da interação dos fatores *doses x dias de aplicação*. A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) foi mais alta no tratamento 1D-P100 comparado com 1D-P150 para as estações avaliadas, e ao mesmo tempo maior do que 3D-P100 e 6D-P100. Também nas duas estações, os tratamentos 3D-P100 e 3D-P150 não apresentaram diferenças. A maior atividade da SOD foi observada em 6D-P150. Em adição, na estação chuvosa os tratamentos 1D-P100, 3D-P150 e 6D-P150 tiveram uma maior atividade da SOD do que no controle. Na estação seca, todos os tratamentos no horário das 11h tiveram uma atividade da enzima SOD menor do que o controle sem prolina; sendo que a menor atividade da SOD foi observada no tratamento 6D-P100 (tabela 21).

No horário das 14h (estação chuvosa) observou-se efeito do fator doses, em que ambas mostraram maior atividade da SOD em relação ao controle. Na comparação entre doses, a menor atividade encontrada foi com 100 mg L⁻¹. Em relação a estação seca, para este mesmo horário, houve interação entre os fatores avaliados mas nenhum tratamento diferiu do controle. O tratamento 6D-P100 apresentou valor maior do que 1D-P100 e 3D-P100, ao mesmo tempo que 1D-P150 teve maior atividade da SOD do que 3D-P150 e 6D-P150. A menor atividade encontrada foi no tratamento 6D-P150 (tabela 21).

No horário das 16h, durante a estação chuvosa, foi observado que a atividade da SOD foi significativamente mais alta no tratamento 1D-P100, quando comparada com 1D-P150 e com o controle, ao mesmo tempo que 6D-P100 aumentou em relação a 6D-P150. Para este mesmo horário, na estação seca, a menor atividade da SOD foi observada no tratamento 1D-P100 quando comparado com 1D-P150, 3D-P100 e 6D-P100; ao mesmo tempo nenhum tratamento diferiu do controle (tabela 21).

Tabela 21 - Atividade da superóxido dismutase (SOD) em tomateiro cv. 'Vivacy' tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ – Estações chuvosa e seca.

Atividade da superóxido dismutase ($\mu\text{mol AsA/mg proteína/min}$) - Estação chuvosa														
11h Dias de aplicação					14h Doses				16h Dias de aplicação					
Doses	Controle	1D	3D	6D	Doses	Controle			Doses	Controle	1D	3D	6D	
P100	3,63	8,81 Aa*	5,38 Ab	4,06 Bb	P100	3,28	5,71		B*	P100	6,61	8,89 Aa*	5,18 Ab	7,52 Aa
P150		5,22 Ba	6,20 Aa*	6,84 Aa*	P150		6,52		A*	P150		5,00 Ba	4,97 Aa	5,83 Ba
Atividade da superóxido dismutase ($\mu\text{mol AsA/mg proteína/min}$) - Estação seca														
11h Dias de aplicação					14h Dias de aplicação					16h Dias de aplicação				
Doses	Controle	1D	3D	6D	Doses	Controle	1D	3D	6D	Doses	Controle	1D	3D	6D
P100	10,74	8,28 Aa*	7,05 Ab*	5,90 Ab*	P100	7,96	7,18 Aa	6,70 Ab	8,85 Ab	P100	7,09	4,82 Ba	6,66 Aa	5,78 Aa
P150		6,26 Ba*	7,23 Aa*	6,88 Aa*	P150		8,82 Aa	6,81 Ab	5,75 Bb	P150		6,90 Aa	5,16 Aa	5,10 Aa

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Em cada horário, as médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

4.10. Produtividade total de frutos

Houve interação significativa dos fatores estudados nas estações chuvosa e seca, com destaque para o tratamento 6D-P100, como observado na tabela 22 e figura 4. Na estação chuvosa, a maior produtividade obtida neste tratamento ($145,6 \text{ t ha}^{-1}$) foi superior ao controle e aos tratamentos 1D-P100 e 3D-P100, com valores de $103,9$; $113,3$ e 105 t ha^{-1} , respectivamente. Na estação seca, a maior produtividade obtida foi de $199,5 \text{ t ha}^{-1}$ no tratamento 6D-P100, seguido por $174,7 \text{ t ha}^{-1}$; $173,2$ e $165,2 \text{ t ha}^{-1}$ para os tratamentos 6D-P150, 3D-P100 e 3D-P150, respectivamente.

Os resultados de ambas estações de avaliação demonstraram que com aplicações de 100 mg L^{-1} de prolina aos 6 ddi, a produtividade total de frutos pode ser aumentada; representando na estação chuvosa e seca um aumento significativo de 40% e 21% em relação ao controle, respectivamente (figura 4).

Tabela 22 – Produtividade total de frutos (Prod) em tomateiro cv. 'Vivacy' tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L^{-1} – Estações chuvosa e seca.

Produtividade total de frutos (t ha^{-1})							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	113,3 Ba	129,0 Aa	121,1	1D	160,9 Ba	161,8 Aa	161,2 B
3D	105,0 Ba	113,0 Aa	109,0	3D	173,2 B a	165,2 Aa	169,2 B
6D	145,6 Aa*	114,6 Ab	130,1	6D	199,5 Aa	174,7 Aa	187,1 A
Medias	121,2	118,9		Medias	177,8	167,2	
Controle	103,9			Controle	164,9		

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

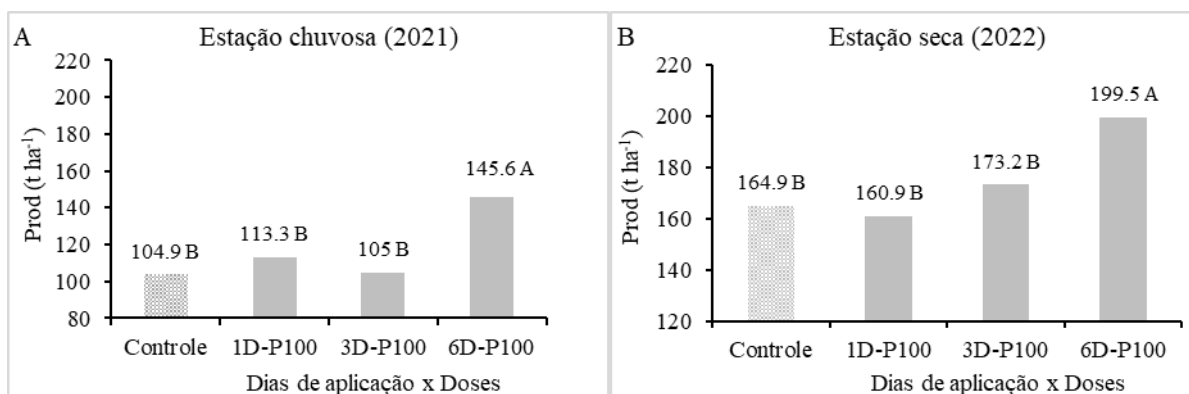


Figura 4 - Produtividade total de frutos em tomateiro cv. 'Vivacy' tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação em dose de 100 mg L⁻¹. Interação do fator *dias de aplicação x dose* (100 mg L⁻¹), sob uma frequência de irrigação de 7 dias. Estação chuvosa (A) e seca (B). Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Fonte: O autor.

4.11. Eficiência produtiva no uso da água

Houve interação dos fatores para ambas as estações avaliadas, com diferenças significativas entre os dias de aplicação para a dose de 100 mg L⁻¹ (tabela 23). Na estação chuvosa a eficiência produtiva no uso da água (EUA) do tratamento 6D-P100 foi de 45,63 kg m⁻³ (kg de fruto por m³ de água aplicada), e na estação seca foi de 69,4 kg m⁻³; ou seja, 13 kg m⁻³ (39,8 %) e 12 kg m⁻³ (21 %) a mais de frutos produzidos por metro cúbico de água aplicada, em relação ao controle, que na época chuvosa e seca foi de 32,6 kg m⁻³ e 57,4 kg m⁻³, respectivamente (figura 5).

Tabela 23 – Eficiência produtiva no uso da água (kg de fruto por m³ de água aplicada) em tomateiro cv. 'Vivacy' tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ – Estações chuvosa e seca.

Eficiência produtiva no uso da água (kg, m ⁻³ H ₂ O)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Médias	Dias	Doses		Médias
	P100	P150			P100	P150	
1D	35,4 Ba	40,4 Aa	37,9	1D	56,1 Ba	56,2 Aa	56,1 B
3D	32,9 Ba	35,4 Aa	34,1	3D	60,3 Ba	57,5 Aa	58,9 B
6D	45,6 Aa*	35,9 Ab	40,7	6D	69,4 Aa	60,8 Aa	65,1 A
Medias	38,0	37,2		Medias	61,9	58,2	
Controle	32,6			Controle	57,4		

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

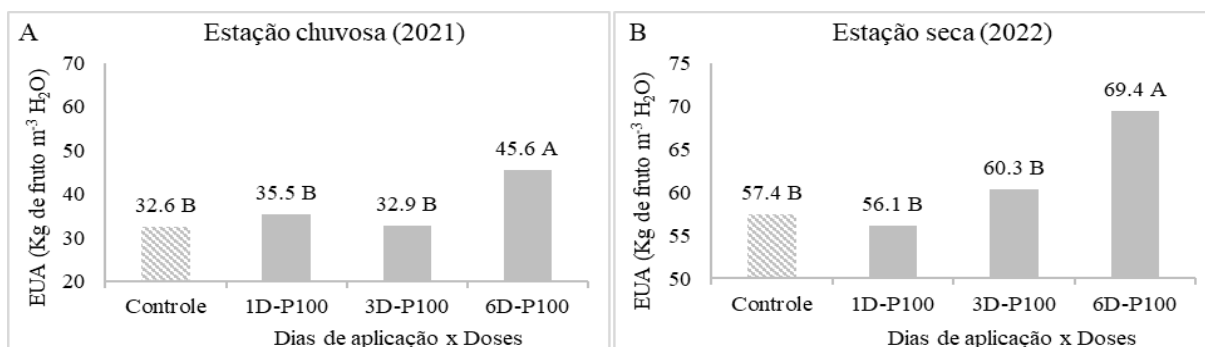


Figura 5 – Eficiência produtiva no uso da água em tomateiro cv. 'Vivacy' tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação em dose de 100 mg L⁻¹. Interação dos fatores *dias de aplicação x dose* (100 mg L⁻¹), sob uma frequência de irrigação de 7 dias. Estação chuvosa (A) e seca (B). Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Fonte: O autor.

Em relação as doses, foi observado na estação chuvosa que 6D-P100 alcançou uma EUA de 45,63 kg m⁻³, ou seja, 27% a mais em relação a 35,91 kg m⁻³ no tratamento 6D-P150.

4.12. Produção de frutos grandes, médios e pequenos

Como apresentado na tabela 24, os quadrados médios da produtividade mostram que na estação chuvosa houve efeito significativo das interações dos fatores *doses x dias de aplicação* e tratamentos comuns x controle sobre as características de produtividade total (Prod), produção de frutos grandes (PFG), produção de frutos médios (PFM) e produção de frutos pequenos (PFP). Observou-se também um efeito isolado dos fatores dias de aplicação e doses na PFM; e efeito isolado do fator dias de aplicação sobre a PFP.

Tabela 24 – Resumo da Análise de Variância para produtividade total (Prod), produção de frutos grandes (FG), frutos médios (FM) e frutos pequenos (FP) em tomateiro cv. 'Vivacy' tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ – Estação chuvosa.

FV	GL	Quadrados médios							
		Produtividade total		Frutos grandes		Frutos médios		Frutos pequenos	
Dias	2	898,28	ns	537,09	ns	63,38	*	5,51	*
Doses	1	34,05	ns	218,95	ns	67,33	*	0,57	ns
Dias x Doses	2	1258,81	*	905,00	*	108,66	*	16,16	*
Controle x comuns	1	897,99	*	365,71	*	108,32	*	0,18	*
Bloco	3	202,10		109,56		8,28		0,80	
Resíduo	18	347,63		193,17		14,02		1,12	
Total	27								
CV%		15,82		15,96		15,29		16,90	

FV: Fatores de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Na estação seca foi observado efeito dos fatores, doses, e da interação *doses dias de aplicação*, e dos tratamentos comuns com o controle, sobre a PFG e a PFP. Houve também efeito significativo dos dias de aplicação e da interação dias de aplicação x doses sobre a Prod. E ainda significância da interação dias de aplicação x doses na PFM (tabela 25).

Tabela 25 – Resumo da Análise de Variância para produtividade total (Prod), produção de frutos grandes (FG), frutos médios (FM) e frutos pequenos (FP) em tomateiro cv. 'Vivacy' tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 mg L⁻¹ – Estação seca.

FV	GL	Quadrados médios			
		Produtividade total	Frutos grandes	Frutos médios	Frutos pequenos
Dias	2	1400,07 *	813,17 *	81,51 ns	9,52 *
Doses	1	681,06 ns	1222,65 *	14,39 ns	25,75 *
Dias x Doses	2	336,59 *	142,05 *	97,93 *	19,92 *
Controle x comuns	1	201,10 ns	109,19 *	2,23 ns	27,37 *
Bloco	3	1508,64	573,58	152,16	6,65
Resíduo	18	316,22	118,20	33,09	1,51
Total	27				
CV%		10,37	10,41	10,37	10,60

FV: Fatores de variação; GL: Grau de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

A tabela 6 mostra que a produção de frutos grandes, médios e pequenos sempre foi maior na estação seca (tabela 26). A aplicação de prolina do tratamento 6D-P100 aumentou a PFG (tabela 26), sendo superior ao controle com um adicional de 34,1 t ha⁻¹ e 26,01 t ha⁻¹ nas estações chuvosa e seca, respectivamente. Isto representa cerca de 44% e 26% a mais de produtividade, quando comparados com o controle.

Em relação a PFM, quando comparada ao controle a produtividade foi aumentada em 41%, 51% e 41% nos tratamentos 6D-P100, 1D-P150 e 3D-P150, respectivamente (estação chuvosa). Simultaneamente foi observado na estação chuvosa um aumento de 43% na PFP no tratamento 6D-P150. Na estação seca os tratamentos 6D-P100 e 1D-P150 foram superiores ao controle na PFP em 40% e 39%, respectivamente (tabela 26).

Tabela 26 – Produção de frutos grandes, médios e pequenos ($t\ ha^{-1}$) em tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com aminoácido L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, com as doses de 100 e 150 $mg\ L^{-1}$ – Estações chuvosa e seca.

Frutos grandes ($t\ ha^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	81,3 B a	92,6 A a	86,9	1D	100,8 B a	96,2 Aa	98,5 B
3D	81,0 B a	81,3 A a	81,1	3D	110,5 B a	90,0 Ab	100,3 B
6D	112,2 A a*	82,4 A b	97,3	6D	125,6 Aa*	108,0 Ab	116,8 A*
Medias	91,5	85,4		Medias	112,3 a	98,10 b	
Controle	78,1			Controle	99,59		
Frutos médios ($t\ ha^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	26,1 A a	29,7 A a*	27,9 A*	1D	51,0 B	52,7 A	51,8
3D	17,0 B b	27,6 A a*	22,3 B	3D	51,6 B	60,0 A	55,8
6D	27,6 A a*	23,5 A a	25,6 A*	6D	60,9 A	55,4 A	58,2
Medias	23,6 b	26,9 a*		Medias	54,5	56,0	
Controle	19,6			Controle	56,1		
Frutos pequenos ($t\ ha^{-1}$)							
Estação chuvosa (2021)				Estação seca (2022)			
Dias	Doses		Medias	Dias	Doses		Medias
	P100	P150			P100	P150	
1D	5,8 A a	6,6 B a	6,2 B	1D	9,0 C b	12,7 B a*	10,8 B
3D	6,8 A a	4,1 C b	5,5 B	3D	10,9 B b	15,0 A a*	13,0 A*
6D	5,7 A b	8,6 A a*	7,1 A	6D	12,8 A a*	11,3 B a	12,0 A*
Medias	6,1	6,4		Medias	10,9 *	13,0 *	
Controle	6,0			Controle	9,1		

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas pertencem a um mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

4.13. Análise de correlações de Pearson

Nas figuras 6 e 7 são apresentadas as análises de correlações entre as variáveis biométricas, fisiológicas e metabólicas avaliadas durante as estações chuvosa e seca, analisadas pelo método de correlação de Pearson. Segundo Nettleton (2014) este método correlaciona variáveis numéricas entre duas variáveis, podendo ser um valor entre 1 e -1. Valores mais próximos de 1 indicam um maior nível de correlação positiva; 1 indica uma correlação total

positiva; 0 não indica nenhuma correlação entre variáveis. Os valores negativos indicam correlação negativa, e -1 define uma correlação total negativa.

O resultado identificou correlações entre distintos grupos de variáveis. Em ambas estações foram encontradas correlações positivas significativas; entre a Produtividade (Prod) com a Eficiência produtiva no uso da água (EUA), mostrando como era esperado que os aumentos na Produtividade decorreram em aumentos na eficiência produtiva no uso da água (figuras 4 e 5). O número de flores por planta (NFp) se correlacionou com a Prod, com um coeficiente de correlação (cc) de 0,91 (cc 0,91), também o NFp com a EUA (cc 0,91). A Massa seca de frutos (MSf) esteve correlacionada positivamente com o Carbono orgânico dos frutos (cc 0,97) na estação seca.

A análise de correlações na estação seca (figura 7) mostrou que valores mais altos (menos negativos) de PHm estão correlacionados com aumentos na fotossíntese líquida (A_N) (cc -0,92); ao mesmo tempo que foi demonstrado que uma diminuição na atividade da SOD teve 94% de correlação com aumentos em A_N (cc -0,94), o que constata que a baixa atividade da SOD correspondeu a aumentos em A_N , indicando possivelmente menor nível de estresse oxidativo, e de presença de ROS, especificamente radicais Superóxido ($O_2^{\bullet-}$). Além disso, os aumentos do conteúdo de As se correlacionaram com aumentos na atividade da SOD (cc 0,88).

Foi verificada alta correlação negativa entre CEi e Ci, com coeficiente de correlação -0,87 na estação chuvosa (figura 6). Para a estação seca (figura 7), esta mesma correlação foi significativa com coeficiente de correlação de -0,91, o que indica que o aumento na CEi incide com uma maior assimilação de carbono interno pela fotossíntese, levando ao decréscimo do Ci.

Adicionalmente, foram identificadas altas correlações positivas. Na estação chuvosa (figura 6) foi constatado que aumentos em A_N incidem em aumentos na CEi a (cc 0,89); que um PHm alto se correlacionou com aumentos na g_s (cc 0,82); que incrementos na CEi estão correlacionados com aumentos na Tff em 75% (cc 0,75); e que também houve correlação entre a Tff com a atividade da SOD (cc -0,75).

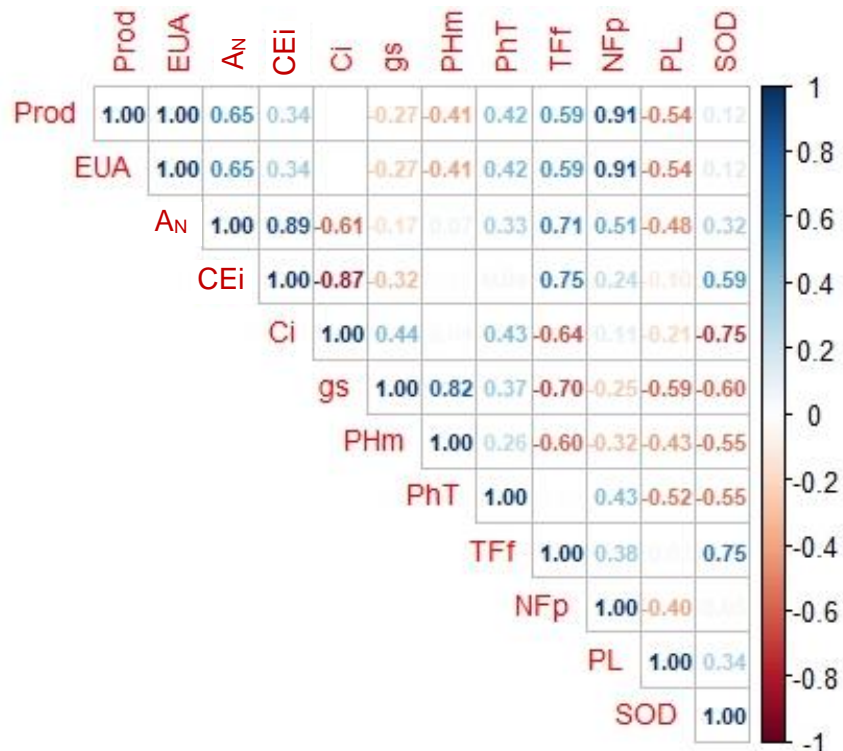


Figura 6 – Análise de correlação de Pearson das variáveis analisadas durante a estação chuvosa (ano 2021) em tomateiro cv. 'Vivacy' tratados ou não tratados com aminoácido L-prolina em doses de 100 e 150 mg L⁻¹ nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias. O coeficiente de correlação é mostrado para a combinação de todas as variáveis. Produtividade total de frutos (Prod), Eficiência produtiva no uso da água (EUA), Taxa fotossintética líquida (A_N), Eficiência de carboxilação instantânea (CEi), Carbono interno (Ci), Condutância estomática (gs), Potencial hídrico da folha na madrugada (PHm), Potencial hídrico da folha na tarde (PhT), Taxa de fixação de frutos (TFf), Número de flores por planta (NFp), Teor de prolina livre (PL), Atividade da Superóxido dismutase (SOD).

Também foi observada uma alta correlação (cc 0,90) na estação seca (figura 7) entre o potencial hídrico na madrugada e a atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), entre a atividade da SOD com o os As (cc 0,88) e com o PHm (cc 0,77); e entre a CEi com o acúmulo de mSpa (cc 0,83).

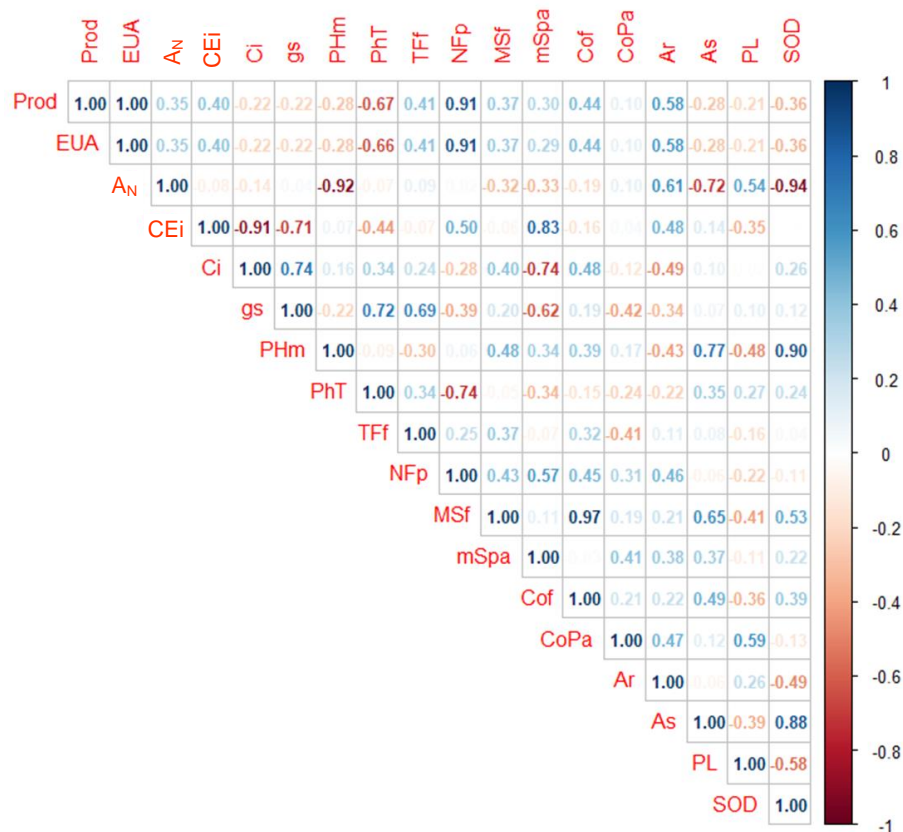


Figura 7 – Análise de correlação de Pearson das variáveis analisadas durante a estação seca (ano 2022) em tomateiro cv. 'Vivacy' tratados ou não tratados com aminoácido L-prolina em doses de 100 e 150 mg L⁻¹ nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias. Produtividade total de frutos (Prod), Eficiência produtiva no uso da água (EUA), Taxa fotossintética líquida (AN), Eficiência de carboxilação instantânea (CEi), Carbono interno (Ci), Condutância estomática (gs), Potencial hídrico da folha na madrugada (PHm), Potencial hídrico da folha na tarde (PhT), Taxa de fixação de frutos (Tff), Número de flores por planta (NFp), Acúmulo de massa seca de frutos (MSf), Acumulo de massa seca da parte aérea (mSpa), Teor de carbono orgânico de frutos (Cof), Teor de carbono orgânico da parte aérea (CoPa), Açúcares redutores foliares (Ar), Açúcares solúveis foliares (As), Teor de prolina livre (PL), Atividade da Superóxido dismutase (SOD).

4.14. Comparação de variáveis por estação

Os resultados observados na tabela 27 comparando a estação chuvosa e seca na dose de 100 mg L⁻¹, mostram que o valor medio de AN na estação seca foi de 34,2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, sendo superior a 31,4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na estação chuvosa no estágio 1; também valores similares de AN no estágio 2 (exceto para 6D-P100) e valores superiores de AN no estágio 3 na estação seca. Já na dose de 150 mg L⁻¹ não houveram diferencias entre estações nos estádios 1 e 2; e no estágio 3 se observou um aumento expressivo de AN quanto aos valores da estação seca, sendo em média 31,4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, e 11,9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na estação chuvosa (tabela 27).

Em todos os estádios a CEi da estação seca mostrou ser superior ao da estação chuvosa; e no mesmo caso o Ci da estação seca foi inferior, em comparação com a estação chuvosa, para ambas doses. Ao mesmo tempo que a *gs* de ambas doses, nos estádios 1 e 2, foi significativamente menor na estação seca; e no estádio 3 não mostrou diferenças com a estação chuvosa (tabela 27).

Em relação às variáveis biométricas, fisiológicas e metabólicas comparadas na tabela 28, pode ser observado que o uso de prolina sob o sistema de agricultura estômatos abertos induz na estação seca valores médios de PHm menos negativos, sendo de -0,24 e -0,20 MPa nas estações chuvosa e seca para a dose de 100 mg L⁻¹, respectivamente. Já na dose de 150 mg L⁻¹ valores de -0,26 e -0,19 MPa. Já no PhT, para as estações chuvosa e seca, observaram-se valores de -0,71 e -0,65 MPa na dose de 100 mg L⁻¹ e na dose de 150 mg L⁻¹ valores de -0,69 e -0,71 MPa em ambas estações (tabela 28).

A prolina livre teve um aumento na temporada chuvosa comparados com os da estação seca; sendo que o valor médio na estação seca foi significativamente superior ao do controle para cada dose. Já na atividade da SOD observou-se que com ambas doses houve uma redução geral na estação seca em relação ao controle, e um aumento na estação chuvosa para as duas doses em relação ao controle; enquanto que comparando ambas estações a média na estação chuvosa na dose de 100 mg L⁻¹ foi de 6,0 μmol AsA/mg proteína/min, sendo menor do que 7,07 μmol AsA/mg proteína/min observados na estação seca. A atividade da SOD entre as estações chuvosa e seca na dose de 150 mg L⁻¹ não mostrou diferenças (tabela 28).

Também foi observado que, em relação à estação chuvosa, na estação seca houve um aumento geral de massa seca de frutos (excetuando a 3D-P150), um aumento da taxa de fixação de frutos, no número de flores por planta e na produtividade total de frutos; com especial destaque no tratamento 6D-P100 quanto ao NFp e à Prod, pela sua diferencia em relação ao controle nestas duas variáveis (tabela 28).

Tabela 27 – Comparação das estações chuvosa e seca para as trocas gasosas do tomateiro 'Vivacy' tratado com L-prolina aos 1, 3 e 6 dias após a irrigação, sob frequência de 7 dias, e doses de 100 ou 150 mg L⁻¹. Taxa fotossintética líquida (A_N) (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), Eficiência de carboxilação instantânea (CEi) (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), Concentração interna de CO₂ (Ci) (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) e Condutância estomática (gs) (mmol m⁻² s⁻¹).

Estádio 1 - inicial, vegetativo																
DOSE 100								DOSE 150								
A _N		CEi		Ci		gs		A _N		CEi		Ci		gs		
Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	
Iddi	31.3 a	33.7 a	0.103 b	0.195 a	301.6 a *	194.3 b	430.8 a	240.8 a	31.0 a	30.7 a	0.096 b	0.150 a	321.0 a	208.2 b	465.8 a	238.3 b
3 ddi	30.6 a	33.4 a	0.096 b	0.170 a	322.2 a	204.3 b	479.1 a	265.8 b	31.3 a	32.4 a	0.095 b	0.185 a	326.5 a	197.4 b	531.6 a	250.0 b
6 ddi	32.3 a	35.3 a	0.103 b	0.174 a	312.3 a	213.1 b	509.1 a	271.3 b	30.1 a	30.8 a	0.096 b	0.154 a	312.8 a	205.3 b	470.8 a	256.9 b
Media	31.4 b	34.2 a	0.101 b	0.179 a	312.1 a *	203.9 b	473.0 a	259.3 b	30.8 a	31.3 a	0.096 b	0.163 a	320.1 a	203.6 b	489.4 a	248.4 b
Controle	30.6 a	32.9 a	0.092 b	0.170 a	333.8 a	205.1 b	523.3 a	268.3 b	30.6 a	32.9 a	0.092 b	0.170 a	333.8 a	205.1 b	523.3 a	268.3 b
Estádio 2 - vegetativo, florescimento e enchimento de frutos																
DOSE 100								DOSE 150								
A _N		CEi		Ci		gs		A _N		CEi		Ci		gs		
Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	
Iddi	29.0 a	25.1 a	0.082 b	0.155 a	345.7 a	170.7 b	478.3 a	171.6 b	28.7 a	27.8 a	0.080 b	0.215 a	353.8 a	141.8 b	470.8 a	165.5 b
3 ddi	28.1 a	28.1 a	0.077 b	0.187 a	349.0 a	162.8 b	465.8 a	177.2 b	27.8 a	25.5 a	0.082 b	0.180 a	348.3 a	146.2 b	470.0 a	181.1 b
6 ddi	29.6 a	28.0 b	0.087 b	0.208 a	346.9 a	135.5 b	455.0 a	180.5 b	29.9 a	28.8 a	0.087 b	0.188 a	339.1 a	159.2 b	473.3 a	202.2 b
Media	28.9 a	27.0 a	0.082 b	0.183 a	347.2 a	156.3 b	466.3 a *	176.4 b	28.8 a	27.3 a	0.083 b	0.194 a	347.1 a	149.1 b	471.3 a	182.9 b
Controle	29.7 a	25.0 a	0.085 b	0.187 a	342.1 a	159.8 b	520.0 a	171.3 b	29.7 a	25.0 a	0.087 b	0.185 a	342.1 a	159.8 b	520.0 a	171.3 b
Estádio 3 - enchimento de frutos e maturação																
DOSE 100								DOSE 150								
A _N		CEi		Ci		gs		A _N		CEi		Ci		gs		
Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	
Iddi	11.7 b	29.4 a	0.034 b	0.180 a	337.0 a	179.2 b	211.6 a	231.6 a	11.2 b	31.0 a	0.032 b	0.174 a	345.0 a	181.0 b	205.8 a	241.6 a
3 ddi	11.3 b	30.1 a	0.033 b	0.172 a	338.1 a	180.4 b	198.7 a	211.6 a	11.5 b	30.5 a	0.033 b	0.214 a	340.9 a	149.9 b	216.5 a	227.5 a
6 ddi	11.7 b	29.9 a	0.033 b	0.189 a	345.8 a	167.1 b	219.9 a	208.3 a	12.9 b *	32.8 a	0.037 b	0.224 a	331.8 a	147.0 b	222.5 a	234.1 a
Media	11.6 b	29.8 a	0.033 b	0.180 a	340.3 a	175.5 b	210.1 a	217.2 a	11.9 b	31.4 a	0.034 b	0.204 a	339.2 a	159.3 b	214.9 a	234.4 a
Controle	10.7 b	30.5 a	0.031 b	0.208 a	344.2 a	161.5 b	216.6 a	215.0 a	10.7 b	30.5 a	0.031 b	0.208 a	344.2 a	161.5 b	216.6 a	215.0 a

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5% de significância. Medias seguidas de * na coluna apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

Tabela 28 – Comparação de médias das estações chuvosa e seca das variáveis Potencial hídrico da folha na madrugada (PHm) (MPa), Potencial hídrico da folha no meio dia (PhT) (MPa), Teor de prolina livre (PL) ($\mu\text{mol/g}^{-1}$ de massa seca), Taxa de fixação de frutos (TFf) (%), Número de flores por planta (NFp), Acúmulo de massa seca dos frutos (MSf) (g planta^{-1}), Atividade da Superóxido dismutase (SOD) ($\mu\text{mol AsA/mg proteína/min}$) e Produtividade total de frutos (Prod) (t ha^{-1}); em folhas de tomateiro cv. 'Vivacy' tratado ou não tratado com L-prolina nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob frequência de 7 dias, em doses de 100 e 150 mg L^{-1} .

DOSE 100																
	PHm		PhT		PL		TFf		NFp		MSf		SOD		Prod	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
1ddi	-0.24 a	-0.21 a	-0.69 a	-0.67 a	0.020 a	0.012 b *	65.6 b	91.2 a *	41.0 b	76.9 a	90.0 b	173.2 a	8.8 a *	8.2 a *	113.2 b	160.9 a
3 ddi	-0.25 a	-0.19 b	-0.69 a	-0.70 a	0.020 a	0.010 b	56.7b	95.2 b	43.6 b	76.3 b	99.5 b	163.1 a	5.3 a	7.0 a *	104.9 b	173.2 a
6 ddi	-0.24 a	-0.19 a	-0.75 a	-0.59 b *	0.014 a	0.010 a	63.7 b	95.4 a	50.7 b	88.2 a *	80.7 b	184.0 a	4.0 a	5.8 a *	145.6 a *	199.5 a
Media	-0.24 a	-0.20 b *	-0.71 a	-0.65 a *	0.018 a	0.011 b *	62.0 b	94 a	45.1 b	80.4 a	90.0 b	173.5 a	6.0 b *	7.07 a *	121.2 b	177.8 a
Controle	-0.27 b	-0.23 a	-0.76 a	-0.72 a	0.016 a	0.007 b	56.0 b	94.5 a	40.1 b	77.8 a	93.0 b	186.2 a	3.63 b	10.7 a	103.9 b	164.8 a
DOSE 150																
	PHm		PhT		PL		TFf		NFp		MSf		SOD		Prod	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
1ddi	-0.26 a	-0.18 b	-0.70 b	-0.82 a	0.016 a	0.015 a *	60.6 a	95.5 a	45.0 b	74.5 a	87.2 b	166.7 a	5.2 a	6.2 a *	129.0 b	161.6 a
3 ddi	-0.27 a	-0.20 b	-0.69 a	-0.65 a	0.015 a	0.012 a *	56.4 b	92.1 a *	42.6 b	77.7 a	91.2 b	141.8 a *	6.2 a *	7.2 a *	113.0 b	165.2 a
6 ddi	-0.26 a	-0.19 b	-0.68 a	-0.67 a	0.015 a	0.010 a	60.3 b	92.8 a	42.6 b	76.8 a	83.0 b	168.8 a	6.8 a *	6.8 a *	114.6 b	174.7 a
Media	-0.26 a	-0.19 b *	-0.69 a	-0.71 a	0.015 a	0.012 b *	59.1 b	93.5 a	43.4 b	76.3 a	87.1 b	159.1 a *	6.0 a *	6.7 a *	118.9 b	167.2 a
Controle	-0.27 b	-0.23 a	-0.76 a	-0.72 a	0.016 a	0.007 b	56.0 b	94.5 a	40.2 b	77.8 a	93.0 b	186.2 a	3.63 b	10.7 a	103.9 b	164.8 a

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5% de significância. Médias seguidas de * na coluna apresentam diferença em relação ao controle pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

4.15. Análise de componentes principais

Foi realizada a análise de componentes principais (PCA) como mostram os resultados apresentados na tabela 29, para os experimentos das estações chuvosa e seca, respectivamente. A PCA é um poderoso e popular método de análise de grande quantidade de dados, feito objetivando reduzir a sua dimensionalidade com uma perda mínima de informação (HOLUBOVA, 2023; KANG et al., 2023); simplificando o número de variáveis em um número menor de componentes independentes (HOLUBOVA, 2023).

A PCA neste estudo diminuiu a ampla dimensionalidade dos dados ao estabelecer grupos diferenciados de variáveis biométricas, fisiológicas e metabólicas que coincidem com as correlações observadas.

Na tabela 29 são apresentados 2 componentes de variáveis, das quais os dois primeiros componentes principais foram importantes para a discriminação dos tratamentos, conseguindo explicar grande parte da variância total observada. Desse modo, os dois primeiros componentes integram em grande medida as principais inferências derivadas dos resultados.

Pode se destacar que na estação chuvosa as variáveis Prod, EUA, A_N , CEi, Tff, NFp foram importantes para o componente principal 1, e PhT junto a PL para o componente principal 2; sendo que ambos explicaram o 73,4% da variação total observada no estudo. Quanto a estação seca, a Prod, EUA, CEi, PHm, PhT, NFp, MSf, Ar, As e SOD foram as principais variáveis que tiveram maior contribuição à variância dos dois componentes principais que explicaram o 57,7% da variação total observada (tabela 29).

Na figura 8 a e 8 b, o gráfico da análise PCA para as duas estações, identifica o nível de participação das variáveis na variância de cada componente principal, e também a significância dos tratamentos em relação às variáveis. Assim foi observado que na estação chuvosa, o grupo de variáveis NFp, EUA, A_N e Prod tiveram uma alta participação no componente principal 1. Estas variáveis e ao estarem próximas do eixo positivo X tiveram uma relação de aumento no tratamento 6D-P100 posicionado no primeiro quadrante; e da mesma forma foram observados valores mais baixos de Tff quanto a 3D-P150, e de Prod e EUA quanto a 3D-P100 e 3D-P150 (figura 8 a). Quanto a variáveis com alta participação no componente principal 2, observou-se que a PL mostrou valores mais altos nos tratamentos 3D-P100 e 1D-P100, e também os incrementos expressivos de atividade da SOD foram refletidos pela sua relação com o tratamento 1D-P100 no quarto quadrante (figura 8 a).

Da mesma forma pode se destacar que na estação seca (figura 8 b) as variáveis do componente principal 1, quanto ao tratamento 6D-P100, Prod, NFp, EUA, CoPa e CEi mostraram aumentos; ao mesmo tempo que valores mais baixos de Ci, *gs* e de PhT (menos negativos), neste mesmo tratamento. Também se observou que o tratamento 1D-P100 se relacionou com valores maiores de Ci, *gs* e PhT.

Quanto ao componente principal 2, foi observado um aumento do controle na atividade da SOD e PHm (valores menos negativos) e valores maiores de MSf e Cof em 1D-P100 e 6D-P100. Assim, a projeção gráfica da análise PCA das duas estações (figura 8 a, b) ajuda a complementar a visualização e interpretação dos resultados, inferindo sobre a diferenciação dos tratamentos de acordo com a contribuição das variáveis importantes para cada componente principal e a relação destas com cada tratamento (figura 8 b).

Tabela 29 - Estimativas dos valores próprios, percentagem da variância explicada e acumulada das análises de componentes principais (PCA) para as características biométricas, fisiológicas e metabólicas em tomateiro tratado e não tratado com L-prolina - Estações chuvosa e seca.

	Componente principal			
	Estação chuvosa		Estação seca	
	<u>PC1</u>	<u>PC2</u>	<u>PC1</u>	<u>PC2</u>
Valores próprios	5.2	3.6	5.6	4.8
Variância explicada (%)	43.0	30.4	31.0	26.7
Variância Acumulada (%)	43.0	73.4	31.00	57.74
<u>Variáveis</u>				
Prod (t ha ⁻¹)	0.79	0.53	0.84	0.14
EUA (kg m ⁻³)	0.79	0.53	0.84	0.14
A _N (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	0.82	0.25	0.41	-0.80
CEi (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	0.76	-0.17	0.70	0.29
Ci (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	-0.56	0.58	-0.65	0.07
g _s (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	-0.60	0.58	-0.64	-0.16
PHm (MPa)	-0.50	0.37	-0.29	0.86
PhT (MPa)	0.10	0.81	-0.74	-0.17
TFf (%)	0.93	-0.25	0.02	0.09
NFp	0.66	0.55	0.82	0.40
PL (μmol/g ⁻¹ de massa seca)	-0.18	-0.83	0.00	-0.67
MSf (g planta ⁻¹)			0.05	0.76
mSpa (g planta ⁻¹)			0.58	0.48
Cof (g planta ⁻¹)	-	-	0.09	0.65
CoPa (g planta ⁻¹)	-	-	0.35	0.08
Ar (mg/ml de amostra)	-	-	0.75	-0.11
As (mg/ml de amostra)	-	-	-0.32	0.82
SOD (μmol AsA/mg proteína/min)			-0.49	0.85

Análise de componentes principais (PCA) segundo teste ($p < 0,05$) no experimento de tomateiro cv, 'Vivacy' tratado com aminoácido L-prolina em doses de 100 e 150 mg L⁻¹ nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias. Produtividade total de frutos (Prod), Eficiência produtiva no uso da água (EUA), Taxa fotossintética líquida (A_N), Eficiência de carboxilação instantânea (CEi), Carbono interno (Ci), Condutância estomática (g_s), Potencial hídrico da folha na madrugada (PHm), Potencial hídrico da folha na tarde (PhT), Taxa de fixação de frutos (TFf), Número de flores por planta (NFp), Acúmulo de massa seca de frutos (MSf), Acumulo de massa seca da parte aérea (mSpa), Teor de carbono orgânico de frutos (Cof), Teor de carbono orgânico da parte aérea (CoPa), Açúcares redutores foliares (Ar), Açúcares solúveis foliares (As), Teor de prolina livre (PL), Atividade da Superóxido dismutase (SOD).

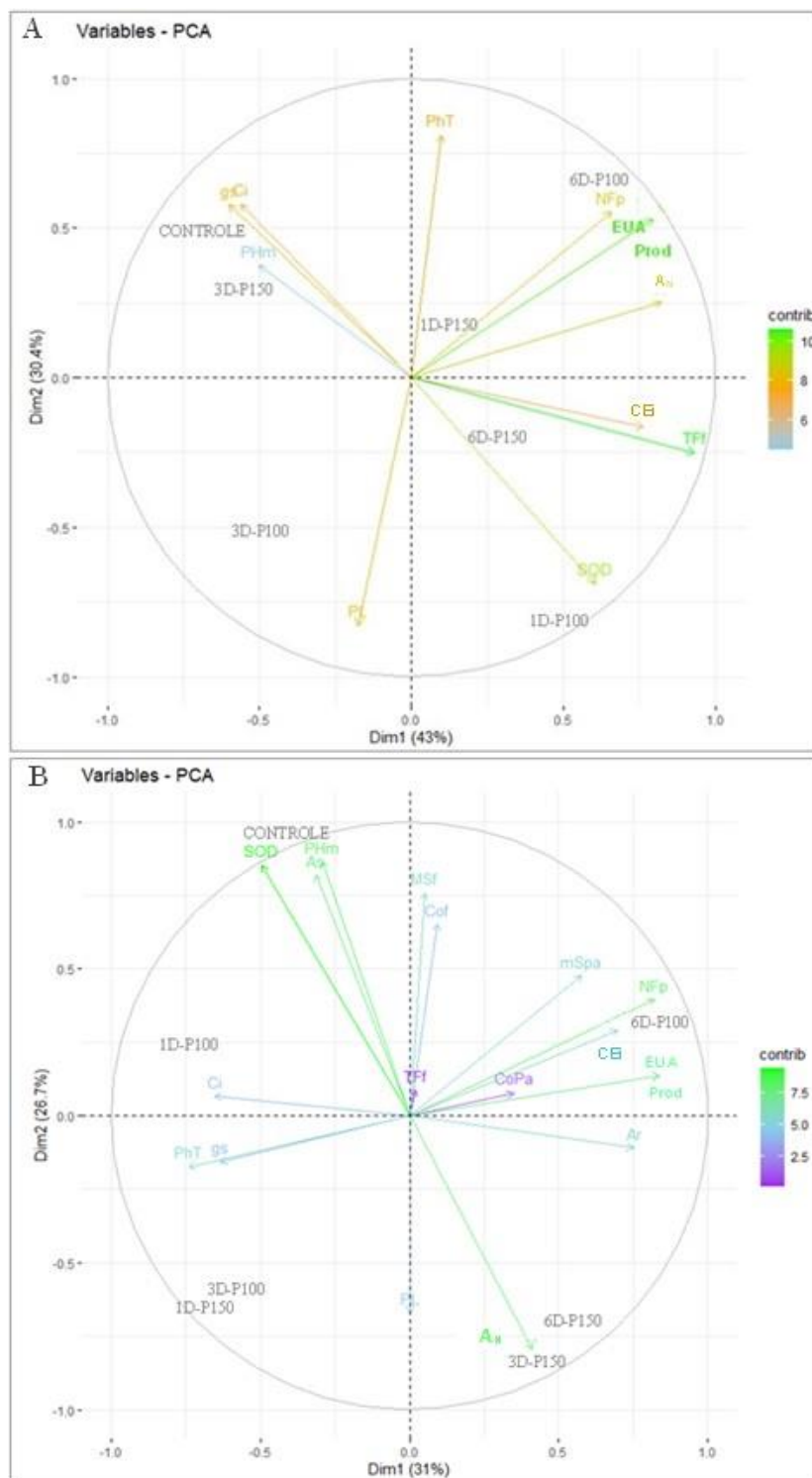


Figura 8 - Gráfico de componentes principais (PCA) segundo teste ($p < 0,05$) em tomateiro cv, 'Vivacy' tratado com aminoácido L-prolina em doses de 100 e 150 mg L⁻¹ nos dias 1, 3 e 6 após a irrigação, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, nas estações chuvosa (A) e seca (B). Produtividade total de frutos (Prod), Eficiência produtiva no uso da água (EUA), Taxa fotossintética líquida (A_N), Eficiência de carboxilação instantânea (CEi), Carbono interno (Ci), Condutância estomática (gs), Potencial hídrico da folha na madrugada (PHm), Potencial hídrico da folha na tarde (PhT), Taxa de fixação de frutos (Tff), Número de flores por planta (NFp), Acúmulo de massa seca de frutos (MSf), Acumulo de massa seca da parte aérea (mSpa), Teor de carbono orgânico de frutos (Cof), Teor de carbono orgânico da parte aérea (CoPa), Açúcares redutores foliares (Ar), Açúcares solúveis foliares (As), Teor de prolina livre (PL), Atividade da Superóxido dismutase (SOD).

5. DISCUSSÃO

O sistema de agricultura utilizado neste trabalho envolveu uma frequência de irrigação e adubação de 7 dias, correção com calagem, gessagem, fosfatagem em superfície e em profundidade, junto ao arranjo de plantas para garantir um equilíbrio adequado no DPV. Isto incide em uma resposta de maior desenvolvimento radicular, para garantir a adequada oferta de água, nutrientes e CO₂ demandados pela planta (ALMEIDA et al., 2017; DELAZARI, 2018; FARA et al., 2019; JORGE, 2019). Portanto, as aplicações foliares de L-prolina desta pesquisa visaram aprimorar processos associados à osmorregulação e outros parâmetros agrônômicos, fisiológicos e metabólicos de importância.

A prolina como aminoácido, possui efeitos funcionais ao servir de substrato para compostos de importância metabólica, como enzimas e antioxidantes (TAIZ; ZEIGER, 2006). Neste contexto, a prolina não teve efeitos sobre a AF, no entanto, os maiores valores foram observados na época chuvosa em relação à época seca, podendo estar relacionado à expansão celular causada pela maior disponibilidade de água no solo, uma vez que a restrição ou maior disponibilidade hídrica aumenta ou diminui o tamanho das células, promovendo incrementos ou diminuições de AF (CHEN et al., 2022). No entanto, evidências apontam a que em tomateiro nem a produção de fotoassimilados, nem a produtividade de frutos são afetadas por um excedente nesta variável (ASLANI et al., 2020).

Por outro lado, quanto à produção de flores, constatou-se que a utilização de prolina aplicada via foliar 6 dias depois da irrigação na dose de 100 mg L⁻¹ (tratamento 6D-P100) coincidiu com um aumento no número de flores por planta. Deste modo o aporte de prolina beneficiou a produção flores, considerando, principalmente as aplicações durante os estádios de florescimento aos 30 e 60 DAT. A prolina pode constituir até 70% dos aminoácidos livres nos grãos de pólen (BIANCUCCI et al., 2015); pelo qual existe evidência do envolvimento deste aminoácido no desenvolvimento e na fertilidade do grão de pólen (MATTIOLI et al., 2018), onde participa ativamente durante a emissão do tubo polínico; formando uma parte essencial das proteínas PERK5 e PERK12 (BORASSI et al., 2021); e também está relacionado à indução floral em citros (ARIAS-SIBILLOTTE et al., 2019).

Na estação seca, o acúmulo significativo de CoPa encontrado em aplicações de prolina 1D-P100 e 6D-P100, equivalem a 24 % e 18,2 % a mais, respectivamente, em relação ao controle (tabela 5). O aumento do tratamento 6D-P100 quanto ao CoPa esteve de acordo com

o aumento observado no NFp (tabela 3, figura 8 b). Neste contexto, os aumentos no NFp; determinaram uma alta demanda de fotoassimilados por parte dos frutos, como órgãos dreno forte, que estiveram disponíveis na parte aérea da planta, como carboidratos estruturais, açúcares, etc. Assim, a produção de fotoassimilados, seu transporte, e a demanda dos órgãos dreno, definem a partição de açúcares dentro da planta (OSORIO; RUAN; FERNIE, 2014).

Uma correlação significativa explicou que o tratamento 3D-P150 acumulasse um 23,8% de MSf e 27% de Cof menos do que o controle (tabelas 4 e 5, respectivamente), durante a estação seca. Este tratamento foi diferente do controle e de 3D-P100; o que gera indícios sobre a baixa partição do carbono fixado na fotossíntese para 3D-P150. Efeitos redutores na produção de biomassa fresca também foram encontrados em tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. 'F144') tratados com 1 mM de prolina (115,13 mg L⁻¹) (HEUER, 2003). Embora a concentração utilizada pelos autores mencionados esteja na faixa entre as doses avaliadas neste estudo, é interessante observar que a diminuição significativa de massa seca encontrada nesta pesquisa só ocorreu quando a prolina foi aplicada 3 ddi na dose de 150 mg L⁻¹ de prolina (3D-P150).

Nesse contexto, plantas de tomate cultivadas sob estresse em uma solução nutritiva contendo 135 mM de NaCl + 10 mM de prolina, morreram em 7 dias, segundo as observações de Heuer (2003). Também Gholami Zali; Ehsanzadeh, (2018) reportaram reduções de massa seca acima do solo em alguns genótipos de erva doce (*Foeniculum vulgare* Mill.) tratados com 20 mM (2.302,6 mg L⁻¹) de prolina exógena. Contudo, pode haver indicativos de que determinadas concentrações de prolina possivelmente afetam o acúmulo de biomassa; entre os 150 mg L⁻¹ utilizados neste estudo, e as dosagens de 10 mM e 20 mM (1.151,3 e 2.302,6 mg L⁻¹) utilizadas por Heuer (2003) e Gholami Zali; Ehsanzadeh, (2018) respectivamente. No entanto, estas especulações devem ser respondidas com mais estudos.

Por outro lado, as avaliações do potencial hídrico das folhas (- Ψ_f) forneceram informação interessante sobre o estado hídrico da planta. Valores mais negativos, longe de 1 (menor Ψ_f) expressam maior desidratação (PARKASH; SINGH, 2020), e por tanto, valores menos negativos, mais próximos de 1 (maior Ψ_f) indicam um melhor estado hídrico da planta.

As avaliações de potencial hídrico da estação seca revelaram que houve efeito significativo da interação dos fatores em estudo sobre o PhT nos estádios 1, 2 e 4. No estágio 1 foi importante destacar os valores de PhT de -0,54 e -0,49 MPa em 6D-P100 e 3D-P150, sendo este último significativamente maior do que o controle (tabela 6). No estágio 2, 6D-P100 se destacou com o valor de PhT de -0,30 MPa, junto à média do fator dose de forma no nível de

100 mg L⁻¹, com valor de -0,40 MPa (tabela 6). No estágio 4, estação seca, com as plantas próximas da senescência, os tratamentos 1D-P100 e 6D-P150 mostraram valores de PhT de -0,69 e -0,71 MPa, respectivamente, os que foram significativamente mais altos, quando comparados com o controle (-0,88 MPa) (tabela 7). Os valores menos negativos, que indicam aumentos de $-\Psi_f$ em 6D-P100 (estádios 1 e 2) são condizentes com aumentos significativos mostrados em NFp, o que de fato confirma a alta correlação negativa (cc -0,74) entre PhT e NFp (figura 7).

Adicionalmente, no estágio 2 foi observado que o tratamento 6D-P100, e em geral as aplicações de prolina na dose de 100 mg L⁻¹, mostraram aumentos do $-\Psi_f$ coincidentes no PHm e PhT (tabela 6), em relação ao controle, indicando que a utilização de prolina como sendo um soluto compatível de caráter orgânico, pode beneficiar o estado hídrico da planta; exercendo uma função importante no ajustamento osmótico celular (ASHRAF; FOOLAD, 2007).

Na estação seca, observou-se que no estágio 2, uma alta correlação positiva (cc 0,90) entre SOD e PHm, mostrou que os aumentos significativos observados de PHm com o uso de prolina nos tratamentos 1D-P100, 3D-P100 e 1D-P150 (valores menos negativos em relação ao controle, tabela 6) são condizentes com a atividade significativamente mais baixa da SOD, indicados pelos valores menores em relação ao controle observados em todos os tratamentos no horário das 11h (tabela 21). Assim, sugere-se que os aumentos de PHm tiveram um efeito benéfico no ajuste osmótico da planta, o que contribuiu a que a atividade da enzima SOD fosse menor.

Os dados de PhT dos tratamentos mostram valores que não ultrapassam -1 MPa; indicando um estado de hidratação que ainda não compromete as funções vitais das plantas. Valores de $-\Psi_f$ ao meio dia dentre -0,2 até cerca de -1,0 MPa são geralmente encontrados em plantas bem hidratadas (TAIZ; ZEIGER, 2004); e só em alguns casos, como em tomates cherry, valores próximos de -1,0 MPa podem afetar a produtividade e seus componentes (COYAGO-CRUZ et al., 2019). Nesse sentido, a faixa entre -0,80 MPa e -1,0 MPa pode ser considerada adequada como limite de $-\Psi_f$ ao meio dia (PhT) em que podem iniciar os sintomas do estresse hídrico (ALOMARI-MHEIDAT et al., 2024).

Na análise das médias dos 4 estádios fenológicos observados na tabela 8, verificou-se que a aplicação de prolina 6 ddi principalmente na dose de 100 mg L⁻¹, aumentou o PhT a valores menos negativos aproximados de -0,6 MPa, maiores do que o controle sem prolina;

promovendo e melhorando condições intrínsecas benéficas na regulação osmótica da planta, e incidindo no incremento da capacidade e eficiência na fixação de carbono.

A prolina desempenha um papel importante como soluto compatível, principalmente diminuindo o potencial osmótico e aumentando o potencial hídrico da célula, ajudando na manutenção do turgor celular (JOSEPH; RADHAKRISHNAN; MOHANAN, 2015; KAUR; ASTHIR, 2015). Assim, as aplicações de L-prolina 6 ddi, sob uma frequência de irrigação de 7 dias, nas doses de 100 e 150 mg L⁻¹ podem ser benéficas para a melhora do estado hídrico da cultura do tomateiro, e outros aspectos importantes.

Os aumentos do NFp observados em 6D-P100 pode ser atribuído a dois efeitos independentes ocorridos em função da prolina. O primeiro, como mencionado, indica uma melhora do NFp baseada na importância da prolina no desenvolvimento e fertilidade do pólen (BIANCUCCI et al., 2015; MATTIOLI et al., 2018) e o segundo, refere-se ao efeito osmorregulador da prolina em função dos resultados encontrados no $-\Psi_f$, sustentado pela alta correlação negativa (cc -0.74) encontrada entre PhT e NFp (figura 7).

Os resultados da atividade da SOD (tabela 21), revelam que na estação chuvosa em todos os horários, a atividade da SOD aumentou no tratamento 1D-P100, e igualmente às 14h em ambas doses (figura 8 a). Já na estação seca foi menor em todos os tratamentos as 11 h, em relação ao controle. Aparentemente os mecanismos por meio dos quais a planta regulou a atividade da SOD com aplicações de prolina nas doses de 100 e 150 mg L⁻¹ diferiram em função da estação em que foi avaliada, pois na estação chuvosa o aumento geral nos tratamentos ocorreu às 11 h e as 14 h, em que normalmente ocorrem condições de alta irradiância e aumentos de temperatura. Estas condições podem aumentar os níveis de estresse nas plantas, ao induzir o excesso de elétrons nos fotosistemas, e conseqüentemente uma maior geração de radicais superóxido (DIDARAN et al., 2024; MATHUR; AGRAWAL; JAJOO, 2014), dando como resultado um aumento na atividade da SOD, que nas plantas tratadas pode ter sido beneficiada pela presença de prolina exógena no citosol. Assim, a prolina colabora com a manutenção da integridade de proteínas durante o estresse térmico e na estabilização das enzimas redox sob estresse oxidativo (LIANG et al., 2013).

De forma contrária à época chuvosa, foram observados indícios de que a prolina exógena pode reduzir a atividade desta enzima em condições de estresse hídrico leve em época seca, considerando as medias dos valores deste estudo; devido a que a atividade mais baixa da SOD coincidiu com valores médios maiores de PL observados na estação seca, quando ambas

variáveis foram comparadas com o controle, principalmente no horário das 11h, em que as condições do ambiente podem provocar um maior nível de estresse nas plantas (tabela 18). Resultados similares foram observados em folhas de *Vitis vinifera* submetidas a estresse por H₂O₂, em que o tratamento com H₂O₂ sem prolina aumentou a atividade da SOD e CAT; e pelo contrário, com o uso de 20 mM de prolina observou-se uma diminuição da atividade destas enzimas (OZDEN; DEMIREL; KAHRAMAN, 2009).

A prolina também exerce uma função como “scavenger” de espécies reativas de oxigênio. Sob condições de estresse, aumenta a atividade das enzimas antioxidantes como a APX, POD, CAT e SOD, em que a SOD é a primeira em agir no processo de desintoxicação de ROS (OZDEN; DEMIREL; KAHRAMAN, 2009) ao catalisar a extinção de radicais superóxido a peróxido de hidrogênio e oxigênio (BARBOSA et al., 2014; IQBAL, 2018). Assim, a prolina também exerce também uma ação protetora contra o estresse oxidativo (KAVI KISHOR et al., 2022; LIANG et al., 2013). Neste contexto, a prolina exógena tem um rol fisiológico de importância mediante a redução de espécies reativas de oxigênio, visto que contribuí com a extinção de íons superóxido e oxigênio singleto (ASWANI et al., 2019; REHMAN et al., 2021) nos cloroplastos, especificamente nas membranas do tilacoide (KAVI KISHOR et al., 2022). Assim, o presente estudo sugere que a atividade antioxidante da SOD foi atenuada por colaboração da prolina exógena mediante a extinção de ROS na estação seca, uma vez que seu papel de scavenger não enzimático e sua presença a mais no citoplasma, poderia reduzir a necessidade de uma atividade mais elevada da SOD.

Sob condições adversas em plantas, uma correlação positiva entre os níveis de prolina endógenos e a tolerância ao estresse é bem conhecida (ASHRAF; FOOLAD, 2007; MEENA et al., 2019; REHMAN et al., 2021); no entanto, com o uso de prolina exógena parece haver uma resposta diferenciada, segundo mostram os resultados deste trabalho.

No presente estudo, pode-se supor que os maiores teores de prolina livre nos tratamentos, melhorou o balanço osmótico nas folhas, reduzindo os níveis de espécies reativas de oxigênio, e conseqüentemente da atividade da enzima SOD na estação seca. A prolina pode melhorar a hidratação da planta ao promover o influxo, e diminuir o efluxo de água nas células (HOSSAIN et al., 2019).

Além do balanço osmótico celular, a prolina exógena protege contra a desnaturação de proteínas e beneficia sua estabilização através da interação com fosfolipídios (CLAUSSEN,

2005), servindo como um mecanismo que evita o vazamento de eletrólitos, normalizando assim os níveis de ROS (KAUR; ASTHIR, 2015).

Por outro lado, na estação seca, a maior concentração de PL observada de forma geral, e significativa no tratamento 1D-P100 esteve acompanhada de altos teores de CoPa, sendo superior ao controle, e sustentado pela correlação positiva moderada, observada entre PL e CoPa (cc 0.59) (tabelas 5 e 18). Uma correlação similar, entre altos níveis de prolina e de ganhos na massa seca também foi relatada em arroz (WU et al., 2003) e em erva doce (GHOLAMI ZALI; EHSANZADEH, 2018), dentre outros efeitos que tem sido associados à capacidade de regulação osmótica atribuídos à prolina (MEENA et al., 2019).

Em adição, os aumentos de CoPa sugerem um aumento de açúcares totais, pois estes também formam parte de todo o carbono assimilado na parte aérea da planta. Açúcares como a glicose, frutose e sacarose atuam ativamente na regulação osmótica celular (SADDHE; MANUKA; PENNA, 2021), especialmente a sacarose, por ser o principal açúcar no transporte a longa distância (WANG; WU, 2023) para os drenos fortes como flores e frutos.

Os Ar mostraram altos valores às 8h, sendo as duas doses e o tratamento com prolina aplicada 6 ddi significativamente maiores do que o controle. Similarmente o tratamento com prolina 1ddi e 6 ddi às 11 h foram significativamente maiores do que o controle (tabela 19). Ao mesmo tempo a interação *doses x dias de aplicação* mostrou que os tratamentos 1D-P100 e 6D-P100 tiveram um alto acúmulo de CoPa, embora só 1D-P100 foi diferente do controle (tabela 5). Assim, em termos gerais, com aplicações de prolina 1 e 6 ddi obteve-se altos conteúdos de açúcares redutores foliares e carbono orgânico da parte aérea às 8 h e 11 h.

Nos horários das 8 h, 11 h e 14 h o tratamento com prolina 6 ddi apresentou valores de Ar significativamente superiores aos do controle, e um valor mais alto as 16h (tabela 19). Estes resultados sugerem que os altos conteúdos de Ar ao longo do dia, nas plantas tratadas com prolina 6 ddi, podem ter refletido em um saldo de carbono disponível para os órgãos dreno, como raízes, caules, flores e frutos.

Os aumentos dos açúcares redutores foliares observados às 8h nas duas doses e no tratamento com prolina 6 ddi, e às 11h nos tratamentos 1 ddi e 6 ddi, antecederam aos aumentos significativos observados nos açúcares solúveis às 14h, em todos os tratamentos, excetuando a 3D-P150. Pode se supor que para a síntese de As no horário das 14 h, foram usados como substrato os açúcares redutores encontrados às 8 h e 11 h, provenientes dos cloroplastos para o citosol; oferecendo indícios de que com o uso de prolina a acumulação de açúcares redutores

foi significativamente aumentada no horário antes do meio dia, e os As depois do meio dia; servindo estes como fontes de carbono necessário para a partição de fotoassimilados.

Um dos açúcares solúveis mais importantes como açúcar primário transportado no floema das plantas é a sacarose (BHATLA; A. LAL, 2018; STEIN; GRANOT, 2019), como produto final da assimilação líquida de CO₂, é de grande importância para a partição de carbono para os órgãos dreno (TAIZ et al., 2017).

Em relação às trocas gasosas, houve uma alta correlação negativa (cc -0,87) entre o carbono interno (Ci) e a eficiência de carboxilação instantânea (CEi), sendo significativa na estação seca (cc -0,91). Atribui-se as reduções no conteúdo do carbono interno às observações paralelas de aumento na CEi; de modo que a diminuição do Ci é derivada de sua fixação nos sítios de carboxilação no estroma dos cloroplastos. Através do poro estomático é difundido o CO₂ da atmosfera para o meio intercelular (SAMPAIO, 2010). Assim, este carbono intercelular (Ci) proveniente da atmosfera é um insumo importante para a produção de fotoassimilados (MORATIEL et al., 2023).

O efeito que descreve a correlação inversa entre CEi e o Ci, com valores significativamente contrastantes aos do controle, foram observados no estádio 1, estação chuvosa (tabela 10). O tratamento 1D-P100 teve uma CEi superior ao controle no horário das 8h; ao mesmo tempo que houveram valores de Ci menores em 1D-P100 em relação a 3D-P100 e 6D-P100. Da mesma forma no horário das 12h foi observada maior CEi em 6D-P100 em relação ao controle, e menor Ci em 6D-P100 e 1D-P100. As reduções de Ci em 1D-P100 dentro dos horários mencionados resultaram em uma média diária mais baixa do que o controle (tabela 10).

Também no estádio 3, na estação seca, a CEi de 6D-P100 às 12h foi a mais baixa, e as 15h a mais alta em relação ao controle em cada horário; e de forma paralela o Ci em 6D-P100 às 12h teve valores mais altos, e mais baixos no horário das 15h, comparado com os demais tratamentos e com o controle em ambos horários (tabela 17). Desta forma, se observou que estas reduções de Ci decorreram de incrementos na CEi; já que o processo de carboxilação do carbono intercelular procedente da atmosfera, que inicia no ciclo de Calvin-Benson, é realizado pela enzima RUBISCO, seguida pela fase de redução na qual é gerado como composto de interesse o gliceraldeído 3-fosfato (PGAL) usado para a síntese de açúcares e outros compostos, e na terceira fase para a própria regeneração da ribulose 1,5-bifosfato (RuBP) (BHATLA; A. LAL, 2018; OSORIO; RUAN; FERNIE, 2014; TAIZ et al., 2017).

Por outro lado, nas trocas gasosas, estágio 2, estação chuvosa, horário das 15h a A_N foi mais baixa nos tratamentos 3D-P100, 3D-P150 e 6D-P100; ao mesmo tempo que a média de CEi às 15 h também foi mais baixa do que o controle. No entanto, a média diária para as duas doses (média dos 3 horários) não revelou diferenças significativas com o controle (tabela 13).

Quanto ao estágio 2 da estação seca, o tratamento 6D-P150 se destacou por ter a g_s de 19,8 % mais alta do que no controle. Similarmente a atividade fotossintética líquida desse mesmo tratamento aumentou 15,2% a mais do que o controle. Apesar de não haver diferença estatística significativa com o controle em A_N (tabela 14), esse aumento da g_s e A_N no tratamento 6D-P150 pode ter incidido em benefício da produtividade, embora não foi significativamente diferente do controle quanto à fotossíntese líquida pra este tratamento.

No estágio 3 da estação chuvosa, o aumento de A_N no tratamento 6D-P150 foi 38% superior ao controle às 15h, e 20,5% superior ao controle na média geral para esse tratamento (tabela 16). Estes aumentos observados em A_N são concomitantes com os aumentos encontrados nos açúcares redutores nas plantas tratadas com prolina 6 ddi às 8 h, 11 h e 14 h, com ambas doses às 8 h e com a dose de 150 mg L⁻¹ às 11h (tabela 19); também nos açúcares solúveis, em que todos os tratamentos mostraram um destacado aumento no horário das 14h (tabela 20).

As aplicações de prolina no tratamento 6D-P150 que resultou em aumentos da g_s e A_N no estágio 2 da estação seca, junto aos aumentos em A_N no estágio 3 da estação chuvosa são apoiados pelas correlações encontradas em relação a estas variáveis. Na estação chuvosa, A_N se correlacionou positivamente com a CEi (cc 0,89); e na estação seca, o PHm menos negativo (valores maiores) estiveram correlacionados com aumentos em A_N . Na estação seca os valores de PHm em ambas doses, e de PhT no tratamento 6D-P100 foram significativamente mais altos (tabela 8).

Um $-\Psi_f$ que possa indicar um bom estado de hidratação da planta é importante para garantir a ocorrência dos diferentes processos fisiológicos; pois a água é fundamental e representa um insumo de importância vital. Nesse sentido, é do status hídrico da planta que dependem mecanismos de importância como a abertura estomática; que providencia a via para a regulação da temperatura e absorção de nutrientes, ambas decorrentes do processo de transpiração; e ao mesmo tempo para o influxo difusivo estomático de CO₂ atmosférico, e também para o processo fotossintético que resulta na produção de fotoassimilados (BHATLA; A. LAL, 2018).

O mecanismo do efeito osmorregulador da prolina envolve o aumento do influxo de água nas células, o que aumenta o status hídrico foliar, a eficiência do uso da água (ZOUARI et al., 2019), e a taxa fotossintética líquida (HAYAT et al., 2012). Este mecanismo de ação promove a diminuição do potencial osmótico aumentando o potencial hídrico e por conseguinte a manutenção do turgor celular (IQBAL, 2018).

Ao ser promovida a turgescência celular nas células-guarda das folhas, o resultado é a abertura do poro estomático. Assim, o aumento da condutância estomática observado em 6D-P150 é uma consequência do efeito osmorregulador da prolina; pois a prolina diminui o potencial osmótico aumentando o turgor celular (ASHRAF; FOOLAD, 2007; IQBAL, 2018), que junto ao aumento geral dos açúcares e seu efeito osmorregulador destes, beneficiaram de forma conjunta, parâmetros agrônômicos e fisiológicos de importância.

Por outro lado, quanto aos resultados da comparação das duas estações, quanto às trocas gasosas dos estádios 1 e 2 (tabela 27), pode ser observado que apesar de que a g_s foi maior na estação chuvosa, com uma redução também do C_i ; a fotossíntese líquida permaneceu com valores muito similares nas duas estações; o que foi o resultado de uma eficiência de carboxilação da RUBISCO superior na estação seca, indicando um aparato fotossintético robusto e resiliente a condição ambiental vigente. Isto sugere que o impacto das condições de preparo do solo, adubação, água de irrigação, luz e DPV adequados segundo o manejo de agricultura estômatos abertos, beneficiou maiormente às trocas gasosas sob condições da época seca.

Similarmente no estádio 3, na estação seca, a CE_i foi mais alta, explicando o expressivo aumento em A_N ; embora o C_i foi menor na estação seca, e a g_s não ter sido diferente, o que indica que na estação chuvosa, embora o C_i sendo maior, não estava sendo efetivamente incorporado pela RUBISCO. Esta queda em A_N , mesmo com aumentos de C_i na estação chuvosa e uma g_s sem diferenças entre as estações, indica imparidade bioquímica causada por fatores como irradiância e temperatura, induzindo condições estressantes às quais a planta respondeu de formas distintas segundo a estação, uma vez que na estação chuvosa aparentemente a planta atingiu a maturidade mais rápido, entrando em um estado próximo da senescência de forma antecipada e com a redução na fixação de carbono, em comparação com a estação seca.

Para que a fixação de carbono seja bem sucedida é necessário que ocorram os devidos processos de trocas gasosas, nos quais a condutância estomática de água e CO_2 é um

componente essencial na coordenação da fotossíntese (LAWSON; VON CAEMMERER; BAROLI, 2011; XUE et al., 2021), o que define claramente que aumentos na condutância estomática promovem um maior rendimento das culturas (PRASHAR et al., 2013). Assim, a produção de frutos é beneficiada, uma vez que os processos de produção de fotoassimilados dependentes da regulação hídrica da planta, guardam uma relação estreita com a produtividade (DE SWAEF et al., 2022), que por sua vez é dependente do carbono fixado nas folhas, convertido em sacarose e transportado para os frutos e demais órgãos dreno (KOCH, 2004).

Na tabela 28 as observações de aumentos nas variáveis PHm, PhT, MSf, Tff, NFp e Prod com especial destaque no NFp e Prod para o tratamento 6D-P100 na estação seca, junto aos resultados de trocas gasosas (tabela 29), indicam que o uso de prolina sob o modelo da agricultura estômatos abertos, pode trazer importantes benefícios, principalmente na estação seca.

Em termos de componentes de produtividade; a produtividade total de frutos (Prod) no tratamento 6D-P100 foi de $145,6 \text{ t ha}^{-1}$ e $199,5 \text{ t ha}^{-1}$ na estação chuvosa e seca, respectivamente, e mais alta do que o controle nas duas estações (figura 4). Uma maior eficiência produtiva do uso da água foi observada também no tratamento 6D-P100 na estação chuvosa e seca (figura 5 e 8 a, b), sendo na estação chuvosa de $45,6 \text{ kg m}^{-3}$ e na estação seca de $69,4 \text{ kg m}^{-3}$. Assim, os resultados mostram que a produtividade total de frutos pode ser aumentada em até 40% em época chuvosa, e em 21% na época seca, com uma eficiência produtiva do uso da água também aumentada de 39 a 21 % a mais respectivamente, com aplicações foliares de prolina (tabelas 22 e 23, figuras 4 e 5).

A correlação total positiva entre Prod e EUA, apresentada nas figuras 6 e 7, explica que os aumentos da eficiência produtiva no uso da água observados são decorrentes de importantes incrementos da produtividade.

Três altas correlações são condizentes com estes resultados. Correlações entre a produtividade (Prod) e a eficiência produtiva no uso da água (EUA) (cc 1,0); entre o NFp e a Prod (cc -0,91); e entre o NFp e a EUA (cc 0,91). O aumento no número de flores por planta foi determinante nos incrementos de produtividade com a aplicação de prolina no tratamento 6D-P100 na estação chuvosa (figura 8 a), e com aplicações 6 dias depois da irrigação na estação seca, visto que um maior NFp aumentou a relação fonte-dreno, e com isto uma alta demanda de fotoassimilados nestes tratamentos; o que também pode ser observado na maior produção de

frutos grandes e médios deste tratamento na estação chuvosa, e de maior produção de frutos grandes e pequenos na estação seca (tabela 26).

Neste contexto, a produtividade do tomateiro está principalmente regulada pelo número de frutos por planta (ASLANI et al., 2020; RONGA et al., 2019), incidindo em uma alta demanda e transporte de fotoassimilados, e definindo assim a força do dreno, que está estreitamente relacionada à atividade fotossintética (KASCHUK et al., 2010; LEMOINE et al., 2013; YU; LO; HO, 2015).

Estes resultados mostraram que aplicações foliares de L-prolina 6 dias depois da irrigação, na dose de 100 mg L⁻¹ sob uma frequência de irrigação de 7 dias, adotando o modelo de agricultura estômato aberto para altas produtividades e sob as condições do estudo, beneficiam a osmorregulação celular da planta, tendo um excelente potencial para beneficiar processos fisiológicos de importância, atingindo ganhos significativos de produtividade, e apreciáveis aumentos na eficiência produtiva no uso da água.

6. CONCLUSÃO

Sob as condições da agricultura estômatos abertos, e baseado nos resultados:

Este trabalho, por ser dos poucos desenvolvidos totalmente sob condições totais de campo aberto, e durante dois ciclos de cultivo; e ao pretender ajudar a dilucidar os efeitos relacionados à osmorregulação do aminoácido L-prolina aplicado via foliar na cultura do tomate; destaca importantes benefícios observados; uma vez que o uso de prolina 6 dias depois da irrigação na dose de 100 mg L^{-1} , tornou o potencial hídrico ao meio dia menos negativo, aumentou o número de flores por planta, incrementou os açúcares foliares, a produtividade total de frutos e em consequência a eficiência produtiva no uso da água.

Os resultados da atividade da SOD, revelam indícios de que a prolina exógena pode reduzir a atividade desta enzima em condições de estresse hídrico leve em época seca. O que sugere a incógnita sob cenários em níveis de estresse maiores, ou com doses maiores.

Sugerem-se pesquisas sobre os mecanismos fisiológicos subjacentes do efeito observado no aumento na produção de açúcares foliares e na partição destes para os órgãos drenos fortes como flores e frutos.

As respostas da cultura do tomate à prolina exógena estão mais relacionadas a condições de seca (potencialmente estressantes) do que a condições de chuva, uma vez que na época chuvosa se encontraram menos diferenças nas variáveis analisadas entre os tratamentos, embora com um aumento significativo na produtividade com o uso de 100 mg L^{-1} de prolina aplicados 6 dias depois de irrigar.

Para dilucidar melhor os efeitos da prolina exógena na cultura do tomateiro cultivado em condições de campo, mais pesquisas devem ser desenvolvidas, conferindo uma maior faixa de doses, e também considerando mais momentos de aplicação em função de um intervalo de irrigação maior.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, M. Y. et al. Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. **Foods**, v. 10, n. 1, 2021.

ALLEN, R. G. et al. **Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage. Paper 56FAO Irrigation and Drainage Paper**Rome, 1998. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>>

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. **Irrigation Science**, v. 28, n. 1, p. 17–34, 2009.

ALMEIDA, V. et al. Sistema Viçosa para o cultivo de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. May 2016, p. 238–243, 2015.

ALMEIDA, V. S. et al. Optimizing yields in tomato cultivation: maximizing tomato plant use of resources. In: **Achieving sustainable cultivation of tomatoes**. [s.l: s.n.]. p. 23–40.

ALOMARI-MHEIDAT, M. et al. Moderate Water Stress Impact on Yield Components of Greenhouse Tomatoes in Relation to Plant Water Status. **Plants**, v. 13, n. 1, 2024.

ALSCHER, R. G.; ERTURK, N.; S., H. L. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 372, p. 1331–1341, 2002.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2013.

AMAYA-FARFAN, J.; BERTOLDO PACHECO, M. T. AMINO ACIDS | Properties and Occurrence. In: **Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition**. [s.l: s.n.]. p. 181–192.

ARIAS-SIBILLOTTE, M. et al. Leaf proline content and its relation to fruit load and flowering in citrus under field conditions. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 2, p. 0–1, 2019.

ARIM, J. et al. **Tomato Production.Smallholder Horticulture Empowerment & Promotion Project for Local and Up-Scaling (SHEP PLUS)**., 2019. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.jica.go.jp/Resource/project/english/kenya/015/materials/c8h0vm0000f7o8cj-att/materials_26.pdf>

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p. 206–216,

2007.

ASLANI, L. et al. The influence of altered sink-source balance on the plant growth and yield of greenhouse tomato. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 26, n. 11, p. 2109–2123, 2020.

ASWANI, V. et al. Oxidative stress induced in chloroplasts or mitochondria promotes proline accumulation in leaves of pea (*Pisum sativum*): another example of chloroplast-mitochondria interactions. **Protoplasma**, v. 256, n. 2, p. 449–457, 2019.

AZEVEDO, A. M. **Tratamentos.ad: Pacote Para Analise De Experimentos Com Testemunhas Adicionais.**, 2022. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/Tratamentos.ad/index.html>>

BARBOSA, M. R. et al. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciencia Rural**, v. 44, n. 3, p. 453–460, 2014.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205–207, 1973.

BERNI, R. F. et al. **Desempenho Agronômico de Cultivares de Tomateiro Tipo Italiano sob Cultivo em Substrato na Região de Manaus**, AMManaus, 2019. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1109674/1/BP30.pdf>>

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises Químicas e Bioquímicas em Plantas**. UFRPE, Edi ed. Recife: [s.n.].

BHATLA, S. C.; A. LAL, M. **Plant Physiology, Development and Metabolism**. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018.

BIANCUCCI, M. et al. Role of proline and GABA in sexual reproduction of angiosperms. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. september, p. 1–11, 2015.

BORASSI, C. et al. Proline-rich extensin-like receptor kinases PERK5 and PERK12 are involved in pollen tube growth. **FEBS Letters**, v. 595, n. 20, p. 2593–2607, 2021.

CHEN, J. J. et al. Effects of Water Availability on Leaf Trichome Density and Plant Growth and Development of *Shepherdia ×utahensis*. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. May, 2022.

CLAUSSEN, W. Proline as a measure of stress in tomato plants. **Plant Science**, v. 168, n. 1, p. 241–248, 2005.

CLEMENTE, F. M. V. T.; BOITEUX, L. S. **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília: Brasília Embrapa, 2012.

CNA. **PIB do Agronegócio alcança participação de 26,6% no PIB brasileiro em 2020**Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/boletins/pib-do-agronegocio-alcanca-participacao-de-26-6-no-pib-brasileiro-em-2020>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

COYAGO-CRUZ, E. et al. Yield response to regulated deficit irrigation of greenhouse cherry tomatoes. **Agricultural Water Management**, v. 213, n. October 2018, p. 212–221, 2019.

CRANG, R.; LYONS-SOBASKI, S.; WISE, R. **Plant anatomy**. [s.l: s.n.]. v. 278

CUI, J. et al. Yield, quality and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. **Scientia Agricola**, v. 77, n. 2, p. 9, 2020.

DE SOUZA, J. L. **Agricultura Orgânica**. 3. ed. Vitória - ES: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper, 2015.

DE SWAEF, T. et al. On the pivotal role of water potential to model plant physiological processes. **In Silico Plants**, v. 4, n. 1, p. 1–28, 2022.

DELAZARI, F. T. et al. Irrigation water management during the ripening of tomato aiming fruit quality. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 44, p. 4525–4531, 2016.

DELAZARI, F. T. **Respostas ecofisiológicas do tomateiro em função da frequência de irrigação**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2018.

DIDARAN, F. et al. The mechanisms of photoinhibition and repair in plants under high light conditions and interplay with abiotic stressors. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 259, n. April, p. 113004, 2024.

DORAN, L.; DE SOUZA, A. P. **Total Soluble Sugar Quantification from Ethanolic Plant Extracts**, 2021. Disponível em: <<https://www.protocols.io/view/total-soluble-sugar-quantification-from-ethanolic-261genp7og47/v1>>

EMBRAPA, 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 2018.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas princípios e perspectivas**. 2. ed. ed. Londrina: Londrina Editora Planta, 2006.

EVANS, J. R. et al. Resistances along the CO₂ diffusion pathway inside leaves. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 8, p. 2235–2248, 2009.

FAOSTAT. **Agricultural Statistics Database (FAOSTAT)**. **Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura**. Disponível em:

<<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>>. Acesso em: 3 set. 2020.

FARA, S. J. et al. Stomata opening and productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. **Scientia Horticulturae**, v. 255, n. March, p. 86–95, 2019.

FELTRIN, S. **Tomate Vivacy**, 2021. Disponível em: <https://www.sementesfeltrin.com.br/Produto/tomate_vivacy>. Acesso em: 20 nov. 2021

FIALHO, E. S.; SANTOS, L. G. Unidades Mesoclimáticas de Viçosa-MG, na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, n. 18 SE-Artigos, p. 230–258, 24 ago. 2022.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed rev. ed. Viçosa: Viçosa, MG: Editora UFV, 2007.

GHOLAMI ZALI, A.; EHSANZADEH, P. Exogenous proline improves osmoregulation, physiological functions, essential oil, and seed yield of fennel. **Industrial Crops and Products**, v. 111, n. June 2017, p. 133–140, 2018.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant physiology**, v. 59, n. 2, p. 309–14, 1977.

GONÇALVES, C. et al. Adaptation of dinitrosalicylic acid method to microtiter plates. **Analytical Methods**, v. 2, n. 12, p. 2046–2048, 2010.

HASAN, M. R. et al. Groundwater Depletion and its Sustainable Management in Barind Tract of Bangladesh. **Research Journal of Environmental Sciences**, v. 12, n. 5, p. 247–255, 2018.

HAYAT, S. et al. Role of proline under changing environments: A review. **Plant Signaling and Behavior**, v. 7, n. 11, 2012.

HEUER, B. Influencia de la aplicación exógena de prolina y glicina betaína en el crecimiento de plantas de tomate sometidas a estrés salino. **Plant Science**, p. 1–13, 2003.

HOLUBOVA, H. A comparative analysis of the principal component method and parallel analysis in working with official statistical data. **Statistics in Transition New Series**, v. 24, n. 1, p. 199–212, 2023.

HOSSAIN, M. A. et al. **Osmoprotectant-Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants: Recent Advances and Future Perspectives**. Gewerbestrasse: Springer Nature Switzerland AG, 2019.

IBGE. **Produção Agropecuária no Brasil**. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>>. Acesso em: 2 maio. 2024.

ILYAS, M. et al. Drought Tolerance Strategies in Plants: A Mechanistic Approach. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, n. 3, p. 926–944, 2021.

IQBAL, M. J. Role of Osmolytes and Antioxidant Enzymes for Drought Tolerance in Wheat. In: FAHAD, S.; BASIR, A.; ADNAN, M. (Eds.). . Rijeka: IntechOpen, 2018. p. Ch. 3.

JORGE, M. A. **Aprofundamento radicular para a manutenção da abertura estomática no tomateiro**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2019.

JOSEPH, E.; RADHAKRISHNAN, V.; MOHANAN, K. A Study on the Accumulation of Proline - An Osmoprotectant Amino Acid under Salt Stress in Some Native Rice Cultivars of North Kerala, India. **Universal Journal of Agricultural Research**, v. 3, n. 1, p. 15–22, 2015.

KANG, Z. et al. Self-paced principal component analysis. **Pattern Recognition**, v. 142, p. 109692, 2023.

KASCHUK, G. et al. Differences in photosynthetic behaviour and leaf senescence of soybean (*Glycine max* [L .] Merrill) dependent on N₂ fixation or nitrate supply. **Plant Biology**, v. 12, p. 60–69, 2010.

KAUR, G.; ASTHIR, B. Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. **Biologia Plantarum**, v. 59, n. 4, p. 609–619, 2015.

KAVI KISHOR, P. B. et al. Intriguing Role of Proline in Redox Potential Conferring High Temperature Stress Tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. June, p. 1–16, 2022.

KAWABATA, S.; SASAKI, H.; SAKIYAMA, R. Role of transpiration from fruits in phloem transport and fruit growth in tomato fruits. **Physiologia Plantarum**, v. 124, n. 3, p. 371–380, 2005.

KIDO, E. et al. Osmoprotectant-Related Genes in Plants Under Abiotic Stress: Expression Dynamics, In Silico Genome Mapping, and Biotechnology. In: [s.l: s.n.]. p. 1–40.

KOCH, K. Sucrose metabolism: Regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 7, n. 3, p. 235–246, 2004.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T. L. **Plant physiological ecology**. New York: SPRINGER, 2009. v. 46

LAWSON, T.; VON CAEMMERER, S.; BAROLI, I. Photosynthesis and Stomatal

Behaviour BT - Progress in Botany 72. In: LÜTTGE, U. E. et al. (Eds.). . **Progress in Botany 72**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 265–304.

LEITE, R. DA S. et al. Proline and sodium nitroprusside increase the tolerance of *Physalis peruviana* L. plants to water deficit through chemical priming. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 46, 2022.

LEMOINE, R. et al. Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. JUL, p. 1–21, 2013.

LIANG, X. et al. Proline mechanisms of stress survival. **Antioxidants and Redox Signaling**, v. 19, n. 9, p. 998–1011, 2013.

LOMBARDINI, L.; ROSSI, L. Dryland ecohydrology. In: **Dryland Ecohydrology**. [s.l.] 2019 Springer Nature Switzerland AG, 2019. p. 71–100.

LOPES, A. C.; MENEZES, M. C.; ARAÚJO, M. L. O ambiente alimentar e o acesso a frutas e hortaliças: “Uma metrópole em perspectiva”. **Saude e Sociedade**, v. 26, n. 3, p. 764–773, 2017.

MALNOË, A. Photoinhibition or photoprotection of photosynthesis? Update on the (newly termed) sustained quenching component qH. **Environmental and Experimental Botany**, v. 154, n. February, p. 123–133, 2018.

MAMATHA, H. et al. Impact of elevated CO₂ on growth, physiology, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) cv. Arka Ashish. **Photosynthetica**, v. 52, n. 4, p. 519–528, 2014.

MANTOVANI, E. C. et al. Yield and water use efficiency for two sweet potato cultivars depending on irrigation depths. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 602–606, 2013.

MAPA. **Diário oficial da união**, 2018.

MARQUES, D. J. et al. Variation in the dynamic of absorption and efficiency of phosphorus use in tomato. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1–14, 2022.

MATHUR, S.; AGRAWAL, D.; JAJOO, A. Photosynthesis: Response to high temperature stress. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 137, p. 116–126, 2014.

MATTIOLI, R. et al. Proline synthesis in developing microspores is required for pollen development and fertility. **BMC Plant Biology**, v. 18, n. 1, p. 1–15, 2018.

MEDRANO, H. et al. Regulation of photosynthesis of C₃ plants in response to progressive drought: Stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of Botany**, v. 89,

p. 895–905, 2002.

MEENA, M. et al. Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions. **Heliyon**, v. 5, n. 12, p. e02952, 2019.

MINAMI, K.; MELLO, S. DA C. **Fisiologia e nutrição do tomateiro**. Curitiba: Curitiba SENAR AR/PR, 2017.

MORATIEL, R. et al. Net CO₂ assimilation rate response of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) to the interaction between light intensity, spectrum and ambient CO₂ concentration. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, n. December, 2023.

MUKAKA, M. M. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69–71, 2012.

NETTLETON, D. Chapter 6 - Selection of Variables and Factor Derivation. In: NETTLETON, D. B. T.-C. D. M. (Ed.). . **Commercial Data Mining. Processing, Analysis and Modeling for Predictive Analytics Projects**. Boston: Morgan Kaufmann, 2014. p. 79–104.

ONU, O. DAS N. U. **World Population Prospects 2022**. [s.l: s.n.].

OSORIO, S.; RUAN, Y. L.; FERNIE, A. R. An update on source-to-sink carbon partitioning in tomato. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. OCT, p. 1–11, 2014.

OZDEN, M.; DEMIREL, U.; KAHRAMAN, A. Effects of proline on antioxidant system in leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) exposed to oxidative stress by H₂O₂. **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 2, p. 163–168, 2009.

PANDA, D.; MISHRA, S. S.; BEHERA, P. K. Drought Tolerance in Rice: Focus on Recent Mechanisms and Approaches. **Rice Science**, v. 28, n. 2, p. 119–132, 2021.

PARKASH, V.; SINGH, S. A review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 10, 2020.

PEIXOTO, C. P. et al. **Princípios de Fisiologia Vegetal. Teoría e Prática**. Rio de Janeiro: Pod Editora, 2020.

PRASHAR, A. et al. Infra-red Thermography for High Throughput Field Phenotyping in *Solanum tuberosum*. **PLoS ONE**, v. 8, n. 6, p. 1–9, 2013.

REHMAN, A. U. et al. Proline is a quencher of singlet oxygen and superoxide both in *in vitro* systems and isolated thylakoids. **Physiologia plantarum**, v. 172, n. 1, p. 7–18, maio 2021.

RIBEIRO, A. C.; PAULO, GUIMARÃES, P.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação.** [s.l: s.n.].

RONGA, D. et al. Changes in yield components, morphological, physiological and fruit quality traits in processing tomato cultivated in Italy since the 1930's. **Scientia Horticulturae**, v. 257, n. July, p. 108726, 2019.

SADDHE, A. A.; MANUKA, R.; PENNA, S. Plant sugars: Homeostasis and transport under abiotic stress in plants. **Physiologia Plantarum**, v. 171, n. 4, p. 739–755, 2021.

SAMPAIO, E. **Fisiologia vegetal teoria e experimentos.** Ponta Grossa: Editora UEPG, 2010.

SANTIAGO, G. S. **Ciências Biológicas Ciências Biológicas Bioquímica.** 2. ed. Fortaleza - Ceará: [s.n.].

SINGH, S. et al. Proline: A Key Player to Regulate Biotic and Abiotic Stress in Plants BT. In: Towards Sustainable Natural Resources: Monitoring and Managing Ecosystem Biodiversity. In: RANI, M. et al. (Eds.). . Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 333–346.

STEIN, O.; GRANOT, D. An overview of sucrose synthases in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. February, p. 1–14, 2019.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** Porto Alegre: Artmed Editora LTDA., 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiología Vegetal.** Porto Alegre: Porto Alegre Artmed, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology.** 4th. ed. Sunderland, Mass: Sunderland, Mass. Sinauer Associates, 2006.

TONHATI, R. et al. L-proline alleviates heat stress of tomato plants grown under protected environment. **Scientia Horticulturae**, v. 268, n. July 2019, p. 12, 2020.

WANG, Y.-J.; WU, Q.-S. Influence of sugar metabolism on the dialogue between arbuscular mycorrhizal fungi and plants. **Horticulture Advances**, v. 1, n. 1, p. 1–12, 2023.

WU, L. et al. Over-expression of an Arabidopsis δ -OAT gene enhances salt and drought tolerance in transgenic rice. **Chinese Science Bulletin**, v. 48, n. 23, p. 2594–2600, 2003.

XUE, F. et al. 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.

YAN, F.; LI, X.; LIU, F. ABA signaling and stomatal control in tomato plants exposure

to progressive soil drying under ambient and elevated atmospheric CO₂ concentration. **Environmental and Experimental Botany**, v. 139, n. March, p. 99–104, 2017.

YANG, F. et al. Effects of subsurface irrigation types on root distribution, leaf photosynthetic characteristics, and yield of greenhouse tomato. **Scientia Horticulturae**, v. 328, n. October 2023, p. 112883, 2024.

YU, S. M.; LO, S. F.; HO, T. H. D. Source-Sink Communication: Regulated by Hormone, Nutrient, and Stress Cross-Signaling. **Trends in Plant Science**, v. 20, n. 12, p. 844–857, 2015.

ZHANG, X. et al. Root size, distribution and soil water depletion as affected by cultivars and environmental factors. **Field Crops Research**, v. 114, n. 1, p. 75–83, 2009.

ZOUARI, M. et al. Exogenous Proline-Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants: Possible Mechanisms. In: © SPRINGER NATURE SWITZERLAND AG 2019 (Ed.). . **Osmoprotectant-Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants**. [s.l: s.n.]. p. 99–121.

8. APÊNDICES

Apêndice 1: Resumo da análise de variância para as variáveis Taxa fotossintética líquida (A_N), Eficiência de carboxilação instantânea (CEi), Concentração interna de CO_2 (Ci), Condutância estomática (g_s), Potencial hídrico da folha na madrugada (PHm), Potencial hídrico da folha no meio dia (PhT), Índice de clorofila a e b (Ica, Icb). Estação chuvosa. Estádio 1 - inicial, vegetativo.

FV	GL	Quadrados médios									
		A_N	CEi	Ci	g_s	PHm	PhT	Ica	Icb		
Dias	2	0.09529 ^{ns}	0,00004 ^{ns}	413.92376 ^{ns}	6976.2861 ^{ns}	0.00025 ^{ns}	0.03965 ^{**}	2.68408 ^{ns}	0.60792 ^{ns}		
Doses	1	2.24482 ^{ns}	0,00014 ^{ns}	384 ^{ns}	1611.6287 ^{ns}	0.00327 ^{ns}	0.00282 ^{ns}	5.1987 ^{ns}	16.66667 ^{ns}		
Doses x Dias de aplicação	2	4.42845 ^{ns}	0,00003 ^{ns}	199.96321 ^{ns}	4644.9037 ^{ns}	0.00125 ^{ns}	0.00932 ^{ns}	3.13533 ^{ns}	21.63292 ^{ns}		
Controle x comuns	1	0.91819 ^{ns}	0,00014 ^{ns}	1081.1273 ^{**}	6071.6631 ^{ns}	0.00504 ^{ns}	0.02194 ^{ns}	0.50053 ^{ns}	4.60024 ^{ns}		
Bloco	3	4.39561	0,00007	332.65002	7952.7032	0.00565	0.03544	0.33517	15.14417		
Resíduo	18	3.52945	0,00008	211.76447	3999.7174	0.00164	0.01119	2.77812	15.59		
Total	27										
CV%		6.04	9,23	4,56	12.97	21,63	12,03	3,53	17,68		

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Apêndice 2: Resumo da análise de variância para as variáveis Taxa fotossintética líquida (A_N), Eficiência de carboxilação instantânea (CEi), Concentração interna de CO_2 (Ci), Condutância estomática (g_s), Potencial hídrico na madrugada (PHm), Potencial hídrico da folha no meio dia (PhT), Índice de clorofila a e b (Ica, Icb). Estação chuvosa. Estádio 2 - vegetativo, florescimento e enchimento de frutos.

FV	GL	Quadrados médios									
		A_N	CEi	Ci	g_s	PHm	PhT	Ica	Icb		
Dias	2	6.08404 ^{ns}	0.00013 ^{**}	104.625 ^{ns}	222.71343 ^{ns}	0,00009 ^{ns}	0.03116 ^{ns}	0.23883 ^{ns}	0.34292 ^{ns}		
Doses	1	0.06827 ^{ns}	0 ^{ns}	0.07482 ^{ns}	150 ^{ns}	0 ^{ns}	0.01654 ^{ns}	0.3174 ^{ns}	0.00042 ^{ns}		
Doses x Dias de aplicação	2	0.3078 ^{ns}	0,00003 ^{ns}	125.75372 ^{ns}	334.64029 ^{ns}	0.00161 ^{ns}	0.00656 ^{ns}	6.77941 ^{ns}	11.04042 ^{ns}		
Controle x comuns	1	2.58019 ^{ns}	0,00001 ^{ns}	86.65974 ^{ns}	8956.5164 ^{**}	0.00309 ^{ns}	0.01286 ^{ns}	0.36587 ^{ns}	22.3672 ^{ns}		
Bloco	3	17.00668	0,00012	132.22498	42981.898	0.00767	0.04589	2.22585	2.54893		
Resíduo	18	2.20023	0,00004	114.54095	1368.3213	0.00257	0.01229	4.0481	10.70365		
Total	27										
CV%		5,11	7,60	3,08	7,76	24,79	14,93	4,36	19,28		

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Apêndice 3: Resumo da análise de variância para as variáveis Taxa fotossintética líquida (A_N), Eficiência de carboxilação instantânea (CEi), Concentração interna de CO_2 (Ci), Condutância estomática (g_s), Potencial hídrico na madrugada (PHm), Potencial hídrico da folha no meio dia (PhT), Índice de clorofila a e b (Ica, Icb). Estação chuvosa. Estádio 3 - enchimento de frutos e maturação

FV	GL	Quadrados médios									
		A_N	CEi	Ci	g_s	PHm	PhT	Ica	Icb		
Dias	2	1.97818 ^{ns}	0,00001 ^{ns}	10.29858 ^{ns}	455.96176 ^{ns}	0.00166 ^{ns}	0.01202 ^{ns}	0.52792 ^{ns}	9.74042 ^{ns}		
Doses	1	0.451 ^{ns}	0,00001 ^{ns}	6.5417 ^{ns}	140.26335 ^{ns}	0.00015 ^{ns}	0.00304 ^{ns}	0.77042 ^{ns}	2.47042 ^{ns}		
Doses x Dias de aplicação	2	1.5084 ^{ns}	0,00002 ^{ns}	265.43828 ^{ns}	288.15946 ^{ns}	0.00039 ^{ns}	0.0114 ^{ns}	1.69042 ^{ns}	15.42542 ^{ns}		
Controle x comuns	1	3.92231 ^{**}	0,00002 ^{ns}	67.5768 ^{ns}	57.91577 ^{ns}	0.00362 ^{ns}	0.00207 ^{ns}	0.2672 ^{ns}	1.4672 ^{ns}		
Bloco	3	5.5956	0,00003	353.9513	2959.3136	0.0056	0.017	3.17464	1.73845		
Resíduo	18	1.14531	0,00002	103.81839	446.14821	0.00172	0.01384	4.79825	5.77234		
Total	27										
CV%		9,20	11,72	2,99	9,90	18,59	17,65	4,78	13,85		

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Apêndice 4: Resumo da análise de variância para as variáveis Taxa fotossintética líquida (A_N), Eficiência de carboxilação instantânea (CEi), Concentração interna de CO_2 (Ci), Condutância estomática (gs), Potencial hídrico da folha na madrugada (PHm), Potencial hídrico da folha no meio dia (PhT), Índice de clorofila a e b (Ica, Icb). Estação seca. Estádio 1 – inicial, vegetativo.

FV	GL	Quadrados médios									
		A_N	CEi	Ci	gs	PHm	PhT	Ica	Icb		
Dias	2	1.53793 ^{ns}	0.00034 ^{ns}	176.83316 ^{ns}	1306.0259 ^{ns}	0.00281 ^{ns}	0.17671 ^{**}	0.7226 ^{ns}	2.23573 ^{ns}		
Doses	1	48.0251 ^{**}	0.00167 ^{ns}	0.47799 ^{ns}	716.35227 ^{ns}	0.00094 ^{ns}	0.0216 ^{ns}	0.5551 ^{ns}	0.35042 ^{ns}		
Doses x Dias de aplicação	2	5.77043 ^{**}	0.00182 ^{**}	304.15418 ^{ns}	107.41245 ^{ns}	0.00031 ^{ns}	0.09736 ^{**}	1.06573 ^{ns}	0.18135 ^{ns}		
Controle x comuns	1	0.0793 ^{ns}	0,00001 ^{ns}	5.78352 ^{ns}	715.23387 ^{ns}	0.00656 ^{ns}	0.00174 ^{ns}	3.23981 ^{ns}	0.0572 ^{ns}		
Bloco	3	25.65445	0.00165	4192.1916	11361.651	0.00336	0.00959	1.92032	7.66119		
Resíduo	18	6.41678	0.00051	408.29818	1993.8944	0.00225	0.00783	1.13642	3.76716		
Total	27										
CV%		7,72	13,24	9,90	17,44	22,33	12,56	2,25	9,54		

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Apêndice 5: Resumo da análise de variância para as variáveis Taxa fotossintética líquida (A_N), Eficiência de carboxilação instantânea (CEi), Concentração interna de CO_2 (Ci), Condutância estomática (g_s), Potencial hídrico da folha na madrugada (PHm), Potencial hídrico da folha no meio dia (PhT), Índice de clorofila a e b (Ica, Icb). Estação seca. Estádio 2 - vegetativo, florescimento e enchimento de frutos.

FV	GL	Quadrados médios									
		A_N	CEi	Ci	g_s	PHm	PhT	Ica	Icb		
Dias	2	8.84688 ^{ns}	0.00046 ^{ns}	178.10752 ^{ns}	1039.5883 ^{ns}	0.00386 ^{ns}	0.03896 ^{ns}	0.2726 ^{ns}	0.41948 ^{ns}		
Doses	1	0.52215 ^{ns}	0.00094 ^{ns}	318.57307 ^{ns}	251.8776 ^{ns}	0.00465 ^{ns}	0.15408 ^{**}	0.0876 ^{ns}	1.00042 ^{ns}		
Doses x Dias de aplicação	2	14.32804 ^{ns}	0.00354 ^{**}	1510.7025 ^{ns}	396.0282 ^{**}	0.00201 ^{**}	0.02119 ^{**}	0.5251 ^{ns}	0.38635 ^{ns}		
Controle x comuns	1	15.79947 ^{ns}	0,00001 ^{ns}	174.50172 ^{ns}	238.16667 ^{ns}	0.01163 ^{**}	0.04278 ^{**}	0.41501 ^{ns}	0.02381 ^{ns}		
Bloco	3	15.53502	0.00117	887.26968	33.09772	0.00109	0.05745	7.84095	1.4556		
Resíduo	18	10.72555	0.00039	479.47346	251.14788	0.00134	0.01217	0.6688	5.84455		
Total	27										
CV%		12,15	10,52	14,23	8,87	16,70	22,20	1,72	10.62		

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Apêndice 6: Resumo da análise de variância para as variáveis Taxa fotossintética líquida (A_N), Eficiência de carboxilação instantânea (CEi), Concentração interna de CO_2 (Ci), Condutância estomática (g_s), Potencial hídrico da folha na madrugada (PHm), Potencial hídrico da folha no meio dia (PhT), Índice de clorofila a e b (Ica, Icb). Estação seca. Estádio 3 - enchimento de frutos e maturação

FV	GL	Quadrados médios									
		A_N	CEi	Ci	g_s	PHm	PhT	Ica	Icb		
Dias	2	3.46489 ^{ns}	0.00173 ^{**}	1093.4694 ^{**}	709.57363 ^{ns}	0.00128 ^{ns}	0.01766 ^{ns}	1.64667 ^{ns}	0.47792 ^{ns}		
Doses	1	15.71402 ^{ns}	0.00329 ^{**}	1582.1008 ^{**}	1779.687 ^{ns}	0.00211 ^{ns}	0.0014 ^{ns}	0.8626 ^{ns}	0.6501 ^{ns}		
Doses x Dias de aplicação	2	3.10683 ^{ns}	0.00132 ^{**}	545.7745 ^{**}	128.22176 ^{ns}	0.00055 ^{ns}	0,0009 ^{ns}	0.85042 ^{ns}	0.66167 ^{ns}		
Controle x comuns	1	0.02477 ^{ns}	0.00087 ^{ns}	120.26059 ^{ns}	402.35 ^{ns}	0.00358 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	0.24001 ^{ns}	9.93287 ^{ns}		
Bloco	3	6.10028	0,00009	22.18489	6206.5143	0.00252	0.0161	2.02774	0.975		
Resíduo	18	5.48674	0.00041	108.83704	705.41522	0.00145	0.00719	0.64093	2.21056		
Total	27										
CV%		7,64	10,38	6,26	11,84	18,12	11,04	1,71	6,58		

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Apêndice 7: Resumo da análise de variância para as variáveis Potencial hídrico da folha na madrugada (PHm), Potencial hídrico da folha no meio dia (PhT), Índice de clorofila a e b (Ica, Icb). Estações chuvosa e seca. Estádio 4 - maturação e senescência.

FV	GL	Quadrados médios							
		Estação chuvosa				Estação seca			
		PHm	PhT	Ica	Icb	PHm	PhT	Ica	Icb
Dias	2	0.00138 ^{ns}	0.00024 ^{ns}	1.32466 ^{ns}	6.30415 ^{ns}	0.00049 ^{ns}	0.00792 ^{ns}	0.23292 ^{ns}	3.33792 ^{ns}
Doses	1	0.00454 ^{ns}	0.00042 ^{ns}	4.30954 ^{ns}	22.50407 ^{ns}	0.0026 ^{ns}	0.00667 ^{ns}	0.07042 ^{ns}	1.6801 ^{ns}
Doses x Dias de aplicação	2	0.00841 ^{ns}	0.00428 ^{ns}	0.23366 ^{ns}	2.6879 ^{ns}	0.00174 ^{ns}	0.05198 ^{**}	0.90042 ^{ns}	10.99042 ^{ns}
Controle x comuns	1	0.01321 ^{ns}	0.02059 ^{ns}	4.54415 ^{ns}	8.57715 ^{ns}	0,00004 ^{ns}	0.02881 ^{**}	0.00381 ^{ns}	12.56787 ^{ns}
Bloco	3	0.00805	0.00507	2.53803	7.83099	0.00431	0.01057	5.07929	2.1775
Resíduo	18	0.00646	0.00842	2.40542	6.00724	0.00118	0.00664	0.57213	4.70208
Total	27								
CV%		19,63	16,21	3,28	11,07	20,17	10,07	1,57	9,13

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Apêndice 8: Resumo da análise de variância para as variáveis Taxa de fixação de frutos (TFf), Número de flores por planta (NFp), Massa seca dos frutos (MSf), Massa seca da parte aérea (mSpa), Area foliar total (AF), Produtividade total de frutos (Prod), Eficiência produtiva no uso da água (EUA) e Teor de prolina livre (PL). Estação chuvosa.

FV	GL	Quadrados médios									
		TFf	NFp	MSf	mSpa	AF	Prod	EUA	PL		
Dias	2	99.72633 ^{ns}	33.855 ^{ns}	364.5 ^{ns}	475.125 ^{ns}	2792705.2916 ^{ns}	898.28066 ^{ns}	88.1517 ^{ns}	0.00003 ^{ns}		
Doses	1	49.53627 ^{ns}	17.6816 ^{ns}	51.04167 ^{ns}	1148.1666 ^{ns}	7592625.0416 ^{ns}	34.05784 ^{ns}	3.3451 ^{ns}	0.00004 ^{ns}		
Doses x Dias de aplicação	2	11.99253 ^{ns}	73.8716 ^{ns}	55.16667 ^{ns}	903.29167 ^{ns}	9419192.7916 ^{ns}	1258.8110 ^{**}	123.550 ^{**}	0.00002 ^{**}		
Controle x comuns	1	71.736 ^{ns}	55.545 ^{ns}	65.625 ^{ns}	1080.2142 ^{ns}	19136.00595 ^{ns}	897.9900 ^{ns}	88.1311 ^{ns}	0 ^{ns}		
Bloco	3	1510.099	52.505	333.75	820.22619	8567655.6666	202.1084	19.8247	0		
Resíduo	18	169.0913	29.8536	147.5555	452.8373	3661202.1388	347.6321	34.1233	0.00001		
Total	27										
CV%		21,6	12,5	13,61	17,23	18,3	15,82	15,82	16,09		

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Apêndice 9: Resumo da análise de variância para as variáveis Taxa de fixação de frutos (Tff), Número de flores por planta (NFp), Massa seca dos frutos (MSf), Massa seca da parte aérea (mSpa) e Area foliar total (AF). Estação seca

FV	GL	Quadrados médios					
		Tff	NFp	MSf	mSpa	AF	
Dias	2	0.99183 ns	104.78167 **	1229.05805 **	377.4751 ns	203696.2443 ns	
Doses	1	1.3776 ns	102.50667 **	1233.0967 **	388.4126 ns	966210.0104 ns	
Doses x Dias de aplicação	2	34.31028 **	85.15167 **	110.22558 **	2421.41323 **	5346976.266 ns	
Controle x comuns	1	2.23793 ns	1.23086 **	1364.29501 **	512.22751 ns	306900.5538 ns	
Bloco	3	4.01124	44.88598	284.93889	59.00985	4856544.108	
Resíduo	18	0.96409	19.41765	144.35759	149.66645	1840617.288	
Total	27						
CV%		1,04	5,62	7,1	7,88	16,28	

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Apêndice 10: Resumo da análise de variância para as variáveis Teor de carbono orgânico do fruto (Cof), Teor de carbono orgânico da parte aérea (CoPa), Produtividade total de frutos (Prod), Eficiência produtiva no uso da água (EUA) e Teor de prolina livre (PL). Estação seca.

FV	GL	Quadrados médios				
		Cof	CoPa	Prod	EUA	PL
Dias	2	438.8809 **	408.2969 **	1400.07499 **	169.64435 **	0.00003 **
Doses	1	661.29002 **	2.03002 ns	681.06760 ns	82.51042 ns	0.00001 ns
Doses x Dias de aplicação	2	45.70882 **	241.5028 **	336.59353 ns	40.73387 ns	0 ns
Controle x comuns	1	233.40429 **	175.68595 **	201.10783 ns	24.39619 ns	0.00007 **
Bloco	3	67.74012	13.19887	1508.64429	182.68852	0
Resíduo	18	37.65159	67.95803	316.22796	38.30017	0
Total	27					
CV%		7,37	10,97	10,37	10,37	16,92

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Apêndice 11: Resumo da análise de variância para a variável Atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD) em cada horário.

Estações chuvosa e seca.

FV	GL	Quadrados médios					
		Estação chuvosa			Estação seca		
		SOD 11 h	SOD 14 h	SOD 16 h	SOD 11 h	SOD 14 h	SOD 16 h
Dias	2	5.42949 **	0.70823 ns	8.15708 **	1.78959 ns	3.09122 ns	0.5331 ns
Doses	1	0 ns	3.91234 **	22.3687 **	0.48735 ns	1.215 ns	0.00634 ns
Doses x Dias de aplicação	2	21.32073 **	1.66804 ns	6.88225 **	4.84636 **	11.7042 **	7.05015 **
Controle x comuns	1	20.64305 **	27.49953 **	0.50053 ns	49.76949 **	1.30029 ns	6.3376 **
Bloco	3	1.10474	0.24458	0.20541	0.2231	2.33228	0.33679
Resíduo	18	1.06744	0.79652	1.1495	1.10472	1.54641	1.54373
Total	27						
CV%		18,02	15,63	17,05	14,05	16,71	20,94

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Apêndice 12: Resumo da análise de variância para as variáveis: Açúcares redutores (Ar) e Açúcares Solúveis (As) em cada horário. Estação seca.

FV	GL	Estação seca				Estação seca			
		Ar 8 h	Ar 11 h	Ar 14 h	Ar 16 h	As 8 h	As 11 h	As 14 h	As 16 h
Dias	2	0.00121 ^{ns}	0.00293 ^{ns}	0.00412 ^{ns}	0.01193 ^{**}	0.0011 ^{**}	0.0001 ^{ns}	0.00569 ^{**}	0.00012 ^{ns}
Doses	1	0,0002 ^{ns}	0.01402 ^{**}	0 ^{ns}	0 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	0.00147 ^{**}	0 ^{ns}	0.00050 ^{ns}
Doses x Dias de aplicação	2	0.00143 ^{ns}	0.00213 ^{ns}	0.00012 ^{ns}	0.00301 ^{ns}	0.00009 ^{ns}	0.00055 ^{ns}	0.0007 ^{**}	0.00014 ^{ns}
Controle x comuns	1	0.00656 ^{**}	0.01069 ^{**}	0.00787 ^{**}	0.00061 ^{ns}	0.00036 ^{**}	0.00088 ^{**}	0.00165 ^{**}	0.00003 ^{ns}
Bloco	3	0,00005	0.00347	0,0004	0.00223	0.00063	0.01827	0.00009	0.00136
Resíduo	18	0.00081	0.00154	0.00187	0.00148	0.00021	0.00029	0.00003	0.00023
Total	27								
CV%		12,82	18,44	21,25	18,87	33,1	18,22	6,24	26,19

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.