



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**



JOÃO VICTOR DA SILVA MARTINS

**MANEJO DE SOLO E ÁGUA E SUA RELAÇÃO NA QUALIDADE E METABOLISMO
DE PAREDE CELULAR PÓS-COLHEITA DO TOMATE INDÚSTRIA**

**AREIA
2022**

JOÃO VICTOR DA SILVA MARTINS

**MANEJO DE SOLO E ÁGUA E SUA RELAÇÃO NA QUALIDADE E METABOLISMO
DE PAREDE CELULAR PÓS-COLHEITA DO TOMATE INDÚSTRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Agricultura Tropical.

Orientadora: Prof. Dr. Thiago Jardelino Dias

Coorientador: Prof. Dr. Wellington Souto Ribeiro

Área de concentração: Agricultura Tropical

Linha de pesquisa: Ciência e Tecnologia da Produção de Culturas

FICHA CATALOGRÁFICA

Catálogo na publicação Seção de Catalogação e Classificação

M386m Martins, João Victor da Silva.

Manejo de solo e água e sua relação na qualidade e metabolismo da parede celular pós-colheita do tomate indústria / João Victor da Silva Martins. -
Areia:UFPB/CCA, 2022.

54 f. : il.

Orientação: Thiago Jardelino Dias.
Coorientação: Wellington Souto Ribeiro.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Uso da água - Eficiência. 3. Manejo de irrigação. 4. Qualidade do fruto. 5. Solanum lycopersium L. I. Dias, Thiago Jardelino. II. Ribeiro, Wellington Souto. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.3)

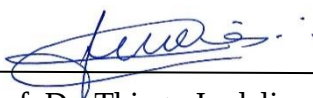
JOÃO VICTOR DA SILVA MARTINS

**MANEJO DE SOLO E ÁGUA E SUA RELAÇÃO NA QUALIDADE E METABOLISMO
DE PAREDE CELULAR PÓS-COLHEITA DO TOMATE INDÚSTRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Agricultura Tropical.

Aprovado em: 14 / 02 / 2022

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Thiago Jardelino Dias
Orientador

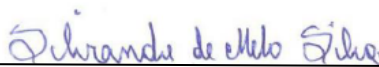
CCHSA/PPGA/UFPB



Prof. Wellington Souto Ribeiro
Departamento de Agronomia
Matrícula UFV: 13032-X
DAA/CCA/UFV

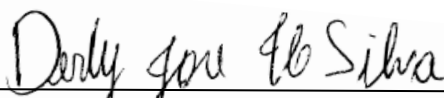
Prof. Dr. Wellington Souto Ribeiro
Coorientador

DAG/PPF/UFV



Prof. Dra. Silvana de Melo Silva
Membro interno

CCA/PPGA/UFPB



Prof. Dr. Derly José Henriques da Silva
Membro Externo

DAG/PPF/UFV

Aos meus amados pais, **Manuel Ferreira Martins** e **Luciene da Silva Martins**; meus irmãos, **Beatriz da Silva Martins** e **Maximiliano da Silva Martins**; minha avó, **Josefa da Silva Santos**; e minha querida bisavó, **Maria das Neves Gomes**.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao meu **Deus** pela dádiva da vida, pela concessão da saúde, coragem e discernimento. Por estar comigo no meu deitar e no levantar diário. Por me amparar e me manter firme em todos os momentos da minha vida. A Ti Senhor toda honra e toda glória.

Ao meu pai, **Manuel Ferreira Martins** e minha mãe, **Luciene da Silva Martins** por todo empenho, amor, carinho, cuidado e ensinamentos durante toda a minha vida. Por apoiarem e contribuírem direta e incondicionalmente para que esse sonho viesse a se tornar realidade. Essa conquista é nossa. A vocês minha eterna gratidão!

À minha irmã, **Beatriz da Silva Martins** por todo amor, carinho, apoio incondicional confiança e por me aturar nos meus dias não tão bons. Ao meu irmão, **Maximiliano da Silva Martins** pelo o amor, carinho e confiança. Essa conquista também é de vocês.

À minha bisavó **Maria das Neves Gomes** (“*Minha véia*”), pelo amor sem limites, pela sua existência, pelas orações e por sempre caminhar comigo.

Aos meus avós, **Josefa da Silva Santos** e **José Tomás**, por me amarem e sempre confiarem em mim e nos meus sonhos.

A toda minha **família**, sem exceção, na qual destaco os meus tios, tias, primos e primas por todo carinho, confiança e amor que sempre têm para comigo.

Ao meu orientador, **Prof. Thiago Jardelino Dias** pela confiança que sempre depositou na minha pessoa. Pelos ensinamentos profissionais e pessoais, pela paciência, solicitude, e sobretudo pela amizade durante todo esse tempo.

Ao meu coorientador e amigo, **Prof. Wellington Souto Ribeiro** pelos ensinamentos profissionais, éticos, morais e sobretudo pessoais. Por abrir novas portas na minha vida profissional que fizeram com que eu pudesse alçar voos mais altos. Por ser peça fundamental no desenvolvimento desta pesquisa. E por fim, pela amizade, orientação e por me aturar durante todo esse tempo.

A todos os **amigos e pessoas especiais**: aos que passaram, aos que ficaram, aos que sempre acreditaram e acreditam em mim durante toda a minha a vida profissional e pessoal. Essa conquista é partilhada com cada um de vocês.

Ao amigo, **Toshik Iarley da Silva** por sempre me encorajar, pela paciência, amizade e contribuições intelectuais não só nesta pesquisa, mas todas vezes que precisei.

Aos amigos, **Nicolas Oliveira de Araújo**, **Fernanda Ferreira de Araújo** e **Ednângelo Duarte Pereira** por toda ajuda intelectual, amizade, solicitude e sobretudo paciência para comigo durante toda a pesquisa.

Aos amigos do que fiz no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Hortícolas, **André Dutra, André Timóteo, Marlene Bretas, Marília Bittencourt, Juliana de Vasconcelos Shimada**, e ao técnico laboratorial **José Maurício** pela ajuda, conversas, momentos de descontração, viagens, confraternizações e o intercâmbio de conhecimentos.

Aos amigos, **Adjair José da Silva, Júlio César Guimarães Alves, José Manoel de Lima Cruz, Valéria Fernandes de Oliveira Sousa, Raimundo Nonato Moraes Costa, Márcia Paloma da Silva Leal** por toda ajuda quando precisei durante o curso, diálogo, conhecimento e experiência adquirida.

Aos amigos de moradia, **Adjair José da Silva, Gemerson Machado de Oliveira, Robério de Oliveira e Murilo Paiva** pela amizade, resenhas, ajuda, as boas conversas e lembranças que sempre ficarão.

Aos todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – PPGA/CCA/UFPB, nas pessoas dos Professores **Luciana Cordeiro do Nascimento, Jacinto de Luna Batista e Silvanda de Melo Silva** por contribuírem efetivamente para a minha formação profissional e pessoal.

À **banca examinadora**, por ter aceito o convite e pelas críticas e valiosas contribuições.

À **Universidade Federal da Paraíba e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia** – PPGA/CCA/UFPB.

À **Universidade Federal de Viçosa – UFV**, por ter aberto as portas de toda estrutura física e intelectual para que pudesse realizar a pesquisa que gerou este trabalho.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES**, pela concessão da bolsa de estudo.

***“Combati o bom combate,
terminei a carreira,
guardei a fé.”***

2 Timóteo 4:7-8

MARTINS, J. V. S. **MANEJO DE SOLO E ÁGUA E SUA RELAÇÃO NA QUALIDADE E METABOLISMO DE PAREDE CELULAR PÓS-COLHEITA DO TOMATE INDÚSTRIA**. 56 f. Universidade Federal da Paraíba. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia Areia-PB, fev. 2022. Orientador: Dr. Thiago Jardelino Dias. Coorientador: Prof. Dr. Wellington Souto Ribeiro.

RESUMO

A baixa disponibilidade de água e nutrientes são fatores limitantes a produção agrícola. A crescente preocupação com a escassez hídrica nos últimos anos, têm despertado o interesse dos pesquisadores em desenvolver estratégias que maximizem o uso de água e nutrientes e mantenha a qualidade final dos frutos. O tomate é a segunda hortaliça mais importante do mundo. A obtenção de altos rendimentos e frutos de qualidade para à indústria passa pela adoção de técnicas que promovam o aumento e otimização da eficiência do uso da água (EUA) e nutrientes pela cultura. O déficit de irrigação regulado (DI) é uma técnica que vem sendo amplamente difundida com intuito de diminuir o uso de água e aumentar a produtividade dos cultivos agrícolas. Todavia, o emprego de manejos combinados de água e solo, e sua relação com a qualidade final dos frutos de tomateiro comercial Heinz 9553 (H9553) (Heinz Seed[®]) destinados a indústria, ainda é mal compreendido. Diante disso, o objetivo foi investigar as respostas na qualidade pós colheita do tomate indústria, às estratégias de manejo combinados visando otimizar o uso de água e nutrientes pela planta. O experimento foi em blocos casualizados, com 4 repetições em esquema de parcelas subdivididas. Duas frequências de irrigação (FI) (um e sete dias) foram implantadas nas parcelas e três modelos de manejo de solo (adubação convencional + calcário [AC]; adubação convencional + gesso + calcário [ACG]; adubação convencional + gesso + fósforo aplicado em profundidade [ACGP]) foram implantados nas subparcelas. A colheita dos frutos se deu 128 dias após o transplântio. A firmeza da polpa, teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, matéria seca (MS), açúcares redutores (AR), quantidade de cálcio (Ca^{2+}) compostos fenólicos (CF), carotenoides totais (CT) foram avaliados. A atividades das enzimas pectinolíticas poligalacturonase (PG) e pectinametilesterase (PME) também foram determinadas. O manejo de solo com ACG e FI de sete dias proporcionaram maior SS e AR, nos frutos. A relação SS/AT foi maior nos frutos submetidos a FI de sete dias, não havendo diferença entre os tipos de manejos. A firmeza dos frutos foi maior com ACG e FI de sete dias e teve relação inversa com a atividade das enzimas PG e PME. A porcentagem de MS foi maior nos frutos manejados com AC e ACG mais FI de sete dias. O teor de cálcio (Ca^{2+}) nos frutos de tomateiro foi menor apenas no tratamento composto pela AC e a FI de sete dias. Os compostos fenólicos e carotenoides totais foram maiores no manejo com ACG e em todos manejos com FI de sete dias. O manejo ACG e FI de sete dias influenciaram positivamente os sólidos solúveis, açúcares redutores, relação SS/AT, firmeza, matéria seca, promovendo melhoria da qualidade, e aumento de carotenoides totais e compostos fenólicos, promovendo incremento no potencial funcional do tomate destinado ao processamento.

Palavras-Chave: eficiência do uso da água; manejo de irrigação; qualidade do fruto; *Solanum lycopersicum* L.

MARTINS, J. V. S. **SOIL AND WATER MANAGEMENT AND THEIR RELATIONSHIP TO THE QUALITY AND METABOLISM OF POSTHARVEST CELL WALL OF THE TOMATO INDUSTRY.** 56 p. Universidade Federal da Paraíba. Thesis (Master's degree in Agronomy). Areia-PB, Feb. 2022. Advisor: Dr. Thiago Jardelino Dias. Co-advisor: Prof. Dr. Wellington Souto Ribeiro.

ABSTRACT

The low availability of water and nutrients are limiting factors for agricultural production. The growing concern about water scarcity in recent years has aroused the interest of researchers in developing strategies that maximize the use of water and nutrients and maintain the final quality of the fruits. Tomatoes are the second most important vegetable in the world. Obtaining high yields and quality fruits for the industry involves the adoption of techniques that promote the increase and optimization of the water of the efficiency (WUE) and nutrients by the culture. Deficit regulated irrigation (DRI) is a technique that has been widely disseminated in order to reduce water use and increase the productivity of agricultural crops. However, the use of combined water and soil management, and its relationship with the final quality of tomato fruits destined for the industry, is still poorly understood. Therefore, the objective was to investigate the responses in the post-harvest quality of tomato industry, to the combined management strategies aimed at optimizing the use of water and nutrients by the plant. The experiment was in randomized blocks, with 4 replications in a split-plot scheme. Two irrigation frequencies (IF) (one and seven days) were implemented in the plots and three soil management models (conventional fertilization + limestone [FL]; conventional fertilization + gypsum + limestone [FGL]; conventional fertilization + gypsum + applied phosphorus in depth [FGLP]) were implemented in the subplots. The fruits were harvested 128 days after transplanting. Pulp firmness, soluble solids (SS), titratable acidity (TA), SS/TA ratio, dry matter (DM), reducing sugars (RS), amount of calcium (Ca^{2+}) phenolic compounds (FC), total carotenoids (TC) were evaluated. The activities of the pectinolytic enzymes polygalacturonase (PG) and pectinmethylesterase (PME) were also determined. Soil management with FGL and IF of seven days provided higher SS and RS content in the fruits. The SS/TA ratio was higher in the fruits submitted to IF for seven days, with no difference between the types of managements. Fruit firmness was higher with FGL and IF of seven days and had an inverse relationship with the activity of PG and PME enzymes. The percentage of DM was higher in fruits managed with FL and FGL plus IF of seven days. The amount of calcium (Ca^{2+}) in tomato fruits was lower only in the treatment composed of FL and IF of seven days. The phenolic compounds and total carotenoids were higher in the FGL treatment and in all the seven-day IF managements. The combined water and soil management strategies promoted an increase in post-harvest quality of the tomato industry. The FGL and IF treatment of seven days positively influenced the total soluble solids, reducing sugars, SS/TA ratio, firmness, dry matter, phenolic compounds and total carotenoids in tomato

Keywords: efficiency of water use; Irrigation management; fruit quality; *Solanum lycopersicum* L.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I. OTIMIZAÇÃO DOS ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO TOMATE INDÚSTRIA UTILIZANDO ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE ÁGUA E SOLO COMBINADAS

- Figura 1.** Sólidos solúveis (A), Acidez titulável (B) Açúcares redutores (C) e Relação SS/AT (D) de frutos de tomate submetidos a diferentes manejos de solo (adubação convencional + calcário [AC]; adubação convencional + gesso + calcário [ACG]; adubação convencional + gesso + fósforo aplicado em profundidade [ACGP]) e frequências de irrigação (1 e 7 dias) . Os dados representam $\pm$ erro padrão (n= 4). Letras maiúsculas iguais não diferem entre as frequências de irrigação e letras minúsculas entre os manejos de solo, de acordo com teste de Tukey ($p \leq 0,05$)..... 36
- Figura 2.** Teor de cálcio em frutos do tomateiro submetidos a diferentes manejos de solo (adubação convencional + calcário [AC]; adubação convencional + gesso + calcário [ACG]; adubação convencional + gesso + fósforo aplicado em profundidade [ACGP]) e frequências de irrigação (1 e 7 dias). Os dados representam $\pm$ erro padrão (n= 4). Letras maiúsculas iguais não diferem entre as frequências de irrigação e letras minúsculas entre os manejos de solo, de acordo com teste de Tukey ($p \leq 0,05$)..... 37
- Figura 3.** Firmeza da polpa (A), Matéria seca (B), e Atividade enzimática da Pectinametilesterase (C) e Poligalacturonase (D) de frutos de tomateiro submetidos a diferentes manejos de solo (adubação convencional + calcário [AC]; adubação convencional + gesso + calcário [ACG]; adubação convencional + gesso + fósforo aplicado em profundidade [ACGP]) e frequências de irrigação (1 e 7 dias) . Os dados representam $\pm$ erro padrão (n= 4). Letras maiúsculas iguais não diferem entre as frequências de irrigação e letras minúsculas entre os manejos de solo, de acordo com teste de Tukey ($p \leq 0,05$)..... 38
- Figura 4.** Carotenoides totais (A) e Compostos fenólicos (B) de frutos de tomateiro submetidos a diferentes manejos de solo (adubação convencional + calcário [AC]; adubação convencional + gesso + calcário [ACG]; adubação convencional + gesso + fósforo aplicado em profundidade [ACGP]) e frequências de irrigação (1 e 7 dias). Os dados representam $\pm$ erro padrão (n= 4). Letras maiúsculas iguais não diferem entre as frequências de irrigação e letras minúsculas entre os manejos de solo, de acordo com teste de Tukey ($p \leq 0,05$)..... 38
- Figura 5.** Gráfico biplot da análise de variáveis canônicas e elipses de confiança ($p \leq 0,01$) para os tratamentos compostos por diferentes manejos de solo (adubação convencional + calcário [AC]; adubação convencional + gesso + calcário

[ACG]; adubação convencional + gesso + fósforo aplicado em profundidade [ACGP]) e frequências de irrigação (1 e 7 dias). Ca= Cálcio; PME= Pectimetilesterase; PG= Poligalacturonase; AT= Acidez titulável= SS/AT= Relação sólidos/Acidez titulável; SS= Sólidos solúveis; FIRM= Firmeza; MS= Matéria seca; CT= Carotenoides totais; AR= Açúcares redutores; FEN= Compostos fenólicos..... 39

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I. OTIMIZAÇÃO DOS ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO TOMATE INDÚSTRIA UTILIZANDO ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE ÁGUA E SOLO COMBINADAS

Tabela 1.	Características físico-químicas do solo na área experimental, Viçosa-MG, 2021.....	30
Tabela 2.	Quantidade total de água aplicada pelo sistema de irrigação por gotejamento, precipitação e evapotranspiração da cultura (ETc) no experimento.....	31

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – MANEJO DE SOLO E ÁGUA E SUA RELAÇÃO NA QUALIDADE E METABOLISMO DE PAREDE CELULAR PÓS-COLHEITA DO TOMATE INDÚSTRIA

1.	INTRODUÇÃO	14
	REFERÊNCIAS.....	15
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	<i>Aspectos gerais e importância socioeconômica do tomate.....</i>	17
2.2	<i>Manejo de solo e água e os mecanismos fisiológicos subjacentes que influenciam a qualidades de frutos de tomate.....</i>	17
	REFERÊNCIAS.....	21

ARTIGO I – OTIMIZAÇÃO DOS ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO TOMATE INDÚSTRIA UTILIZANDO ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE ÁGUA E SOLO COMBINADAS

1.	INTRODUÇÃO.....	27
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.1	<i>Delineamento experimental e descrição do material vegetal.....</i>	29
2.2	<i>Preparo do solo, plantio e manejo da irrigação.....</i>	29
2.3	<i>Dados Meteorológicos.....</i>	32
2.4	<i>Análises físico-químicas dos frutos.....</i>	32
2.4.1	<i>Firmeza da polpa.....</i>	32
2.4.2	<i>Teor de Sólidos Solúveis e Acidez titulável.....</i>	33
2.4.3	<i>Matéria seca (MS).....</i>	33
2.5	<i>Preparo da Extração: Análises químicas.....</i>	33
2.5.1	<i>Açúcares Redutores (AR).....</i>	33
2.5.2	<i>Compostos Fenólicos (CF).....</i>	34
2.5.3	<i>Carotenóides Totais.....</i>	34
2.5.4	<i>Determinação de cálcio (Ca^{2+}) nos frutos.....</i>	34
2.5.5	<i>Extração e análise de enzimas pectinolíticas.....</i>	35
2.6	<i>Análise estatística.....</i>	36
3.	RESULTADOS.....	36
4.	DISCUSSÃO.....	40
5.	CONCLUSÃO.....	44
	CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES.....	44
	DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESE	44
	AGRADECIMENTOS	44
	REFERÊNCIAS.....	44

CAPÍTULO I

MANEJO DE SOLO E ÁGUA E SUA RELAÇÃO NA QUALIDADE E METABOLISMO DE PAREDE CELULAR PÓS-COLHEITA DO TOMATE INDÚSTRIA

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o décimo maior produtor de tomate do mundo, com uma produção de aproximadamente 3,8 milhão de toneladas em 2020 (FAOSTAT, 2020). Desse montante, 1,4 milhão de toneladas é destinado ao processamento - (WPTC, 2021). A obtenção de altos rendimentos de frutos de qualidade para a indústria está condicionada à disponibilização otimizada de água e nutrientes. Por isso, é essencial o desenvolvimento de técnicas e estratégias que promovam o aumento e otimização da eficiência do uso da água (EUA) e nutrientes sem comprometer a produtividade e a qualidade final dos frutos (YANG et al., 2020).

O aumento da EUA e o maior aproveitamento de nutrientes pela planta, passa pela adoção de técnicas de manejo de água e do solo. O déficit de irrigação regulado (DIR) é uma estratégia de manejo de irrigação alternativa, amplamente aceita, que visa a economia de água, reduzindo a quantidade de água usada para irrigar as culturas e/ou reduzindo as práticas de irrigação, criando um certo grau de déficit hídrico à medida que desencadeia processos fisiológicos nas plantas, que influencia e otimiza a EUA, aumenta a eficiência nas trocas gasosas, possibilita maior aproveitamento de nutrientes pela planta, produtividade e melhora qualidade dos frutos do tomateiro como aumento dos sólidos solúveis, açúcares e relação SS/AT (YANG et al., 2016; KHAPTÈ et al., 2019; YANG et al., 2020).

Em relação ao manejo de solo, práticas que possibilitem e impulsionem as culturas a aumentarem a eficiência na exploração das camadas do solo para captação de água e nutrientes possuem efeito sinérgico com as práticas de DIR (CHAI et al., FARA et al., 2019). A aplicação de calcário e gesso agrícola por exemplo, aumenta a saturação por bases no solo e diminuiu a concentração de Alumínio (Al^{3+}), favorecendo a absorção de água e nutrientes pelo maior volume de solo explorado pelas raízes (FARA et al., 2019). Todavia, as respostas de manejos agrônômicos combinados na qualidade pós-colheita do tomate destinados ao processamento ainda são variáveis (PATANÈ & COSENTINO, 2010; ZHANG et al., 2017; WEI et al., 2018; FARA et al., 2019; COYAGO-CRUZ et al., 2022).

A qualidade pós-colheita do tomate é a soma de atributos, tais como firmeza da fruta, conteúdo de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), teor de nutrientes, concentrações açúcares e ácidos orgânicos, balanço SS/AT e compostos bioativos (carotenoides totais e compostos fenólicos). Esses, podem ser alterados, em maior ou menor intensidade, pelo manejo específico de solo, água e nutrientes (PATANÈ & COSENTINO, 2010; WANG & FREI, 2011; COUTINHO et al., 2014; RIPOLL et al., 2016; HOU et al., 2017; YANG et al., 2020).

Muitos são os relatos propondo técnicas de manejo isoladas como estratégia viável para

aumentar a produtividade por unidade de água aplicada em diferentes culturas, incluindo o tomate. No entanto, há pouca informação e compreensão sobre o efeito combinado de técnicas de manejo de solo e água, na qualidade de frutos de tomate destinados ao processamento e cultivados em campo.

REFERÊNCIAS

COYAGO-CRUZ, E.; CORELL, M.; MORIANA, A.; HERNANZ, D.; BENÍTEZ-GONZÁLEZ, A. M.; STINCO, C. M.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J. Antioxidants (carotenoids and phenolics) profile of cherry tomatoes as influenced by deficit irrigation, ripening and cluster. **Food Chemistry**, v. 240, n.1, p. 870-884, 2018.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Production and Trade Statistics, 2020. Disponível online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em 03 de janeiro de 2022.

FARA, S. J.; DELAZARI, F. T.; GOMES, R. S.; ARAÚJO, W. L.; DA SILVA, D. J. H. Stomata opening and productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. **Scientia Horticulturae**, v. 255, n.1, p. 86-95, 2019.

FELTON, A. J.; SLETTE, I. J.; SMITH, M. D.; KNAPP, A. K. Precipitation amount and event size interact to reduce ecosystem functioning during dry years in a mesic grassland. **Global change biology**, v. 26, n. 2, p. 658-668, 2020.

HOU, M.; JIN, Q.; LU, X.; LI, J.; ZHONG, H.; GAO, Y. Growth, water use, and nitrate-15N uptake of greenhouse tomato as influenced by different irrigation patterns, 15N labeled depths, and transplant times. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 1, p. 666, 2017.

KHAPTÈ, P. S.; KUMAR, P.; BURMAN, U.; KUMAR, P. Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications. **Scientia Horticulturae**, v. 248, n. 1, p. 256-264, 2019.

LIU, J.; HU, T.; FENG, P.; YAO, D.; GAO, F.; HONG, X. Effect of potassium fertilization during fruit development on tomato quality, potassium uptake, water and potassium use efficiency under deficit irrigation regime. **Agricultural Water Management**, v. 250, n. 1, p. 106831, 2021.

PATANÈ, C.; COSENTINO, S. L. Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 1, p. 131-138, 2010.

PERVEEN, R.; SULERIA, H. A. R.; ANJUM, F. M.; BUTT, M. S.; PASHA, I.; AHMAD, S. Tomato (*Solanum lycopersicum*) carotenoids and lycopenes chemistry; metabolism, absorption, nutrition, and allied health claims - A comprehensive review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 7, p. 919-929, 2015.

RIPOLL, J.; URBAN, L.; BRUNEL, B.; BERTIN, N. Water deficit effects on tomato quality depend on fruit developmental stage and genotype. **Journal of Plant Physiology**, v. 190, p. 26-35, 2016.

WANG, Y.; FREI, M. Stressed food–The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 141, n. 3-4, p. 271-286, 2011.

WEI, Z.; DU, T.; LI, X.; FANG, L.; LIU, F. Interactive effects of elevated CO₂ and N fertilization on yield and quality of tomato grown under reduced irrigation regimes. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 1, p. 328, 2018.

WPTC - **The World Processing Tomato Council**. Estimativa da produção mundial em 25 de março de 2021. Disponível em: <http://www.wptc.to/releases.php>. Acesso em: 08 de janeiro de 2022.

YANG, H.; DU, T.; QIU, R.; CHEN, J.; WANG, F.; LI, Y.; KANG, S. Improved water use efficiency and fruit quality of greenhouse crops under regulated deficit irrigation in northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 179, n.1, p. 193-204, 2017.

ZHANG, H.; XIONG, Y.; HUANG, G.; XU, X.; HUANG, Q. Effects of water stress on processing tomatoes yield, quality and water use efficiency with plastic mulched drip irrigation in sandy soil of the Hetao Irrigation District. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 205-214, 2017.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais e importância socioeconômica

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma hortaliça pertencente à família Solanaceae e gênero *Solanum* (KNAPP et al., 2004). É considerada a segunda hortaliça mais cultivada e consumida no mundo depois da batata (*Solanum tuberosum* L.) (PETROPOULOS et al., 2020). Em 2020 a produção mundial foi de cerca de 186,8 milhões de toneladas em uma área de aproximadamente 5,0 milhões de hectares. O continente asiático responde por cerca de 62,6% da produção global de tomate, enquanto a Europa, América e África produziram aproximadamente 12,2%, 13,1% e 11,9 % da produção mundial respectivamente (FAOSTAT, 2020).

O Brasil é o terceiro maior produtor de tomate no continente americano e o décimo no ranking mundial, com produção de 3,8 milhões de toneladas em 57,9 mil hectares (FAOSTAT, 2020) o que gera um rendimento de 64,4 toneladas por hectare. O país ainda desponta como o sétimo maior produtor de tomate para industrialização do mundo, sendo do total produzido, cerca de 1,4 milhão de toneladas é destinado ao processamento, (WPTC, 2021), servindo de matéria prima para compor extratos, sopas, sucos e molhos.

Os tomates contêm muitos compostos que promovem a saúde e são facilmente integrados como parte nutritiva de uma dieta equilibrada (MASSANTINI et al., 2021), por esta razão estão presentes na alimentação em todas as partes do mundo. Além do seu sabor apreciável, o conhecimento sobre o alto valor biológico do tomate tem impulsionado o seu consumo tanto na forma de fruta fresca e/ou processada (DE SIO et al., 2021). A composição nutricional contendo alto teores de nutrientes, e a presença de compostos funcionais como pró-vitamina A, ácido ascórbico, carotenoides (licopeno e b-caroteno), polifenóis (flavonóides, flavanonas e flavonas) e em contraste, pobres em gorduras e sem colesterol, tem sido relatado que o tomate pode desempenhar um papel vital para minimizar o desenvolvimento de algumas doenças humanas, incluindo câncer de próstata, cólon e mama, melhorar o sistema imunológico, diminuir a pressão arterial e o colesterol (CANENE-ADAMS et al., 2005; TAN et al., 2010; CHENG et al., 2017; TSANIKLIDIS et al., 2021).

Apesar de sua importância econômica e nutricional e funcional e da ampla distribuição no planeta, a produção de tomate industrial ainda é limitada por fatores abióticos, como a escassez e má distribuição dos recursos hídricos (FAHAD et al., 2017; ZHOU et al., 2019).

2.2 Manejo de solo e água e os mecanismos fisiológicos subjacentes que influenciam a qualidades de frutos de tomateiro

A escassez de água ameaça muitas partes do mundo; mais de 800 milhões de pessoas não tem acesso água potável (SCHIERMEIER, 2014). A situação pode se agravar nos próximos anos, devido ao aumento exponencial da população mundial que deverá ser 30% maior até 2050, além das mudanças climáticas (FAOSTAT, 2020). A agricultura é responsável por cerca de 70% do uso de água doce no planeta, e isso gera conflitos na distribuição entre a produção agrícola e outros setores da economia e consumo animal e humano (SHTULL-TRAURING et al., 2020). Por isso, um dos maiores desafios para a agricultura moderna será de duplicar a produção de alimentos até 2050, com diminuição na alocação dos recursos hídricos (HATFIELD, 2015) e garantir a segurança alimentar. Para tanto, esforços estão sendo realizados na tentativa de maximizar a produtividade pela cultura do que propriamente a produção (KHAPTÈ et al., 2019) através do manejo de água, solo e fertilizantes.

A gestão da água atrelado ao suprimento adequando de nutrientes são uns dos principais fatores que afetam o crescimento e a produtividade das culturas. O rendimento e a qualidade da colheita são muito sensíveis aos conteúdos adequados de água e nutrientes na zona da raiz das plantas, o que pode melhorar a capacidade e área de absorção das mesmas (WANG et al., 2017). A adoção de manejos de água e solo usados na agricultura são imprescindíveis para manter rendimentos satisfatórios, e otimizar a eficiência do uso da água (EUA) e nutrientes pelas plantas.

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das hortaliças mais importantes do mundo e uma das mais exigentes em água. A necessidade de água para tomate industrial é estimada entre 5.000 a 6.000 m³ ha⁻¹, que, em áreas com limitação hídrica é quase totalmente suprida por irrigação (GIULIAN et al., 2017). Portanto, há uma necessidade de formular estratégias para aumentar EUA e para atingir um equilíbrio favorável entre a produção, qualidade dos frutos e o uso da água (KHAPTÈ et al., 2019). A forma mais viável de aumentar a EUA é optar por cultivares resistentes à seca e/ou práticas de manejo de solo e água eficiente (COSTA et al., 2007).

Nesse sentido, o déficit de irrigação regulado (DIR), é uma prática de irrigação baseada na aplicação de quantidades de água inferiores às efetivamente requeridas pela cultura, que implica em reduzir a quantidade de água usada para irrigar as culturas, no intuito de melhorar a resposta das plantas a um certo grau de déficit hídrico, aumentar a EUA, manter os rendimentos comerciais e melhorar a qualidade dos frutos (PANTAË & CONSTANTINO, 2010, NANGARE et al., 2016; CHAI et al., 2016). Na literatura é estabelecido variações na prática de DIR: o déficit de irrigação com secagem parcial da zona radicular que pode ser de forma intermitente (alternada) ou continuamente (fixa), no entanto objetivo geral de qualquer

prática DIR mencionada é economizar água, seja reduzindo a quantidade de água em cada irrigação ou reduzindo as frequências de irrigação (KHAPTÉ et al., 2019).

Os mecanismos fisiológicos envolvidos na abordagem DIR são descritos a partir de uma série de modificações que ocorrem na planta. Uma notável resposta fisiológica ao estresse hídrico associado ao DIR são as alterações na morfologia e fisiologia estômatos, incluindo ritmos de abertura e fechamento estomáticos, tamanho das células-guarda e sua densidade nas folhas CHAI et al., 2016). Além disso, o estreitamento da abertura estomática sob condições de déficit hídrico induzido por DIR aumenta a retenção de água nas folhas e diminui a transpiração com pouco ou nenhum efeito sobre a fotossíntese com um aumento expressivo da EUA (CHAI et al., 2016; 2019; FARA et al., 2019; YANG et al., 2020). A EUA serve como uma variável chave na avaliação das respostas das plantas ao estresse hídrico induzido por DIR, pois avalia a quantidade de irrigação que pode ser economizada ou o rendimento da cultura produzido por unidade de água fornecida (BRAMLEY et al., 2013)

Estudos mostraram que em resposta ao DIR, as plantas normalmente aumentam a produção de fitohormônios (LI et al., 2020). A exemplo, durante a condição de exposição ao estresse regulado por DIR, o ácido abscísico (ABA) é sintetizado nas raízes e transportada para as folhas através do xilema para induzir o fechamento parcial ou total dos estômatos (CHAI et al. 2016; WEI et al., 2018). A sinalização raiz-parte aérea baseada em ABA tem sido considerada o mecanismo primário de regulação estomática na exposição das plantas a déficits hídricos no solo (LI & LIU, 2021).

Com aplicação de déficit hídrico mesmo que regulado, algumas espécies de plantas aumentam a atividade enzimática do sistema antioxidante em resposta ao estresse oxidativo ocasionado pelo emprego do DIR (CHAI et al., 2016). Este estresse é acompanhado por um aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), que em níveis elevados são danosas à célula vegetal. A superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POX) e ascorbato peroxidase (APX) são enzimas capazes de neutralizar as EROs para a manutenção da homeostase na maquinaria celular (LAXA et al., 2019). Plantas de tomate sob DIR aumentaram a atividade da peroxidase nas paredes celulares rapidamente durante a fase inicial de vigamento dos frutos, com a atividade enzimática atingindo o pico no final do amadurecimento (SAVIĆ et al., 2008).

Associado a isso, manejos de solo sustentáveis que favoreçam a absorção de água e nutrientes pelas plantas é de interesse global. Fatores ligados ao solo podem limitar o crescimento das raízes, por exemplo, compactação e a acidez do solo. A calagem é um importante prática agrícola para neutralizar a acidez do solo, aumentar a disponibilidade de

nutrientes, fornece cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) e que alivia a toxicidade de alguns elementos, principalmente nas camadas superficiais do solo (CAIRES et al., 2011). No entanto, para aumentar a eficiência da calagem em solos tropicais, é recomendado adicionar gesso agrícola (INAGAKI et al., 2016). O gesso irá fornecer Ca^{2+} e enxofre (S) e reduzir a disponibilidade de Al^{3+} em todo o perfil do solo. Por isso que plantas com manejo adequado de solo associadas a um déficit regulado potencializa área de superfície e densidade radicular distância vertical e horizontal (LI et al., 2014; FARA et al., 2019). A expansão da raiz para camadas mais profundas do solo, foi considerada a principal resposta ao DIR induzida nas plantas para aumentar a zona de absorção de água e nutrientes (KOEVOETS et al., 2016; KUMAR et al., 2017). Suchoff et al. (2017) relatam que o melhor desempenho do tomateiro foi relacionado ao aumento do comprimento da raiz com alta proporção de raízes finas, em vez da razão raiz: parte aérea. Por isso, a melhoria do perfil químico do solo, beneficia o desenvolvimento do sistema radicular dos cultivos, minimizando os riscos de danos e aumenta a absorção de água e nutrientes, que pode proporcionar melhor qualidade de frutos.

O efeito benéfico das estratégias de DIR na qualidade do fruto tem sido amplamente relatado na literatura para a cultura do tomateiro (RIPOLL et al., 2016; LIU et al., 2021; COYAGO-CRUZ et al., 2022). Por esta razão, além de ser uma estratégia de economia de água, as estratégias de DIR tornaram-se uma prática agrônômica importante para regular parâmetros de qualidade dos frutos por causarem uma série de modificações no metabolismo deste órgão (DU et al., 2015; KANG et al., 2017; YANG et al., 2020).

As concentrações de metabólitos primários (açúcares solúveis e ácidos orgânicos) e metabólitos secundários (vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos) determinam o sabor e o a qualidade do tomate (BECKLES et al., 2012; HOU et al., 2020). Associado a isso, o teor de água da fruta é uma variável crucial de qualidade para a indústria de processamento, haja vista que mesmo uma pequena diminuição no teor de água do fruto antes da colheita reduzirá substancialmente o custo para a indústria de desidratação da cultura (VILAS BOAS et al., 2017; HOU et al., 2020). As respostas dessas variáveis de qualidade dos frutos à escassez de água têm recebido cada vez mais atenção devido as melhorias parâmetros de qualidade como aumento na concentração açúcares solúveis, ácidos orgânicos, relação açúcar/ácido, matéria seca, compostos fenólicos e substâncias bioativas e rendimento final da cultura do tomateiro (BOGALE et al., 2016; NAGARÉ et al., 2016; COYAGO-CRUZ et al., 2019; LIU et al., 2021; GHANNEM et al., 2021).

REFERÊNCIAS

- ARBEX DE CASTRO VILAS BOAS, A.; PAGE, D.; GIOVINAZZO, R.; BERTIN, N.; FANCIULLINO, A. L. Combined effects of irrigation regime, genotype, and harvest stage determine tomato fruit quality and aptitude for processing into puree. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n.1, p. 1725, 2017.
- BECKLES, D. M.; HONG, N.; STAMOVA, L.; LUENGWILAI, K. Biochemical factors contributing to tomato fruit sugar content: a review. **Fruits**, v. 67, n. 1, p. 49-64, 2012.
- BOGALE, A.; NAGLE, M.; LATIF, S.; AGUILA, M.; MÜLLER, J. Regulated deficit irrigation and partial root-zone drying irrigation impact bioactive compounds and antioxidant activity in two select tomato cultivars. **Scientia Horticulturae**, v. 213, n.1, p. 115-124, 2016.
- BRAMLEY, H.; TURNER, N. C.; SIDDIQUE, K. H. M. Water use efficiency. In: **Genomics and breeding for climate-resilient crops**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 225-268.
- CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 1, p. 45-53, 2011.
- CANENE-ADAMS, K.; CAMPBELL, J. K.; ZARIPHEH, S.; JEFFERY, E. The tomato as a functional food. **The Journal of Nutrition**, v. 135, n. 5, p. 1226-1230, 2005.
- CHAI, Q.; GAN, Y.; ZHAO, C.; XU, H. L.; WASKOM, R. M. NIU, Y.; SIDDIQUE, K. H. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 1, p. 1-21, 2016.
- CHENG, H. M.; KOUTSIDIS, G.; LODGE, J. K.; ASHOR, A.; SIERVO, M.; LARA, J. Tomato and lycopene supplementation and cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis. **Atherosclerosis**, v. 257, n. 1, p. 100-108, 2017.
- COSTA, J. M.; ORTUÑO, M. F.; CHAVES, M. M. Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 49, n. 10, p. 1421-1434, 2007.
- COYAGO-CRUZ, E.; CORELL, M.; MORIANA, A.; HERNANZ, D.; STINCO, C. M.; MAPELLI-BRAHM, P.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J. Effect of regulated deficit irrigation on commercial quality parameters, carotenoids, phenolics and sugars of the black cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.) 'Sunchocola'. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 105, n. 1, p. 104220, 2022.
- COYAGO-CRUZ, E.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J.; MORIANA, A.; GIRÓN, I. F.; MARTÍN-PALOMO, M. J.; GALINDO, A.; CORELL, M. Yield response to regulated deficit irrigation of greenhouse cherry tomatoes. **Agricultural Water Management**, v. 213, n. 1, p. 212-221, 2019.
- DE SIO, F.; RAPACCIUOLO, M.; DE GIORGI, A.; SANDEI, L.; GIULIANO, B.; TALLARITA, A.; CARUSO, G. Industrial processing affects product yield and quality of diced tomato. **Agriculture**, v. 11, n. 3, p. 230, 2021.

DU, T.; KANG, S.; ZHANG, J.; DAVIES, W. J. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 8, p. 2253-2269, 2015.

FAHAD, S.; BAJWA, A. A.; NAZIR, U.; ANJUM, S. A.; FAROOQ, A.; ZOHAIB, A.; HUANG, J. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 1, p. 1147, 2017.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Production and Trade Statistics. Disponível online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em 03 de janeiro de 2022.

FARA, S. J.; DELAZARI, F. T.; GOMES, R. S.; ARAÚJO, W. L.; DA SILVA, D. J. H. Stomata opening and productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. **Scientia Horticulturae**, v. 255, n.1, p. 86-95, 2019.

GHANNEM, A.; BEN AISSA, I.; MAJDOUB, R. Effects of regulated deficit irrigation applied at different growth stages of greenhouse grown tomato on substrate moisture, yield, fruit quality, and physiological traits. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 34, p. 46553-46564, 2021.

GIULIANI, M. M.; NARDELLA, E.; GAGLIARDI, A.; GATTA, G. Deficit irrigation and partial root-zone drying techniques in processing tomato cultivated under Mediterranean climate conditions. **Sustainability**, v. 9, n. 12, p. 2197, 2017.

HATFIELD, J. L. Environmental impact of water use in agriculture. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 4, p. 1554-1556, 2015.

HOU, M.; JIN, Q.; LU, X.; LI, J.; ZHONG, H.; GAO, Y. Growth, water use, and nitrate-15N uptake of greenhouse tomato as influenced by different irrigation patterns, 15N labeled depths, and transplant times. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 1, p. 666, 2017.

INAGAKI, T. M.; DE MORAES SÁ, J. C.; CAIRES, E. F.; GONÇALVES, D. R. P. Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in highly weathered soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 231, n. 1, p. 156-165, 2016.

KANG, S.; HAO, X.; DU, T.; TONG, L.; SU, X.; LU, H.; DING, R. Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice. **Agricultural Water Management**, v. 179, n. 1, p. 5-17, 2017.

KHAPTÈ, P. S.; KUMAR, P.; BURMAN, U.; KUMAR, P. Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications. **Scientia Horticulturae**, v. 248, n. 1, p. 256-264, 2019.

KNAPP, S.; CHASE, M. W.; CLARKSON, J. J. Nomenclatural changes and a new sectional classification in *Nicotiana* (*Solanaceae*). **Taxon**, v. 53, n. 1, p. 73-82, 2004.

KOEVOETS, I. T.; VENEMA, J. H.; ELZENGA, J. T.; TESTERINK, C. Roots withstanding their environment: exploiting root system architecture responses to abiotic stress to improve crop tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 1, p. 1335, 2016.

KUMAR, P.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; COLLA, G. Vegetable grafting as a tool to improve drought resistance and water use efficiency. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 1, p. 1130, 2017.

LAXA, M.; LIEBTHAL, M.; TELMAN, W.; CHIBANI, K.; DIETZ, K. J. The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. **Antioxidants**, v. 8, n. 4, p. 94, 2019.

LI, C. X.; ZHOU, X. G.; SUN, J. S.; WANG, H. Z.; GAO, Y. Dynamics of root water uptake and water use efficiency under alternate partial root-zone irrigation. **Desalination and Water Treatment**, v. 52, n. 13-15, p. 2805-2810, 2014.

LI, S.; LI, X.; WEI, Z.; LIU, F. ABA-mediated modulation of elevated CO₂ on stomatal response to drought. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 56, n. 1, p. 174-180, 2020.

LI, S.; LIU, F.; Exogenous Absciscic Acid Priming Modulates Water Relation Responses of Two Tomato Genotypes With Contrasting Endogenous Absciscic Acid Levels to Progressive Soil Drying Under Elevated CO₂. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 1, p. 733658-733658, 2021.

LIU, J.; HU, T.; FENG, P.; YAO, D.; GAO, F.; HONG, X. Effect of potassium fertilization during fruit development on tomato quality, potassium uptake, water and potassium use efficiency under deficit irrigation regime. **Agricultural Water Management**, v. 250, n. 1, p. 106831, 2021.

MASSANTINI, R.; RADICETTI, E.; FRANGIPANE, M. T.; CAMPIGLIA, E. Quality of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) changes under different cover crops, soil tillage and nitrogen fertilization management. **Agriculture**, v. 11, n. 2, p. 106, 2021.

NANGARE, D. D. et al. Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. **Agricultural Water Management**, v. 171, n. 1, p. 73-79, 2016.

PATANÈ, C.; COSENTINO, S. L. Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 1, p. 131-138, 2010.

PETROPOULOS, S. A.; FERNANDES, Â.; XYRAFIS, E.; POLYZOS, N.; ANTONIADIS, V.; BARROS, L.; FERREIRA, I. The optimization of nitrogen fertilization regulates crop performance and quality of processing tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Heinz 3402). **Agronomy**, v. 10, n. 5, p. 715, 2020.

RIPOLL, J.; URBAN, L.; BRUNEL, B.; BERTIN, N. Water deficit effects on tomato quality depend on fruit developmental stage and genotype. **Journal of Plant Physiology**, v. 190, n. 1, p. 26-35, 2016.

SAVIĆ, S.; STIKIĆ, R.; RADOVIĆ, B. V.; BOGIČEVIĆ, B.; JOVANOVIĆ, Z.; ŠUKALOVIĆ, V. H. T. Comparative effects of regulated deficit irrigation (RDI) and partial root-zone drying (PRD) on growth and cell wall peroxidase activity in tomato fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 117, n. 1, p. 15-20, 2008.

SCHIERMEIER, Q. The parched planet: water on tap. **Nature News**, v. 510, n. 7505, p. 326, 2014.

SHTULL-TRAURING, E.; COHEN, A.; BEN-HUR, M.; TANNY, J.; BERNSTEIN, N. Reducing salinity of treated waste water with large scale desalination. **Water Research**, v. 186, n. 1, p. 116322, 2020.

SUCHOFF, D. H.; GUNTER, C. C.; LOUWS, F. J. Comparative analysis of root system morphology in tomato rootstocks. **HortTechnology**, v. 27, n. 3, p. 319-324, 2017.

TAN, H. L.; THOMAS-AHNER, J. M.; GRAINGER, E. M.; WAN, L.; FRANCIS, D. M.; SCHWARTZ, S. J.; CLINTON, S. K. Tomato-based food products for prostate cancer prevention: what have we learned?. **Cancer and Metastasis Reviews**, v. 29, n. 3, p. 553-568, 2010.

TSANIKLIDIS, G.; CHAROVA, S. N.; FANOURLAKIS, D.; TSAFOUROS, A.; NIKOLOUDAKIS, N.; GOUMENAKI, E.; DELIS, C. The role of temperature in mediating postharvest polyamine homeostasis in tomato fruit. **Postharvest biology and technology**, v. 179, n. 1, p. 111586, 2021.

WANG, X.; XING, Y. Evaluation of the effects of irrigation and fertilization on tomato fruit yield and quality: a principal component analysis. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2017.

WEI, Z.; DU, T.; LI, X.; FANG, L.; LIU, F. Interactive effects of elevated CO₂ and N fertilization on yield and quality of tomato grown under reduced irrigation regimes. **Frontiers in plant science**, v. 9, n. 1, p. 328, 2018.

WPTC - **World Processing Tomato Council**. World Production Estimate of Tomatoes for Processing in 2021. Disponível online em: <http://www.wptc.to/releases-wptc.php>. Acesso em: 12 de janeiro de 2022.

YANG, X.; ZHANG, P.; WEI, Z.; LIU, J.; HU, X.; LIU, F. Effects of CO₂ fertilization on tomato fruit quality under reduced irrigation. **Agricultural water management**, v. 230, n. 1, p. 105985, 2020.

ZHOU, R.; KONG, L.; WU, Z.; ROSENQVIST, E.; WANG, Y.; ZHAO, L.; OTTOSEN, C. O. Physiological response of tomatoes at drought, heat and their combination followed by recovery. **Physiologia plantarum**, v. 165, n. 2, p. 144-154, 2019.

ARTIGO I

OTIMIZAÇÃO DE ASPECTOS DE QUALIDADE DO TOMATE INDÚSTRIA UTILIZANDO ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE ÁGUA E SOLO COMBINADAS

(Artigo nas normas da Revista Scientia Horticulturae)

Otimização dos aspectos físico-químicos do tomate indústria utilizando estratégias de manejo de água e solo combinadas

João Victor da Silva Martins^a, Ednângelo Duarte Pereira^b, Nicolas Oliveira de Araújo^b,
Derly José Henriques da Silva^b, Silvanda de Melo Silva^a, Wellington Souto Ribeiro^b,
Thiago Jardelino Dias^a

^a *Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais, Universidade Federal da Paraíba, 58397000, Areia, Paraíba, Brasil*

^b *Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, 36570900, Viçosa, Minas Gerais, Brasil*

Resumo

O déficit de irrigação regulado (DIR) é uma técnica de irrigação para economizar água de irrigação e aumentar a EUA e nutrientes pelo tomateiro. Esta prática pode ser potencializada quando combinadas com manejo de solo. Estudos avaliando o efeito integrado de diferentes manejos na qualidade dos frutos do tomateiro destinado a indústria são escassos. Por isso, o objetivo deste estudo foi investigar as respostas na qualidade pós-colheita do tomate indústria cultivar comercial Heinz 9553 (H9553) (Heinz Seed[®]), às estratégias de manejo combinados visando otimizar o uso de água e nutrientes pela planta. Adotou-se neste experimento esquema de parcelas subdivididas em blocos casualizados com 4 repetições. Duas frequências de irrigação (FI) (um e sete dias) foram implantadas nas parcelas e três modelos de manejo de solo (adubação convencional + calcário [AC]; adubação convencional + gesso + calcário [ACG]; adubação convencional + gesso + fósforo aplicado em profundidade [ACGP]) foram implantados nas subparcelas. Variáveis que compõe os parâmetros de qualidade foram avaliadas. Os resultados demonstraram que o manejo de solo ACG e FI de sete dias combinados proporcionaram o aumento nos SS, AR, SS/AT, MS, CF e CT nos frutos. Constatou-se também que a firmeza da polpa foi maior no tratamento ACG e FI de sete dias tendo relação inversa com a atividade das enzimas pectinolíticas PG e PME. As estratégias de manejo combinadas de água e solo promoveram uma melhoria na qualidade pós colheita do tomate indústria. Portanto, os manejos combinados de solo e água ACG e ACGP com FI de sete dias são recomendados para o cultivo em campo do tomate destinado ao processamento industrial.

Keywords: Déficit de irrigação regulado. Manejo de solo. Qualidade pós-colheita *Solanum lycopersicum* L.

1. Introdução

A baixa disponibilidade de água e nutrientes são os fatores que mais limitam a produção de plantas cultivadas (Ali et al., 2019). Estudos para a maximização da produção agrícola, altas produtividades e a manutenção da qualidade de frutos em todo o mundo têm focado na otimização e desenvolvimento de estratégias de manejo principalmente de água e nutrientes (Shao et al., 2008; Medyouni et al., 2021).

No Brasil, cerca de 36% do total de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) produzido é destinado à indústria (Almeida et al., 2019). Entretanto, para obtenção de altos rendimentos e garantir a manutenção da qualidade dos frutos, a cultura do tomateiro demanda uma alta disponibilidade de água e nutrientes durante todo seu ciclo (Chapagain et al., 2009; Yang et al., 2020). Fatores abióticos associados à disponibilidade hídrica e nutricional têm afetado o rendimento e a qualidade do tomate industrial (Villas Boas et al., 2017). Por isso, é essencial desenvolver estratégias e manejos que visem otimizar a eficiência do uso da água e nutrientes pela planta, sem comprometer a produção e a qualidade final dos frutos.

A aplicação do déficit de irrigação regulado (DIR) é uma técnica, aplicada na fase de crescimento, na qual a água é disponibilizada em toda a zona radicular em quantidade inferior à evapotranspiração potencial ocasionando um estresse moderado com efeitos mínimos ou inexistentes na produção (Dodd, 2009). No DIR também é adotada frequências de irrigação (FI) para melhorar o aproveitamento da água pela planta (Khapte et al., 2019; Fara et al., 2019). Todavia, a variação na disponibilidade hídrica no solo gera uma rede complexa de mudanças morfológicas e fisiológicas na planta e nos frutos (Morales et al., 2015). Por isso, diversos estudos mostraram que a adoção desta prática atrelada a FI corretas, promove melhoria na eficiência de uso da água (EUA), nas taxas fotossintéticas, maior condutância estomática, aumenta a produtividade e melhora os atributos de qualidade dos frutos de tomateiro, como sólidos solúveis, açúcares totais, relação SS/AT e compostos bioativos (Kirda et al., 2004; Fara et al., 2019; Liu et al., 2021; Medyouni et al., 2021). Os incrementos nessas características passam pela manutenção da abertura estomática por mais tempo ao longo do dia, proporcionando maior e melhor distribuição e alocação de fotoassimilados (Chai et al., 2016). Os efeitos do DIR e FI são

otimizados em solos com acidez devidamente corrigidos pois melhoraram o suprimento de nutrientes da cultura, facilitam o maior desenvolvimento da raiz e consequentemente aumenta a zona ativa de absorção radicular (Fara et al., 2019).

A combinação de gesso e calcário agrícola, para correção da acidez do solo, são fundamentais para a construção do perfil químico do solo e melhoraria do crescimento radicular. Isso ocorre, pois, a aplicação do calcário permite a correção da acidez do solo na camada superficial, além de promover o suprimento de cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) da planta. Enquanto o gesso devido sua alta mobilidade, é transportado através do perfil do solo para as camadas subsuperficiais promovendo a correção da acidez e o desenvolvimento radicular nesta zona (Saeed e Ahmad, 2009; Fara et al., 2019).

O fósforo (P) é um macronutriente essencial que desempenha um papel importante principalmente no crescimento inicial e metabolismo das plantas (Higo et al., 2020). É imprescindível como componente estrutural de RNA, DNA, fosfolipídios, além de ser um regulador em cascata de sinalização para transdução de sinais (Lambers e Plaxton, 2018). Adicionalmente, o P é constituinte fundamental dos nucleotídeos como o ATP (adenosina trifosfato), importante molécula que tem como principal função agir como fonte de energia a nível celular para realizações dos processos metabólicos (De col et al., 2017).

Entretanto, a indisponibilidade e/ou imobilidade do P no solo limita o crescimento das plantas (Higo et al., 2020), pois reduz o crescimento inicial da planta, reduzindo o desenvolvimento máximo da raiz e rendimento final da cultura do tomateiro (Zhu et al., 2017; Zhu et al., 2018). Para otimizar a disponibilidade deste nutriente, especialmente nos estágios iniciais de crescimento, a aplicação de P pode ser feita de forma localizada, próximo às raízes (Ma et al., 2020) ou em subsuperfície afim de estimular o crescimento das raízes. As raízes das plantas por sua vez, respondem a manchas localizadas de nutrientes no solo em um evento conhecido como plasticidade morfológica, ou seja, crescendo em relação às mesmas; e/ou aumentando as taxas de absorção de nutrientes, em um mecanismo denominado plasticidade fisiológica (Zhou et al., 2017). Um melhor desenvolvimento inicial das raízes e consequentemente um melhor estabelecimento do sistema radicular, desempenham papéis importantes na aquisição de recursos como água e nutrientes (Hodge, 2004; Ma et al., 2020), influenciando fortemente o crescimento da planta, e melhorando as características comerciais dos frutos (Coutinho et al., 2014).

Portanto o uso integrado de estratégias de manejo de solo e água podem aumentar a produtividade e qualidade dos frutos de tomateiro. O efeito individual dos manejos de

solo, fertilização e água têm sido amplamente estudados, ao passo que poucas literaturas se referem ao efeito combinado desses fatores, principalmente na qualidade dos frutos de tomate destinados ao processamento. Por isso, o objetivo é investigar as respostas na qualidade pós-colheita do tomate indústria, às estratégias de manejo combinados visando otimizar o uso de água e nutrientes pela planta.

2. Material e Métodos

2.1 Delineamento experimental e descrição do material vegetal

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido comercial Heinz 9553 (H9553) (Heinz Seed[®]) foi utilizado. O H9553 apresenta maturação concentrada (Luz et al., 2016), crescimento determinado, com maturação completa variando de 110 a 120 dias. A semeadura foi realizada em bandejas de polipropileno de 128 células dispostas em viveiro agrícola de aço galvanizado e dimensões de 6,4 m de largura por 18,0 m de comprimento com 3,5 m de altura, fechamento em 45°, com tela de monofilamento, malha para 50% de sombra.

O experimento foi em blocos casualizados, com 4 repetições em esquema de parcelas subdivididas. Duas frequências de irrigação (FI) (um e sete dias) foram implantadas nas parcelas e três modelos de manejo de solo (adubação convencional + calcário [AC]; adubação convencional + gesso + calcário [ACG]; adubação convencional + gesso + fósforo aplicado em profundidade [ACGP]) foram implantados nas subparcelas. A área experimental foi composta por 24 unidades experimentais de 13,5 m² (4,5m x 3 m). As unidades experimentais foram dispostas em 4 fileiras simples de 4,5 m de comprimento e 3,0 m de largura, sendo 1,0 m entre as linhas de cada fileira, 0,3 m entre plantas e 1,1 m de largura entre unidade experimental. Cada unidade experimental foi composta por 64 plantas, sendo as 24 plantas usadas para as avaliações. As linhas simples das extremidades e duas plantas dos limites das linhas centrais foram consideradas bordaduras.

O experimento foi realizado entre e março a agosto de 2021, na área experimental da Unidade Técnica-operacional de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) pertencente ao Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20° 45'S e 42° 51'W, altitude de 693m).

2.2 Preparo do solo, plantio e manejo da irrigação

As características físico-químicas do solo foram realizadas (Tabela 1).

Tabela 1. Características físico-químicas do solo na área experimental, Viçosa-MG, 2021.

	Profundidade				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
pH H ₂ O	6,35	6,53	6,51	6,25	6,07
P (mg dm ⁻³)	139,50	4,80	4,70	2,40	4,70
K (mg dm ⁻³)	136,0	42,0	18,0	10,0	122
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	4,01	2,78	2,67	2,38	2,32
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,44	0,30	0,35	0,34	0,40
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H + Al (cmolc dm ⁻³)	4,00	1,90	2,40	2,40	2,20
SB (cmolc dm ⁻³)	4,80	3,19	3,07	2,75	3,03
T (cmolc dm ⁻³)	8,80	5,09	5,47	5,15	5,23
t (cmolc dm ⁻³)	4,80	3,19	3,07	2,75	3,03
V (%)	54,50	62,70	56,10	53,40	57,90
m (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MO (dia kg ⁻¹)	2,53	1,33	1,06	1,46	0,93
P-rem (mg L ⁻¹)	28,9	14,3	8,30	7,60	6,40
S (mg dm ⁻³)	6,40	2,20	4,10	15,60	35,0
Zn (mg dm ⁻³)	9,72	0,30	0,14	0,00	0,56
Fe (mg dm ⁻³)	59,30	57,60	37,60	35,00	35,50
Mn (mg dm ⁻³)	84,2	26,70	12,30	8,50	9,70
Cu (mg dm ⁻³)	2,18	2,09	1,54	1,21	1,14
B (mg dm ⁻³)	0,44	0,24	0,10	0,15	0,13
Ds (g cm ⁻³)	1,03	1,02	0,99	0,99	0,97
Areia grossa (Kg Kg ⁻¹) ⁽¹⁾	0,195	0,101	0,072	0,083	0,085
Areia fina (Kg Kg ⁻¹) ⁽¹⁾	0,127	0,075	0,054	0,056	0,058
Argila (Kg Kg ⁻¹) ⁽¹⁾	0,574	0,712	0,715	0,774	0,772
Silte (Kg Kg ⁻¹) ⁽¹⁾	0,104	0,112	0,099	0,087	0,095

P, K, Fe, Zn, Mn e Cu disponíveis extraídos com Mehlich⁻¹; Ca, Mg e Al extraídos com KCl - 1 mol L⁻¹; Acidez potencial a pH 7,0 extraídos com acetato de cálcio obtido a partir de 0,5 mol L⁻¹; B de água quente. Densidade do solo (Ds); ⁽¹⁾ Solos, (2013).

O solo foi subsolado com hastes de 60 cm, gradeado e arado. A correção da acidez, condicionamento de solo e a complementação da adubação com fósforo (P) em subsuperfície foram realizadas. Os elementos utilizados foram cálcio, magnésio e pentóxido de difósforo; o método foi por calagem utilizando como fonte calcário dolomítico, gessagem utilizando gesso agrícola e a complementação com P em subsuperfície na forma de superfosfato triplo, nas quantidades de 4,35 (kg parcela⁻¹), 1,35 (kg parcela⁻¹) e 163,5 (g m⁻¹ linear), respectivamente.

Após o preparo do solo e vinte e cinco dias após emergência, as plântulas de 12 a 15 cm de altura, com 4 a 6 folhas verdadeiras, foram transplantadas para a área de cultivo experimental. A produção das mudas, transplântio, controle de plantas daninhas, de doenças e de pragas foram feitos de acordo com Alvarenga (2013).

O manejo da irrigação foi determinado pela evapotranspiração da cultura (ET_c). A demanda hídrica da cultura e as frequências de irrigação (FI) adotadas foram calculados seguindo a estimativa da ET_c, tomando como base os coeficientes de ajuste em relação à evapotranspiração de referência (ET₀) (Tabela 2). O balanço hídrico foi usado para calcular a lâmina líquida de irrigação. As equações 1 e 2 foram utilizadas para estimar a evapotranspiração da cultura (Allen; Pereira, 2009; Delazari et al. 2016).

$$Etc = ET0xKc \quad Eq. 1$$

$$Kc = (KcbxKs) + Ke \quad Eq. 2$$

em que: ET_c é evapotranspiração da cultura, em mm d⁻¹;

ET₀, evapotranspiração de referência, em mm d⁻¹;

K_c, coeficiente da cultura, adimensional;

K_{cb}, coeficiente basal da cultura, adimensional;

K_e, coeficiente da evaporação do solo, adimensional;

K_s, coeficiente de estresse, adimensional.

O ciclo do tomate foi dividido em fases fenológicas e os valores do K_{cb} foram ajustados em função do estágio de desenvolvimento da cultura. O K_{cb} inicial, intermediário e final foi de 0,15; 1,15 e 0,70, respectivamente (Allen et al., 1998).

Tabela 2. Quantidade total de água aplicada pelo sistema de irrigação por gotejamento, precipitação e evapotranspiração da cultura (ET_c) no experimento

Precipitação	IRN	ITN	Precipitação	ET _c
--------------	-----	-----	--------------	-----------------

		(mm)	(mm)	(mm)	+ ITN (mm)	(mm)
Frequências	1	87,30	131,53	132,42	219,72	201,87
(dias)	7	87,30	128,53	129,83	217,13	201,87

PREC= Precipitação; IRN= Irrigação real necessária; ITN= Irrigação total necessária; ETc= Evapotranspiração da cultura.

O método de irrigação utilizado foi localizado por gotejamento. O equipamento da marca Naan Dan Jain Irrigation, modelo AmnonDrip, autocompensante e antidrenante operando em vazão real de 1,60 L h⁻¹ foi utilizado. O sistema de irrigação operou com uniformidade de 99,4%, determinada através do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (Mantovani et al., 2013).

2.3. Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos foram obtidos através de uma estação agrometeorológica automática E 4000 (IRRIPLUS) equipadas com sensores que de temperatura (°C), umidade relativa (%), velocidade do vento (m s⁻¹), radiação solar (W m⁻² dia⁻¹) e precipitação (mm). Os dados foram coletados e usados para os cálculos de manejo de irrigação.

2.4 Análises físico-químicas dos frutos

A colheita ocorreu aos 128 dias após o transplântio. Os frutos foram colhidos manualmente em estágio de maturação “vermelho maduro” o que corresponde a frutos com mais de 90% da superfície vermelha (Gupta et al., 2019). Foram amostradas 10 plantas de cada unidade experimental. Em seguida, se procedeu mais uma amostragem e seleção prévia dos frutos adotando-se critérios de uniformidade de tamanho, graus de maturação e sanidade do material vegetal.

2.4.1 Firmeza da polpa

A firmeza da polpa foi determinada com um penetrômetro digital (Fruit hardness tester[®] mod. FR-5120) usando uma sonda cilindro de aço inoxidável com diâmetro de 8 mm. Para essa análise, 5 tomates foram utilizados, realizando-se duas leituras em posições opostas na região equatorial do fruto (totalizando 10 medições por repetição) (Al-Dairi et al. 2021). Os resultados foram expressos em Newtons (N).

2.4.2 Teor de Sólidos Solúveis e Acidez titulável

Frutos de tomate foram processados em moinho analítico (IKA® A11 basic), posteriormente filtrados e o suco homogêneo da polpa foi obtido. A determinação dos sólidos solúveis foi realizada usando refratômetro digital portátil (Atago® mod PR-201α) e os resultados expressos porcentagem (%) (Sinha et al., 2019). A acidez foi determinada pela titulação de 10 mL do filtrado de tomate com NaOH 0,05 N até pH 8,2, de acordo com Tigist et al. (2013). A acidez titulável foi expressa em porcentagem (%), assumindo o ácido cítrico como ácido predominante no suco de tomate.

2.4.3 Matéria seca (MS)

Frutos frescos de tomate foram pesados em balança semi-analítica (precisão de 0,0001g) adotando-se duplicatas para cada repetição dentro dos respectivos tratamentos. Em seguida, o material foi colocado numa estufa de ar de circulação forçada à 65 °C por 72 h até atingir peso constante. Decorrido esse tempo, pesou-se novamente (Ronga et al. 2017). O resultado foi expresso em porcentagem de matéria seca (% MS), sendo calculado a partir da seguinte fórmula: $\%MS = (MS/MF) \times 100$

Em que: %MS é porcentagem da matéria seca dos frutos de tomate (%);

MS é o peso dos frutos de tomate após secagem (g);

MF é o peso dos frutos frescos de tomate em (g);

2.5 Preparo da Extração

O preparo do extrato seguiu a metodologia descrita por Araújo et al. (2020) com poucas modificações. Foram pesadas aproximadamente 2 g de polpa fresca dos frutos de tomate previamente cortados. As amostras foram moídas e homogeneizadas em etanol 80% fervente. O sobrenadante foi recuperado, filtrado e centrifugado a 13.000 rpm durante 10 minutos. Em seguida, extrato foi reunido e aferido para volume conhecido com etanol 80% e posteriormente usados para quantificação de açúcares redutores (AR) e compostos fenólicos totais (CF).

2.5.1 Açúcares Redutores (AR)

O conteúdo de açúcares redutores (AR) foi quantificado seguindo adaptações do método do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) proposto por Gonçalves et al. (2010). Para quantificação, foi retirado uma alíquota de 0,25 mL do extrato etanólico, adicionado 0,25 mL de água deionizada e 0,5 mL do reagente DNS. Tubos contendo a solução foram aquecidos em banho-maria fervente durante 5 minutos. Após o resfriamento, adicionou-

se 4 mL de água deionizada e a absorbância foi lida em espectrofotômetro a 540 nm (GENESYS TM UV-VIS Thermo Scientific). Os resultados foram expressos em %AR com base na massa fresca (MF) usando a curva padrão de frutose (0-1,0 mg).

2.5.2 Compostos Fenólicos (CF)

O conteúdo de composto fenólicos totais (CF) foi quantificado seguindo a metodologia proposta por Fu et al. (2011) com algumas modificações. Para quantificação foi retirado uma amostra de 0,2 mL do extrato etanólico, adicionado 1 mL de Folin e mantido em temperatura ambiente. Posteriormente, adicionou-se 0,8 mL de carbonato de cálcio (7,5%), agitou-se, e foram incubadas em ambiente escuro por 30 minutos. Após esse procedimento a absorbância foi lida a 760 nm em espectrofotômetro (GENESYS TM UV-VIS Thermo Scientific). Os resultados foram expressos em mg ácido gálico 100 mg⁻¹ MF usando curva padrão de ácido gálico.

2.5.3 Carotenoides totais (CT)

O teor de carotenoides totais em frutos foi obtido conforme metodologia realizada por De Araújo et al. (2020) com algumas modificações. Pesou-se 0,75 g do fruto em 10 mL de acetona 80% resfriada. Após isso, o preparo foi incubado no escuro por 24 horas a 4 °C. O extrato foi obtido através da filtragem do material e a absorbância lida a 470 nm em espectrofotômetro (GENESYS TM UV-VIS Thermo Scientific). Os coeficientes de absorção foram determinados a partir de curvas de calibração preparadas com o padrão de licopeno (Strati; Oreopoulou, 2011). O conteúdo de carotenoides totais foi expresso em mg 100g⁻¹ MF, seguindo a fórmula proposta por Rodriguez-Amaya (2001).

2.5.4 Determinação de cálcio (Ca²⁺) nos frutos

O preparo das amostras dos frutos de tomateiro consistiu da secagem em estufas de circulação forçada durante 72 horas a uma temperatura de 65 °C. Em seguida, as amostras foram pesadas (aproximadamente 0,5 g) em balança de precisão e moídas em moinhos de facas de aço inox. A quantificação de Ca foi feita através da digestão nitroperclórica 4:1. A leitura foi feita em espectrômetro de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP- OES; Perkin Elmer Modelo Optima 8300 DV[®]) seguindo a metodologia proposta por Sarruge e Haag (1974). Os resultados foram expressos em dag kg⁻¹ de MS.

2.5.5 Extração e análise de enzimas pectinolíticas

A extração e atividade da pectinametilesterase (PME, EC3.1.1.11) foi realizada conforme descrito por Bu et al. (2013) com modificações. Tecidos do fruto congelados (0,5 g) foram triturados e homogeneizados em almofariz com um pilão, contendo solução composta por 2 mL de NaCl a 8,8% e 10 g L⁻¹ PVPP. A solução do extrato foi centrifugada por 15 min a 14000 rpm. O sobrenadante foi então recolhido e ajustado para pH 7,5 com NaOH 1M e em seguida utilizado para o ensaio da atividade enzimática.

A solução para a reação foi composta por 0,6 mL de solução de pectina (Sigma[®], de casca de frutos cítricos; solução aquosa a 0,5% ajustada para pH 7,5 usando NaOH 1 M), 0,2 mL de solução de azul de bromotimol a 0,01% (m/v), 0,75 mL de Tampão fosfato 3mM (pH 7,5), 0,1 mL de extrato enzimático. Após isso, a absorbância foi lida imediatamente a 620 nm em espectrofotômetro por 2 minutos (GENESYSTTM UV-VIS Thermo Scientific). A taxa de diminuição compreendida de 0 a 2 min foi usada para determinar a atividade da PME. A atividade enzimática foi expressa em $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg proteína}^{-1}$. O cálculo da atividade foi realizado contra uma curva padrão de ácido poligalacturônico descrito por Hagerman e Austin (1986). Proteínas totais do preparado enzimático foram determinadas pelo método de Bradford (Bradford, 1976).

A extração e atividade da poligalacturonase ((PG, EC 3.2.1.15) foi feita conforme descrito por Bu et al. (2013) com modificações. Tecidos do fruto congelado (0,5 g) foram triturados e homogeneizados com um almofariz e pistilo e, em seguida, extraídos adicionando 2 mL de tampão de acetato de sódio 37,5 mM (pH 5,0). A solução do extrato foi centrifugada por 15 min a 14000 rpm. O sobrenadante foi coletado e usado para determinar a atividade enzimática.

A solução para a reação da PG foi realizada a partir da mistura contendo 0,2 mL tampão de acetato de sódio 37,5 mM (pH 5,0), 0,225 mL de ácido poligalacturônico a 0,25% (m/v) diluído previamente em tampão acetato de sódio 100mM (pH 5,0), 0,1 mL do extrato enzimático. A mistura foi incubada a 37 ° C durante 15 minutos e a reação paralisada pela adição de 0,5 mL de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) e imersão em banho-maria com água fervendo por 5 min. Após o resfriamento, foram adicionados 1 mL de água destilada e a absorbância foi lida a 540 nm em espectrofotômetro (GENESYSTTM UV-VIS Thermo Scientific). A atividade enzimática foi expressa em $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg proteína}^{-1}$. Proteínas totais do preparado enzimático foram determinadas pelo método de Bradford (Bradford, 1976).

2.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (Bartlett). Os dados foram submetidos a um teste de média pelo pacote ExpDes.pt (Ferreira et al., 2021). Uma análise de variáveis canônicas e elipses de confiança ($p \leq 0,01$) foram realizadas para estudar a inter-relação entre variáveis e os fatores usando o pacote candisc (Friendly & Fox, 2021). O programa estatístico R (R Core Team, 2021) foi usado para realizar a análise estatística.

3. Resultados

O teor de sólidos solúveis foi maior nos frutos sob manejo de solo com adubação convencional + calcário + gesso (ACG) e frequência de irrigação (FI) de sete dias (Figura 1A). A acidez titulável não diferiu (Figura B). O teor de açúcares redutores foi maior no tratamento ACG e FI de sete dias (Figura 1C). A relação SS/AT foi maior nos frutos submetidos a FI de sete dias, não havendo diferença entre os tipos manejos (Figura 1D).

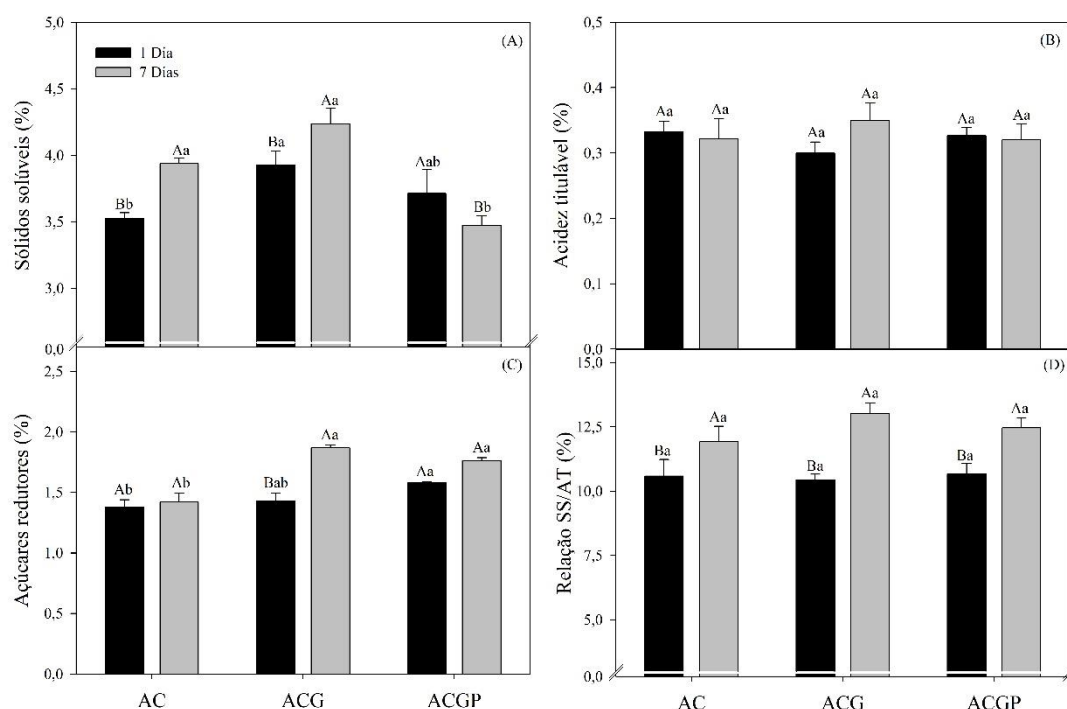


Fig. 1. Sólidos solúveis (A), Acidez titulável (B) Açúcares redutores (C) e Relação SS/AT (D) de frutos de tomate submetidos a diferentes manejos de solo (adubação convencional + calcário [AC]; adubação convencional + gesso + calcário [ACG]; adubação convencional + gesso + fósforo aplicado em profundidade [ACGP]) e frequências de irrigação (1 e 7 dias) . Os dados representam $\pm$ erro padrão ($n = 4$). Letras maiúsculas

iguais não diferem entre as frequências de irrigação e letras minúsculas entre os manejos de solo, de acordo com teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O teor de cálcio (Ca^{2+}) nos frutos de tomateiro foi menor apenas no tratamento composto pela AC e a FI de sete dias (Figura 2).

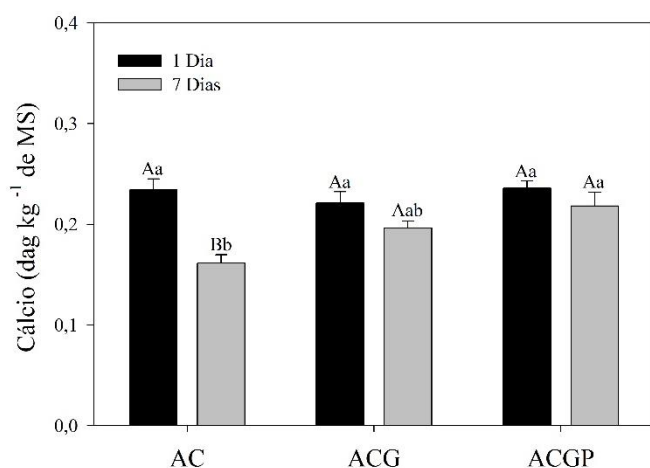


Fig. 2. Teor de cálcio em frutos do tomateiro submetidos a diferentes manejos de solo (adubação convencional + calcário [AC]; adubação convencional + gesso + calcário [ACG]; adubação convencional + gesso + fósforo aplicado em profundidade [ACGP]) e frequências de irrigação (1 e 7 dias). Os dados representam $\pm$ erro padrão ($n=4$). Letras maiúsculas iguais não diferem entre as frequências de irrigação e letras minúsculas entre os manejos de solo, de acordo com teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A firmeza de polpa foi maior nos frutos de tomate sob manejo com ACG e FI de sete dias (Figura 3A). A porcentagem de matéria seca foi maior nos frutos manejados com AC e ACG mais FI de sete dias (Figura 3B). A atividade da PG foi menor em frutos sob manejo com ACG, ACGP com FI de sete dias (Figura 3C). A atividade da PME foi menor em todos os manejos com FI de sete dias (Figura 3D).

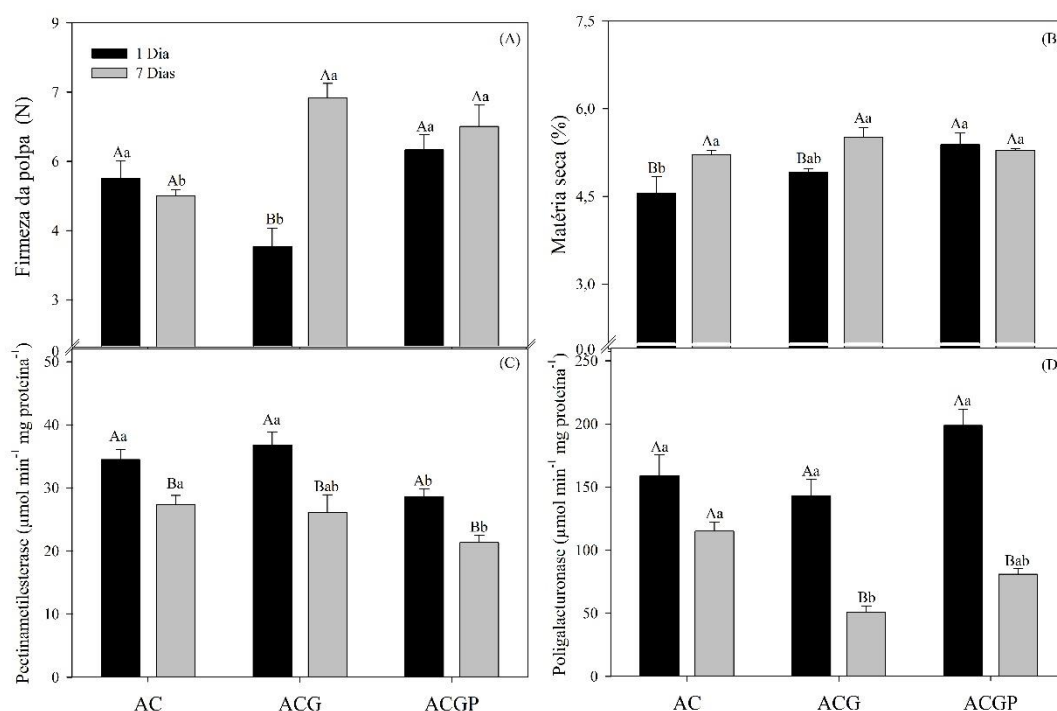


Fig. 3. Firmeza da polpa (A), Matéria seca (B), e Atividade enzimática da Pectinametilsterase (C) e Poligalacturonase (D) de frutos de tomateiro submetidos a diferentes manejos de solo (adubação convencional + calcário [AC]; adubação convencional + gesso + calcário [ACG]; adubação convencional + gesso + fósforo aplicado em profundidade [ACGP]) e frequências de irrigação (1 e 7 dias) . Os dados representam $\pm$ erro padrão (n= 4). Letras maiúsculas iguais não diferem entre as frequências de irrigação e letras minúsculas entre os manejos de solo, de acordo com teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O teor de carotenóides totais e compostos fenólicos foi maior no tratamento ACG e em todos manejos com FI de sete dias (Figura 4A e 4B).

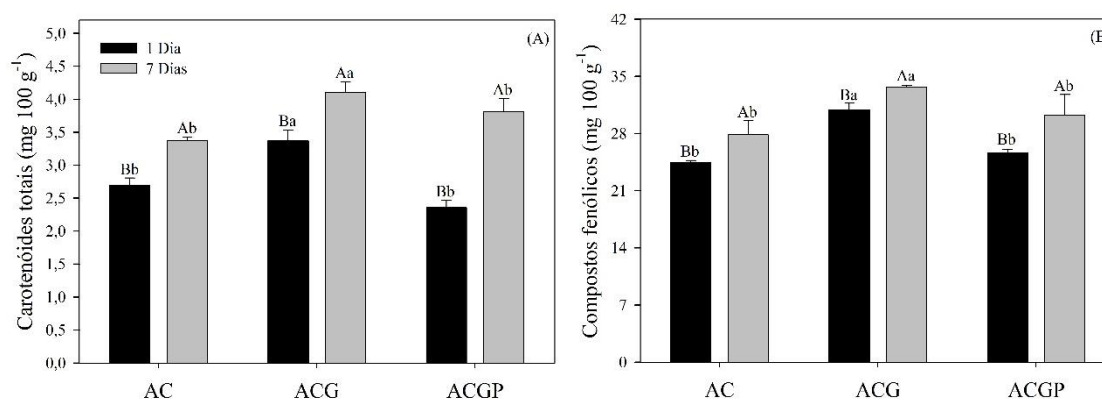


Fig. 4. Carotenóides totais (A), e Compostos fenólicos (B) de frutos de tomateiro submetidos a diferentes manejos de solo (adubação convencional + calcário [AC]; adubação convencional + gesso + calcário [ACG]; adubação convencional + gesso + fósforo aplicado em profundidade [ACGP]) e frequências de irrigação (1 e 7 dias). Os dados representam $\pm$ erro padrão (n= 4). Letras maiúsculas iguais não diferem entre as frequências de irrigação e letras minúsculas entre os manejos de solo, de acordo com teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A variância acumulada pelas duas variáveis canônicas (Can1 e Can 2) foi de 90,7%, logo, há distinção entre os tipos de manejos e as FI (Figura 5). A Can1 está correlacionada positivamente com a atividade das enzimas PG, PME e o Ca presente os frutos de tomateiro; e negativamente com AT, SS/AT, CT, AR, FEN, FIRM e MS. Por outro lado, Can2 apresentou forte correlação negativa, principalmente com o teor de Ca.

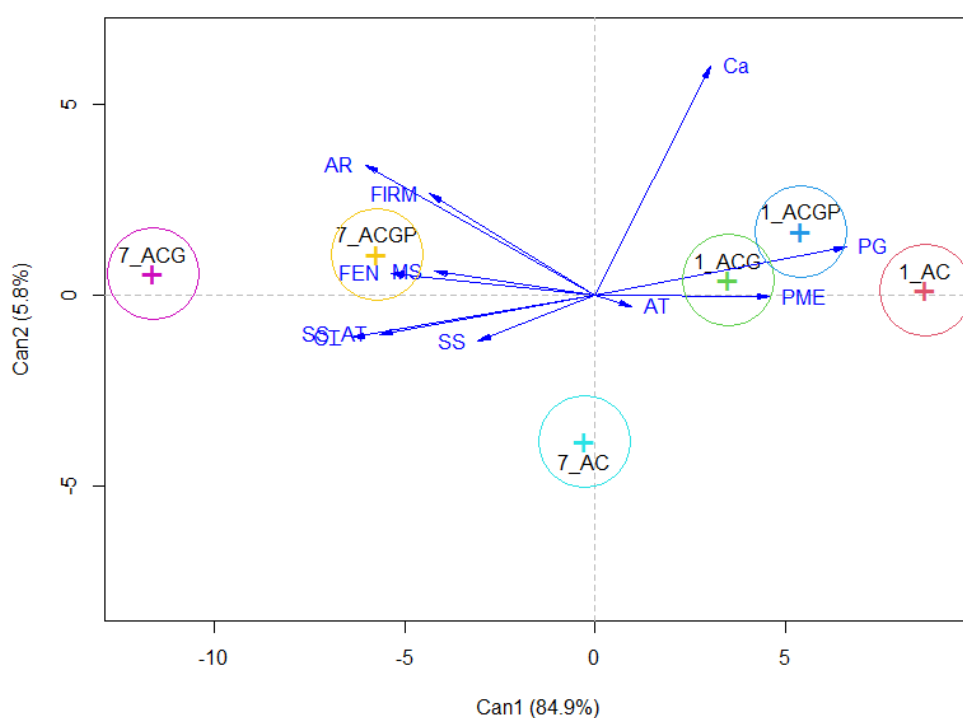


Fig. 5. Gráfico biplot da análise de variáveis canônicas e elipses de confiança ($p \leq 0,01$) para os tratamentos compostos por diferentes manejos de solo (adubação convencional + calcário [AC]; adubação convencional + gesso + calcário [ACG]; adubação convencional + gesso + fósforo aplicado em profundidade [ACGP]) e frequências de irrigação (1 e 7 dias). Ca= Cálcio; PME= Pectimetilesterase; PG= Poligalacturonase; AT= Acidez titulável= SS/AT= Relação sólidos/Acidez titulável; SS= Sólidos solúveis; FIRM=

Firmeza; MS= Matéria seca; CT= Carotenoides totais; AR= Açúcares redutores; FEN= Compostos fenólicos.

4. Discussão

O aumento do teor de SS dos frutos de tomateiro submetidos ao manejo de água com DI, adotando-se a FI de sete dias e manejo de solo com ACG se deve abaixa diluição dos sólidos solúveis causados pelo possível transporte reduzido de água (Nangare et al., 2016). O aumento do teor de SS nos frutos destinados à indústria é um dos principais objetivos a serem alcançados pelo setor, pois aumenta o rendimento industrial, pois os padrões de identidade e qualidade (PQI) são mais facilmente atingidos (Wei et al., 2018). Quanto maior o teor de SS, menor a energia necessária para evaporar a água dos frutos no preparo dos extrato, molhos e sucos concentrado (Bennett, 2012; Darivá et al., 2021).

AT não diferiu provavelmente devido ao mecanismo de ajuste osmótico que envolve a síntese ativa de ácidos orgânicos sob estresse hídrico, não ter tido influência dos tratamentos com os manejos de solo e DIR (Hou et al., 2020). Em comparação com o metabolismo dos açúcares, o metabolismo do ácido málico e cítrico, (principais ácidos encontrados no tomate) envolve vias bioquímicas catalisadas por enzimas incluindo a carboxilação do fosfoenolpiruvato (PEP), a descarboxilação do oxaloacetato, o ciclo do ácido tricarboxílico (TCA) e o ciclo do glioxilato (Etienne et al., 2013; Hou et al., 2020). No entanto, ainda permanece mal compreendido na literatura os mecanismos fisiológicos envolvido por trás das respostas do acúmulo de ácido a estratégias de DIR. A não influência dos manejos na acidez titulável em contraste com o aumento nos SS sob regimes DIR com FI de sete dias, promoveram um aumento na relação SS/AT, indicando um aumento na percepção de doçura do fruto a partir da maior alocação de açúcares e menor diluição dos mesmos (Wang e Frei, 2011; Hou et al., 2017). Segundo Mian et al. (2021) tomates que apresentam relação SS/AT maiores que 10 são considerados de bom sabor. Em nosso estudo os valores variaram de 11,92 a 13,01.

O aumento dos AR nos tratamentos ACG e FI de sete dias pode ser explicado pelo aumento da atividade de enzimas do metabolismo de carboidratos que aumentam a degradação de dissacarídeos durante o período de maturação do fruto, gerando maior mobilização e acúmulo de glicose e frutose nos frutos (Ruan et al., 2010; Ripoll et al., 2014; Hou et al., 2020).

As melhorias na qualidade dos frutos de tomate em relação aos aumentos nos SS, açúcares, e consequentemente melhor relação SS/AT, é devido à redução de brotações laterais e crescimento reprodutivo em plantas submetidos ao DIR. Estas reduções, melhoram a atividade de dreno nos frutos de tomateiro, logo, o carboidrato que seria direcionado para os brotos é redirecionado ao fruto, culminando no aumento de assimilados nos mesmos (Patanè e Cosentino, 2010; Wei et al., 2018; Liu et al., 2021). Adicionalmente, o DIR moderado pode induzir um maior acúmulo de amido durante desenvolvimento inicial dos frutos, com maior conversão do mesmo em açúcares a partir do aumento da atividade das enzimas catabolizadoras de carboidratos que modulam a concentração de açúcar em tomate durante a maturação (Zegbe et al., 2003; Sun et al., 2014; Liu et al., 2021). Essas enzimas, durante o amadurecimento podem ter sua atividade modulada pelo etileno e o ácido abscísico (ABA) (Sun et al., 2013), pode estimular a atividade das enzimas invertases, que catabolizam carboidratos e desencadeiam o aumento de açúcares nos frutos (Ruan et al., 2010; Wei et al., 2018).

O menor teor de Ca^{2+} nos frutos de tomate no manejo de solo AC e FI de sete dias pode ser explicado pela menor taxa de fluxo de massa de água no xilema que é influenciada principalmente pela transpiração e taxas de crescimento da planta (Hocking et al., 2016; Reitz et al., 2021), além da disponibilidade do nutriente no solo. Isso indica que os manejos de solo ACG e ACGP, aumentaram os teores e a disponibilidade de Ca^{2+} no solo, independentemente das FI adotadas. Estudos prévios demonstraram que a aplicação exclusiva de calcário proporcionou melhorias nos atributos químicos do solo, incluindo reduções de pH, Al^{3+} trocável, H^+ e de micronutrientes catiônicos (Fe, Mn, Cu e Zn), reduzindo possíveis efeitos tóxicos no desenvolvimento da planta e crescimento microbiano (Carmeis Filho et al., 2017). No entanto, em estudo recente Bossoloni et al. (2020) relatou que a aplicação de cal e gesso conjuntamente proporcionaram maior disponibilidade de N, P, Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} quando comparada a aplicação exclusiva de cal. Embora o gesso não afete diretamente o pH do solo, essas mudanças na disponibilidade dos nutrientes citados, aumentam o pH devido às reações de troca de ligantes de S-SO_4^{2-} com hidróxidos terminais associados a óxidos de Al e Fe, que deslocam OH e promovem a neutralização parcial da acidez do solo. As melhorias no rendimento das culturas devido à aplicação de gesso são principalmente devido ao aumento de Ca^{2+} e solubilidade de S no solo e, consequentemente, disponibilidade nas plantas e/ou redução da disponibilidade de Al^{3+} no solo, principalmente em camadas profundas (Caires et al., 2011). Devido à termodinâmica da troca iônica e às propriedades do Ca^{2+} , o gesso também pode

potencialmente aumentar a lixiviação de Mg^{2+} e K^+ para camadas profundas (Zoca e Penn, 2017). Portanto, é razoável sugerir, que o DIR com a diminuição das FI (sete dias) e práticas de manejo de solo combinadas (ACG e ACGP), possivelmente mantém o estado nutricional e o suprimento de cálcio nos frutos de tomateiro com base na manutenção e melhor distribuição de umidade ao longo do perfil do solo (Liu et al., 2011; Chai et al., 2016), favorecendo uma maior zona de crescimento radicular e, conseqüentemente, absorção de água e nutrientes (Cui et al., 2009; Fara et al., 2019).

A maior firmeza de polpa nos frutos de tomate dos tratamentos com ACG e FI de sete dias está possivelmente relacionado com a menor atividade das enzimas pectinolíticas PG e PME que são as das principais enzimas que afeta a firmeza do tomate durante o amadurecimento (Wei et al., 2017). A razão pela qual a menor atividade de PG e PME resultar em maior firmeza dos frutos de tomateiro é que a PME catalisa a desmetilação da pectina e gera ácido péctico, um substrato para a PG. A PG, por sua vez, despolimeriza a cadeia do ácido poligalacturônico (Xie et al., 2017). A despolimerização desses domínios estruturais e a solubilização de polissacarídeos pécticos causa a modificação dos polissacarídeos da parede celular e, por fim a desmontagem de sua arquitetura, como resultado da ação combinada destas enzimas (Brummel e Harspter, 2001; Tieman et al., 1992; Bu et al., 2013; Kumar et al., 2021). No entanto, como o cálcio é um dos principais constituintes da pectina na parede celular e auxilia na estabilização da membrana plasmática (Hocking et al., 2016), níveis adequados deste nutriente nos frutos de tomate contribui para estabilização, causando uma inibição persistente da hidrólise dos polissacarídeos pécticos e suprimir fortemente a liberação de pectina mediada por PG das paredes celulares (Rushing e Huber, 1987; Huber et al., 2001). Portanto, os resultados deste estudo oferecem convincentes evidências de que o efeito sinérgico das estratégias de manejo de solo e água, contribuam para menor atividade da PG e PME gerando uma menor solubilização das pectinas pelas enzimas hidrolíticas, em decorrência da presença adequada de Ca^{2+} nos frutos e a maior alocação de água para estes órgãos. Isso indica que os frutos manejados com ACG e ACGP possuem qualidades físicas superiores, ou seja, tendem ser mais firmes e menos predispostos a sofrerem danos mecânicos durante o transporte. Tomates firmes são considerados um atributo essencial para a indústria, pois toleram transporte de longa distância para os locais de processamento sem ruptura do pericarpo (Darivá et al., 2021).

O aumento na porcentagem de MS indica que as FI de sete dias combinadas com técnicas de manejo de solo provavelmente se deu pela otimização e melhoria na EUA

pelas plantas submetidas as estratégias adotadas. Concomitantemente, a aplicação de DIR também é acompanhada pela redução do potencial osmótico dos frutos, sugerindo que metabolismo ativo de solutos pode ter resultado no aumento no acúmulo de água e matéria seca na fruta (Ripoll et al., 2016). O reflexo disso, é o aumento da qualidade dos tomates, ou seja, como a MS é uma das variáveis chaves para descrever a quantidade de carbono fixado (sólidos solúveis e insolúveis, principalmente açúcares, ácidos, substâncias pécnicas e outros polissacarídeos, além de nutrientes inorgânicos) em detrimento da quantidade de água aplicada pela planta (Chai et al., 2016), (Foolad, 2007; Villas Boas et al., 2017). Portanto, podemos inferir que a maior quantidade de carbono fixado em nosso estudo refletiu em um maior rendimento dos tomates produzidos, por unidade de água fornecida. Estudos anteriores demonstraram que a adoção de estratégias de manejo que visem aumentar a EUA das plantas, mantem ou melhora a MS dos frutos de tomateiro (Li et al., 2019; Liu et al., 2021). Por outro lado, Medyouni et al. (2021) observaram uma diminuição significativa no peso seco dos frutos de tomateiro quando submetidos a condições DIR.

O aumento nos e carotenoides totais e compostos fenólicos quando submetidos ao tratamento de solo ACG e em todos manejos com FI de sete dias pode ser explicado pelo estresse oxidativo induzido das plantas pelo DIR, levando ao aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (ERO's), que estimula a síntese e acúmulo de enzimas antioxidantes como a catalase (CAT), a superóxido dismutase (SOD), a ascorbato peroxidase (APX) e a guaiacol peroxidase (GPOD), ou substâncias não-enzimáticas como licopeno, β -caroteno, vitaminas nos frutos do tomateiro (Ripoll et al., 2014; Hou et al., 2020). Estratégias de DI por sua vez, são conhecidas por desencadear aumento na síntese de carotenoides (Fanciullino et al., 2014; Darivá et al., 2021) e compostos fenólicos (Fumar et al., 2015). Em nosso estudo, observamos que a adoção do DIR, face o aumento da FI (sete dias) influenciou no aumento do teor de compostos fenólicos e carotenoides totais, em todos os tratamentos, principalmente quando combinadas com ACG. Maiores teores de carotenoides também foram reportados por Coyago-Cruz et al. (2022) em frutos de tomateiro quando submetidos a estratégias de DIR.

Nossos resultados evidenciaram altos escores positivos obtidos em Can1 indicando que os tratamentos com a FI diária, independentemente do tipo de manejo adotado, resultaram em altas atividades da PME e PG, menor firmeza de polpa, bem como um baixo conteúdo de FEN, e CT. Em contraste, os escores negativos em Can1 obtidos pelos manejos com ACG E ACGP e FI de sete dias, indica uma produção de frutos mais

firmes, com maior teor de CT, FEN, AR, e MS, bem como maior relação SS/AT. O alto escore positivo em Can2 indica uma forte relação negativa de Ca, com os manejos com AC com FI de sete dias.

5. Conclusão

As estratégias de manejo combinadas de água e solo promoveram aumento na qualidade pós colheita do tomate indústria. A menor atividade da pectinametilesterase e poligalacturonase e resultou em maior firmeza nos frutos com manejo ACG e FI de sete dias. O manejo ACG e FI de sete dias influenciaram positivamente os sólidos solúveis, açúcares redutores, relação SS/AT, firmeza, matéria seca, compostos fenólicos e carotenoides totais do tomate. Portanto, os manejos combinados de solo e água ACG e ACGP com FI de sete dias são recomendados para o cultivo em campo do tomate destinado ao processamento industrial.

Contribuição dos autores

J.V.S.M., E. D. P. e N. O. A. projetaram e executaram o experimento; J.V.S.M., E. D. P. escreveram o artigo, D.J.H.S., S.M.S., W.S.R e T.J.D corrigiram e supervisionaram o trabalho.

Declaração de conflito de interesse

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

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - código financeiro 001), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), a Universidade Federal da Paraíba e a Universidade Federal de Viçosa pelo financiamento e suporte técnico para a realização desta pesquisa.

Referências

Al-Dari, M., Pathare, P. B., Al-Yahyai, R., 2021. Effect of postharvest transport and storage on color and firmness quality of tomato. *Horticulturae*. 7, 163. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7070163>

- Ali, A., Lin, S.L., He, J.K., Kong, F.M., Yu, J.H., Jiang, H.S., 2019. Climatic water availability is the main limiting factor of biotic attributes across large-scale elevational gradients in tropical forests. *Science of The Total Environment*. 647, 1211-1221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.072>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., 2009. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrigation Science*. 28, 17-34. <https://doi.org/10.1007/s00271-009-0182-z>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300, D05109.
- Almeida Neta, M. N., Mota, W. F. D., Pegoraro, R. F., Pacheco, M. C., Batista, C. M., & Soares, M. D. C. 2019. Agronomic yield and quality of industrial tomatoes under NPK doses. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 24, 59-64. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p59-64>
- Alvarenga, M.A.R., Alvarenga, M., Carvalho, J.G., Bastos, A.R.R., Vale, F.X.R., Zambolim, L., Zambolim, E.M., Lima, L.A., Faquin, V., 2004. Tomate: Produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. Lavras: UFLA. 400p.
- Araújo, N. O., Vêras, M. L. M., de Sousa Santos, M. N., de Araújo, F. F., de Jesus Tello, J. P., & Finger, F. L., 2020. Sucrose degradation pathways in cold-induced sweetening and its impact on the non-enzymatic darkening in sweet potato root. *Food Chemistry*. 312, 125904. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125904>
- Arbex de Castro Vilas Boas, A., Page, D., Giovanazzo, R., Bertin, N., & Fanciullino, A. L. 2017. Combined effects of irrigation regime, genotype, and harvest stage determine tomato fruit quality and aptitude for processing into puree. *Front. Plant. Sci.* 8, 1725. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01725>
- Bennett, A. B., 2012. Taste: Unraveling tomato flavor. *Current Biology*. 22, R443-R444. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.04.017>
- Bogale, A., Nagle, M., Latif, S., Aguila, M., & Müller, J., 2016. Regulated deficit irrigation and partial root-zone drying irrigation impact bioactive compounds and antioxidant activity in two select tomato cultivars. *Scientia Horticulturae*. 213, 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.029>

- Bossolani, J. W., Crusciol, C. A. C., Merloti, L. F., Moretti, L. G., Costa, N. R., Tsai, S. M., & Kuramae, E. E., 2020. Long-term lime and gypsum amendment increase nitrogen fixation and decrease nitrification and denitrification gene abundances in the rhizosphere and soil in a tropical no-till intercropping system. *Geoderma*. 375, 114476. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114476>
- Bradford, M. M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*. 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Brummell, D. A., & Harpster, M. H., 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant molecular biology*. 47, 311-339. <https://doi.org/10.1023/A:1010656104304>
- Bu, J., Yu, Y., Aisikaer, G., & Ying, T., 2013. Postharvest UV-C irradiation inhibits the production of ethylene and the activity of cell wall-degrading enzymes during softening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 86, 337-345. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.026>
- Caires, E. F., Joris, H. A. W., & Churka, S., 2011. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. *Soil Use and Management*. 27, 45-53. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00310.x>
- Carneis Filho, A. C., Penn, C. J., Crusciol, C. A., & Calonego, J. C., 2017. Lime and phosphogypsum impacts on soil organic matter pools in a tropical Oxisol under long-term no-till conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 241, 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.027>
- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H. L., Waskom, R. M., Niu, Y., & Siddique, K. H., 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for sustainable development*. 36, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0338-6>
- Chapagain, A. K., & Orr, S., 2009. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. *Journal of environmental management*. 90, 1219-1228. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.06.006>
- Coutinho Edson, L. M., Orioli Júnior, V., da Silva, E. J., Coutinho Neto, A. M., & Cardoso, S. S., 2014. Nutrición, producción y calidad de frutos de tomate para procesamiento en función de la fertilización con fósforo y potasio. *AgrocienciaUruguay*. 18, 40-46

http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S230115482014000200005&lng=es&tlng=es

Coyago-Cruz, E., Corell, M., Moriana, A., Hernanz, D., Stinco, C. M., Mapelli-Brahm, P., & Meléndez-Martínez, A. J., 2022. Effect of regulated deficit irrigation on commercial quality parameters, carotenoids, phenolics and sugars of the black cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.) 'Sunchocola'. *Journal of Food Composition and Analysis*.105, 104220. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104220>

Cui, N., Du, T., Kang, S., Li, F., Hu, X., Wang, M., & Li, Z., 2009. Relationship between stable carbon isotope discrimination and water use efficiency under regulated deficit irrigation of pear-jujube tree. *Agricultural Water Management*. 96, 1615-1622. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.06.009>

Dariva, F. D., Pessoa, H. P., Copati, M. G. F., de Almeida, G. Q., de Castro Filho, M. N., de Toledo Picoli, E. A., ... & Nick, C., 2021. Yield and fruit quality attributes of selected tomato introgression lines subjected to long-term deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*. 289, 110426. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110426>

De Col, V., Fuchs, P., Nietzel, T., Elsässer, M., Voon, C. P., Candeo, A., & Schwarzländer, M., 2017. ATP sensing in living plant cells reveals tissue gradients and stress dynamics of energy physiology. *Elife*. 6, e26770. <https://doi.org/10.7554/eLife.26770.001>

Delazari, F. T., Giovanelli, L. B., Gomes, R. S., Junior, R. M., Lima, J. D. O., De Freitas, E. M., & Da Silva, D. J. H., 2016. Irrigation water management during the ripening of tomato aiming fruit quality. *African Journal of Agricultural Research*. 11, 4525-4531. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11673>

Dodd, I. C., 2009. Rhizosphere manipulations to maximize 'crop per drop'during deficit irrigation. *Journal of Experimental Botany*, 60, 2454-2459. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp192>

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F., 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*. 28, 350-356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>

Ferreira, E. B., Cavalcanti, Portya. P., & Nogueira, D. A., 2021. ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues). R package version 1.2.1.

Fanciullino, A. L., Bidel, L. P. R., & Urban, L., 2014. Carotenoid responses to environmental stimuli: integrating redox and carbon controls into a fruit model. *Plant, Cell & Environment*. 37, 273-289. <https://doi.org/10.1111/pce.12153>

FAOSTAT., 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Production and Trade Statistics. Disponível online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em 03 de janeiro de 2022.

Fara, S. J., Delazari, F. T., Gomes, R. S., Araújo, W. L., & da Silva, D. J. H., 2019. Stomata opening and productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. *Scientia Horticulturae*. 255, 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.025>

Foolad, M. R. (2007). Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International journal of plant genomics*, 2007. <https://doi:10.1155/2007/64358>

Tonetto de Freitas, S., McElrone, A. J., Shackel, K. A., & Mitcham, E. J., 2014. Calcium partitioning and allocation and blossom-end rot development in tomato plants in response to whole-plant and fruit-specific abscisic acid treatments. *Journal of Experimental Botany*. 65. 235-247. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert364>

Friendly, M., Fox, J., & Friendly, M. M., 2013. Visualizing generalized canonical discriminant and canonical correlation analysis. R Package “candisc”, version: 0.6–5.

Gonçalves, C., Rodriguez-Jasso, R. M., Gomes, N., Teixeira, J. A., & Belo, I., 2010. Adaptation of dinitrosalicylic acid method to microtiter plates. *Analytical Methods*. 2, 2046-2048. <https://doi.org/10.1039/C0AY00525H>

Gupta, A., Pandey, R., Sinha, R., Chowdhary, A., Pal, R. K., & Rajam, M. V., 2019. Improvement of post-harvest fruit characteristics in tomato by fruit-specific over-expression of oat arginine decarboxylase gene. *Plant Growth Regulation*. 88, 61-71. <https://doi.org/10.1007/s10725-019-00488-0>

Helyes, L., Lugasi, A., & Pek, Z., 2012. Effect of irrigation on processing tomato yield and antioxidant components. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 36, 702-709. <https://doi:10.3906/tar-1107-9>

Higo, M., Azuma, M., Kamiyoshihara, Y., Kanda, A., Tatewaki, Y., & Isobe, K., 2020. Impact of phosphorus fertilization on tomato growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Microorganisms*. 8, 178. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8020178>

- Hocking, B., Tyerman, S. D., Burton, R. A., & Gilliam, M., 2016. Fruit calcium: transport and physiology. *Frontiers in plant Science*. 7, 569. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00569>
- Hodge, A., 2004. The plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients. *New phytologist*. 162, 9-24. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01015.x>
- Hou, M., Jin, Q., Lu, X., Li, J., Zhong, H., & Gao, Y., 2017. Growth, water use, and nitrate-15N uptake of greenhouse tomato as influenced by different irrigation patterns, 15N labeled depths, and transplant times. *Frontiers in Plant Science*. 8, 666. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00666>
- Hou, X., Zhang, W., Du, T., Kang, S., & Davies, W. J., 2020. Responses of water accumulation and solute metabolism in tomato fruit to water scarcity and implications for main fruit quality variables. *Journal of experimental botany*. 71, 1249-1264. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz526>
- Huber, D. J., Karakurt, Y., & Jeong, J., 2001. Pectin degradation in ripening and wounded fruits. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13, 224-241. <https://doi.org/10.1590/S0103-31312001000200009>
- Khapte, P. S., Kumar, P., Burman, U., & Kumar, P., 2019. Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications. *Scientia horticulturae*. 248, 256-264. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.006>
- Kirda, C., Çetin, M., Dasgan, Y., Topçu, S., Kaman, H., Ekici, B., ... & Ozguven, A. I., 2004. Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agricultural water management*. 69, 191-201. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.04.008>
- Kumar, N., Tokas, J., Raghavendra, M., & Singal, H. R., 2021. Impact of exogenous salicylic acid treatment on the cell wall metabolism and ripening process in postharvest tomato fruit stored at ambient temperature. *International Journal of Food science & technology*. 56, 2961-2972. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14936>
- Lambers, H., & Plaxton, W. C., 2018. Phosphorus: back to the roots. *Annu Plant Rev* 48: 3–22. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0516>
- Li, Q., Wei, M., Li, Y., Feng, G., Wang, Y., Li, S., & Zhang, D., 2019. Effects of soil moisture on water transport, photosynthetic carbon gain and water use efficiency in tomato are influenced by evaporative demand. *Agricultural Water Management*. 226, 105818. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105818>

- Liu, J., Hu, T., Feng, P., Yao, D., Gao, F., & Hong, X., 2021. Effect of potassium fertilization during fruit development on tomato quality, potassium uptake, water and potassium use efficiency under deficit irrigation regime. *Agricultural Water Management*. 250, 106831. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106831>
- Liu, J., Hu, T., Feng, P., Yao, D., Gao, F., & Hong, X., 2021. Effect of potassium fertilization during fruit development on tomato quality, potassium uptake, water and potassium use efficiency under deficit irrigation regime. *Agricultural Water Management*. 250, 106831. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106831>
- Liu, L., Gan, Y., Bueckert, R., & Van Rees, K., 2011. Rooting systems of oilseed and pulse crops I: Temporal growth patterns across the plant developmental periods. *Field Crops Research*. 122, 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.04.002>
- Luz, J. M., Bittar, C. A., Oliveira, R. C., Nascimento, A. R., & Nogueira, A. P., 2016. Desempenho e divergência genética de genótipos de tomate para processamento industrial. *Horticultura Brasileira*, 34, 483-490. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620160406>
- Ma, Q., Chen, L., Du, M., Zhang, Y., & Zhang, Y., 2020. Localized and moderate phosphorus application improves plant growth and phosphorus accumulation in *Rosa multiflora* thunb. ex murr. via efficient root system development. *Forests*, 11, 570. <https://doi.org/10.3390/f11050570>
- Mantovani, E. C., Delazari, F. T., Dias, L. E., de Assis, I. R., Vieira, G. H., & Landim, F. M., 2013. Yield and water use efficiency for two sweet potato cultivars depending on irrigation depths. *Horticultura Brasileira*, 31, 602-606. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000400015>
- Medyouni, I., Zouaoui, R., Rubio, E., Serino, S., Ahmed, H. B., & Bertin, N., 2021. Effects of water deficit on leaves and fruit quality during the development period in tomato plant. *Food Science & Nutrition*, 9, 1949-1960. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2160>
- Mian, S., Constantino, L. V., Nunes, M. P., Ventura, M. U., Spinosa, W. A., Hata, N. N., ... & Gonçalves, L. S., 2021. Post-harvest quality and sensory acceptance of Italian tomatoes grown under organic, integrated and conventional management. *Horticultura Brasileira*. 39, 417-424. <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210411>

- Morales, R. G. F., Resende, L. V., Bordini, I. C., Galvão, A. G., & Rezende, F. C., 2015. Caracterização do tomateiro submetido ao déficit hídrico. *Scientia Agraria*. 16, 9-17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99538306001>
- Nangare, D. D., Singh, Y., Kumar, P. S., & Minhas, P. S., 2016. Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. *Agricultural Water Management*. 171, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.016>
- Patanè, C., & Cosentino, S. L., 2010. Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. *Agricultural water management*. 97, 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.021>
- Quinet, M., Angosto, T., Yuste-Lisbona, F. J., Blanchard-Gros, R., Bigot, S., Martinez, J. P., & Lutts, S., 2019. Tomato fruit development and metabolism. *Frontiers in plant Science*. 10, 1554. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01554>
- R Core Team., 2021. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: RFoundation for Statistical Computing.
- Reitz, N. F., Shackel, K. A., & Mitcham, E. J., 2021. Differential effects of excess calcium applied to whole plants vs. excised fruit tissue on blossom-end rot in tomato. *Scientia Horticulturae*. 290, 110514. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110514>
- Ripoll, J., Urban, L., Staudt, M., Lopez-Lauri, F., Bidel, L. P., & Bertin, N., 2014. Water shortage and quality of fleshy fruits—making the most of the unavoidable. *Journal of Experimental Botany*. 65, 4097-4117. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru197>
- Rodriguez-Amaya, D. B., 2001. *A guide to carotenoid analysis in foods* (Vol. 71). Washington: ILSI press.
- Ronga, D., Zaccardelli, M., Lovelli, S., Perrone, D., Francia, E., Milc, J., & Pecchioni, N., 2017. Biomass production and dry matter partitioning of processing tomato under organic vs conventional cropping systems in a Mediterranean environment. *Scientia horticulturae*. 224, 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.037>
- Ruan, Y. L., Jin, Y., Yang, Y. J., Li, G. J., & Boyer, J. S., 2010. Sugar input, metabolism, and signaling mediated by invertase: roles in development, yield potential, and response to drought and heat. *Molecular Plant*. 3, 942-955. <https://doi.org/10.1093/mp/ssq044>

- Rushing, J. W., & Huber, D. J., 1987. Effects of NaCl, pH and Ca^{2+} on autolysis of isolated tomato fruit cell walls. *Physiologia Plantarum*. 70, 78-84. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1987.tb08700.x>
- Saeed, R., & Ahmad, R., 2009. Vegetative growth and yield of tomato as affected by the application of organic mulch and gypsum under saline rhizosphere. *Pakistan Journal of Botany* 41, 3093-3105.
- Sarruge, J. R., & Haag, H. P., 1974. *Análises químicas em plantas* (p. 56). Piracicaba: Esalq.
- Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., & Zhao, C. X., 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes rendus biologiques*. 331, 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.01.002>
- Sinha, S. R., Singha, A., Faruquee, M., Jiku, M., Sayem, A., Rahaman, M., ... & Kader, M. A., 2019. Post-harvest assessment of fruit quality and shelf life of two elite tomato varieties cultivated in Bangladesh. *Bulletin of the National Research Centre*. 43, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0232-5>
- Solos, E., 2013. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro.
- Strati, I. F., & Oreopoulou, V., 2011. Process optimisation for recovery of carotenoids from tomato waste. *Food Chemistry*. 129, 747-752. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.015>
- Sun, Y., Holm, P. E., & Liu, F., 2014. Alternate partial root-zone drying irrigation improves fruit quality in tomatoes. *Horticultural Science*. 41, 185-191. <https://doi.org/10.17221/259/2013-HORTSCI>
- Sun, Y., Feng, H., & Liu, F., 2013. Comparative effect of partial root-zone drying and deficit irrigation on incidence of blossom-end rot in tomato under varied calcium rates. *Journal of Experimental Botany*. 64, 2107-2116. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert067>
- Tieman, D. M., Harriman, R. W., Ramamohan, G., & Handa, A. K., 1992. An antisense pectin methylesterase gene alters pectin chemistry and soluble solids in tomato fruit. *The Plant Cell*. 4, 667-679. <https://doi.org/10.1105/tpc.4.6.667>
- Tigist, M., Workneh, T. S., & Woldetsadik, K., 2013. Effects of variety on the quality of tomato stored under ambient conditions. *Journal of food science and technology*. 50, 477-486. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0378-0>

- Wang, Y., Liu, F., Andersen, M. N., & Jensen, C. R., 2010. Improved plant nitrogen nutrition contributes to higher water use efficiency in tomatoes under alternate partial root-zone irrigation. *Functional Plant Biology*. 37, 175-182. <https://doi.org/10.1071/FP09181>
- Wang, Y., & Frei, M., 2011. Stressed food—The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 141, 271-286. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.017>
- Wei, Y., Zhou, D., Wang, Z., Tu, S., Shao, X., Peng, J., ... & Tu, K., 2018. Hot air treatment reduces postharvest decay and delays softening of cherry tomato by regulating gene expression and activities of cell wall-degrading enzymes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 98, 2105-2112. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8692>
- Wei, Z., Du, T., Li, X., Fang, L., & Liu, F., 2018. Interactive effects of elevated CO₂ and N fertilization on yield and quality of tomato grown under reduced irrigation regimes. *Frontiers in plant Science*. 9, 328. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00328>
- Xie, F., Yuan, S., Pan, H., Wang, R., Cao, J., & Jiang, W., 2017. Effect of yeast mannan treatments on ripening progress and modification of cell wall polysaccharides in tomato fruit. *Food chemistry*. 218, 509-517. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.086>
- Yang, X., Zhang, P., Wei, Z., Liu, J., Hu, X., & Liu, F., 2020. Effects of CO₂ fertilization on tomato fruit quality under reduced irrigation. *Agricultural Water Management*. 230, 105985. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105985>
- Yemm, E. W., Cocking, E. C., & Ricketts, R. E., 1955. The determination of amino-acids with ninhydrin. *Analyst*. 80, 209-214. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1955/an/an9558000209/unauth>
- Zegbe-Dominguez, J. A., Behboudian, M. H., Lang, A., & Clothier, B. E., 2003. Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in ‘Petopride’ processing tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). *Scientia Horticulturae*. 98, 505-510. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(03\)00036-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(03)00036-0)
- Zhou, C., Jiang, W., Li, Y., Hou, X., Liu, A., & Cai, L., 2017. Morphological plasticity and phosphorus uptake mechanisms of hybrid Eucalyptus roots under spatially heterogeneous phosphorus stress. *Journal of Forestry Research*. 28, 713-724. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0335-x>

Zhu, Q., Ozores-Hampton, M., Li, Y., Morgan, K., Liu, G., & Mylavarapu, R. S., 2017. Effect of phosphorus rates on growth, yield, and postharvest quality of tomato in a calcareous soil. *HortScience*. 52, 1406-1412. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12192-17>

Zhu, Q., Ozores-Hampton, M., Li, Y. C., & Morgan, K. T., 2018. Phosphorus application rates affected phosphorus partitioning and use efficiency in tomato production. *Agronomy Journal*. 110, 2050-2058. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0152>

Zoca, S. M., & Penn, C., 2017. An important tool with no instruction manual: a review of gypsum use in agriculture. *Advances in Agronomy*. 144, 1-44. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.001>