

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CAMPUS MONTE CARMELO

GUSTAVO HENRIQUE MATOS ZANCHETA

Uso de haste gotejadora e arco-gotejador na irrigação do tomateiro (*Solanum lycopersicum*)

MONTE CARMELO

2025

GUSTAVO HENRIQUE MATOS ZANCHETA

Uso de haste gotejadora e arco-gotejador na irrigação do tomateiro (*Solanum lycopersicum*)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior.

MONTE CARMELO

2025

GUSTAVO HENRIQUE MATOS ZANCHETA

Uso de haste gotejadora e arco-gotejador na irrigação do tomateiro (*Solanum lycopersicum*)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior.

Monte Carmelo, 2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Junior (UFU)

Prof. Dr. Osvaldo Rettore Neto (UFU)

Mestrando Deyvid da Silva Gallet (UFU)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que tornaram possível a conclusão deste trabalho de conclusão de curso. Em especial, quero agradecer a meu pai, Marcos Roberto Zancheta, e minha mãe, Andreia Cristina Carvalho de Matos Zancheta, por serem meu alicerce e por seu apoio incondicional ao longo dessa jornada de estudos. São exemplos de extremo caráter e amor, e sua presença foi fundamental para meu crescimento acadêmico e pessoal.

Também desejo estender meu agradecimento ao meu orientador, Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Junior, cujas orientações e oportunidades foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço igualmente a todos os membros do Centro de Inteligência em Cultivos Irrigados (CinCi) e à Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Monte Carmelo, por proporcionarem um ambiente de ensino impecável e oportunidades de aprendizado.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma estiveram envolvidos nessa trajetória, pois cada interação e experiência foram cruciais para minha jornada. Este trabalho é resultado do apoio e da dedicação de uma rede incrível de pessoas que tornaram possível alcançar este objetivo. Obrigado a todos pelo suporte e pelo incentivo ao longo desses anos.

**“O sucesso é a soma de pequenos
esforços repetidos dia após dia.”**

(Robert Collier)

RESUMO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum*) é uma hortaliça-fruto de grande importância econômica no Brasil, com ampla comercialização devido aos seus diversos atributos nutricionais e sensoriais. O manejo eficiente da irrigação, com base na demanda hídrica da cultura, é essencial para garantir a produtividade e o uso racional da água. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do tomateiro cultivado em ambiente protegido, submetido a diferentes técnicas de aplicação de água no solo por meio de irrigação localizada. O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação com cobertura de polietileno transparente de 150 micras e laterais com tela de sombreamento de 50%, localizada na área experimental da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, no município de Monte Carmelo – MG, sob as coordenadas geográficas 18°43'31" S, 47°31'21" W e altitude de 908 m. Foram utilizadas vasos de 15 L contendo Latossolo Vermelho distrófico argiloso. O manejo da irrigação foi baseado na estimativa da evapotranspiração por meio da evaporação do tanque Classe A. A cultivar utilizada foi Santa Clara, de crescimento indeterminado. Foram testados oito arranjos de aplicação de água, com vazões de 2 e 4 L h⁻¹, utilizando acessórios do tipo haste e arco gotejador, totalizando 32 parcelas experimentais. Os resultados indicaram que, sob condições de altas temperaturas e irrigação na capacidade de campo, variáveis como SPAD, Brix, pH, número e peso de frutos, massa seca da parte aérea e das raízes, potencial hídrico foliar, ocorrência de fundo-preto e aborto de flores não foram significativamente influenciadas pelos tratamentos. No entanto, os arranjos com arco gotejador, especialmente nas vazões de 2 e 4 L h⁻¹, promoveram redução da temperatura média do solo, chegando a 30 °C, frente aos 34,7 °C observados nos demais tratamentos, com destaque para uma redução de até 4,7 °C às 12h. Essa menor temperatura superficial contribuiu para um melhor desempenho no crescimento inicial das plantas, evidenciando que a escolha do acessório de irrigação exerce influência direta na modulação da temperatura do solo e, consequentemente, no desenvolvimento vegetativo do tomateiro além disso, o conforto térmico proporcionado pelo arco-gotejador permite implantar estratégias alternativa de manejo da irrigação que necessariamente promovem aumento na eficiência do uso da água.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, irrigação localizada, manejo hídrico.

ABSTRACT

The tomato plant (*Solanum lycopersicum*) is a fruit vegetable of great economic importance in Brazil, widely marketed due to its various nutritional and sensory attributes. Efficient irrigation management, based on the crop's water demand, is essential to ensure productivity and rational water use. This study aimed to evaluate the vegetative and reproductive development of tomato plants grown under protected conditions, subjected to different water application techniques using localized irrigation. The experiment was conducted in a greenhouse covered with 150-micron transparent polyethylene and side walls with 50% shade mesh, located in the experimental area of the Federal University of Uberlândia, Monte Carmelo Campus, in the municipality of Monte Carmelo – MG, at the geographical coordinates 18°43'31" S, 47°31'21" W and an altitude of 908 m. Fifteen-liter pots filled with clayey dystrophic Red Latosol were used. Irrigation management was based on the estimation of evapotranspiration through evaporation from a Class A pan. The cultivar used was Santa Clara, with indeterminate growth. Eight water application arrangements were tested, with flow rates of 2 and 4 L h⁻¹, using dripper accessories of the stake and arc types, totaling 32 experimental plots. The results indicated that, under conditions of high temperatures and field capacity irrigation, variables such as SPAD index, Brix, pH, number and weight of fruits, shoot and root dry mass, leaf water potential, incidence of blossom-end rot, and flower abortion were not significantly affected by the treatments. However, the arrangements with arc drippers, particularly at flow rates of 2 and 4 L h⁻¹, led to a reduction in average soil temperature, reaching 30 °C compared to 34.7 °C observed in the other treatments, with a notable reduction of up to 4.7 °C at 12 p.m. This lower surface temperature contributed to better initial plant growth performance, highlighting that the choice of irrigation accessory directly influences soil temperature modulation and, consequently, tomato vegetative development. Furthermore, the thermal comfort provided by the arc dripper enables the implementation of alternative irrigation management strategies that necessarily promote increased water use efficiency.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, localized irrigation, water management.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVO	10
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
3.1 ASPECTOS HISTORICOS DA CULTURA DO TOMATE	10
3.2 MORFOLOGIA DA CULTURA DO TOMATE	11
3.3 ASPECTOS ECONÔMICOS DA CULTURA DO TOMATE	12
3.4 IMPORTANCIA DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO TOMATE.....	13
3.5 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA	14
4. METODOLOGIA.....	16
4.1 LOCAL E PERÍODO DO EXPERIMENTO	16
4.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTUFA E DISPOSIÇÃO EXPERIMENTAL.....	16
4.3 TIPOS DE EMISSORES E TRATAMENTOS	16
4.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	18
4.5 CULTIVAR.....	20
4.6 IRRIGAÇÃO	20
4.7 AVALIAÇÕES	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6. CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum*) representa uma hortaliça-fruto altamente valorizada no mercado brasileiro, destacando-se por sua ampla comercialização devido a diversos atributos. Sua versatilidade para consumo fresco é notável, evidenciada por uma composição nutricional diversificada, enriquecida com vitaminas A e C, além de sais minerais essenciais como potássio e magnésio. Reconhecido por seu ciclo curto, o tomate atrai produtores, resultando em resultados financeiros satisfatórios. Tanto para consumo direto quanto para a indústria alimentícia, o tomate conquistou uma posição significativa no mercado (LUIZ, 2019).

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o mercado agrícola do tomate destaca-se como um dos mais robustos no país, abrangendo uma área total de plantio de 51,9 mil hectares. Cerca de 35% desse espaço é dedicado ao cultivo de tomate industrial, enquanto o restante destina-se ao consumo in natura, resultando em um rendimento médio de aproximadamente 70,88 toneladas por hectare e uma produção total de 3,68 milhões de toneladas (IBGE, 2023).

No cenário nacional, o cultivo de tomate industrial em Goiás historicamente destaca-se como principal produtor, respondendo por aproximadamente 60% da produção nacional de atomatados, como molhos e extratos, segundo Treichel et al. (2016). Dados mais recentes da CONAB (2024) confirmam a manutenção dessa liderança, com o estado ampliando sua participação para cerca de 65% do total nacional na safra 2022/2023, enquanto São Paulo e Minas Gerais, juntos, contribuem com 25% da produção. Esse crescimento reflete investimentos em tecnologia de irrigação e expansão de áreas cultivadas, consolidando a região como polo estratégico para o setor. A irrigação emerge como um fator crucial para atender às exigentes necessidades hídricas do tomate, trazendo benefícios que incluem a garantia do plantio em períodos de escassez de chuva, o aumento da produtividade e qualidade dos frutos, a redução da dependência de técnicas mecanizadas, a criação de empregos e o estímulo à economia no agronegócio (MAROUELLI et al., 2012). A importância da irrigação na cultura do tomate é evidente, considerando suas demandas hídricas.

O cultivo protegido oferece uma alternativa segura aos desafios impostos pelas condições climáticas. Ao escolher essa abordagem, os produtores ganham maior controle sobre o ambiente de cultivo, resultando em benefícios significativos, como o controle do microclima e a redução da incidência de doenças e pragas (SENTELHAS et al., 1995). Amplamente aplicado na produção de mudas, flores e hortifrutos, o cultivo protegido, exemplificado pelo

tomate, proporciona flexibilidade ao permitir a produção fora de época, superando as limitações sazonais da produção convencional e contribuindo para a segurança e rentabilidade do cultivo. Plantas de tomateiro sujeitas ao déficit hídrico enfrentam uma série de respostas fisiológicas e morfológicas que resultam em significativa diminuição na produção de frutos. A restrição na disponibilidade de água induz reduções na altura das plantas e no número de folhas, afetando negativamente a área foliar disponível para a fotossíntese. Além disso, o déficit hídrico impacta diretamente a taxa fotossintética, provocando uma diminuição na eficiência da conversão de luz em energia química. Concomitantemente, observa-se uma redução na transpiração e condutância estomática, mecanismos reguladores da perda de água pela planta. Essas alterações culminam no aumento da temperatura foliar, evidenciando a resposta adaptativa das plantas de tomateiro a condições de estresse hídrico, com implicações diretas na produtividade e qualidade dos frutos (MORALES et al., 2015).

2. OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do tomateiro, cultivado em ambiente protegido, submetidos a diferentes acessórios e posições de aplicação de água no solo via sistema de irrigação localizada.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DA CULTURA DO TOMATE

No Brasil, a produção de tomate teve sua origem na América do Sul, como destaca Botton (2019), sendo inicialmente introduzido no México antes da colonização espanhola nessa região. A domesticação e cultivo do tomate foram realizados por tribos indígenas. Entre 1523 e 1544, os Espanhóis levaram a hortaliça-fruto para a Europa, mas, inicialmente, era utilizada apenas para ornamentação devido à crença de que era tóxica. O consumo gastronômico do tomate ocorreu pela primeira vez na Itália. No Brasil, sua chegada aconteceu durante a colonização no século XVI, através das expedições europeias, sendo amplamente produzido com a chegada de imigrantes italianos e japoneses ao país.

O sucesso do tomate no Brasil e no mundo é atribuído tanto aos aspectos socioeconômicos quanto ao seu valor nutricional. Além de possuir um sabor atrativo, é rico em vitaminas A, B e minerais essenciais como Ferro e Potássio, conforme destacado por Brito Júnior (2012). O tomate, devido à sua contribuição para a medicina, demonstra eficiência na prevenção do câncer de próstata e no fortalecimento da imunidade corporal.

No contexto nacional, o cultivo do tomate abrange sistemas variados, dependendo de fatores como a localidade de produção, grupo, hábito de crescimento, exigência do mercado e situação econômica do produtor, conforme mencionado por Turnes (2017). No que diz respeito à sua cultura, é uma das hortaliças mais cultivadas em ambientes protegidos, podendo atender às demandas de comercialização e consumo em períodos desfavoráveis à sua produção, conforme enfatizado por Brito Júnior (2012).

A exigência quanto aos tratos culturais do tomate é destacada, sendo a irrigação correta o fator mais crucial, interferindo diretamente na produção e qualidade dos frutos, conforme ressalta Brito Júnior (2012). Turnes (2017) complementa, indicando que a cultura do tomate enfrenta diversas aparições de pragas e doenças, necessitando de avaliações para identificação dos patógenos e implementação de um adequado manejo sanitário.

3.2 MORFOLOGIA DA CULTURA DO TOMATE

O *Solanum Lycopersicum*, conhecido como tomate e pertencente à família Solanaceae, destaca-se como a hortaliça mais produzida, exercendo impacto significativo nos aspectos econômicos e sociais. Sua importância transcende, gerando oportunidades de emprego tanto de forma direta quanto indireta, com maior ênfase na agricultura familiar (TURNES, 2017). No âmbito botânico, Gomes (2016) esclarece que o tomate é uma hortaliça-fruto com porte arbustivo e um ciclo de produção longo. O sistema radicular do tomateiro apresenta características morfofisiológicas que variam de acordo com o ambiente de cultivo e o manejo adotado. Em condições ideais de campo, a raiz principal, do tipo pivotante, pode atingir profundidades de até 1,5 metros, sendo que aproximadamente 70% das raízes se concentram nos primeiros 20 cm do solo, onde ocorre a maior densidade de absorção de água e nutrientes (EMBRAPA, 2025). No entanto, em sistemas de cultivo protegido, como estufas, plasticultura ou cultivo em vasos, essa arquitetura radicular sofre alterações significativas devido às restrições físicas impostas pelo ambiente e pelo volume limitado do substrato ou solo empregado (KÄMPF et al., 2005). Nessas condições, o uso de irrigação localizada, como o gotejamento, intensifica a concentração de umidade em zonas específicas do substrato, o que induz a maior densidade de raízes nas proximidades dos emissores, reduzindo a exploração volumétrica do sistema radicular (MAROUELLI et al., 2005). Essa limitação espacial da raiz exige um manejo criterioso da irrigação e do ambiente de produção para garantir adequada absorção de água e nutrientes, maximizando o desempenho fisiológico e produtivo da cultura.

O fruto do tomate é reconhecido como uma baga carnosa e succulenta, exibindo variação em tamanho e forma, com sua polpa fragmentada por lóculos. A cultura é classificada em cinco grupos, cada um com suas particularidades, apresentando variações em tamanho e peso de acordo com o método de plantio (PEIXOTO et al., 2017).

Em relação à descrição de Brito Júnior (2012), o caule do tomate é caracterizado por sua forma redonda e pubescência, sendo macio na juventude e tornando-se fibroso com o tempo. As folhas são dispostas alternadamente, com comprimento variando de 11 a 32 cm. A flor, de acordo com Peixoto et al. (2017), é hermafrodita, agrupando-se em cachos de pequenas flores de coloração amarela. A maioria dos frutos, segundo os autores, adquire uma tonalidade vermelho-viva quando maduros, resultado da combinação entre a cor da polpa e a película amarelada. Destaca-se que o pigmento responsável pela atrativa coloração vermelha, tanto nos tomates in natura quanto nos produtos industriais derivados, é o licopeno, substância reconhecida por suas propriedades anticancerígenas. Essas características qualitativas do tomate são essenciais, influenciando diretamente na seleção de frutos para a industrialização e no atendimento aos preceitos de menor custo, maior qualidade e produtividade na produção (PEIXOTO et al., 2017).

3.3 ASPECTOS ECONÔMICOS DA CULTURA DO TOMATE

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) documenta a produção global de tomate no ano de 2016, abrangendo 175 países. Este cultivo estende-se por diversas latitudes, desde regiões de elevada latitude, como Canadá, até áreas próximas à linha do Equador, como Colômbia e Nigéria. Essa abrangência resulta em uma produção total que ultrapassa a marca impressionante de 177 milhões de toneladas, sendo cultivada em uma extensa área de aproximadamente 4,8 milhões de hectares (FAO, 2023).

A liderança na produção de tomate é mantida pela China, que cultiva uma área superior a um milhão de hectares, resultando em uma impressionante produção anual que ultrapassa os 56 milhões de toneladas. No contexto brasileiro, a produção atingiu 4.167.629 toneladas no mesmo ano, conforme dados da FAO, sendo cultivada em uma extensão de 63.980 hectares. Essa produção nacional alcançou uma média de produtividade notável, totalizando 65,14 toneladas por hectare. Para uma visão mais abrangente, a Tabela 1 apresenta os principais países produtores de tomate, com base nos dados do FAOSTAT de 2018.

Tabela 01 - Principais países produtores de tomate (2016)

País	Área (ha)	Produtividade (ton./ha)	Produção (ton.)
China	1.003.992	56,20	56.423.811
Índia	760.000	24,21	18.399.000
USA	144.410	90,29	13.038.000
Turquia	188.720	66,93	12.600.000
Egito	198.712	39,77	7.943.285
Itália	109.404	61,94	6.743.025
Irã	159.123	40,06	6.372.633
Espanha	54.100	86,19	4.671.867
Brasil	61.980	65,14	4.167.689
Demais Países	2.109.804	22,33	47.013.114
Total	4.789.434	37,00	177.372.261

Adaptado de FAOSTAT 2018

3.4 IMPORTANCIA DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO TOMATE

A irrigação é um componente essencial da agricultura moderna, desempenhando um papel vital no aumento da produtividade e na sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Em ambientes onde as precipitações não são suficientes para atender às demandas hídricas das culturas, a irrigação se torna uma prática indispensável para garantir o suprimento adequado de água durante todo o ciclo de crescimento das plantas. Esse controle preciso sobre o fornecimento hídrico não apenas assegura a sobrevivência das culturas, mas também permite a otimização das condições ideais para o desenvolvimento, resultando em colheitas mais abundantes e de melhor qualidade (SILVA., et al 2020).

Além disso, a irrigação desempenha um papel crucial na mitigação dos efeitos adversos das mudanças climáticas na agricultura. Com padrões climáticos cada vez mais imprevisíveis, a capacidade de irrigar as lavouras proporciona uma maior resiliência aos agricultores, permitindo que eles enfrentem variações climáticas extremas, como secas prolongadas ou chuvas irregulares. Essa flexibilidade oferecida pela irrigação não apenas protege contra as

adversidades climáticas, mas também contribui para a segurança alimentar global, assegurando um suprimento constante de alimentos em meio a desafios climáticos crescentes. Assim, a importância da irrigação transcende a simples maximização da produção agrícola, estendendo-se à garantia da estabilidade e resiliência dos sistemas alimentares em escala global (SILVA., et al 2020).

A água, apontada como o recurso natural de maior importância para a existência, é também a substância mais amplamente presente no planeta. Ela se encontra distribuída em diversas formas, quantidades e locais, conforme destacado por Donadio et al. (2005).

A gestão da irrigação assume um papel crucial na prática agrícola, ao contemplar a administração da água no momento apropriado e em quantidade adequada, em consonância com os requisitos hídricos da cultura. O consumo de água pelas culturas oscila de acordo com a fase de desenvolvimento. É imperativo salientar que o manejo da irrigação não deve ser rígido, mas sim adaptável, como enfatizado por (CRUZ, 2019).

Aplicar água em excesso pode resultar em danos às plantas, uma vez que provoca a saturação do solo, obstruindo a aeração, promovendo a evaporação intensificada e levando à salinização. Além disso, o excesso de água lixivia os nutrientes, criando um microclima propício ao surgimento de doenças, potencialmente causando prejuízos à cultura (CUNHA, 2019).

No contexto da produção de hortaliças, a utilização da irrigação localizada é comumente vinculada ao processo produtivo, uma vez que otimiza significativamente o uso da água e minimiza a incidência de doenças, conforme destacado por Silva et al. (2015). Além disso, a irrigação localizada apresenta vantagens adicionais devido à sua operação em condições de baixas pressões de serviço, o que implica na necessidade de um conjunto moto bomba menor. Esse aspecto resulta em economia de energia elétrica, conforme discutido por Curtis et al. (1996).

3.5 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

A irrigação tem passado por aprimoramentos significativos ao longo do tempo, visando a aplicação precisa de água no solo, com o objetivo de maximizar a produtividade e a eficiência agrícola. Antigamente, na região da Mesopotâmia, localizada entre os rios Tigre e Eufrates, há cerca de 10.000 anos, surgiram práticas rudimentares de irrigação que envolviam o desvio simples de água para áreas de cultivo próximas (ANGELAKIS et al., 2020). Similarmente, na antiga China, por volta de 2.500 a.C., agricultores desenvolveram sistemas de irrigação por

inundação para distribuir a água dos rios para os campos de arroz, utilizando complexos sistemas de canais e barragens. Os romanos também foram pioneiros na engenharia hidráulica, construindo aquedutos e sistemas de irrigação para suprir água às suas cidades e campos agrícolas.

O desenvolvimento dos métodos de irrigação ao longo dos séculos culminou nos sistemas modernos, como irrigação por inundação, pivô central, aspersão convencional, gotejamento superficial e subsuperficial. O sistema de gotejamento, por exemplo, distribui água diretamente na zona radicular das plantas com maior frequência e baixa vazão, proporcionando uma irrigação eficiente e localizada (MENEGASSI, 2022). Segundo Biscaro (2014), a irrigação localizada tem como objetivo molhar diretamente a área de solo onde estão as raízes das plantas, utilizando tubulações sob baixa pressão que entregam água através de emissores específicos, mantendo a umidade do solo próxima à capacidade de campo.

De acordo com Nolz (2016), a demanda hídrica das culturas, representada principalmente pela evapotranspiração, compreende a água perdida pela transpiração das plantas e pela evaporação do solo. Esta demanda pode ser estimada utilizando sensores em estações meteorológicas, lisímetros de pesagem, ou de maneira indireta, através da combinação da evapotranspiração de referência com o coeficiente de cultivo (SILVA et al., 2022; WANNIARACHCHI & SARUKKALIGE, 2022).

O método de irrigação localizada apresenta várias vantagens técnicas, como a redução significativa da mão de obra, operação contínua do equipamento, distribuição uniforme de água e produtos químicos, adaptação a diferentes gradientes de declive do solo, minimização das perdas por percolação, evaporação e deriva pelo vento, além do potencial para economia de água, fertilizantes e energia. Contudo, suas desvantagens incluem um custo inicial mais elevado, a necessidade de um sistema de filtragem rigoroso para evitar obstruções nos emissores, e a exigência de manejo mais cuidadoso em áreas com solos salinos ou na utilização de água salobra (BERNARDO, 1995; CURTIS et al., 1996).

A gestão da fração de área molhada (FAM) em sistemas de irrigação localizada, como o gotejamento, é fundamental para otimizar o uso da água e garantir a produtividade das culturas. Estudos indicam que a redução da FAM pode influenciar as relações hídricas das plantas, afetando variáveis como a transpiração, a condutância estomática e o desenvolvimento radicular (MACHADO et al., 2021). Em culturas como a melancia, valores de FAM inferiores ao recomendado não comprometeram significativamente a produtividade, embora tenham alterado a profundidade de absorção de água pelas raízes (MACHADO et al., 2021). No caso do tomateiro, pesquisas apontam que o déficit hídrico, associado à modulação da FAM, pode

impactar negativamente o crescimento vegetativo, a eficiência fotossintética e a produção de frutos (SILVA et al., 2016). Assim, compreender e manejar adequadamente a FAM é essencial para equilibrar a eficiência do uso da água e o desempenho agrônômico das culturas em condições de restrição hídrica.

4. METODOLOGIA

4.1 LOCAL E PERÍODO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em uma estufa na área experimental da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo, localizada em Monte Carmelo-MG (18°43'31" S, 47°31'21" W, altitude de 908 m), com início no final de agosto de 2023 e término em dezembro do mesmo ano.

4.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTUFA E DISPOSIÇÃO EXPERIMENTAL

A estufa possui 21 m de comprimento, 7 m de largura e 5,5 m de altura, com entrada voltada para o sul. No interior, foram dispostos 32 vasos de 16,95 dm³, distribuídos em quatro fileiras com oito vasos cada.

4.3 TIPOS DE EMISSORES E TRATAMENTOS

Foram utilizados dois tipos de emissores: A estaca (ou haste) gotejadora (Figura 01), composta por um dispositivo rígido conectado a um tubo capilar, que conduz a água até um ponto específico dentro do recipiente, e o arco gotejador (Figura 02), que promove a distribuição da água de forma semicircular ou circular sobre o solo. O delineamento experimental foi composto por oito tratamentos, baseados no tipo de emissor, posição de aplicação e taxa de aplicação. Todos os tratamentos foram realizados com duas vazões distintas, de 2 L h⁻¹ e 4 L h⁻¹. Para os tratamentos com estaca, testaram-se três configurações: posicionamento central, lateral e uso de duas estacas em posições opostas, simulando diferentes padrões de molhamento conforme o croqui (Figura 03). O sistema de irrigação foi pressurizado com bombeamento elétrico, e o controle foi realizado por meio do programador Hunter Pro-C, com duas válvulas independentes para os setores 1 e 2, correspondentes às vazões mencionadas.

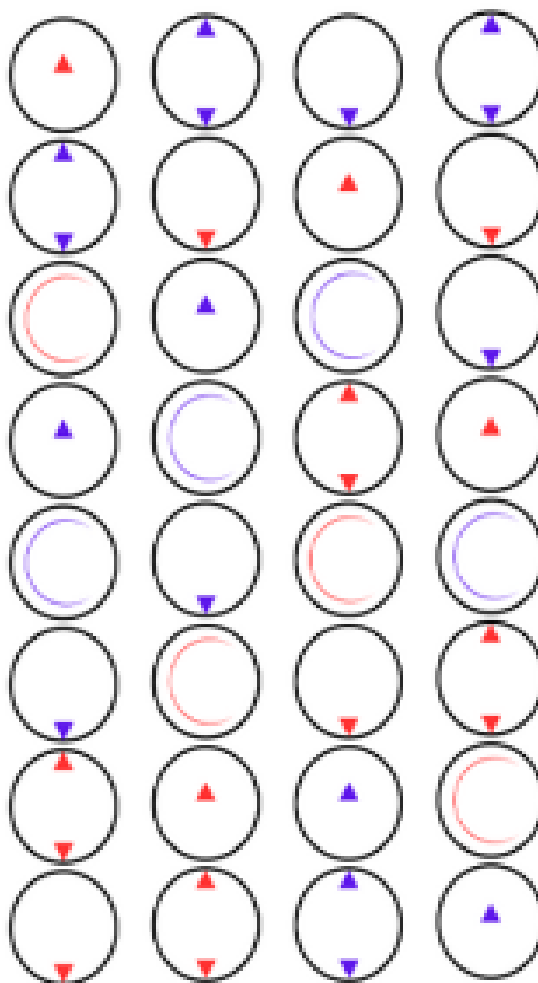
Figura 01 – haste gotejadora



Figura 02 – Arco gotejador



Figura 03 – Croqui do experimento



4.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

De acordo com o livro "Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais" (5ª aproximação), para corrigir o solo, é necessário seguir alguns parâmetros específicos, como os valores máximos de saturação por Al^{3+} tolerados pela cultura (mt % = 5), a relação entre Ca e Mg ($X \text{ cmolc/dm}^3 = 3,0$) e os valores de saturação por base (Ve % = 70). Segundo o laudo encaminhado pelo laboratório referente à amostra coletada, realizou-se a interpretação dos dados e observou-se que o solo apresenta alta fertilidade. Os parâmetros exigidos para a correção do solo estavam dentro dos limites requeridos pela cultura, e assim foi possível determinar os corretivos e adubações necessários conforme indicado na Tabela 02:

Tabela 02 - Resultados da análise química do solo, apontando o índice de fertilidade para a cultura do tomate.

Atributos	Unidade	Resultados	Índice
pH H₂O	-	6,7	Alto
pH CaCl₂	-	6,1	-
P disponível (Mehlich)	mg dm ⁻³	36,3	Muito bom
K⁺	mg dm ⁻³	740	Muito bom
Al³⁺	cmolc dm ⁻³	0	Muito baixo
H⁺ + Al³⁺	cmolc dm ⁻³	2,4	Baixo
Ca²⁺	cmolc dm ⁻³	5,02	Muito bom
Mg²⁺	cmolc dm ⁻³	3,150	Muito bom
K⁺	cmolc dm ⁻³	1,893	-
MO	dag Kg	5,2	Bom
S-SO₄²⁻	mg dm ⁻³	14	Bom
Na⁺	mg dm ⁻³	-	-
B	mg dm ⁻³	1,85	Alto
Fe²⁺	mg dm ⁻³	32	Bom
Cu²⁺	mg dm ⁻³	5,2	Alto
Mn²⁺	mg dm ⁻³	13,1	Alto
Zn²⁺	mg dm ⁻³	7	Alto
Ph SMP	-	-	-
T	cmolc dm ⁻³	12,463	Bom
SB	cmolc dm ⁻³	10,063	Muito bom
T	cmolc dm ⁻³	10,063	Muito bom
M	%	0	Muito Baixo
V	%	81	-
%K⁺	%	15	-
%Ca²⁺	%	40	-
%Mg²⁺	%	25	-

Para determinação da quantidade de adubo comercial necessária para atender às exigências da cultura. Para isso, utilizou-se o livro "Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes" (5ª aproximação), que indica para o tomateiro uma demanda de nutrientes por hectare de 100-500-200, ou seja, 500 kg de P₂O₅, 100 kg de N e 200 kg de K por hectare, a adubação foi realizada 10 dias após o transplante das mudas, dividida em quatro aplicações a

cada 15 dias, A aplicação de adubo foi realizada via drench, uma técnica de fertilização em que a solução nutritiva (geralmente diluída em água) é aplicada diretamente no solo ao redor da base das plantas, de forma abundante, encharcando a região das raízes superficiais.. Os adubos utilizados foram o MAP (60% P e 12% N) e Cloreto de Potássio (60% K). Para determinar a quantidade de adubo por vaso ou por planta, foi utilizado o espaçamento de 70 x 100 cm.

O experimento foi conduzido utilizando-se Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, coletado na Unidade Araras da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). O solo foi previamente peneirado e acondicionado em vasos plásticos. Para evitar a perda de solo pelos orifícios de drenagem, foi fixada uma tela plástica perfurada no fundo dos vasos, seguida da colocação de um pano de algodão. Com o objetivo de promover a adequada estruturação do solo, realizou-se a aplicação de água a cada dois dias, durante um período de duas semanas, até atingir o ponto de drenagem.

4.5 CULTIVAR

A cultivar Santa Clara foi escolhida por seu crescimento indeterminado e alta produtividade. Realizou-se desbrota, aplicação de defensivos e adubações foliares semanais de micronutrientes.

4.6 IRRIGAÇÃO

Para a definição da lâmina de irrigação foi utilizado um tanque evaporímetro com o objetivo de estimar a evaporação de água diária no ambiente (EVD). Para a instalação do tanque evaporímetro, realizou-se o nivelamento do solo dentro da estufa de modo a manter o tanque e a água no mesmo nível. A área de evaporação do tanque é de 0,64 m². Um palete reforçado foi empregado como base para o tanque. A leitura do nível da água era realizada através do poço tranquilizador, que continha com um parafuso micrométrico em formato de gancho com a capacidade de medir variações de 0,01mm (Figura 03).

Figura 03 – Tanque Evaporímetro com parafuso micrométrico



Foi elaborada uma planilha no Microsoft Excel com o propósito de estimar a evapotranspiração diária por meio das observações da evaporação do tanque evaporímetro. As medições foram efetuadas diariamente durante a manhã, anteriormente às 8 horas. Para realizar a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foi utilizada a expressão:

$$ET_o = EVD \times K_p.$$

Segundo Doorenbos e Pruitt (1975), o K_p é calculado com base no tamanho da bordadura, na velocidade do vento e na umidade relativa do ar diária.

O coeficiente do tanque (K_p) fará a correção do valor diário do reservatório, utilizando a fórmula a seguir:

$$K_p = 0,482 + 0,024 \ln(B) - 0,000376 \times (U) + 0,0045 \times (UR)$$

Em que:

B - Bordadura (m)

U - Velocidade do vento (km/d) e

UR - Umidade relativa média diária (%).

Para o termo B da equação, foi adotado 3,5 metros, devido à estufa ter uma largura de 7 metros e o tanque estar centralizado.

Para o fator U, utilizou-se uma velocidade de 0,5 m/s, convertido para um valor de 43,2 km/dia. Devido à baixa velocidade do vento no interior da estufa, fixou-se o valor em 0,5 m/s. O Boletim FAO 96 recomenda, de modo geral, que a velocidade do vento a 2 metros de altura seja mantida em 0,5 m/s ao ser aplicada na equação de ET₀-evapotranspiração de referência em ambientes com velocidade nula dos ventos. Essa afirmação esclarece os efeitos da instabilidade da camada limite e flutuabilidade do ar, que causam a troca de vapor para a superfície quando o ar é estável. Esse efeito ocorre quando a velocidade do vento é baixa e a flutuação do ar quente provoca a troca de ar na superfície, conforme descrito por Allen et al. (1998).

A partir desta correção, foi possível estimar a evapotranspiração de referência diária por meio da equação abaixo:

$$ET_0: K_p \times EVDA$$

Em que:

K_p - fator de correção do coeficiente de tanque

EVDA - evaporação do tanque evaporímetro (mm/dia)

Após estimar a ET₀, foi adotado o coeficiente da cultura (K_c) para que a evapotranspiração da cultura (ET_c) fosse conhecida e consequentemente estimou-se a lâmina líquida de irrigação diária. O K_c adotado para cultura do tomate foi de 0,70 após o transplante, 1,2 na metade do ciclo e 0,90 para o final do ciclo.

Para a estimativa da ET_c com o K_c conhecido, se utiliza a equação abaixo:

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

Em que:

ET₀ - significa evapotranspiração de referência

K_c - significa coeficiente da cultura.

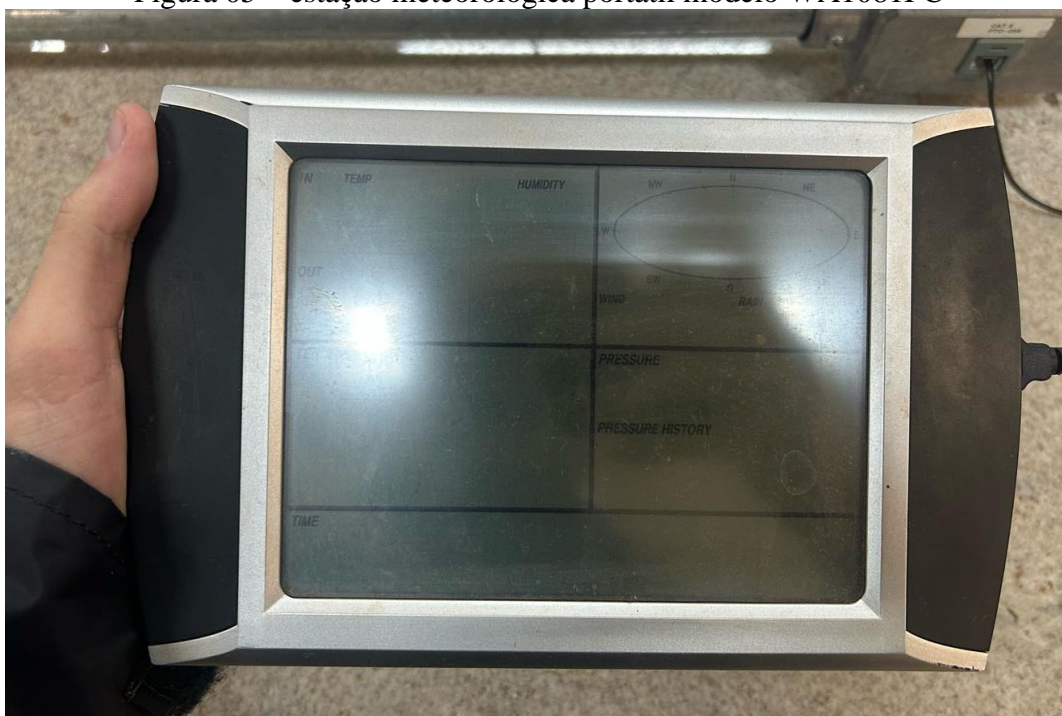
Após a execução dos cálculos, obteve-se a lâmina líquida (mm) a ser aplicada. Para obtenção da lâmina bruta, considerou-se a eficiência de aplicação do sistema. Foi realizado um teste de uniformidade de distribuição de água pelos gotejadores em que os gotejadores de 2 e 4 L/h apresentaram um Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) de 97,94% e 97,04% respectivamente (CHRISTIANSEN., 1941) (Figura 04).

Figura 04 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)



Para o monitoramento das variáveis microclimáticas umidade, temperatura e velocidade do vento no interior da estufa, foi empregada uma estação meteorológica portátil modelo WA1081PC (Figura 05) A aquisição de dados foi realizada diariamente, utilizando o *software* EasyWeather®

Figura 05 – estação meteorológica portátil modelo WA1081PC



4.7 AVALIAÇÕES

Para a avaliação do índice SPAD foi empregado o medidor portátil de clorofila SPAD-502 da Soil-Plant Analysis Development (SPAD) (Figura 06), fabricado pela Minolta Camera Co., Ltd., Japão. As medições utilizando o medidor SPAD foram realizadas nas folhas opostas ao quinto cacho, 85 dias após o transplântio (DAT), abrangendo todas as plantas do experimento. Para cada folha amostrada, foram realizadas medições em três folíolos: um em cada lado da folha (lateral) e o folíolo terminal central. A média das três leituras foi calculada utilizando o próprio medidor SPAD. A média de cada tratamento foi determinada a partir dos valores obtidos nas três folhas amostradas.

Figura 06 – Medidor portátil de clorofila SPAD-502 da Soil-Plant Analysis Development



Com a finalidade de avaliar o potencial hídrico foliar foi utilizado o método conhecido como "método da bomba de pressão" ou descrito por Scholander et al. (1965) (Figura 07), duas folhas de cada planta foram coletadas às 5 horas da manhã e imediatamente colocadas em embalagens hermeticamente fechadas dentro de um recipiente térmico. Isso foi feito para evitar a transpiração das folhas e prevenir qualquer efeito que pudesse afetar os resultados obtidos posteriormente no laboratório. Posteriormente, as folhas foram inseridas em cilindros de modo que apenas os pecíolos ficassem expostos através de pequenos orifícios revestidos com borracha nas tampas dos cilindros. Uma pressão controlada foi aplicada gradualmente à câmara do

cilindro até que fosse observada a primeira evidência de exsudação de seiva na extremidade exposta do pecíolo. Neste ponto, a injeção de gás inerte (como nitrogênio) foi interrompida e a pressão no sistema foi medida utilizando um manômetro para análise e registro de dados.

Figura 07 – Câmara de scholander

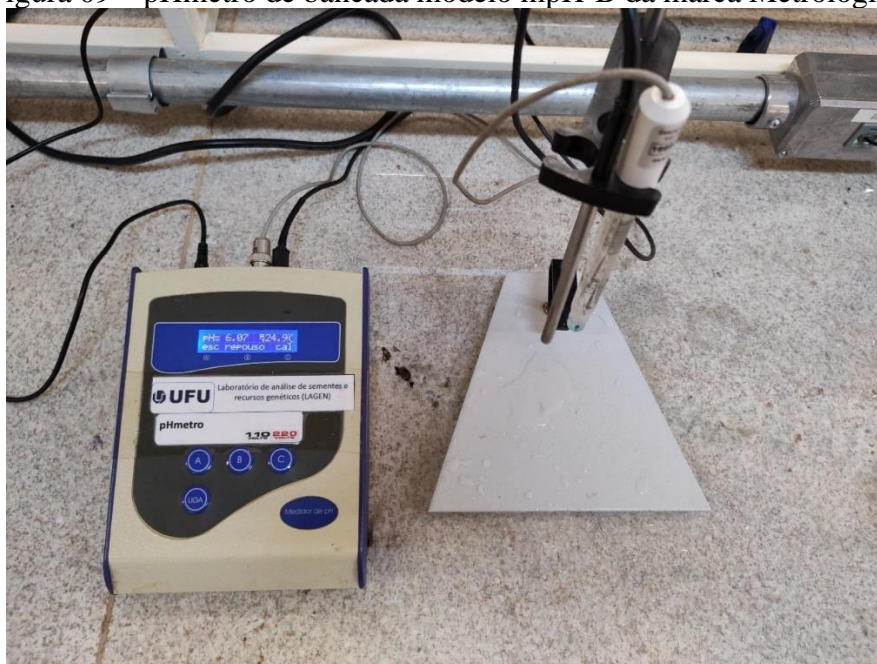


A leitura da concentração de sólidos solúveis foi realizada utilizando um refratômetro portátil, modelo RTA-70 da marca Instrutherm (Figura 08). Para avaliação, foram selecionados aleatoriamente quatro frutos de diferentes pencas de todas as plantas, e em seguida, foi calculada a média dos valores obtidos. Já para determinação do pH, foi utilizado um pHmetro de bancada modelo mpH-B da marca Metrológica (Figura 09). Os frutos foram lavados, e a parte externa removida para análise do pH da polpa e misturada com água destilada.

Figura 08 - Refratômetro portátil, modelo RTA-70 da marca Instrutherm



Figura 09 – pHmetro de bancada modelo mpH-B da marca Metrológica



Para a avaliação da temperatura superficial do solo, monitorou-se a temperatura da superfície do solo às 12:00 h, utilizando-se um termômetro infravermelho modelo NUB8380 (Figura 10), posicionado a uma distância de 30 cm da superfície do solo. Os dados foram coletados em cinco pontos de medição no vaso, sendo um na parte central e quatro em extremidades opostas. Os valores obtidos foram submetidos à análise estatística.

Figura 10 - Termômetro infravermelho modelo NUB8380



Para realizar a avaliação da massa seca da parte aérea e das raízes, folhas, caule e raiz foram colocados em sacos de papel pardo. Em seguida, todas as partes das plantas foram transferidas para a estufa de secagem e esterilização SL-100 (Figura 11). A temperatura foi ajustada para 60°C, e as plantas foram secas por um período de 72 horas. Após este período de secagem, foi realizada a medição da massa seca da parte aérea e da massa seca das raízes.

Figura 11 - Estufa de secagem e esterilização SL-100



Durante o experimento, também foram conduzidas avaliações semanais abrangendo outros parâmetros, o crescimento das plantas foi monitorado utilizando uma trena graduada para medição em milímetros. Além disso, foram realizadas a média do número de frutos e determinações do peso médio para cada planta, utilizou-se uma balança de precisão e avaliação da incidência de aborto de flores e a presença de fundo preto nos frutos também foi realizado uma média e posteriormente realização do teste estatístico.

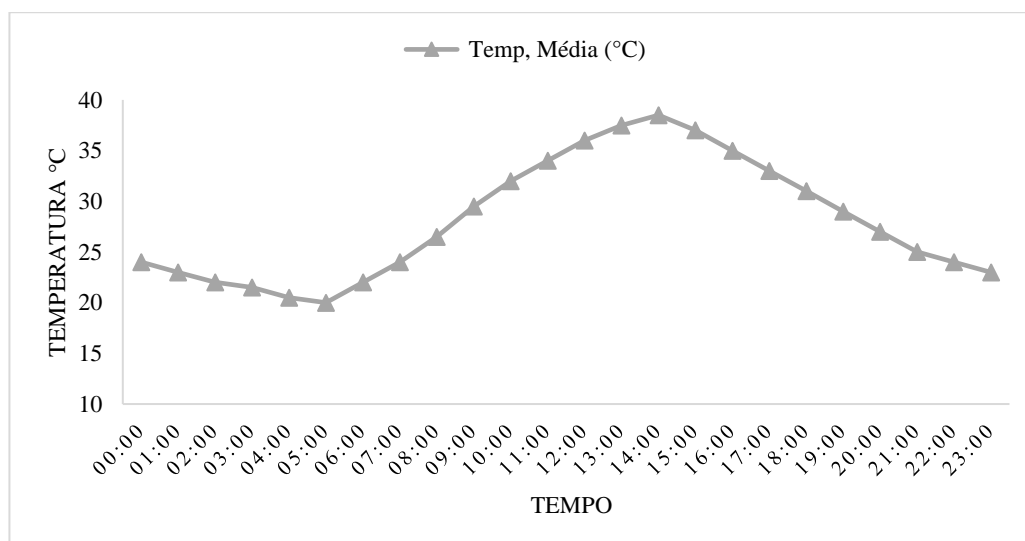
Para a análise estatística dos dados, foi utilizado o *software* SISVAR (versão 5.6) Ferreira (2011), que permite a aplicação de modelos de variância e comparação de médias. O delineamento experimental adotado em blocos casualizado (DBC), e os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para verificar a significância dos tratamentos.

Após a confirmação de diferenças significativas pelo teste F ($p < 0,05$), aplicou-se o teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade para identificar as variações entre os grupos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O monitoramento dos dados de temperatura ao longo do dia revelou uma variação significativa, com a temperatura mínima ocorrendo durante a madrugada e início da manhã, atingindo seu ponto mais baixo por volta das 4:00 às 5:00, com 17°C. Em contraste, a temperatura máxima e média aumentam gradualmente ao longo da manhã e tarde, alcançando seus picos por volta das 14:00 às 15:00, com valores de 38,5°C e 37°C, respectivamente podendo ser observadas na Figura 12. Esse período representa o horário mais quente do dia, com as plantas sujeitas a temperaturas elevadas que afetam seu metabolismo, taxa de transpiração e eficiência fotossintética. Autores como Morales (2006), Law (1999) e Camejo et al. (2005) destacam a influência da temperatura no crescimento, transpiração e produtividade das plantas, especialmente no caso do tomate, onde temperaturas acima de 30 graus Celsius podem levar ao fechamento estomático e à paralisação da fotossíntese. A temperatura ideal para o cultivo de tomates em estufas varia entre 21 °C e 27 °C durante o dia e entre 16 °C e 18 °C à noite, promovendo um desenvolvimento saudável das plantas (DRYGAIR, 2023).

Figura 12 – Temperatura média (°C) ao longo do dia dentro da estufa.



Em estufas, recomenda-se manter a umidade relativa do ar entre 60% e 85%. Durante o dia, níveis entre 80% e 85% favorecem o crescimento vegetativo, enquanto à noite, uma

umidade entre 65% e 75% é ideal para evitar a condensação excessiva e o desenvolvimento de doenças fúngicas (DRYGAIK, 2023). A umidade relativa do ar é uma variável climática significativa que influencia diretamente os processos fisiológicos das plantas. Em condições de baixa umidade, ocorre maior evaporação da água pelas folhas para a atmosfera, intensificando a transpiração, o que pode resultar em murchamento acelerado e maior demanda hídrica do solo. Além disso, níveis baixos de umidade relativa podem comprometer o crescimento, afetando de forma quantitativa e qualitativa o desenvolvimento de frutos, flores e da planta como um todo. Por outro lado, umidade elevada pode aumentar a incidência de pragas e doenças, além de dificultar o processo de polinização (FORD, 1974; MORTENSEN, 2000; GRANTZ, 1990).

Durante a condução do experimento, a umidade relativa média do ar foi de 59,31%. O valor máximo registrado foi de 81,14%, aos 57 dias após o transplante (DAT), enquanto o mínimo observado foi de 33,34%, por volta dos 64 DAT, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Umidade relativa média do ar (%) ao longo dos dias.

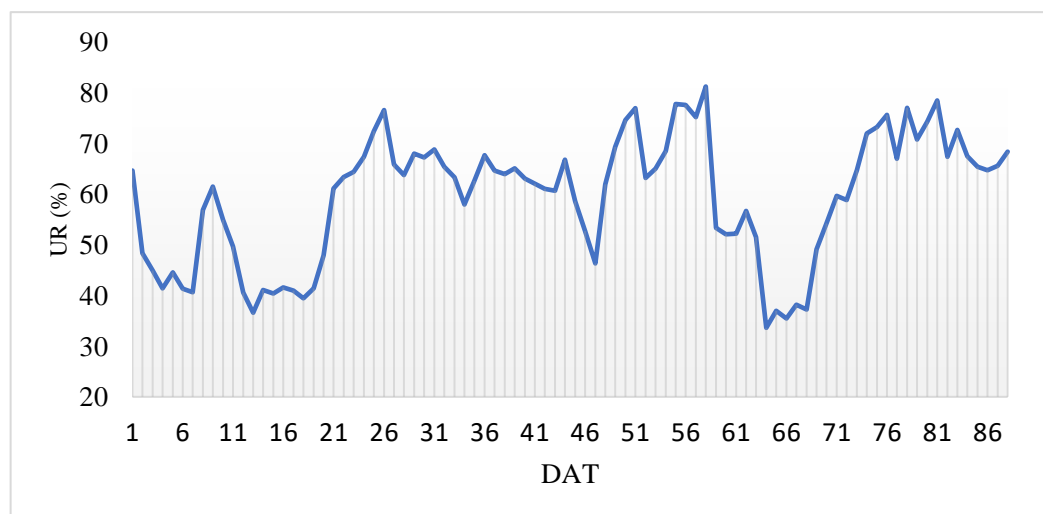
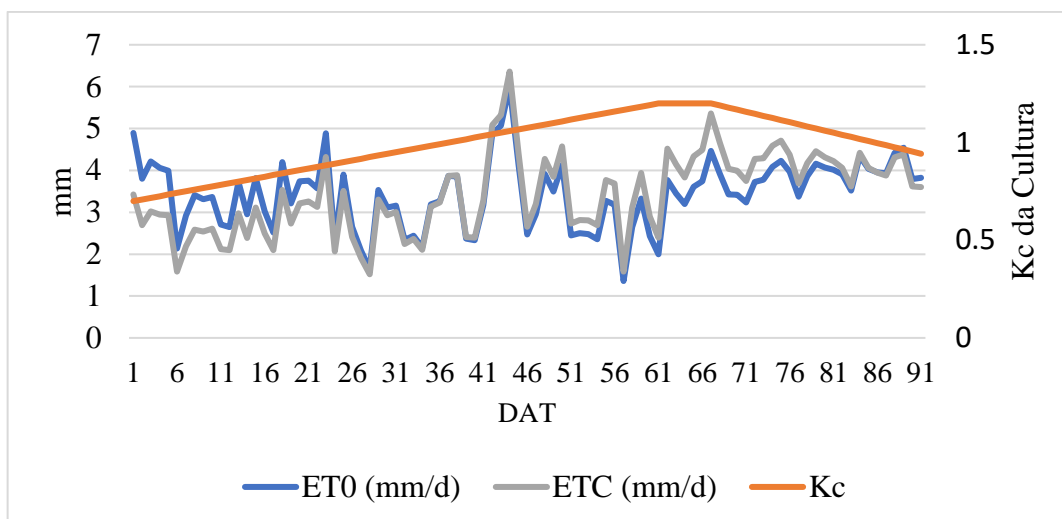


Figura 14 - Comportamento da ETo (mm), Kc e ETc (mm) ao longo do ciclo do tomateiro.

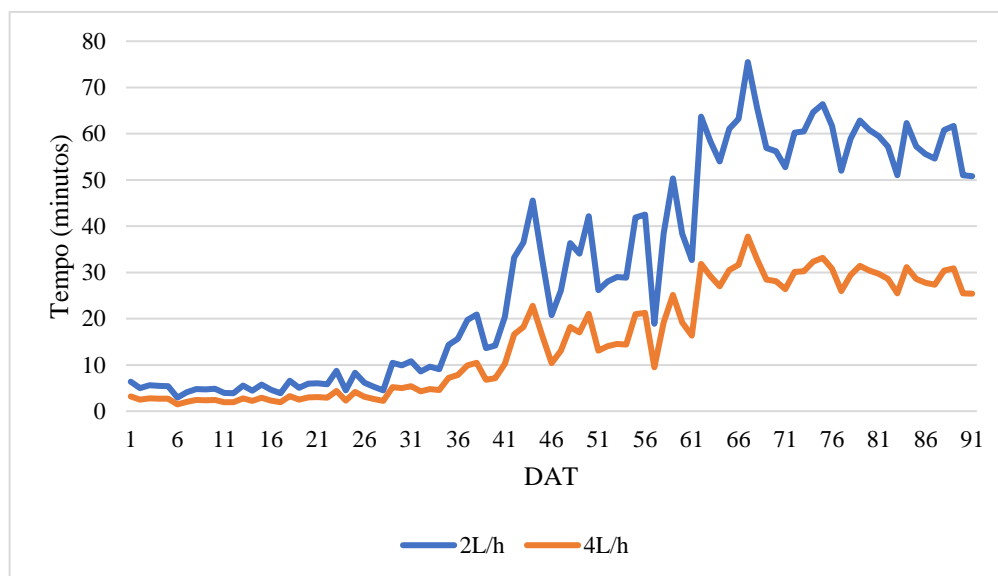


A partir das influências das variáveis climáticas mencionadas, foi calculada a evapotranspiração de referência (ET₀), que combinada com o K_c, resultou na evapotranspiração da cultura (Figura 14). Observa-se que os dados climatológicos mostraram uma correlação entre o período de maior demanda hídrica da cultura e o aumento da ET₀, evidenciando a relação entre esses parâmetros durante o experimento.

Em relação à quantidade de água aplicada, cada tratamento recebeu um total de 313 mm, com uma vazão de 2 e 4 L/h por respectivamente 46h25m e 23h13m. No 21º dia após o transplantio (DAT), observou-se que os valores diários de ET_c (Evapotranspiração da cultura) e K_c (Coeficiente de cultura) foram superestimados devido ao efeito conhecido como "buquê". Este fenômeno ocorre porque a ET_c é proporcional ao índice de área foliar para as mesmas condições de água no solo (FEARNSSIDE, 1997). A água evapotranspirada pela planta, que normalmente seria retirada da superfície do solo compreendida dentro da área sombreada pelas folhas, foi efetivamente retirada de uma área menor do recipiente em comparação com a área de sombreamento projetada pelas folhas. Isso resultou em valores mais altos de ET_c e, consequentemente, de K_c, indicando a necessidade de ajustar o tempo de irrigação para evitar o déficit hídrico nos tratamentos conforme observado na Figura 15.

Devido ao longo tempo de irrigação necessário ao final do ciclo da cultura, em alguns dias foi preciso parcelar a aplicação de água em até três vezes, sendo realizada às 8:00 h, às 13:00h e às 18:00h da tarde. Essa estratégia foi adotada para evitar a percolação excessiva de água e garantir o aproveitamento eficiente da irrigação, permitindo que a água fosse absorvida pelo solo e disponibilizada de maneira mais eficaz pelas plantas.

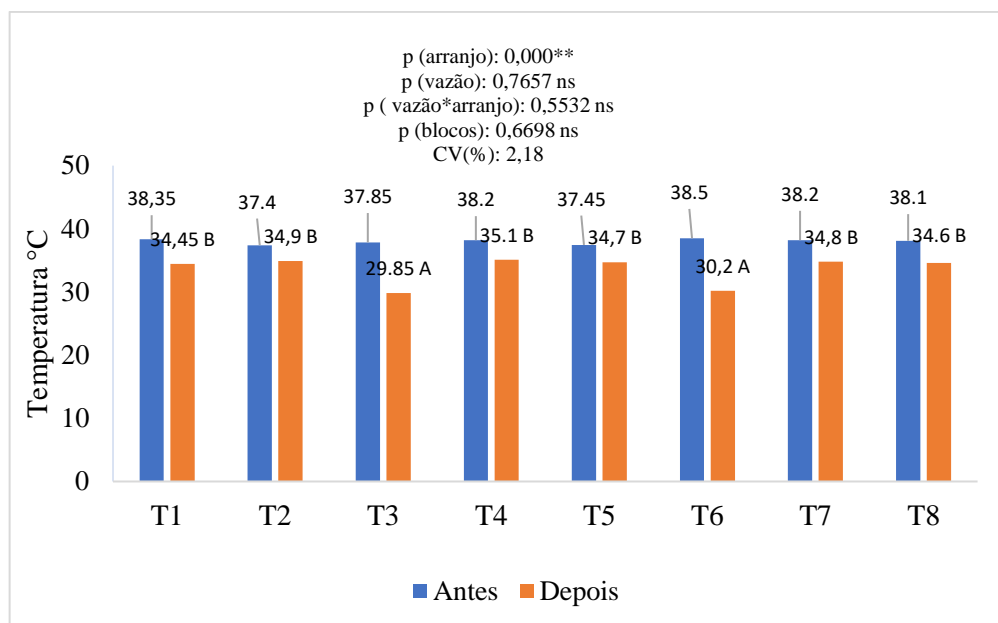
Figura 15 – Tempo de irrigação ao longo dos dias na vazão de 2 e 4L/h.



Ao avaliar os resultados da temperatura superfície do solo (Figura 16) indicaram que os arranjos utilizando o arco gotejador na vazão de 2 e 4 Lh⁻¹ (tratamento 3 e 6 respectivamente) apresentaram as menores temperaturas médias, na ordem de 30°C, em comparação com os demais tratamentos, que registraram uma média de temperatura de 34,75°C. Assim, o uso do arco-gotejador promoveu uma redução na temperatura do solo, às 12 hs, na ordem de 4,73°C em relação aos tratamentos que utilizaram haste convencional. Conclui-se que a configuração e escolha do acessório para distribuição água no solo afeta na regulação da temperatura superficial do solo, o que pode impactar diretamente no desenvolvimento das plantas e na eficiência hídrica da cultura.

Diversos autores como Gasparim et al. (2005), Silva et al. (2006) e Ribas et al. (2015) destacam que a variação da temperatura do solo influencia diretamente os processos fisiológicos das plantas, como a absorção de água e nutrientes pelas raízes. Temperaturas mais altas podem aumentar a atividade metabólica das raízes, mas em excesso podem causar danos, levando à desidratação e à diminuição da capacidade de absorção de água. Além disso, a temperatura do solo influencia a atividade microbiana e a disponibilidade de oxigênio no ambiente radicular, afetando a saúde e o desenvolvimento das raízes e consequentemente diminuição da produtividade.

Figura 16 – Temperatura (°C) da superfície do solo antes e após a realização da irrigação nas vazões de 2 e 4Lh⁻¹ em diferentes arranjos.



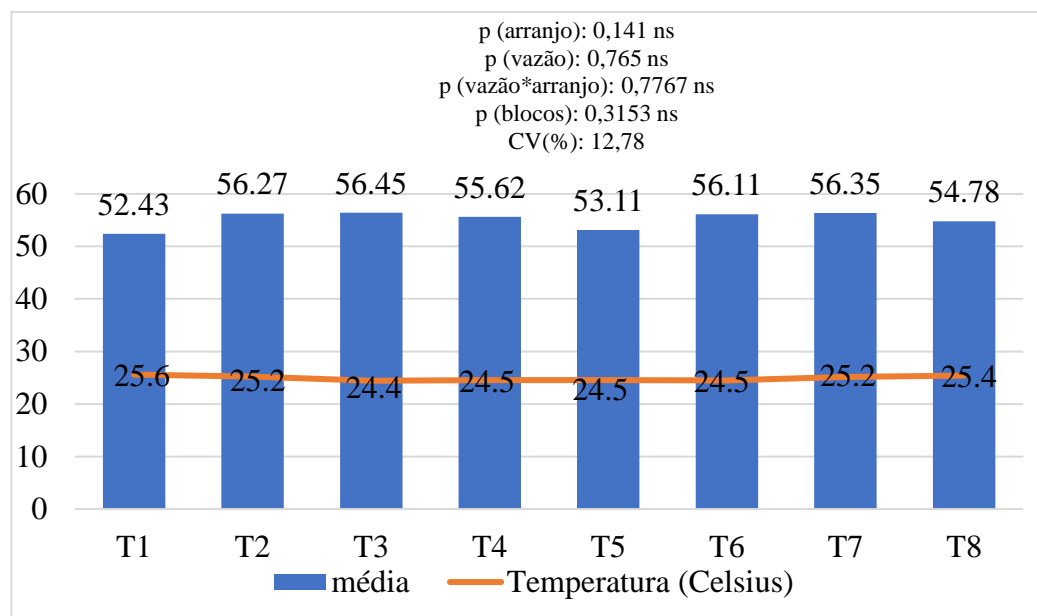
NS não significativo não nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste Tukey

Médias de mesma letra não se diferenciam estatisticamente entre si

Durante o experimento, o índice SPAD foi medido uma vez aos 85 dias após o transplante, com uma temperatura média das folhas de 24,9 °C. Essa medida teve como objetivo estimar indiretamente o estado de nitrogênio das plantas. Segundo Porto (2011) e Gil et al. (2002), a intensidade da coloração verde das folhas ou a concentração de clorofila está positivamente correlacionada com a quantidade de nitrogênio presente nas folhas. Quanto à análise estatística realizada, não foram identificadas diferenças significativas entre os tratamentos aplicados durante o estudo, conclui-se que nessa situação a vazão e o arranjo não influenciaram nesse parâmetro avaliado conforme observado na Figura 17.

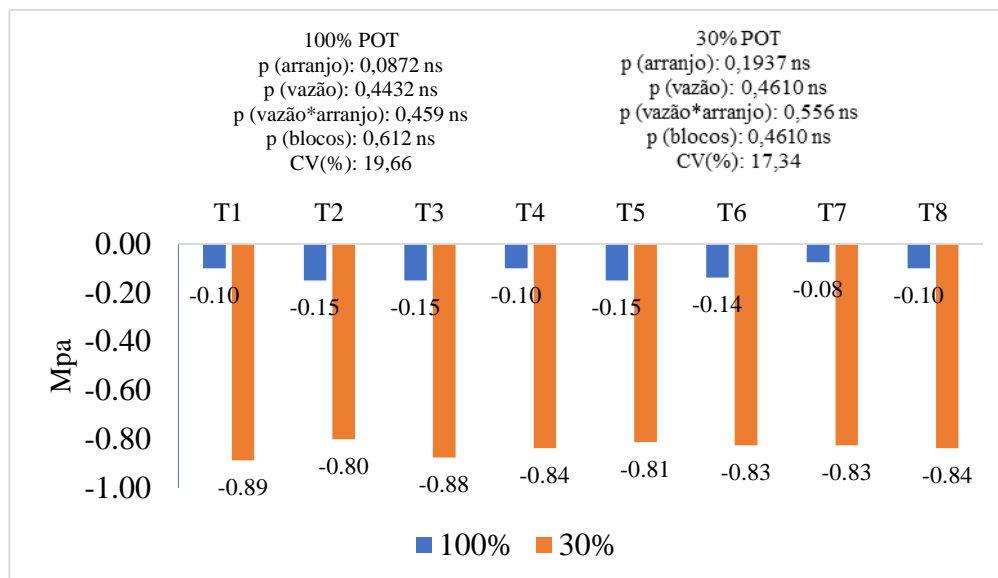
Figura 17 - Valores médios do índice Spad obtidos pelas diferentes vazões 2 e 4Lh⁻¹ em diferentes arranjos.



NS não significativo não nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

O potencial hídrico médio de cada cultura é influenciado por características específicas do ambiente, notadamente as propriedades da planta e do solo (LARCHER & PRADO, 2000). De acordo com Morales et al. (2015) e Valandro et al. (2004), os resultados indicaram que o conteúdo de água, o estado hídrico e o potencial hídrico do tomateiro diminuíram em condições de deficiência hídrica, acompanhados por um aumento na resistência estomática proporcional à intensidade e duração da restrição hídrica. Esses estudos concluíram que plantas de tomateiro submetidas ao déficit hídrico reduzem a produção de frutos, a altura das plantas, o número de folhas, a taxa fotossintética, a transpiração e a condutância estomática, ao mesmo tempo que aumentam a temperatura foliar. Além disso, Kudoyarova et al. (2007) demonstrou que o déficit hídrico afeta a concentração de hormônios e compostos orgânicos. No experimento, não foram observadas diferenças significativas no potencial hídrico foliar entre diferentes vazões e arranjos de hastes, comprovando conforto hídrico ao irrigar a 100% da capacidade de campo em todos os tratamentos impostos, resultando em um potencial médio de -0,11 MPa. Por outro lado, irrigar a 30% da capacidade de campo resultou em um aumento significativo da pressão negativa para -0,83 MPa, refletindo os efeitos do déficit hídrico imposto sobre a cultura (Figura 18).

Figura 18 - Análise do potencial hídrico foliar (megapascal) na cultura do tomateiro obtido nas vazões de 2 e 4 L/h em diferentes arranjos, irrigando a 100% e a 30% da capacidade de campo.



^{NS} não significativo não nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

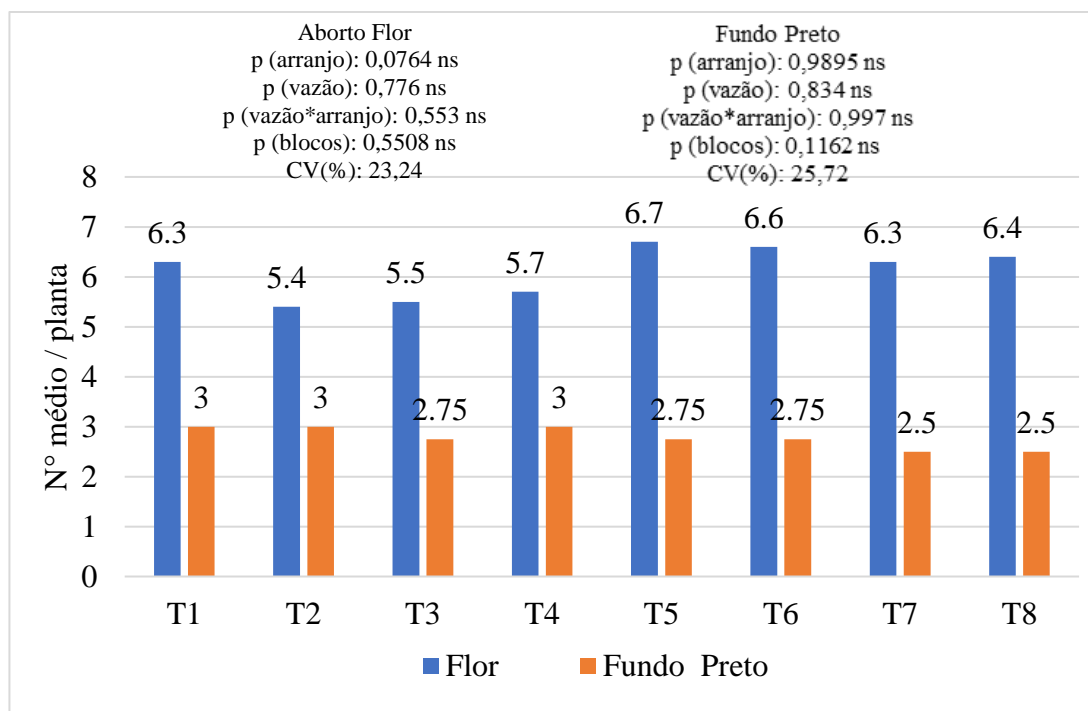
A desordem fisiológica conhecida como fundo-preto do tomate pode ocasionar reduções substanciais de até 60% na produtividade do tomateiro. Este problema foi identificado há mais de um século e desde então tem sido objeto de estudo contínuo. Essa desordem é frequentemente encontrada em solos ácidos e de textura arenosa, afetando tomateiros tanto em ambientes controlados, como em campo aberto. O manejo dessa condição geralmente envolve o uso de adubos foliares contendo cálcio, como o cloreto de cálcio (FILGUEIRA, 2008; HO & WHITE, 2005).

Para o tomateiro, é conhecido que a restrição hídrica resulta em redução da produtividade e aumento da incidência de frutos com podridão apical (SÁ et al., 2005 & MORALES et al., 2015). Tanto o excesso de irrigação quanto o déficit hídrico exercem influência significativa na fenologia e no sucesso reprodutivo das plantas, conforme destacado por Silva et al. (2021). Irrigações excessivas podem ocasionar redução na taxa de emissão de flores e aumento da incidência de abortamento floral. Por outro lado, o déficit hídrico pode impactar negativamente a fenologia da planta, comprometendo o desenvolvimento floral. Além disso, temperaturas elevadas, especialmente acima de 32°C, têm sido associadas ao aumento do abortamento floral, limitando a capacidade reprodutiva das culturas (SILVA et al., 2013).

Os dados coletados em condições de estufa corroboram com essas observações, demonstrando que as temperaturas elevadas (Figura 12) influenciaram a ocorrência de podridão apical e o número de flores abortadas (Figura 19). No entanto, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5% pelo teste Tukey entre os diferentes tratamentos

aplicados, totalizando uma média de 6,11 flores abortadas e 2,78 frutos com fundo preto por tratamento, evidenciando que os tratamentos testados não influenciaram esses parâmetros.

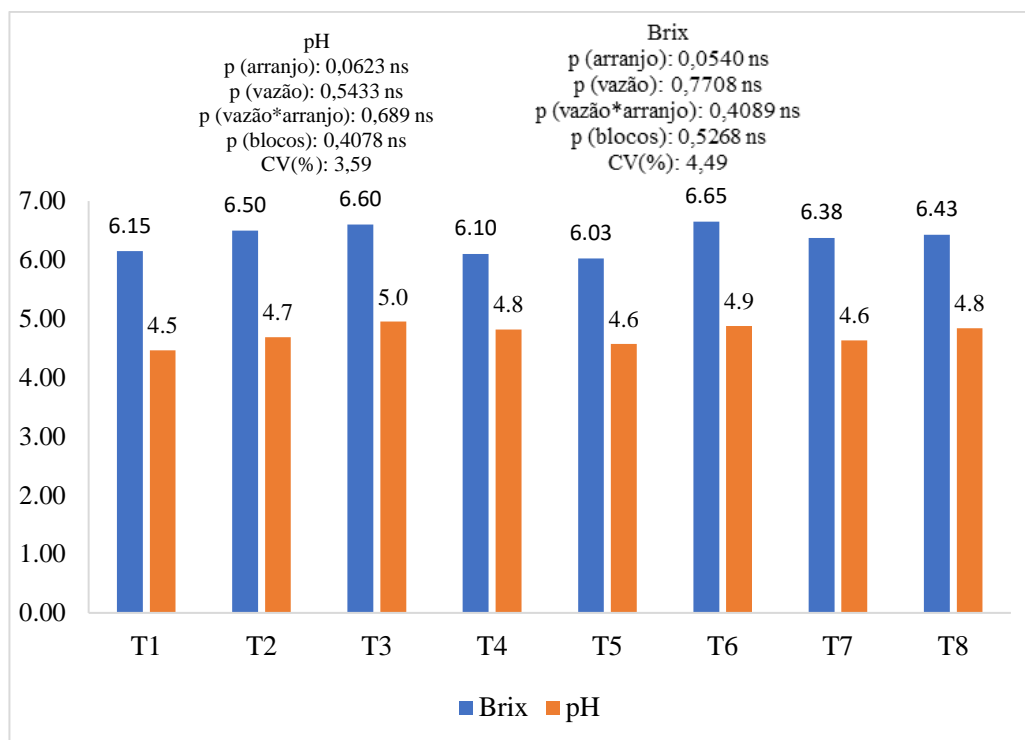
Figura 19 – Número Médio de Abortamento Floral e Presença de Fundo Preto nas Vazões de 2 e 4 Lh⁻¹ em Diferentes Arranjos.



^{NS} não significativo não nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

Nos tratamentos aplicados, os teores de sólidos solúveis e o pH não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, conforme os resultados do Teste Tukey a um nível de significância de 5% (Figura 20). Essa estabilidade nos sólidos solúveis totais e no pH sugere que as variações nos tratamentos não impactaram de forma relevante esses parâmetros. Segundo Marouelli (2005) e Dos Anjos Soares et al. (2013), o teor de sólidos solúveis totais e o pH dos frutos de tomateiro são influenciados pela quantidade de água aplicada, apresentando uma tendência de redução com o aumento da lâmina de água.

Figura 20 - Valores médios de Brix e pH nas vazões de 2 e 4 Lh⁻¹ em diferentes Arranjos.



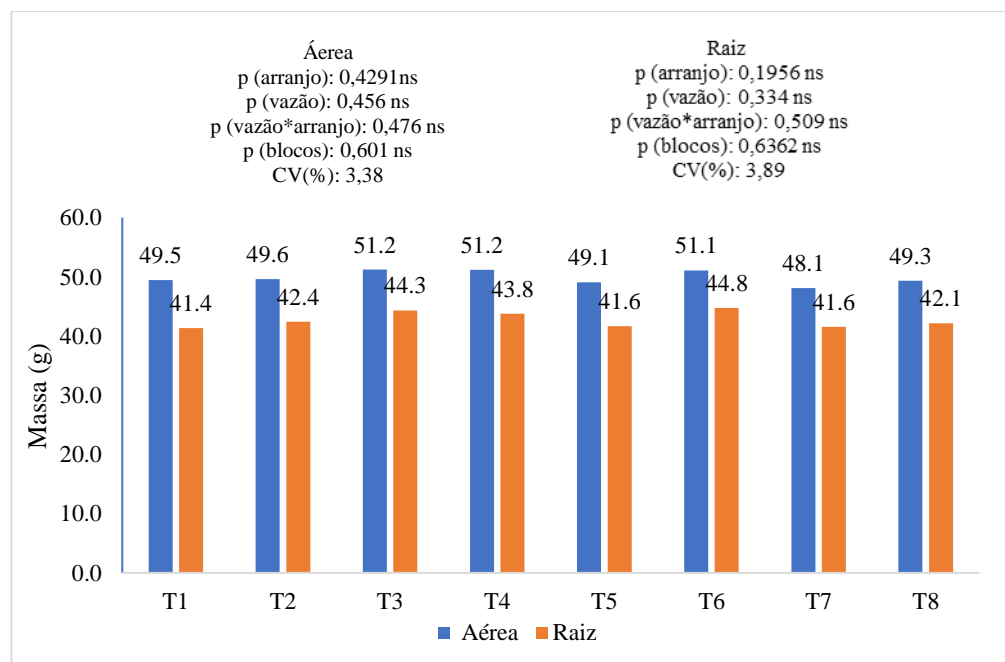
NS não significativo não nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey

Segundo Prazeres et al. (2015) e Gomes et al. (2012), o déficit hídrico exerce uma influência direta sobre o crescimento e a formação da biomassa vegetal ao limitar processos fisiológicos cruciais, comprometendo assim o desenvolvimento das plantas. Além disso, temperaturas elevadas impactam negativamente tanto a quantidade quanto a massa dos frutos. De acordo com Giordano et al. (2005) e Da Silva et al. (2011), o estresse térmico pode acelerar a respiração, esgotar as reservas de energia e prejudicar a divisão celular e o enchimento dos frutos. Conforme relatado por Queiroz (2001) e Nicoloso (2002), o tamanho do recipiente de cultivo também desempenha um papel fundamental. Vasos menores restringem o desenvolvimento do sistema radicular, limitando a capacidade de absorção de água e nutrientes e resultando em frutos de menor tamanho. Esse fenômeno é corroborado pelos dados deste estudo, que mostram uma média de 26,72 gramas para os frutos, influenciada pelas altas temperaturas (Figura 12) e pelo peso dos frutos observados (Figura 21).

No entanto, as variáveis avaliadas neste estudo, como massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, número de frutos e massa (g) dos frutos, não demonstraram influência estatisticamente significativa, conforme indicado pelo Teste Tukey a um nível de significância de 5%, conforme observado nas Figuras 11 e 12. No entanto, as variáveis avaliadas neste estudo, como massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, número de frutos e massa (g) dos frutos, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, conforme indicado pelo

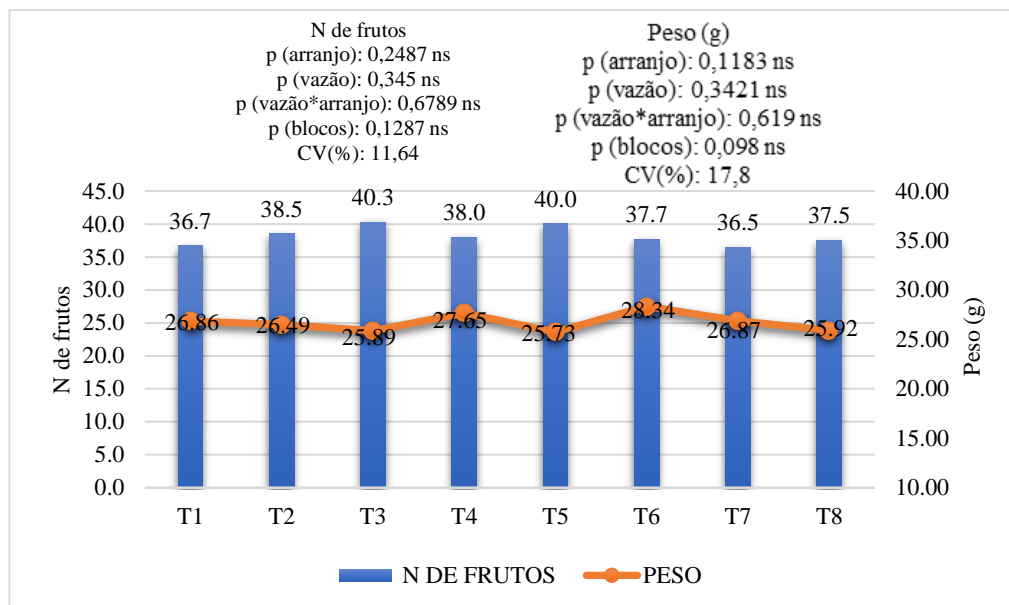
teste de Tukey ao nível de significância de 5%, conforme demonstrado nas Figuras 20 e 21. Por outro lado, na avaliação do crescimento, algumas análises indicaram diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey (Figura 22), sendo observado que a melhor distribuição de água proporcionada pelo arco gotejador influenciou positivamente o desenvolvimento das plantas nos estágios iniciais após o transplante, mantendo esse efeito ao longo das avaliações semanais. Esse resultado pode ser atribuído à maior uniformidade na distribuição de água e à consequente redução da temperatura do solo.

Figura 20 – Massa seca aérea e da raiz em vazões de 2 Lh⁻¹ e 4 Lh⁻¹ em diferentes Arranjos.



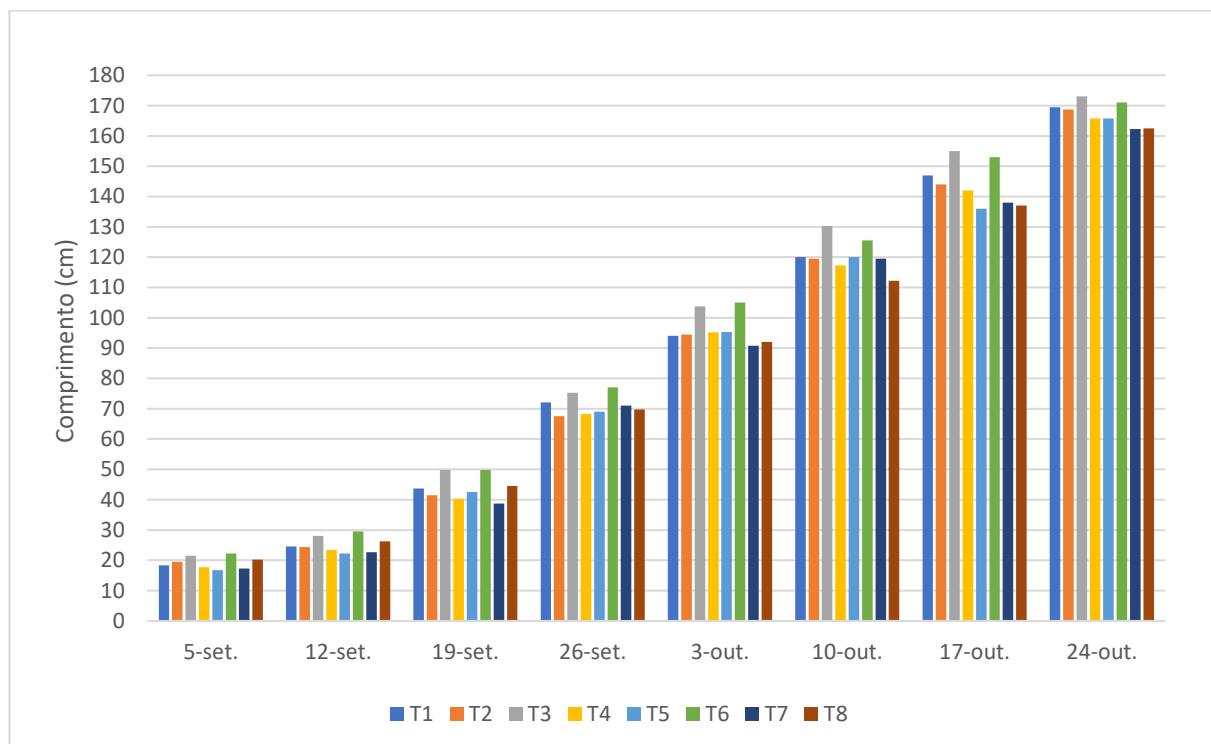
^{NS} não significativo não nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

Figura 21 – Média do N° de frutos e massa (g) nas vazões de 2 e 4 Lh⁻¹ em diferentes Arranjos.



NS não significativo não nível de 5% de probabilidade pelo teste

Figura 22 – Comprimento (cm) ao longo das semanas nas vazões de 2 e 4 Lh⁻¹ em diferentes Arranjos.



	5 SET	12 SET	19 SET	03 OUT	10 OUT	17 OUT	24 OUT
P (ARRANJO)	0,0983 ns	0,0493 *	0,0342 *	0,0412 *	0,0478 *	0,0223 *	0,0546 ns
P (VAZÃO)	0,152 ns	0,345 ns	0,786 ns	0,112 ns	0,657 ns	0,554 ns	0,434 ns
P (ARRANJO*VAZÃO)	0,416 ns	0,676 ns	0,876 ns	0,345 ns	0,776 ns	0,657 ns	0,396 ns
P (BLOCOS)	0,898 ns	0,565 ns	0,432 ns	0,331 ns	0,889 ns	0,928 ns	0,771 ns

CV(%)	3,19	5,67	8,12	2,88	10,63	4,02	3,93
-------	------	------	------	------	-------	------	------

^{NS} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

6. CONCLUSÃO

A utilização de diferentes emissores no sistema de irrigação localizada não influenciou significativamente as variáveis agronômicas avaliadas no tomateiro, como número e peso de frutos, teor de clorofila, pH, Brix e massa seca. No entanto, os tratamentos com arco gotejador, nas vazões de 2 e 4 L h⁻¹, reduziram a temperatura do solo e favoreceram o crescimento inicial das plantas. Assim, a escolha do acessório de irrigação demonstrou ter impacto relevante na regulação térmica do solo e no desenvolvimento inicial do tomateiro, contribuindo para a otimização do cultivo em ambiente protegido.

REFERÊNCIAS

ALLEN, Richard G. Crop Evapotranspiration-Guideline for computing crop water requirements. **Irrigation and drain**, v. 56, p. 300, 1998.

ANGELAKIS, A. N. et al. Irrigação de terras agrícolas mundiais: Evolução ao longo dos milênios. *Água*, v. 12, n. 5, p. 1285, 2020.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6^a ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995, 657 p.

BISCARO, Guilherme Augusto. Sistemas de irrigação localizada. 2014.

BOTTON, Gustavo Scolari. **Análise da viabilidade econômico-financeira na produção de tomate**: sistemas de cultivo em ambiente protegido e a campo. 2019. 47f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Curso de Administração, RS, 2019.

BRITO JÚNIOR, Francisco Pereira. **Produção de tomate (solanum lycopersicum L.) reutilizando substratos sob cultivo protegido no município de Iranduba-AM**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

CAMEJO, Daymi et al. High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. **Journal of plant physiology**, v. 162, n. 3, p. 281-289, 2005.

CHRISTIANSEN, J. E. The uniformity of application of water by sprinkler systems. 1941.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. *Boletim Hortigranjeiro: Tomate Industrial – Safra 2022/2023*. Brasília: CONAB, 2024.

CRUZ, Rivaldo Batista da. **Produção de tomate submetido a diferentes lâminas de irrigação em canteiros econômicos com mulching**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil.

CUNHA, M. M. **Desenvolvimento de um sistema embarcado para realização de manejo de irrigação**, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão / SE, 2019. Disponível em URL: < <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/10937> Acesso em: 14 set. 2023.

CURTIS, LM, AA Powell e TW Tyson. "Microirrigação de pêssegos no Sudeste." *Diário de Irrigação* 46.2 (1996): 22.

DA SILVA, André Costa et al. Avaliação de linhagens de tomate cereja tolerantes ao calor sob sistema orgânico de produção. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 33-40, 2011.

DRYGAIR. *What are the ideal conditions for greenhouse tomatoes?* 2023. Disponível em: <https://drygair.com/blog/what-are-the-ideal-conditions-for-greenhouse-tomatoes/>. Acesso em: 01 maio 2025.

DONADIO, N. M. M; JOÃO A. GALBIATTI G; PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil. *Eng. Agríc. Jaboticabal*, v.25, n.1, p.115-125, jan./abr. 2005.

DOORENBOS, Jan; PRUITT, William Obadiah. Guidelines for predicting crop water requirements. **Irrigation and drainage paper (FAO)**, n. 24, 1975.

DOS ANJOS SOARES, Lauriane Almeida et al. Morfofisiologia e qualidade pós-colheita do tomateiro sob estresse hídrico nas fases fenológicas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 35, 2013.

EMBRAPA. Planta. Brasília, DF: Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/tomate/pre-producao/caracteristicas/planta>. Acesso em: 1 maio 2025.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. *FAOSTAT: Crops and livestock products – Tomato production quantity (2022)*. Roma: FAO, 2023.

FAOSTAT. Roma: FAO, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 12 set. 2023.

FEARNSIDE, P. M. Environmental services as a strategy for sustainable development.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FILGUEIRA, Fernando Antonio Reis. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: Ed. UFV, 2008.

FORD, Margaret A.; THORNE, Gillian N. Effects of atmospheric humidity on plant growth. **Annals of Botany**, v. 38, n. 2, p. 441-452, 1974.

GASPARIM, Eloi et al. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 27, n. 1, p. 107-114, 2005.

GIL, Paula Torrealba de et al. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 611-615, 2002.

GIORDANO, Leonardo de B. et al. Seleção de linhagens com tolerância ao calor em germoplasma de tomateiro coletado na região Norte do Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 105-107, 2005.

GOMES, Eder P. et al. Produtividade de grãos, óleo e massa seca de girassol sob diferentes lâminas de irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 237-246, 2012.

GOMES, João Germano. **Características morfoagronômicas e fisiológicas do minitomate produzido sob elevada temperatura**. 2016. 29 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

GRANTZ, D. A. Plant response to atmospheric humidity. **Plant, Cell & Environment**, v. 13, n. 7, p. 667-679, 1990.

HO, Lim C.; WHITE, Philip J. A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. **Annals of Botany**, v. 95, n. 4, p. 571-581, 2005.
in rural Amazonia. **Ecological Economics**. v. 20, n. 1, p. 53-70, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal – PAM – 2017**. Brasília: IBGE, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 12 set. 2023.

KÄMPF, A. N. et al. **Produtividade de tomate tipo cereja cultivado em ambiente protegido e em diferentes substratos**. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 23, n. 1, p. 15-20, 2005.

KUDROYAROVA, Guzel R. et al. Effect of partial rootzone drying on the concentration of zeatin-type cytokinins in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) xylem sap and leaves. **Journal of experimental botany**, v. 58, n. 2, p. 161-168, 2007.

LARCHER, W.; PRADO, C. H. B. A. Ecofisiologia vegetal. São Carlos: RiMa Artes e textos, 2000.

LAW, R. David; CRAFTS-BRANDNER, Steven J. Inhibition and acclimation of photosynthesis to heat stress is closely correlated with activation of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase. **Plant physiology**, v. 120, n. 1, p. 173-182, 1999.

LUIZ, Mayna Buccos Penha de Almeida. **Análise da viabilidade econômicofinanceira da produção de *Solanum lycopersicum* em cultivo protegido no município de Macaíba-RN**. 2019.66f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, 2019.

MACHADO, B. M. et al. **Desempenho da cultura da melancia em função da fração da área molhada e da frequência de irrigação por gotejamento.** *Irriga*, Botucatu, v. 26, n. 4, p. 794-807, 2021.://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3882. Acesso em: 1 maio 2025.

MAROUELLI, W. A. et al. **Variabilidade espacial do sistema radicular do tomateiro e implicações no manejo da irrigação em cultivo sem solo com substratos.** *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 23, n. 1, p. 10-14, 2005.

MAROUELLI, W. A.; DA SILVA, H. R.; SILVA, WL de C. Irrigação do tomateiro para processamento. 2012.

MAROUELLI, Waldir Aparecido; SILVA, Washington Luiz de Carvalho. Frequência de irrigação por gotejamento durante o estágio vegetativo do tomateiro para processamento industrial. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 40, p. 661-666, 2005.

MENEGASSI, L. C. Arroz tipo especial fertirrigado por gotejamento subsuperficial com efluente tratado de laticínio. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2022.

MORALES, D. Efecto de altas temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. CV. AMALIA). **Cultivos tropicales**, v. 27, n. 1, p. 45-48, 2006.

MORALES, Rafael Gustavo Ferreira et al. Caracterização do tomateiro submetido ao déficit hídrico. **Scientia Agraria**, v. 16, n. 1, p. 9-17, 2015.

MORTENSEN, Leiv M. Effects of air humidity on growth, flowering, keeping quality and water relations of four short-day greenhouse species. **Scientia horticulturae**, v. 86, n. 4, p. 299-310, 2000.

NICOLOSO, FERNANDO TEIXEIRA; ERIG, ALAN CRISTIANO. Efeito do tipo de segmento nodal e tamanho do recipiente no crescimento de plantas de *Pfaffia glomerata* in vitro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 1, n. 1, p. 1499-1506, 2002.

NOLZ, R. A review on the quantification of soil water balance components as a basis for agricultural water management, with a focus on weighing lysimeters and soil water sensors. **Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment**, v. 67, n. 3, p. 133-144, 2016.

PEIXOTO, Joicy Vitória Miranda et al. Tomaticultura: Aspectos morfológicos e propriedades físico-químicas do fruto. **Revista Científica Rural**, v. 19, n. 1, p. 96- 117, 2017.

PÔRTO, Mônica L. et al. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura da abobrinha. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 311-315, 2011.
<https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000300009>

PRAZERES, Stella Silva et al. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 9, n. 2, p. 111-118, 2015.

QUEIROZ, JOSÉ ANTONIO LEITE DE; MELÉM JÚNIOR, NAGIB JORGE. Efeito do tamanho do recipiente sobre o desenvolvimento de mudas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, p. 460-462, 2001.

RIBAS, Giovana G. et al. Temperatura do solo afetada pela irrigação e por diferentes coberturas. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 817-828, 2015.

SÁ, N. S. A. et al. Behavior of tomato crop under different soil water tensions in a greenhouse. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 341-347, 2005.

SCHOLANDER, Per F. et al. Sap Pressure in Vascular Plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. **Science**, v. 148, n. 3668, p. 339-346, 1965.

SENTELHAS, Paulo Cesar; SANTOS, Antonio Odair. Cultivo protegido: aspectos microclimáticos. **Ornamental Horticulture**, v. 1, n. 2, p. 108-115, 1995.

SILVA, A. A. C. **Crescimento inicial e estimativa da evapotranspiração da cultura da pitaya (*Hylocereus* sp.)**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SILVA, A. O. et al. **Produção de tomate em ambiente protegido sob diferentes lâminas de irrigação e cobertura do solo**. *Irriga*, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 148-159, 2016. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2436>. Acesso em: 1 maio 2025.
SILVA, Cícero J. da et al. Abortamento floral e produtividade do tomateiro industrial em função de lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 415-421, 2021.

SILVA, José M. da et al. Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 40-46, 2013.

SILVA, Simone; NEVES, Eletisanda. Importância do manejo da irrigação. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, v. 17, n. 34, 2020.

SILVA, Vanderlei Rodrigues da; REICHERT, José Miguel; REINERT, Dalvan José. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 391-399, 2006.

SOLOS, Embrapa et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, v. 3, 2013.

TREICHEL, M et al. **Anuário Brasileiro do Tomate 2016**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2016. 64 p. Disponível em: <http://www.editoragazeta.com.br/flip/anuario-tomate2016/files/assets/common/downloads/publication.pdf>. Acesso em: 12 set. 2023.

TURNES, Pedro Gabriel. **Produção e qualidade de frutos do tomateiro em função dos métodos de tutoramento Sistema Viçosa e Tradicional**. 2017. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

VALANDRO, Josemar et al. Relação entre o conteúdo de água, potencial hídrico e resistência estomática em plantas de tomateiro cultivadas sob distintos níveis hídricos em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria**, v. 12, n. 1, p. 57-66, 2004.

WANNIARACHCHI, S.; SARUKKALIGE, R.. A review on evapotranspiration estimation in agricultural water management: Past, present, and future. **Hydrology**, v. 9, n. 7, p. 123, 2022.