



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DAVI DOS SANTOS QUEIROZ

UTILIZAÇÃO DA TERMOGRAFIA PARA AVALIAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO
NA CULTURA DO TOMATE CEREJA CULTIVADO SOB DIFERENTES
ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO E USO DE HIDROGEL

FORTALEZA

2023

DAVI DOS SANTOS QUEIROZ

UTILIZAÇÃO DA TERMOGRAFIA PARA AVALIAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO NA
CULTURA DO TOMATE CEREJA CULTIVADO SOB DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE
IRRIGAÇÃO E USO DE HIDROGEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Agronomia do Centro de Ciências
Agrárias da Universidade Federal do Ceará
como parte das exigências requeridas para
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da
Silva.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Q43u Queiroz, Davi dos Santos.
Utilização da termografia para avaliação do estresse hídrico na cultura do tomate cereja cultivado sob diferentes estratégias de irrigação e uso de hidrogel / Davi dos Santos Queiroz. – 2023.
45 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva.

1. Manejo da irrigação. 2. Temperatura do dossel. 3. Evapotranspiração. I. Título.

CDD 630

DAVI DOS SANTOS QUEIROZ

UTILIZAÇÃO DA TERMOGRAFIA PARA AVALIAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO NA
CULTURA DO TOMATE CEREJA CULTIVADO SOB DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE
IRRIGAÇÃO E USO DE HIDROGEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Agronomia do Centro de Ciências
Agrárias da Universidade Federal do Ceará
como parte das exigências requeridas para
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 07/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Mayara Oliveira Rocha
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Bruno Ricardo Silva Costa
Embrapa Instrumentação

A Deus.

Aos meus avós, pais, irmãos e amigos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela sua infinita misericórdia em minha vida, sendo ele o meu Norte nos dias turbulentos, concedendo-me fé e coragem frente às adversidades.

Ao curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, representado pelos docentes e funcionários.

Ao Prof. Dr. Alessandro Oliveira (Orientador), pela orientação, paciência e apoio durante a graduação.

Aos membros da banca, por aceitarem o convite a participar e pelas ricas contribuições a este trabalho na pessoa do Dr. Bruno Ricardo.

À minha amiga Mayara Oliveira, que me acompanhou durante a graduação, sendo um braço forte e inspiração na jornada acadêmica

Aos meus pais que mesmo distantes, sempre me apoiaram nessa trajetória, orando e intercedendo pela minha vida.

Aos meus irmãos que me motivam a dar o meu melhor com todo amor a mim direcionado.

Aos meus avós, que foram minha inspiração de vida e dedico essa conquista tão desejada e alcançada.

Aos meus amigos Eng. Agrônomo Cláudio Magalhães e Vanessa Melo que sempre me motivaram e acreditaram em meu potencial.

Ao meu amigo/irmão Cláudio Santos por me acompanhar nessa caminhada e por mais uma vez confirmar que nas horas mais difíceis se fez um irmão.

E a todos que contribuíram na minha jornada em Fortaleza/CE, que se tornou a minha segunda casa.

“Pois tive fome, e me destes de comer, tive sede, e me destes de beber, fui estrangeiro, e vós me acolhestes.” (Mateus 23:35, versão K.J.A.)

RESUMO

O tomate (*Solanum lycopersicum*) está entre as principais hortaliças produzidas no mundo. No cultivo do tomateiro é utilizado irrigação para expressar o máximo de produtividade no campo. O Nordeste é um dos principais produtores de tomate, com a escassez hídrica é importante buscar métodos eficientes para manter a produtividade alinhada a conservação da água e do solo. Nesse contexto, a irrigação deficitária surge como um método de aplicação do déficit hídrico no estágio fenológico menos sensível, de modo que a produtividade seja expressa. O uso de sensoriamento remoto na agricultura torna o manejo de irrigação mais preciso com a obtenção de dados em tempo real e remotamente. A termografia, que utiliza de sensores infravermelhos para detecção da temperatura da superfície, podem ser embarcados em satélites, aviões, drones ou aparelhos portáteis. Assim, a termografia é aplicado no campo para identificar talhões que apresentam estresse hídrico, indicando as condições hídricas. Portanto, foi necessário compreender para a cultura em estudo, a temperatura durante seu ciclo que indica qual a deficiência hídrica na planta. O estudo objetivou avaliar se a termografia pode ser utilizada para detecção do déficit hídrico em tomate cereja com diferentes estratégias de irrigação com bases na trocas gasosas e uso de hidrogel. O delineamento experimental escolhido foi em blocos casualizados subdivididos (DBC) com esquema fatorial de 5 estratégias de irrigação e 3 épocas de avaliação (5x3). As estratégias foram divididas em IP – Irrigação Plena (controle), DR – Irrigação com déficit regular (50% da $ET_{c_{loc}}$), E3 – Irrigação com déficit (50% $ET_{c_{loc}}$) na fase de vegetativa, E4 – Irrigação deficitária (50% $ET_{c_{loc}}$) na fase de florescimento e frutificação, E5 – Irrigação deficitária (50% $ET_{c_{loc}}$) na fase de maturação e colheita. Para o segundo fator, foram analisados os dias após transplantio (DAT), sendo eles: 30 DAT (fase vegetativa), 60 DAT (fase de florescimento/frutificação) e 90 DAT (fase de maturação/colheita). Foram avaliadas ainda as trocas gasosas e temperatura do dossel, as trocas gasosas foram a condutância estomática (g_s), transpiração (E) e potencial hídrico (Ψ) com IRGA. A temperatura do dossel foi avaliada na primeira avaliação com câmera térmica Fluke e na segunda e terceira avaliação com a câmera Flir. Os resultados do experimento permitiram concluir que a adoção da estratégia 3 mesmo em aplicado déficit hídrico na fase vegetativa, apresentou melhor eficiência no uso da água. Assim, as câmeras térmicas detectaram as alterações fisiológicas das plantas em estresse apresentando maiores temperaturas.

Palavras-chave: Manejo da Irrigação; Temperatura do dossel; Evapotranspiração.

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum*) is among the main vegetables produced in the world. In tomato cultivation irrigation is used to express maximum productivity in the field. The Brazilian Northeast is one of the main tomato producers, with water scarcity it is important to seek efficient methods to maintain productivity in line with water and soil conservation. In this context, deficit irrigation appears as a method of applying the water deficit in the less sensitive phenological stage, so that productivity is expressed. The use of remote sensing in agriculture makes irrigation management more accurate by obtaining data in real time and remotely. Thermography, which uses infrared sensors to detect surface temperature, can be carried on satellites, planes, drones, or portable devices. This way, thermography is applied in the field to identify plots that present water stress, indicating the water conditions. Therefore, it was necessary to understand for the culture under study, the temperature during its cycle that indicates the water deficiency in the plant. This study aimed to evaluate if thermography can be used to detect water deficit in cherry tomatoes with different irrigation strategies based on gas exchange and use of hydrogel. The chosen experimental design was in randomized subdivided blocks (DBC) with a factorial scheme of 5 irrigation strategies and 3 evaluation times (5x3). The strategies were divided into IP - Full Irrigation (control), DR - Irrigation with regular deficit (50% of ET_{cloc}), E3 - Irrigation with deficit (50% ET_{cloc}) in the vegetative phase, E4 - Deficit Irrigation (50% ET_{cloc}) in the flowering and fruiting phase, E5 – Deficit irrigation (50% ET_{cloc}) in the maturation and harvest phase. For the second factor, the days after transplanting (DAT) were analyzed, namely: 30 DAT (vegetative phase), 60 DAT (flowering/fruiting phase) and 90 DAT (maturation/harvest phase). Gas exchanges and canopy temperature were also evaluated, gas exchanges were stomatal conductance (g_s), transpiration (E) and water potential (Ψ) with IRGA. Canopy temperature was evaluated in the first evaluation with a Fluke thermal camera and in the second and third evaluations with a Flir camera. The results of the experiment allowed us to conclude that the adoption of strategy 3, even when water deficit was applied in the vegetative phase, showed better efficiency in water use. Thus, the thermal cameras detected the physiological changes of plants under stress with higher temperatures.

Keywords: Irrigation Management; canopy temperature; evapotranspiration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção de vegetais em sequeiro e irrigados no mundo em 2012	17
Figura 2. Progressão da população mundial e o desenvolvimento dos sistemas agrários	18
Figura 3. Estimativa da população mundial até 2120.....	18
Figura 4. Obtenção de dados por sensoriamento remoto	21
Figura 5. Localização do experimento	22
Figura 6. Distribuição dos vasos.....	23
Figura 7. Croqui do experimento.....	24
Figura 8. Obtenção dos dados do IRGA, câmara de Scholander e câmeras térmicas	25
Figura 11. Temperatura e Umidade relativa do ar durante o experimento	27
Figura 12. Evapotranspiração do tomateiro durante o experimento.....	27
Figura 13. Médias (\pm desvio padrão) da variável condutância estomática (gs) em diferentes épocas de avaliação e estratégias de irrigação deficitária.....	29
Figura 14. Médias (\pm desvio padrão) da variável transpiração em diferentes épocas de avaliação e estratégias	31
Figura 15. Médias (\pm desvio padrão) da variável transpiração em diferentes épocas de avaliação e estratégia de irrigação deficitária.....	33
Figura 16. Médias (\pm desvio padrão) da variável temperatura do dossel em diferentes épocas de avaliação e estratégias de irrigação deficitária	35
Figura 17. Imagens térmicas das plantas	39
Figura 18. Imagens térmicas das folhas.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Câmera térmica utilizadas por estágio fenológico	25
Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis condutância estomática (g_s); transpiração (E); potencial hídrico foliar (Ψ) e temperatura do dossel (TD)	28
Tabela 3. Variação em % da g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do valor máximo obtido.....	30
Tabela 4. Desvio padrão das médias de Ψ (MPa).....	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Aspectos gerais do tomateiro	15
2.2 Demanda hídrica do tomateiro	15
2.3 Tecnologia da Irrigação	16
2.4 Trocas gasosas	19
2.5 Hidrogel	19
2.6 Termografia na agricultura	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Localização e caracterização da área experimental	22
3.2 Variáveis analisadas.....	25
3.3 Processamento das imagens térmica	26
3.4 Análise Estatística	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Caracterização das condições experimentais	27
4.2. Análise das variáveis obtidas	28
4.2.1 Condutância estomática (<i>gs</i>).....	29
4.2.2. Transpiração (<i>E</i>)	31
4.2.3. Potencial hídrico (Ψ)	32
4.2.4 Temperatura do dossel (TD)	34
4.3 Análise das imagens térmicas	36
5. CONCLUSÃO.....	41
6. REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum*) está entre as principais culturas no Brasil (CEPEA/ESALQ, 2022). No Brasil o cultivo acontece de março a setembro, a estação seca, durante a qual há demanda de irrigação para potencializar as produtividades da cultura. Mesmo durante a época chuvosa é necessário aplicação suplementar da irrigação (fevereiro a abril) (EMBRAPA, 2012).

O conteúdo do fruto é composto por mais de 90% de água, favorece o crescimento das raízes em até 1,5 m de profundidade, a irrigação não contribui apenas para a produtividade, mas também para a qualidade dos frutos (NEPA, 2011). Entretanto, o excesso de água no solo também provoca inúmeros prejuízos como o desenvolvimento de doenças e pragas graves para a cultura, e ainda restrição da presença de oxigênio no sistema radicular (INCAPER, 2010; MAROUELLI *et al.*, 1996)

Além disso, o tomateiro é extremamente sensível à disponibilidade de água durante o florescimento e desenvolvimento do fruto, causando a perda de flores e cachos de frutos, atraso na maturação e ocorrência de rachaduras nos frutos (SANTANA *et al.*, 2009). A ocorrência de déficit hídrico na cultura do tomate altera seus mecanismos bioquímicos, dificultando a expansão celular, absorção de nutrientes, turgidez, conservação das estruturas moleculares e termorregulação com abertura dos estômatos e ocorrência da transpiração (MARENCO, 2005; TAIZ e ZEIGER, 2013; PEIXOTO, 2020).

Por isso, as condições de cultivo para regiões semiáridas que se encontra a dificuldade da baixa pluviometria anual em cerca de 800 mm/ano com ocorrência de déficit hídrico de até 60% (VELLOSO *et al.*, 2002; MENEZES *et al.*, 2012, SUDENE, 2017). A condução da cultura se dá com auxílio da tecnologia da irrigação. Sabendo que adoção da irrigação tem sido crescente nos últimos anos, que segundo a ANA (2021), houve aumento de 3 milhões de ha em 1996 para aproximadamente 8 milhões de ha em 2021.

De tal modo, pesquisas são importantes facilitadores para encontrar um caminho para sustentabilidade e eficiência no uso da água, por isso a busca por estratégias econômicas e desenvolvimento de inovações tecnológicas são necessárias pois irão auxiliar o produtor rural na melhor decisão e no momento mais assertivo que não atrase a produtividade econômica (SILVA *et al.*, 2022).

Para tanto, existem algumas técnicas disponíveis para aquisição de dados em campo para o produtor desenvolver o manejo ideal. Podemos citar como exemplo, o uso do sensoriamento remoto na agricultura, agricultura de precisão, a irrigação deficitária e uso de condicionantes do solo. O sensoriamento remoto tem proporcionado diferentes informações em tempo real dos eventos ocorridos no campo (PAOLINELLI *et al.*, 2022).

O sensoriamento remoto possui diferentes níveis de obtenção de dados, classificados em níveis suborbitais, laboratório, campo e aeronaves e orbitais (satélites). Atualmente a aquisição de dados no sensoriamento remoto é obtido através de sensores que medem a reflectância da radiação solar, como por exemplo, câmeras NIR, RGB, *RedEdge*, Lidar, *Thermal*, e sensores hiperspectral (PESSI, 2019).

Os diversos sensores possibilitam registrar diferentes informações da superfície. A termografia é capaz de identificar dados de temperatura na superfície vegetal em tempo real, medindo a emissão térmica dos alvos imageados, portanto aplicado em diversos estudos ambientais e agrícolas, assim pode-se entender como essas informações expressam o comportamento real das plantas (VIANA, *et al.* 2018; YAO *et al.*, 2019).

Na irrigação deficitária, existe a técnica de redução da utilização dos recursos hídricos no estágio fenológico de menor demanda hídrica, sem prejudicar a expressão potencial da genética da cultura. O déficit hídrico regulado favorece a economia dos custos de energia e da água, sem o decréscimo da produtividade total proporcionando maior rendimento no cultivo (SILVA *et al.*, 2010).

Essas técnicas associadas ao ambiente mais favorável à planta com o uso de condicionante do solo podem trazer a possibilidade de quanto conservação dos recursos naturais quando aplicados no manejo adequado. Utilizando na região semiárida, onde a evaporação é maior que a precipitação, técnicas aumentam a eficiência do uso da água podem garantir níveis de produtividades eficientes com baixo custo de produção.

Nesse sentido, o conhecimento da quantidade de déficit aplicado e em qual fase fenológica de cada cultura favorece a economia dos recursos de produção é indispensável (SOUSA, 2020). Isso implica a responder tais questionamentos de quanto déficit hídrico o tomateiro suporta, alinhado a irrigação deficitária, buscando economia hídrica e energética.

O estudo objetivou avaliar se a termografia pode ser utilizada para detecção do déficit hídrico em tomate cereja com diferentes estratégias de irrigação com base nas trocas gasosas e uso de hidrogel.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais do tomateiro

É uma das hortaliças de maior interesse comercial, o tomateiro (*Solanum lycopersicum*) é um membro da família Solanaceae, trata-se de uma planta perene, mas em muitos casos cultivada como planta anual. As flores do gênero *Solanum* são hermafroditas e apresentam um cone com cinco ou seis anteras, a espécie *Solanum lycopersicum* diferente das demais por apresentar seis anteras. Dentre as cultivares de tomate destinadas ao público consumidor na forma in natura, temos quatro grandes grupos sendo eles: Cereja, Salada, Santa Cruz e Italiano (EMBRAPA, 2018).

Os frutos do tomateiro podem apresentar tamanhos e formas diferentes e quando madura apresentar as colorações como o vermelho, amarelo e o rosado (Silva *et al.*, 2000). Os frutos do tomateiro, são muito apreciados pelo consumidor por serem ricos em vitaminas e minerais como as vitaminas A e C, e o licopeno, seu consumo é principalmente fresco em saladas os mesmo como matéria prima para extratos na utilização de receitas culinárias (ANDRADE *et al.*, 2017).

A China se destaca como maior produtor mundial dessa hortaliça com produção de 62.764.671 toneladas, sendo o Brasil o 10º maior produtor mundial (FAOSTAT, 2023). No país, o tomate desempenha papel socioeconômico de extrema relevância no que diz respeito a demanda e conseqüentemente na geração de emprego e renda. (BRITO JUNIOR, 2012).

A produção nacional de tomate apresentou em 2021, área colhida de 51.907 hectares com quantidade produzida de 3.679.160 toneladas, rendimento médio de 70.880 kg por hectare e valor de produção de R\$ 6.487.833,00. Nesse cenário, o estado do Ceará contribuiu neste mesmo ano com 166.889 toneladas do fruto, área colhida de 2.332 hectares e valor de produção de R\$ 485.879,00 sendo a município de Guaraciaba do Norte na região serrana no estado o maior produtor (IBGE, 2021).

2.2 Demanda hídrica do tomateiro

No tomateiro, bem como nas demais hortaliças, o desenvolvimento das plantas está intimamente ligado às condições de temperatura e umidade. Nesse sentido, um fator limitante, na maioria das vezes, no processo de produtivo é a deficiência hídrica, que infere diretamente na produtividade e qualidade dos frutos. No entanto, o excesso de água também pode ser

prejudicial. Portanto, a irrigação deve ocorrer de forma adequada frente as demandas da cultura de modo a obter-se os melhores resultados bem com o uso eficiente da água (MAROUELLI e SILVA, 2006).

Para tanto é de suma importância conhecer o ciclo da cultura, que está dividido em três fases. A primeira dura em média de quatro a cinco semanas, e vai do transplante das mudas até o início de floração, a segunda fase é marcada pelo florescimento chegando a colheita, sendo a última fase o período final da colheita (ALVARENGA, 2004).

Nesse sentido, as diferentes fases fenológicas da cultura apresentam uma demanda hídrica diferenciada, sendo o seu desenvolvimento favorecido com a quantidade adequada de água fornecida. Esse manejo diferenciado da irrigação, além de contribuir para o desenvolvimento de modo a não haver excesso ou falta, também evita contribuir para o uso adequado dos recursos e consequentemente redução dos gastos (BARRETO, 2004).

Portanto, conhecer a resposta das plantas ao déficit hídrico é de suma importância para garantir a eficiência no uso da água e o entendimento da variação no consumo de água na respectiva cultura em seus diferentes estágios de desenvolvimento (PEIXOTO *et al.*, 2006). A demanda hídrica do tomateiro está entre 400 e 600 mm por ciclo, sendo este valor, flexível a depender do clima da região, nesse sentido a redução do volume aplicado nas fases de desenvolvimento menos críticas é usada para otimizar o uso da água (SILVA *et al.*, 2000).

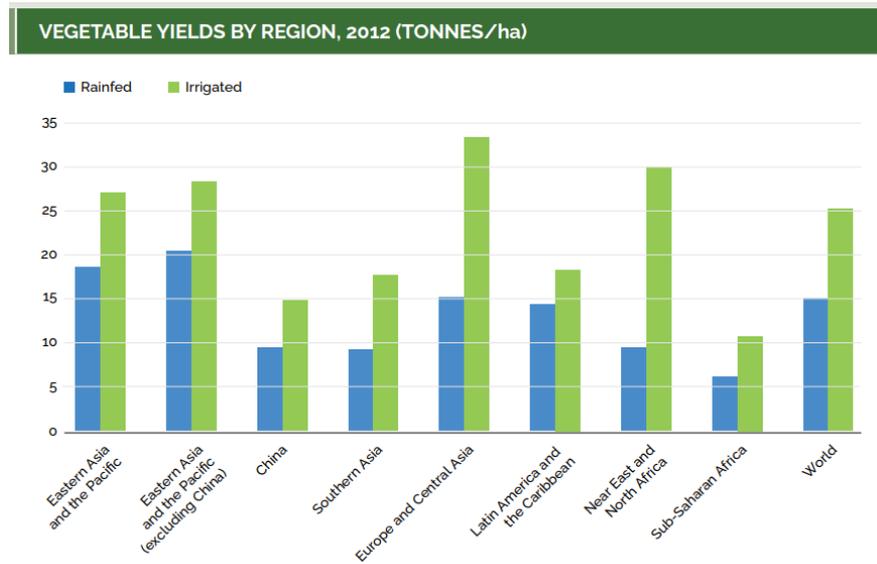
2.3 Tecnologia da Irrigação

A irrigação é uma tecnologia importante para obtenção de melhores produtividades agrícolas, de forma estratégica, visar garantir a produção de alimentos e preservar esse recurso natural (INOVAGRI, 2020). Assim é possível suprir a necessidade hídrica das plantas em épocas secas, garantindo empregos, aumento de produção e desenvolvimento econômico (TESTEZLAF, 2017).

Atualmente, existem cerca de 310 milhões de hectares de terra com infraestrutura disponível para irrigação, que comparadas a área agrícola total equivalem a 20% da área, e sendo responsável por produzir cerca de 40% da produção mundial (COSGROVE, COSGROVE, 2012). Destacando que houve o aumento, passando de 139 milhões em 1961, para 323,3 milhões em 2012 e 328,3 milhões de hectares em 2018 (AQUASAT, 2021).

Podemos exemplificar, o acréscimo na produção de vegetais com a utilização da irrigação, na figura 1 vemos a relação entre produção sem irrigação em 2012 entre as principais regiões produtoras no mundo (FAO, 2021).

Figura 1. Produção de vegetais em sequeiro e irrigados no mundo em 2012



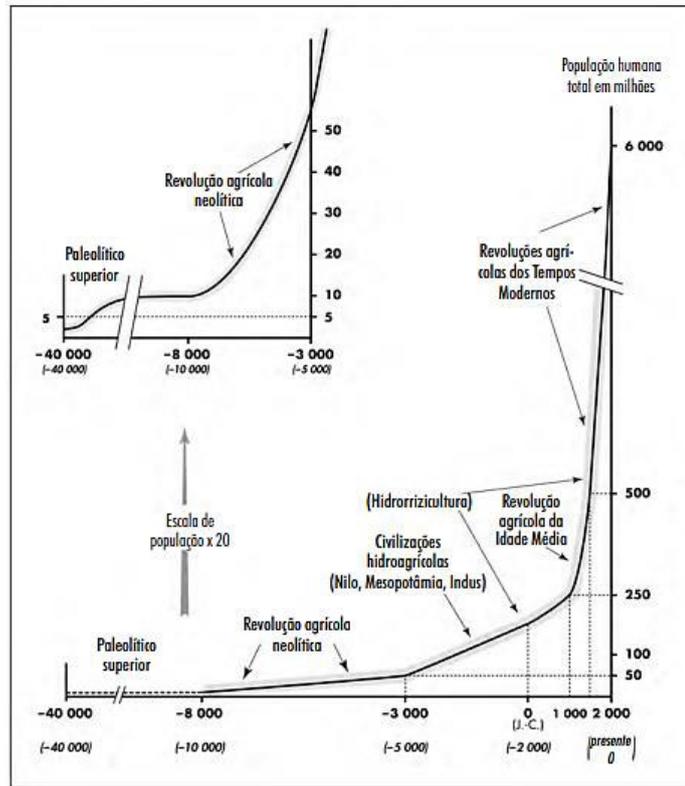
Fonte: FAO, 2020.

A agricultura é a atividade pela qual o ser humano obtém sua alimentação, e da base para outros setores econômicos. Para isso, são utilizados as mais diferentes ferramentas e técnicas para se cultivar os alimentos na terra. Os relatos históricos nos mostram que povos antigos na era Neolítica, por exemplo, utilizavam de sistema de pastoreio, cultivo, derrubada-queimada de florestas na Ásia Central e Oriente Médio, e em regiões áridas e tropicais úmida desenvolviam sistemas hidráulicos como na Mesopotâmia, China e Tailândia (Figura 2) (MAZOYER e ROUDART, 2010; CASTANHO, TEIXEIRA, 2017).

Podemos observar que as civilizações antigas buscavam desenvolver atividades agrícolas criando engenhosidades para se ter um crescimento econômico. Foram estas técnicas para se adaptarem às condições climáticas sazonais, conservação dos alimentos por um longo período e utilização da água nos campos agrícolas (ANGELAKIS, 2020).

Através dos conhecimentos aplicados a busca de novas metodologias e desenvolvimento de tecnologia eficientes que sustentaram os seres humanos ao longo dos séculos. É importante ressaltar que a demanda hídrica esteve relacionada a segurança alimentar da população do mundo, sendo necessário o desenvolvimento de técnicas que aprimorem a eficiência do uso da água (FAO, 2021).

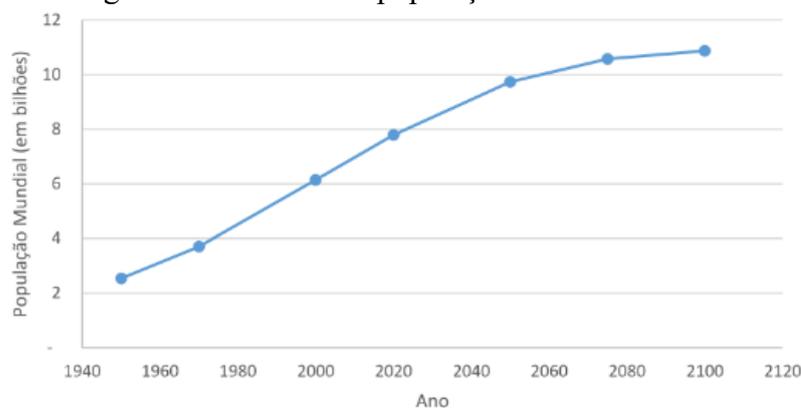
Figura 2. Progressão da população mundial e o desenvolvimento dos sistemas agrários



Fonte: MAZOYER, ROUDART, 2010

Com o crescimento populacional, houve grande ampliação da adoção de métodos para garantir altas produtividades como exemplo temos a Revolução Verde. A agricultura moderna tem um amplo desafio nos próximos anos, impostos pelo aumento da demanda de alimentos e a preservação dos recursos hídricos (figura 1).

Figura 3. Estimativa da população mundial até 2120



Fonte: ONU, 2019 (adaptado por Paulinelli, 2021)

Logo, a água torna-se muito exigida para o desenvolvimento das atividades econômicas, além da agricultura. Estima-se que a demanda terá um acréscimo de até 60% para

as indústrias, agricultura e urbano, considerando que os de uso não agrícola poderão ultrapassar (ROSEGRANT, 2002).

Portanto, são informações inquietantes ao olhar para as produtividades do Brasil, onde a utilização dos recursos de produção não são 100% aproveitados. Vendo os levantamentos do MAPA, a maior produtividade agrícola para milho e feijão está presente nos estados do centro-oeste que buscam alinhar tecnologias para altas produtividades, como irrigação de precisão, melhoramento genético, mecanização, sensoriamento remoto (ANA, 2021).

2.4 Trocas gasosas

O clima semiárido é marcado pela seca, sendo este fenômeno um fator limitante para uma gama de espécies agrícolas principalmente pela irregularidade das chuvas e altas temperaturas. A disponibilidade de água é umas das características produtivas mais importantes na agricultura (FERRARI *et al.*, 2015), sendo o déficit hídrico capaz de afetar negativamente o desempenho produtivo das plantas (CUI *et al.*, 2015).

As condições hídricas das culturas agrícolas podem ser estimadas através de mecanismos fisiológicos. Dentre os principais indicadores estão a temperatura foliar (KIRKHAM, 2005), a quantidade relativa de água presente na folha (LAFITTE, 2002), a condutância estomática (KOCHLER *et al.*, 2007), o potencial da água na folha e no solo (BERGONCI *et al.*, 2000), taxa de respiração e potencial hídrico.

O estresse hídrico, é apresentado em respostas fisiológicas, entre essas podemos listar a redução no potencial hídrico foliar, o fechamento estomático resultando consequentemente na diminuição da condutância e consequentemente na redução da concentração interna de CO₂, diminuindo a taxa fotossintética (HONG-BO, 2008). Segundo Carneiro (2011), a água é um elemento essencial para a manutenção da turgescência.

Na cultura do tomate, esses indicadores são de suma importância tendo em vista que, o déficit hídrico afeta diretamente a produtividade e qualidade dos frutos uma vez que há o aumento de incidência de frutos com podridão apical (SÁ *et al.*, 2005), o déficit resulta ainda na diminuição da fotossíntese, transpiração e condutância estomática (SRINIVASARAO *et al.*, 2001), em condições de deficiência hídrica, a alteração inicial de ocorrência nas plantas é a diminuição de turgescência, levando imediatamente a diminuição do vigor e do crescimento destas (FERRARI *et al.*, 2015).

2.5 Hidrogel

As condições climáticas do Nordeste brasileiro, favorece o cultivo e produção de diversas culturas. No entanto, como descrito por Ferrari *et al.*, (2015) a disponibilidade de água é de suma importância para o desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas, de tal modo que o uso de condicionantes da planta e do solo, contribuem de forma significativa para o êxito produtivo na região Nordeste.

Para o desenvolvimento ótimo do tomate, seja destinado a mesa ou indústria, alguns fatores climáticos merecem atenção, entre os principais estão: luminosidade e a pluviosidade. O tomateiro, apesar de sofrer interferências significativas frente essas condições, se adapta à maioria dos climas. No entanto, condições adequadas de temperatura, luminosidade e umidade relativa garantem a produção e a qualidade dos frutos (OLIVEIRA, 2014).

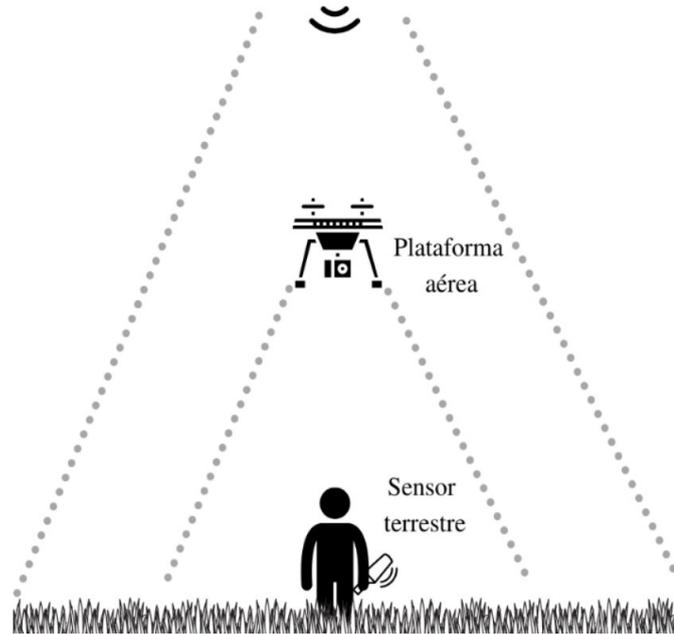
Diante do exposto, o uso do hidrogel, surge como uma alternativa promissora para reduzir problemas associados à deficiência hídrica. Este, refere-se a um polímero hidro retentor a base de poliacrilamina, que apresenta alta capacidade de armazenamento de água, de igual modo sua incorporação ao solo favorece a disponibilidade de água e nutrientes para as culturas, desempenhando assim, uma ótima função como condicionante do solo (CAMARA *et al.*, 2011; BERNARDI *et al.*, 2012).

A partir das contribuições de Azevedo *et al.* (2002), é possível acrescentar ainda, que o uso desse polímero contribui ainda para a redução de perdas por lixiviação de nutrientes e percolação, e favorece a melhor aeração e drenagem do solo. Essas contribuições no solo, tem reflexo direto nas plantas, que por sua vez tem o desenvolvimento radicular e da parte aérea acelerado.

2.6 Termografia na agricultura

De acordo com Viana (2002) a termografia trata-se de uma técnica não destrutiva que permite o sensoriamento remoto de pontos ou ainda superfícies aquecidas por meio da radiação infravermelha. Seu uso possibilita a medição remota da temperatura através da formação de imagens térmicas, essas informações podem ser coletadas de qualquer material capaz de emitir a radiação infravermelha, convertendo essa radiação em imagens visíveis, a partir da superfície dos corpos (Figura 4) (FRAGA,2009; MCAUSLAND *et al.*, 2013).

Figura 4. Obtenção de dados por sensoriamento remoto



Fonte: Paolinelli, 2022

Na agricultura, a termografia é aplicada como ferramenta para se estimar a temperatura da copa da planta, sendo utilizada ainda como indicador de estresse hídrico considerando a temperatura da planta (MERON *et al.*, 2013). Essas imagens, podem ser obtidas por câmeras termográficas, que podem manuais ou instaladas com dispositivos complementares como tripés, plataformas ou até guindastes (BERNI *et al.*, 2009). As câmeras de operação manuais são práticas possibilitando a captura de imagens da planta ou partes dela, com um único operador é possível capturar uma grande quantidade de imagens.

Pode-se considerar como uma das principais vantagens na utilização do método, é que este possibilita o monitoramento rápido e não destrutivo de muitas características das culturas, tanto fisiológica quanto estruturais (JONES, 1999). A temperatura da copa como indicador do estresse hídrico vem sendo utilizada desde 1960, considerando o efeito do resfriamento e do processo de transpiração. A partir daí os avanços na tecnologia possibilitaram aplicações mais específicas, que vão desde sensores de temperatura nas folhas até o sensoriamento remoto de curto alcance, como a termometria infravermelha (JONES *et al.*, 2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em ambiente protegido, no período de 15 de julho de 2022 a 15 de outubro de 2022 na área experimental da Estação Agrometeorológica nas coordenadas geográficas 03° 44' 43" S e 38° 34' 51" W, do Departamento de Engenharia Agrícola na Universidade Federal do Ceará, localizado no município de Fortaleza, Ceará.

Figura 5. Localização do experimento



Fonte: Google Earth, 2021 (adaptado pelo autor).

A classificação climática para região, de acordo com a classificação de Köppen (1923), é classificada como Aw', clima tropical chuvoso, muito quente, e com pluviosidade distribuída predominantemente nas estações do verão e outono. Durante o experimento, foram registradas temperatura média acima de 18°C e umidade relativa do ar aproximadamente de 80% e pluviosidade média de 142,8 mm (FUNCEME, 2022).

A variedade comercial escolhida foi tomate cereja pera vermelho (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme), possui crescimento indeterminado com ciclo médio de 90 a 100 dias após a sementeira, as dimensões dos frutos com tamanhos de 35x25 mm pesando em média de 10 a 20g. As sementes foram plantadas em bandejas de polietileno com 128 células de 25

ml, que continham substrato composto por 70% de húmus de minhoca e 30% de vermiculita. O transplântio no dia 15 de julho de 2022, aos 22 dias após o semeio. Para o transplântio das mudas, foram utilizados vasos de 11 litros, contendo solo classificado em laboratório como Argissolo Vermelho-Amarelo de textura Franco-Arenosa, onde foi incorporado a 1/3 do solo 9,9 gramas de hidrogel comercial em todos os vasos, para aumentar a retenção de água no solo.

O delineamento experimental escolhido foi blocos casualizados (DBC) com esquema fatorial de 5 estratégias de irrigação e 3 épocas de avaliação (5x3). As estratégias foram divididas em IP – Irrigação Plena (controle), DR – Irrigação com déficit regular (50% da $ET_{C_{loc}}$), E3 – Irrigação com déficit (50% $ET_{C_{loc}}$) na fase de vegetativa, E4 – Irrigação deficitária (50% $ET_{C_{loc}}$) na fase de florescimento e frutificação, E5 – Irrigação deficitária (50% $ET_{C_{loc}}$) na fase de maturação e colheita. Para o segundo fator, foi analisado épocas após transplântio (DAT) com 30 DAT (fase vegetativa), 60 DAT (fase de florescimento/frutificação) e 90 DAT (fase de maturação/colheita).

Figura 6. Distribuição dos vasos



Fonte: Autor, 2022.

O croqui apresenta a organização dos vasos com hidrogel e as estratégias descritas, com espaçamento dentre as plantas de 0,5 m e entre linhas de 0,8 m, foram formadas 10 linhas com 12 plantas, divididas a cada 3 colunas como blocos 1, 2, 3 e 4, totalizando 60 parcelas

experimentais (Figura 7). O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, com a irrigação diária, para estimar a ET_{cloc} (Equação 1) foi considerado o coeficiente de cultivo do tomateiro (K_c) e evaporação do tanque classe A (ET_o).

$$ET_{cloc} = ET_o \cdot K_c \cdot KL \quad (1)$$

ET_{cloc} - evapotranspiração potencial da cultura localizado (mm);

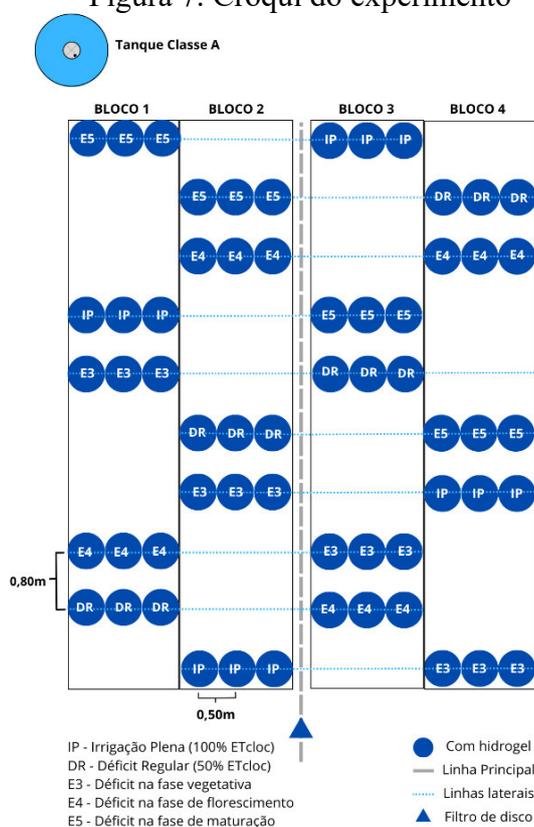
ET_o - evapotranspiração de referência estimada através do Tanque Classe “A” (mm);

K_c - coeficientes de cultivo;

KL – Coeficiente de localização.

O coeficiente de cultivo (K_c) adotado para tomateiro de acordo com os estádios fenológicos (DOORENBOS e KASSAN,1994). Para o estágio de crescimento vegetativo foi de 0,50, já para o florescimento e início da frutificação de 1,25 e para fase de maturação e início da colheita de 0,65. Antes da irrigação eram coletadas informações sobre o volume de água evaporada no tanque classe A, temperatura e umidade relativa do ar por um termômetro digital instalado no centro da casa de vegetação.

Figura 7. Croqui do experimento



Entrada/Saída

Fonte: Autor, 2023

As fases fenológicas foram definidas quando se observava a ocorrência de 50% das plantas iniciando o próximo estágio. Com o transplante realizado no dia 15 de julho de 2022, temos o início da fase vegetativa no mesmo dia, o início da fase de floração e frutificação foi datado em 19 de agosto de 2022 e o início da fase de maturação e colheita foi no dia 17 de setembro de 2022, se encerrando o ciclo de produção no dia 15 de outubro de 2022.

3.2 Variáveis analisadas

As variáveis analisadas foram a taxa de transpiração (E), condutância estomática (g_s) e potencial hídrico (Ψ), as verificações fisiológicas do estresse nas plantas foram medidas através de analisador de gases infravermelho portátil IRGA (InfraRed Gas Analyze) modelo LCpro-SD da [®] ADC Bioscientific (Hoddesdon, Inglaterra) e câmara de pressão de Scholander (DC CONSOLE – ALLEMAR) (Figura 8) (ARAÚJO, 2019 *apud* Scholander *et al.* 1965).

Tabela 1. Câmera térmica utilizadas por estágio fenológico

Câmera térmica	Fenologia	Data
Fluke	Vegetativo	12/08/2022
Flir	Floração/Frutificação	12/09/2022
Flir	Maturação/Colheita	12/10/2022

Fonte: Autor, 2023.

Figura 8. Obtenção dos dados do IRGA, câmara de Scholander e câmeras térmicas



Fonte: Autor, 2022.

Para a análise térmica do dossel foram utilizadas câmeras térmicas portáteis, a primeira avaliação foi feita com a câmera Fluke e a segunda e terceira avaliações com a câmera Flir (Tabela 1).

3.3 Processamento das imagens térmica

Após os registros das temperaturas das plantas, fez-se upload das imagens no computador para serem inseridas nos softwares de processamento de cada câmera. Para a câmera Fluke utilizou o programa Fluke Connect, versão 1.1.157.0, e para a câmera Flir o processamento foi feito pelo programa Flir Thermal Studio, versão gratuita 1.9.28.0. Para determinação das temperaturas nas plantas foram escolhidos 3 pontos distribuído na planta (ponteira, meio e base). Para as folhas, foram delineados 5 linhas no centro das folhas.

3.4 Análise Estatística

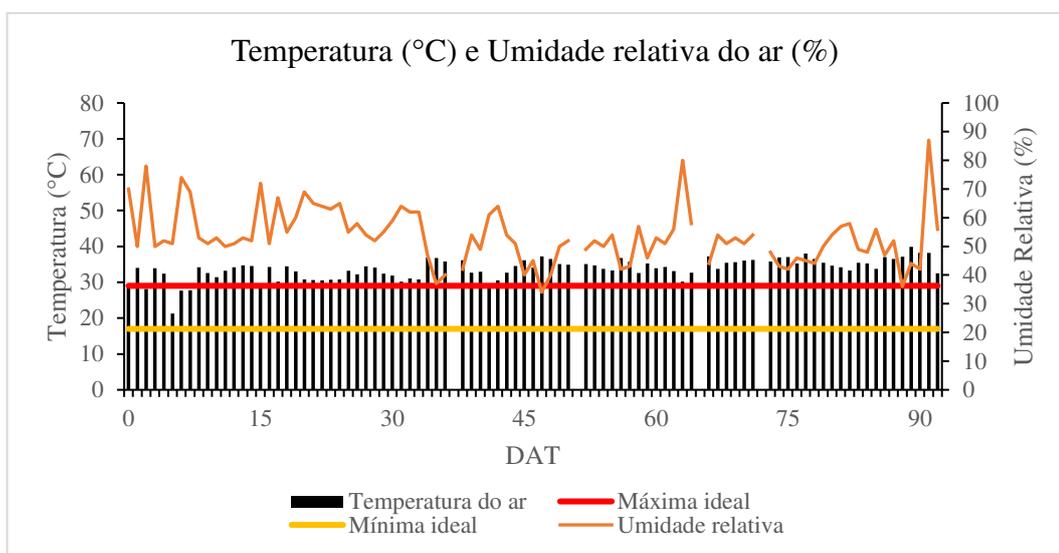
Os dados obtidos de cada variável foram submetidos a análise de variância (ANOVA) no software SISVAR, quando significativo pelo teste F, foi realizado o teste de médias pelo teste de médias Tukey a 5% e 1% de probabilidade. Para construção dos gráficos foi utilizado no software SIGMAPLOT na versão 12.5.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização das condições experimentais

A temperatura e umidade relativa do ar, são importantes parâmetros para ciclo do tomateiro. Na Figura 11, temos os valores médios obtidos após o transplântio. Observa-se que a variação térmica da casa de vegetação atingiu valores acima da temperatura máxima ideal para o tomateiro, que provoca alterações metabólicas e celulares, reduz o desenvolvimento, abortamento floral e queda dos frutos (SUNG *et al.*, 2013).

Figura 9. Temperatura e Umidade relativa do ar durante o experimento



Fonte: Autor, 2023.

Para a aplicação da lâmina nos tratamentos foram coletados diariamente os dados da evaporação do tanque classe A (ET_o) para o cálculo de ET_{C_{loc}}, obtendo os volumes diários (Figura 12).

Figura 10. Evapotranspiração do tomateiro durante o experimento



Fonte: Autor, 2023.

4.2. Análise das variáveis obtidas

Conforme os resultados da ANOVA descritos na Tabela 2, foi observado um efeito significativo da interação entre as estratégias de irrigação e as datas de avaliação sobre gs ($P < 0,01$). A 1ª avaliação, com as maiores médias de atividade estomática, diferiu estatisticamente das épocas de avaliação entre 60 e 90 DAT, dado maior quantidade de água disponível nessa fase.

Também para a E , se observa na análise que houve diferença significativa para interação dos fatores estratégias e dias da avaliação. Tendo diferença estatística entre as estratégias para avaliação aos 30 DAT, obtendo maiores taxa de transpiração. Sousa (2020), associando aplicação de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos em cultivares de tomate cereja vermelho e laranja identificou variações de trocas gasosas como condutância estomática e fotossíntese líquida.

Quanto ao Ψ , de acordo com a ANOVA, observa-se que não houve interação entre os tratamentos analisados ($E \times D$), porém avaliando os efeitos dos fatores isoladamente tem a diferença significativa entre os dias de avaliação aos 90 DAT (Tabela 2). Podemos verificar que não ocorreu diferença estatística entre as estratégias de irrigação devido a retenção de água no hidrogel que eram disponível diariamente nos vasos, também foi descrito por Tatagiba *et al.* (2019), identificou que o potencial hídrico reduziu na presença do condicionante com a lâmina de 100% em comparação ao déficit hídrico de 50% aplicado em mudas clonais de eucalipto.

Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis condutância estomática (gs); transpiração (E); potencial hídrico foliar (Ψ) e temperatura do dossel (TD)

Fonte de Variação	Quadrado Médio			
	gs ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Ψ (Mpa)	TD ($^{\circ}\text{C}$)
Bloco	0,70	0,90	1,47	30,14**
Estratégias (E)	2,31**	2,54*	2,08	1,86
Resíduo (A)	0,32	0,71	1,14	1,00
Dias (D)	49,50**	40,67**	205,19**	73,73**
$E \times D$	2,12**	2,25**	3,54**	1,53
Resíduo (B)	0,42	0,65	0,70	1,38
CV 1 (%)	50,96	26,71	23,40	2,98
CV 2(%)	50,38	25,72	18,36	3,50

** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F

Fonte: Autor, 2023.

A ANOVA também apresentou a análise das médias das temperaturas do dossel obtidas pelas câmeras térmicas, avalia-se que houve diferença significativa isoladamente entre os blocos e entre os dias de avaliação. A intensificação do déficit hídrico, aumento da demanda

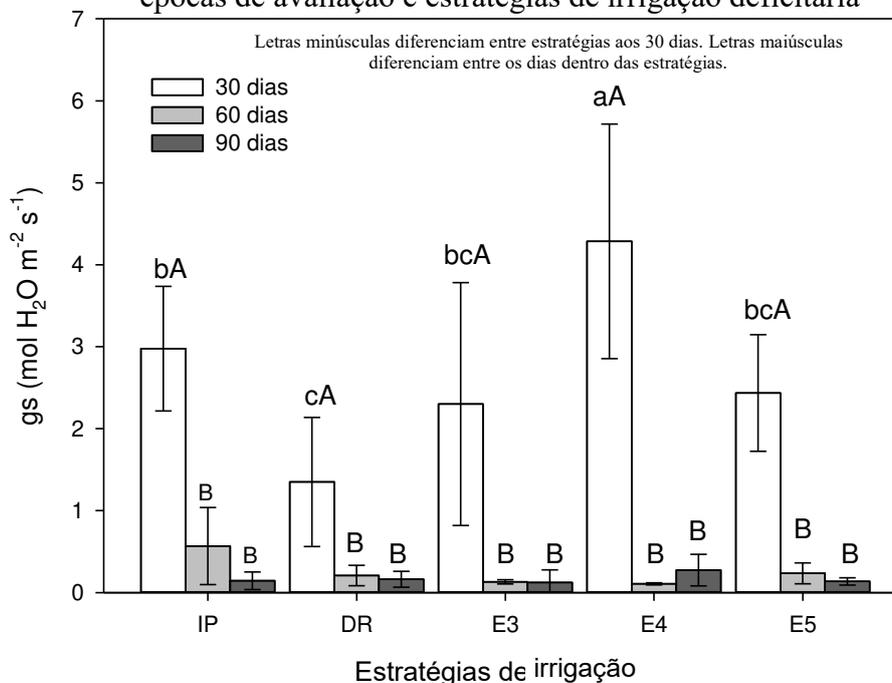
hídrica na fase de florescimento e altas temperaturas na casa de vegetação são principais fatores que podem explicar a diferença significativa entre as épocas de avaliação (COMPAGNOL *et al*, 2017).

4.2.1 Condutância estomática (gs)

A comparação entre as médias da gs para o efeito dos fatores dias e estratégias pode ser observado na Figura 13. Observa-se que houve diferença significativa entre a época de avaliação aos 30 DAT, mas não houve diferença estatística entre as estratégias, mas podemos verificar que a gs com irrigação plena, a E4 com a maior média (4,29 mol m⁻² s⁻¹), seguida da IP (2,98 mol m⁻² s⁻¹), E5 (2,44 mol m⁻² s⁻¹) e com déficit aplicado, a E3 (2,30 mol m⁻² s⁻¹) e DR (1,35 mol m⁻² s⁻¹) com menores médias.

Com destaque para E4 (4,29 mol m⁻² s⁻¹), é possível afirmar que houve a saturação do solo nos vasos desse tratamento devido ao erro no cálculo da área do vaso e a retenção do hidrogel. Por apresentar variação ambiental na casa de vegetação e o crescimento indeterminado da variedade, resultaram nas diferentes respostas de gs ao mesmo tratamento aplicado, considerando a temperatura do ar com 34°C e a umidade relativa do ar com 52%.

Figura 11. Médias (± desvio padrão) da variável condutância estomática (gs) em diferentes épocas de avaliação e estratégias de irrigação deficitária



Fonte: Autor, 2023.

Com isso, entende-se que a disponibilidade hídrica demandada pela cultura foi afetada com a redução da irrigação em 50% da $ET_{C_{loc}}$, diminuindo sua atividade estomática em

70% menos que a maior média encontrada (E4), que segundo Taiz e Zeiger (2013), o fechamento estomático é uma estratégia das plantas para manter a sua turgescência celular.

Quando as plantas se encontram com transpiração maior que absorção de água pelas raízes, ocorre o fechamento dos estômatos e aumento do nível de ácido abscísico (ABA) com déficit hídrico passando de 10% (PEIXOTO *et al.*, 2020).

Aos 30 DAT, a disponibilidade hídrica constava um erro na lâmina aplicada, onde foi considerado a área entre linhas e plantas em vez da área do vaso, mas podemos verificar que mesmo com lâmina da irrigação superior ao planejado, houve diferença na g_s das estratégias, como para DR e E3, que mesmo mantendo a condutância ativa se diferenciaram dos demais.

O teste de Tukey também apresentou que houve diferença entre as médias da época de avaliação, tendo um declínio abrupto para 2ª e 3ª avaliação, que devido a correção do cálculo da lâmina de irrigação, realmente ocorreu o déficit esperado com 50% a menos da evapotranspiração. Nota-se que aos 60 DAT (Tabela 3), a estratégia IP com a maior média de $0,57 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, sendo 86% menor que E4 medida até 30 DAT. Assim, aos 90 DAT, temos a E4 com a maior média na 3ª avaliação, sendo aproximadamente 93,6% menor que o valor máximo obtido no ciclo (Tabela 3).

Tabela 3. Variação em % da g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) do valor máximo obtido

Estratégias	Dias Após Transplântio - DAT					
	30	%	60	%	90	%
IP	2,98	-30,54	0,57	-86,75	0,14	-96,62
DR	1,35	-68,51	0,21	-95,14	0,16	-96,20
E3	2,30	-46,31	0,13	-96,94	0,12	-97,10
E4	4,29	0,00	0,11	-97,51	0,27	-93,59
E5	2,44	-43,16	0,24	-94,51	0,14	-96,81

IP - Irrigação plena; DR – Déficit Regular; E3 – Estratégia 3; E4 – Estratégia 4; E5 – Estratégia 5.

Fonte: Autor, 2023.

Ao compararmos as épocas de avaliação, temos diferença significativa nas médias aos 30 DAT, sendo o período com maior disponibilidade hídrica que manteve as atividades metabólicas normalmente. Contudo, a g_s não diferenciou estatisticamente entre 60 e 90 DAT, pois ocorreu a redução da irrigação aplicada após a 1ª avaliação, devido a correção do cálculo da lâmina de irrigação superestimando a área do vaso.

Observando a redução na g_s da E3 durante todo seu ciclo, e aplicação do déficit hídrico somente até os 30 DAT. Tem-se ocorrência da aclimatação das plantas, pois ao receber os sinais da redução de água no solo reduziu a abertura estomática, o que podemos comparar a E3 na 1ª avaliação com $2,30 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e na 2ª avaliação com $0,13 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, redução de 86%.

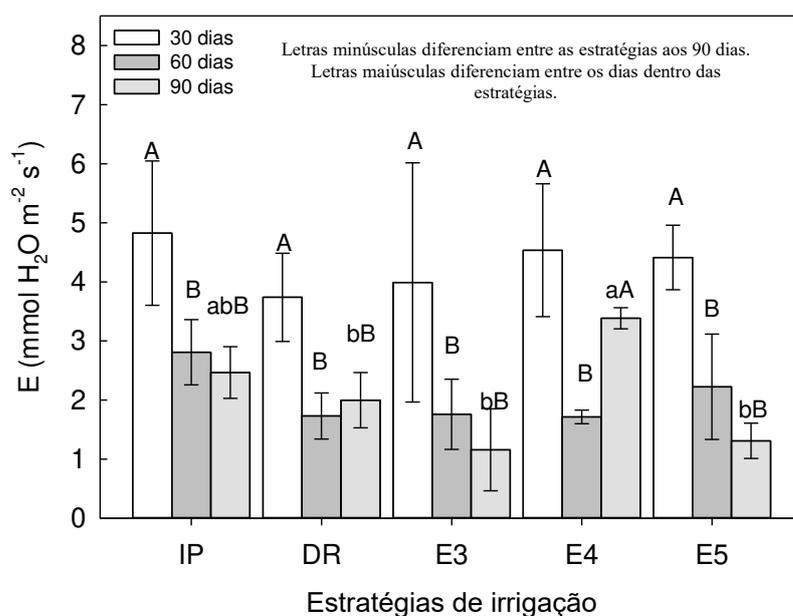
Logo, verifica-se o mesmo comportamento em DR, que reduz a abertura estomática como estratégia de sobrevivência. Também encontrado por François (2012) e Valença *et al.* (2018), quando avaliaram as relações hídricas para feijão e alface, identificando que a condutância estomática reduziu sua atividade em diferentes aplicações de irrigação deficitária.

Aos 90 DAT, observa-se essa redução quando aplicado o déficit hídrico nas plantas na fase de maturação (E5), ocorrendo a diminuição da atividade estomática para evitar perdas de água pelos estômatos. Explicado pelo conceito de ponto de murcha permanente, onde a planta tende a cessar o fluxo de água raiz-folha devido o déficit hídrico na raiz, reduzindo principalmente a condutância estomática e consequentemente a transpiração (KERBAUY, 2004)

4.2.2. Transpiração (E)

Na Figura 14, temos a comparação entre as médias pelo teste de Tukey. Aos 30 DAT, houve diferença significativa aos 60 e 90 DAT, apresentando maiores médias entre as épocas de avaliação. Verifica-se diferenças entre as médias da E, a IP (4,83 mmol H₂O m⁻² s⁻¹), E4 (4,53 mmol H₂O m⁻² s⁻¹), E5 (4,41 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) com irrigação plena e E3 (3,99 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) DR (3,74 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) com déficit hídrico aos 30 dias, não diferindo estatisticamente entre si.

Figura 12. Médias (\pm desvio padrão) da variável transpiração em diferentes épocas de avaliação e estratégias



Fonte: Autor, 2023.

Conforme o teste de Tukey, analisou-se que aos 30 DAT houve diferença das outras épocas de avaliação, sendo o estágio de menor demanda hídrica para a cultura do tomate,

também a fase com alta disponibilidade de água para as plantas devido ao erro do cálculo da irrigação. Podemos observar na diferença entre as épocas de avaliação que aos 30 DAT houve maior taxa de transpiração.

Com alta disponibilidade hídrica e menor exigência fisiológica podemos aferir que as plantas da DR e E3 também não houve prejuízos ao seu desenvolvimento, também visto nas médias da *gs*. Assim, a *E* é afetada por diferentes fatores sendo a umidade do solo o principal sinal que as raízes emitem as folhas indicando a redução de abertura estomática (MANZONI *et al.*, 2013).

Ao analisar as médias obtidas das estratégias com deficit hídrico, a diferença na umidade do solo aos 60 e 90 DAT apresentam o comportamento relativo a redução hídrica na condução do experimento. Podemos interpretar a redução da *E* aos 60 DAT na E4 (1,71 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) como mecanismo para manter a atividade metabólica ativa, para proteger a planta de estresse mais severo.

O mesmo ocorre com E3 (1,76 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) que apesar de volta receber irrigação com 100% ET_{cloc}, reduziu a *E* para manter o equilíbrio entre a transpiração e produção de flores e frutos. Portanto, podemos conferir que as plantas do DR desenvolveram mecanismos de aclimação, uma vez que ficaram sob deficiência hídrica desde o início do ciclo.

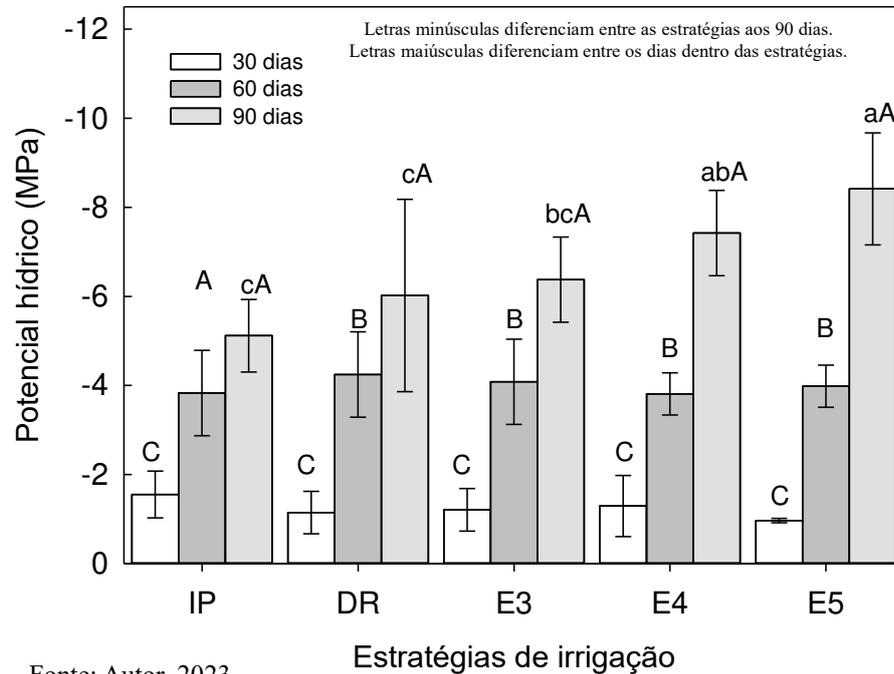
Houve ainda a redução da *E* aos 90 DAT para E5 (0,14 71 mmol H₂O m⁻² s⁻¹), início da fase de maturação com deficit. Confirmando que a redução da água no solo é imperativa para a manutenção da fisiologia, reduzindo a perda de água pelo fechamento dos estômatos e a taxa transpiratória manteve a absorção de nutriente, realização da fotossíntese e podendo aumentar sua plasticidade de desenvolvimento (TAVORA, 1999; MENDES *et al.*, 2015)

4.2.3. Potencial hídrico (Ψ)

Como visto na ANOVA, foi realizado o teste de Tukey para a comparação das médias podemos observar na figura 15. Com diferença significativa aos 90 DAT, obtendo as maiores médias entre as épocas de avaliação. Sendo que para o Ψ temos que quanto mais os são negativos (distante de zero) menos água nas folhas (KERBAUY, 2004).

Aos 30 DAT, não houve diferença significativa entre as estratégias, mas apresentou maior quantidade de potencial hídrico na folha (menos negativo) em relação as épocas de avaliação aos 60 e 90 DAT. Devido a maior umidade no solo. menor demanda da planta e a capacidade de retenção do hidrogel inicial contribuiu a redução do desvio padrão entre as médias das estratégias (Tabela 4).

Figura 13. Médias (\pm desvio padrão) da variável transpiração em diferentes épocas de avaliação e estratégia de irrigação deficitária



Fonte: Autor, 2023.

Aos 30 DAT, verifica-se que as plantas com IP (-1,550 Mpa) obtiveram médias mais negativa nessa avaliação, quando comparado a E5 (-0,964 Mpa), E4 (-1,292 Mpa) e estratégias em déficit, DR (-1,145 Mpa) e E3 (-1,208 MPa). Silveira (2013), quando avaliou diferentes níveis de irrigação em dois turnos de regas na cultura do meloeiro, verificou a redução do potencial hídrico com aumento da taxa de transpiração nos horários mais quente.

Tabela 4. Desvio padrão das médias de Ψ (MPa)

DAT	30	Desvio	60	Desvio	90	Desvio
IP	-1,550	0,53	-3,829	0,96	-5,117	0,82
DR	-1,145	0,48	-4,244	0,96	-6,019	2,16
E3	-1,208	0,48	-4,080	0,96	-6,376	0,96
E4	-1,292	0,68	-3,809	0,47	-7,424	0,96
E5	-0,964	0,05	-3,982	0,47	-8,416	1,26

IP - Irrigação plena; DR – Déficit Regular; E3 – Estratégia 3; E4 – Estratégia 4; E5 – Estratégia 5.

Fonte: Autor, 2023.

Para 2ª análise aos 60 DAT, os tomateiros obtiveram médias ligeiramente próximas, com potencial mais negativo que na fase anterior. Verifica-se que após a correção da lâmina de irrigação o comportamento das plantas nesse período também apresentou diminuição na E e g_s . Foi possível observar a influência do hidrogel reduziu o intervalo entre as médias devido retenção de água no solo em todos os vasos das estratégias.

Na 3ª avaliação com 90 DAT, o teste de Tukey apresentou as maiores médias

negativas, ressalta-se que no momento da coleta dos dados, a temperatura média do ar estava próximo de 39°C e a umidade com 44%, sendo maior que nas avaliações anteriores.

Nessa fase, a E5 se encontrava em redução da irrigação (50% $ET_{c_{loc}}$), como observado anteriormente as plantas que receberam déficit hídrico apenas no estágio de maturação e colheita (E5) alcançaram médias de g_s e E menores na 3ª avaliação, assim ocorreu para o Ψ , que obteve -8,416 MPa, afirmando que a planta sentiu a redução de água disponível.

Podemos observar a E4 (-7,424 Mpa) que entrou em deficit na fase de floração, retornou à aplicação de 100% da $ET_{c_{loc}}$, mas a média de Ψ apresentou contendo menos água nas folhas, tendo resposta mais negativa que E1 (-5,117 Mpa) com irrigação de 100% e DR (-6,019 MPa) e E3 (-6,376 MPa), sendo o estágio fenológico de floração com maior coeficiente de cultivo (K_c) para tomateiro, portanto maior demanda hídrica.

Avaliando a estratégia DR, quando aplicado a redução o início do ciclo tiveram uma resposta menos negativa que E5, com as médias sendo crescente entre as épocas de avaliação, podemos apurar que foi um mecanismo das plantas que reduziram a E e g_s para não perder água no ambiente, sendo um dos dias mais quente na casa de vegetação.

4.2.4 Temperatura do dossel (TD)

Foi realizado o teste de Tukey para comparação das médias entre os dias de avaliações. As temperaturas do dossel foram obtidas nas diferentes fases, ocorrendo muitas variações climáticas entre os estádios, como temperaturas e umidade relativa do ar mais altas que o recomendado.

Com o teste de Tukey, podemos observar que houve efeito significativo apenas para a diferença dos dias de avaliação, as médias dos tratamentos estão muito próximas, portanto, não houve resultado significativo estatisticamente, possivelmente devido o horário das avaliações terem ocorridos pela manhã e com presença de condicionante do solo retendo água influenciaram para que as respostas fossem não significativa entre as estratégias (Figura 16).

Abdala (2019), ao avaliar tomate cereja cv. 'BRS Nagai' sob diferentes doses de hidrogel e manejos de irrigação por gotejamento observou que faixa da temperatura média foliar ficou entre 18,2 a 25,4°C, e as frequências de irrigação diária e retenção de água elevada influenciaram na resposta não significativa da temperatura foliar dos tratamentos utilizados.

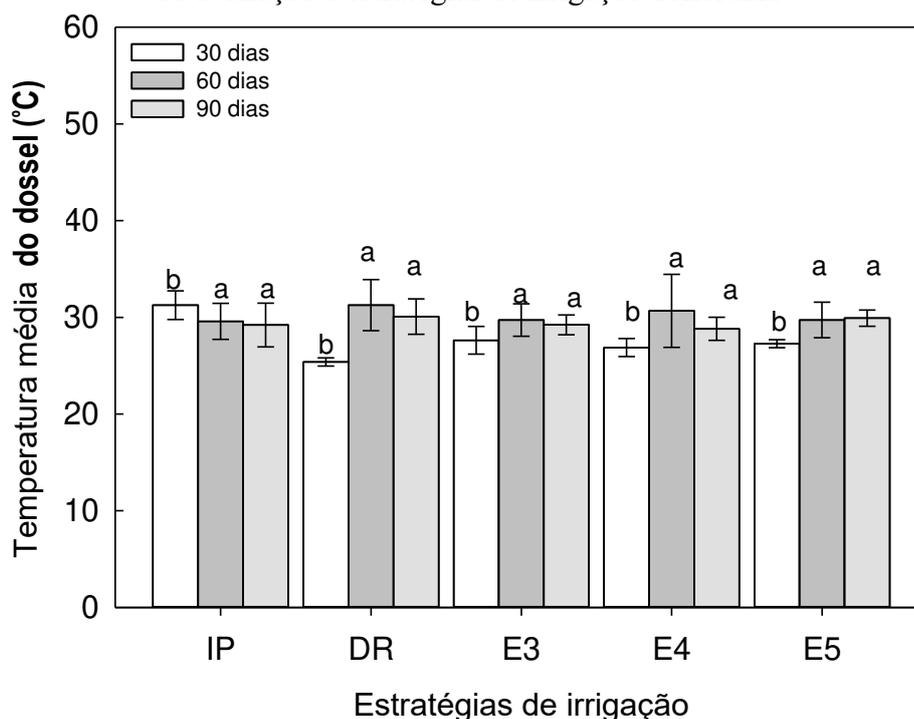
Assim, na 1ª avaliação com 30 DAT, a disponibilidade hídrica superestimada e a retenção através do polímero hidrorretentor aplicado tem forte influência para explicar esse comportamento, variando mais após a correção da lâmina de irrigação (60 e 90 DAT) ao longo

desenvolvimento da cultura e a menor atividade estomática, devido a ocorrência de estresse hídrico.

Aos 60 DAT, foram obtidas na fase florescimento e início da frutificação, tendo sob déficit hídrico o DR e E4, com média máximas das temperaturas de 31,27°C e 30,67°C, respectivamente. Verificando a g_s , o E4 apresenta uma redução severa da abertura dos estômatos de 97,5% comparado a 1ª avaliação (figura 16). Reduzindo a temperatura, com a dissipação do calor na superfície foliar através do aumento da transpiração (Taiz e Zeiger, 2009)

Queiroz (2022), avaliou a produção de tomate com hidrogel em consonância com cobertura do solo, observou que a temperatura média atingiu a faixa de 31,3°C aos 60 dias de cultivo, variando acima do recomendado (21 a 24°C), ocorrendo interferência no desenvolvimento da cultura, produtividade e maior suscetibilidade a doenças.

Figura 14. Médias (\pm desvio padrão) da variável temperatura do dossel em diferentes épocas de avaliação e estratégias de irrigação deficitária



Fonte: Autor (2023)

Aos 90 DAT, avaliado no estágio de maturação dos frutos e início da colheita, a avaliação obteve médias ligeiramente menor que a fase anterior. Com a variação de temperatura do ar próxima de 39°C, a pressão de vapor maior que na folha as plantas reduzindo a g_s , conseqüentemente a E , ocorrendo um alto déficit de pressão de vapor do ar e aumentando a exigência de água na planta (Broughton *et al.*, 2017).

Da mesma maneira, quando aumento da temperatura do ar, a redução da água no solo, da atividade estomática e transpiração leva ao aumento da temperatura do dossel (Osanai

et al., 2017; Chastain *et al.*, 2016; Carmo-Silva *et al.*, 2012).

Segundo Santiago *et al.* (2018), avaliando a qualidade de dois híbrido de tomate cereja (Wanda e Dolcetto) sob diferentes lâminas de irrigação em campo aberto e ambiente protegido, afirmaram que o manejo da irrigação deve ser controladas antecipando o início da maturação, sendo a irrigação deficitária mais vantajoso para a qualidade dos frutos pois há concentração dos sólido solúveis no tomates.

Também verificado por Marouelli e Silva (2008), que o teor do conteúdo de sólidos solúveis foi significativamente melhor ao reduzir a tensão de umidade no solo (déficit hídrico). De acordo com Koetz *et al.* (2010), confirmou ao avaliar características agrônômica e brix do tomate - híbrido Heinz 9498, concluiu que irrigação deficitária de até 50% da capacidade de campo do solo contribuiu para a melhoria do Brix do híbrido. Portanto, ocorreram melhorias na qualidade dos frutos ao utilizarem da irrigação deficitária em seus estudos.

Mesmo que E5 tenha recebido o déficit somente aos 90 DAT, percebe-se que a temperatura média variou ligeiramente ao longo do ciclo, a 1ª avaliação com 27,27°C, 2ª avaliação 29,73°C e 3ª avaliação 29,92°C, comparando com a temperatura do ar vemos uma correlação no aumento entre os valores médios (34,1°C; 35,2°C e 39,9°C) (PIRES, 2015).

4.3 Análise das imagens térmicas

As médias obtidas nas câmeras termográficas indicam a variação entre as diferentes estratégias de irrigação deficitária em épocas diferentes do ciclo do tomate. Comparando as temperaturas (°C) as médias de g_s e E obtidos pelo IRGA e a Ψ pela bomba de pressão de Scholander.

Verifica-se que as variações térmicas estão relacionadas com a fisiologia das plantas, permitindo calibrar os dados das câmeras térmicas para monitorar a temperatura antes da aplicação de irrigação e averiguar a ocorrência de estresse térmico nas plantas (SARAIVA *et al.*, 2014; ALVES *et al.*, 2020).

Como a resposta das plantas varia de acordo com as condições edafoclimáticas, a velocidade que as mudanças ocorrem no campo força a tomada de decisão no momento do primeiro comportamento anormal. A termografia apresenta dados mais compreensíveis para o manejo simples e assertivo. Podemos facilitar a análise através do processamento das imagens pelos softwares aplicando cores representativas (falsa-cor) (ALVES *et al.*, 2020).

Observando as imagens das plantas com IP (100% $ET_{c_{loc}}$), a representatividade das cores aplicadas mostra a concentração de tons mais escuros de azul no centro das folhas, de 30

a 90 DAT, houve poucas mudanças de tonalidade. Comparando a análise de g_s e E , vemos que as plantas reduziram a temperatura dado a transpiração normal.

Logo, visualiza-se a diferença de coloração para o DR (50% $ET_{c_{loc}}$) a presença de tons verdes e azuis mais claros ao longo do ciclo, nos indicam um aumento na TD de acordo com a escala de temperatura. Avaliando as principais respostas fisiológicas, vê-se a correlação com menor taxa de transpiração, logo altas na temperatura aos 60 e 90 DAT (31,27°C e 30,08°C).

A análise das médias dos déficits hídricos aplicados nas fases mostra que houve o aumento da temperatura foliar. Nas imagens aos 30 DAT, a E3 não tem coloração tão destoante da IP, apresenta poucas tonalidades verde nas folhas. O que se identificou nesse período foi a lâmina superestimada da irrigação, logo o déficit não foi expressivo para temperatura.

Para 60 DAT, vemos diferença comportamento térmico das plantas com a E4 (30,67°C), apresenta alguns tons azuis nas folhas próximas da base e mais amareladas e verdes nas folhas superiores. Com o déficit aplicado, pode-se questionar se houve água disponível que alcançassem as folhas mais próximas das raízes devido a retenção do hidrogel.

Comparando aos 90 DAT, tem-se ainda mais pontos com coloração verde e amarelo, sendo possível verificar que o estresse hídrico sofrido quando observado a redução das médias para g_s e E aos 60 dias.

Aos 90 DAT, as plantas com a adoção da E5 com déficit hídrico, podemos ver que na 1ª e 2ª avaliação são encontradas tonalidades azuis mais escuras, que apresenta tons amarelos e verdes nas folhas. As trocas gasosas e o potencial hídrico mostram a relação da diminuição da atividade respiratória com início da irrigação deficitária aplicada, tendo a média mais negativa de potencial hídrico aos 90 dias.

Podemos verificar nas Figura 17 e 18 que o material de fundo obteve coloração mais vermelha, indicando maiores temperaturas. O que pode explicar imagens que não apresentam informações congruente ao tratamento aplicado. Segundo, Gomes (2021) a termografia apresentam algumas interferências na coleta de dados que podem limitar a precisão, possibilitando a sub ou superestimação das temperaturas do alvo.

As variações ambientais, como a temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar e as chuvas são importantes fatores no momento da captura térmica. Como o método é realizado através do laser infravermelho direcionado para a superfície, recebendo a radiação emitida das plantas e das superfícies próximas, que podem emitir radiação e não apresentar a temperatura correta (MAHLEIN, 2016; ALVES *et al.*, 2020).

Podemos observar que nas imagens térmicas mais próximas das folhas, diferencia

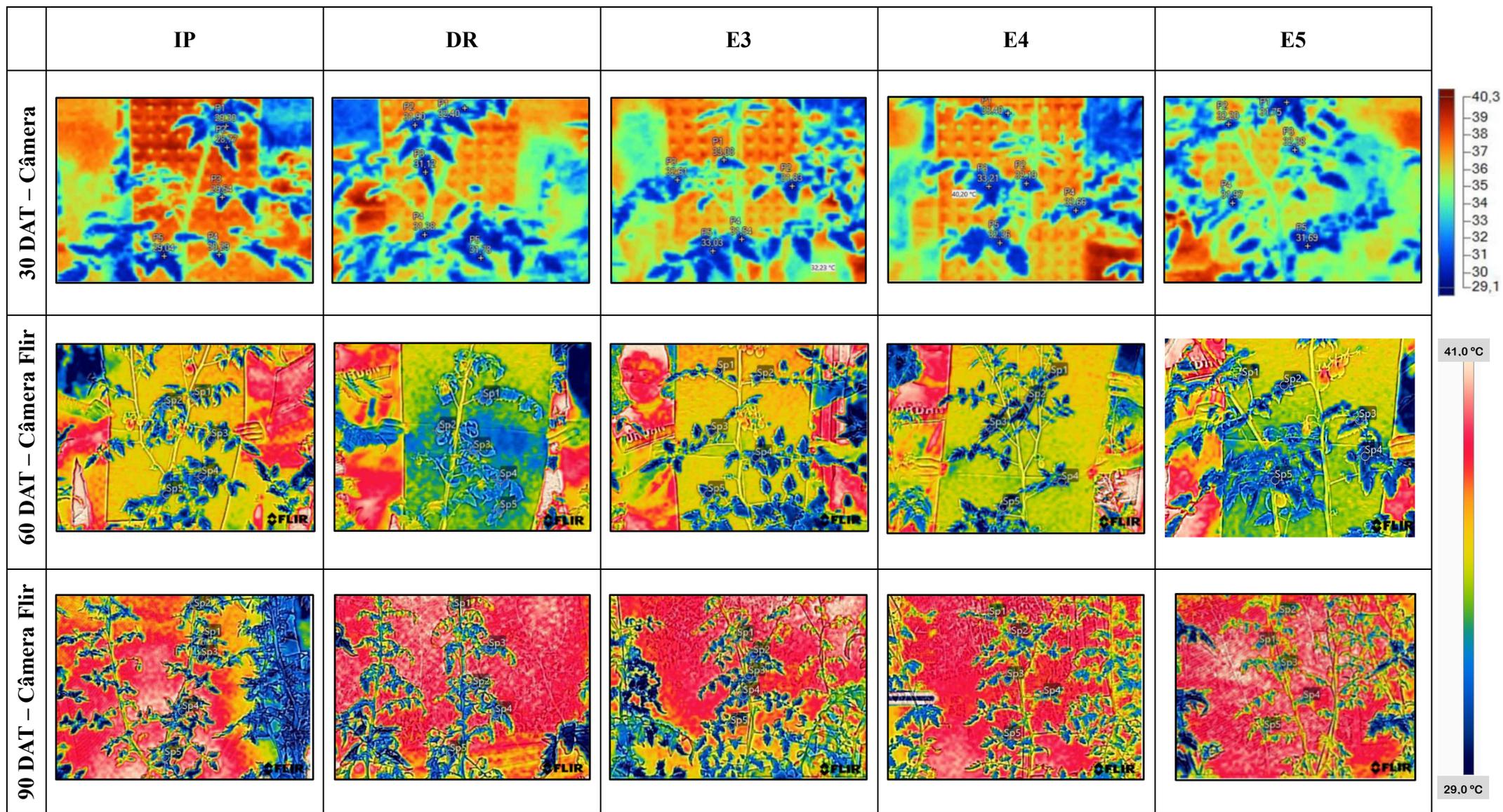
o grau de tonalidade em alguns pontos, como por exemplo, comparando com a IP, a E2 apresenta um gradiente do azul (30 DAT) para o verde (90 DAT).

Na E4, em déficit com 60 DAT, vemos uma tonalidade amarelo e verde mais distribuída nos folíolos, logo um aumento da temperatura, pode ser confirmado na (Figura 16). Em algumas imagens térmicas é possível visualizar o formato dos frutos nos galhos, e que estão apresentando maiores tonalidade de vermelho, pode estar relacionado ao aumento da temperatura do ar na estufa.

Para as análises foram utilizados diferentes materiais atrás das plantas para se diferenciar das plantas próximas, devido à pouca informação sobre qual matéria utilizar, ocorreu a utilização de bandeja de germinação (preto), papel sulfite (branco) e tecido de elastano (preto).

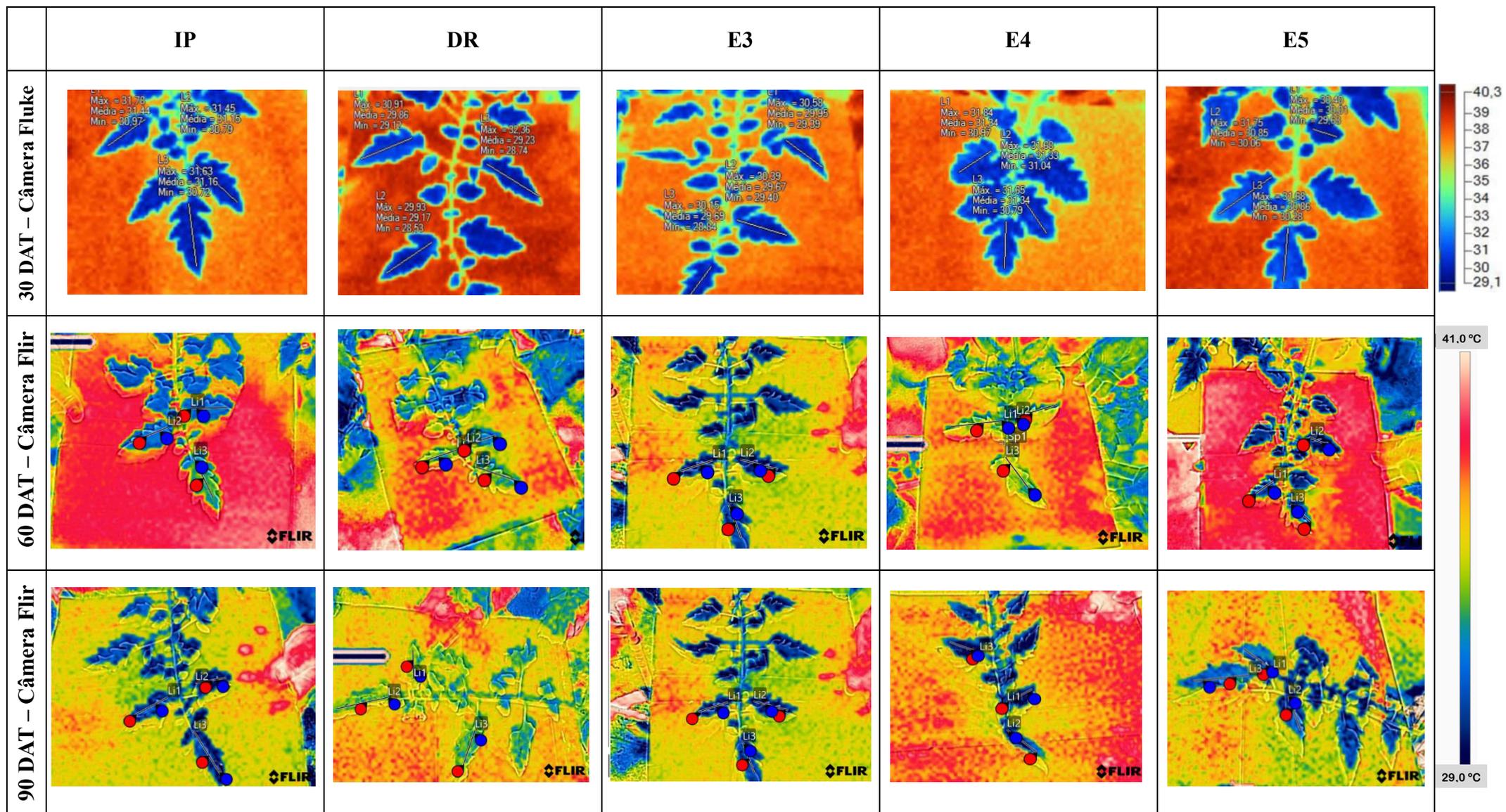
Pode-se verificar que os materiais obtiveram diferentes tonalidades ao serem processados nos softwares, que de acordo com a escala de cores vemos que a bandeja e o tecido apresentam cores laranja e vermelho com muita intensidade, e o papel apresenta colorações azul, verde e amarelo, portanto temperaturas menores de acordo com a escala. Podendo ser o papel a melhor opção para coleta da TD, por emitir menor radiação.

Figura 15. Imagens térmicas das plantas



Fonte: Autor, 2023.

Figura 16. Imagens térmicas das folhas



Fonte: Autor, 2023.

5. CONCLUSÃO

Diante do exposto, através das análises de trocas gasosas e do potencial hídrico podemos concluir que a E3 apresentou melhor eficiência no uso da água, mesmo com aplicação de déficit hídrico de 50% ET_{Cloc} na fase vegetativa.

As câmeras infravermelhas detectaram as variações das temperaturas nas plantas em déficit hídrico. Contudo, para o manejo da irrigação é necessário a calibração das imagens térmicas com dados de trocas gasosas e potencial hídrico específica para cultura.

6. REFERÊNCIAS

- ABDALA, Livia. **Manejos de irrigação associados a doses de hidrogel na produção de tomateiro de mesa**. Dissertação. (Mestrado em Olericultura) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos 59p. Morrinhos, 2019.
- ALEMAN, C. C. *et al.* **Tecnologias digitais para monitoramento da irrigação**. In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E.C. (Editores). Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia. Piracicaba: ESALQ – USP, 2022. 397p.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: ANA, 2021. 130p.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA, 2004. 400p.
- ARAGÃO, F. T. A. **Uso de hidrogel no cultivo da alface submetidas a déficit hídrico**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará. 91p. Fortaleza, 2018.
- ARAÚJO, M. E. B. **Uso de hidrogel no cultivo da alface submetidas a déficit hídrico**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará. 81p. Fortaleza, 2014.
- ARAÚJO, B. D. A. **Respostas fisiológicas do coqueiro anão verde sob diferentes lâminas de irrigação**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2019.
- BARRETO, A. N. **Quantificação de água necessária para a mamoneira irrigada com base nas constantes hídricas do solo**. In: Congresso Nacional da Mamona, 1, 2004, Campina Grande. Anais...Campina Grande: EMBRAPA, 2004.
- BERGONCI, J. I. *et al.* Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 35, n. 8, p. 1531-1540, 2000.
- BERNARDI, M.R.; SPEROTTO JUNIOR, M.; DANIEL, O.; VITORINO, A.C.T. 2012. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. **Cerne**, Lavras, v.18, n.1, p.67-74.
- BERNI, J. A.; ZARCO-TEJADA, P.; SÚAREZ, L.; FERERES, E. Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. **IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, USA**. v. 47, p. 722–738, 2009.
- BRITO JUNIOR, F. P. **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, Faculdade de ciências agrárias, Manaus-AM, 2012. 61 f.

BROUGHTON, K. J.; BANGE, M. P.; DUURSMA, R. A.; PAYTON, P.; SMITH, R. A.; TAN, D. K. Y.; TISSUE, D. T. **The effect of elevated atmospheric [CO₂] and increased temperatures on an older and modern cotton cultivar.** *Functional Plant Biology*, v. 44(12), p. 1207-1218, 2017

CARMO-SILVA, A.E.; GOREA, M.A.; ANDRADE-SANCHEZ, P.; FRENCHA, A.N.; HUNSAKER, D.J.; SALVUCCI, M.E. **Decreased CO₂ availability and inactivation of Rubisco limit photosynthesis in cotton plants under heat and drought stress in the field.** *Environmental and Experimental Botany*, v. 83, p. 1-11, 2012.

CARNEIRO, M. M. L. C. **Trocas Gasosas e Metabolismo Antioxidativo em Plantas de Girassol em Resposta ao Déficit Hídrico.** 2001. 43f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

CAMPAGNOL, R. *et al.* **Cultivo de mini tomates em ambiente protegido.** Curitiba: SENAR-PR, 2016. Disponível em: https://www.sistемаfaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0327-Cultivo-Mini-tomates-Ambientes-Protegidos_web.pdf.

CAMARA, G.R.; REIS, E.F.; ARAÚJO, G.L.; CAZOTTI, M.M.; DONATELLI JÚNIOR, E.J. 2011. **Avaliação do desenvolvimento do cafeeiro conilon robusta tropical mediante uso de polímeros hidroretentores e diferentes turnos de rega.** *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v.7, n.13, p.135-141.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. CEPEA/Esalq/USP. **Revista Hortifruti.** Ed. Especial. Dez/22 – Jan/23. Ano 21. nº 229. Disponível em <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-hf-brasil-retrospectiva-2022-perspectiva-2023.aspx>.

CUI, Y.; TIAN, Z.; ZHANG, X.U.; MUHAMMAD, A.; HAN, H.; JIANG, D.; CAO, W.; DAI, T. Effect of water deficit during vegetative growth periods on post-anthesis photosynthetic capacity and grain yield in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, Kraków, v. 37, p. 1-10, out. 2015.

CHASTAIN, D. R.; SNIDER, J. L.; COLLINS, G. D.; PERRY, C. D.; WHITAKER, J.; BYRD, S. A.; OOSTERHUIS, D. M.; PORTER, W. M. **Irrigation scheduling using predawn leaf water potential improves water productivity in drip-irrigated cotton.** *Crop Science*, v. 56, p. 3185-3195, 2016

DOORENBOS, L.; KASSAN, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas;** tradução de H.R.Gheyi, A.A. de Sousa, F.A.V. Damasceno, J.F. de Medeiros. Campinas Grande, UFPR, 1994; xxiv, 306p.: 22 cm (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

EMBRAPA Hortaliças: A cultura do tomate, 2018.

FRANÇOIS, T. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária.** 2012. 113p. Dissertação de mestrado –Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2012.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point. Synthesis report 2021**. Roma, p. 82. 2021.

FAOSTAT. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS – FAO DATABASE**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em 03 de março de 2023.

FUNCEME. **Postos Pluviométricos**. Fortaleza, CE: FUNCEME. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2694.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de Tomate 2021**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/ce>. Acesso em 04 de maio de 2023.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Tomate**. Vitória, ES: Incaper, 2010. 430p.

JONES, H.G. Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. **Agricultural and Forest Meteorology**, Netherlands, Elsevier. v. 95, p. 139–149, 1999.

JONES, H. G.; STOLL, M.; SANTOS, T.; SOUSA, C.; CHAVES, M. M.; GRANT, O.M. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. **SEB – Our Journals**. v. 53, p. 2249–2260, 2002.

KERBAUY, Gilberto B (ed). **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004. 439p.

KIRKHAM, M. B. (ed). Measurement of Canopy Temperature with Infrared Thermometers. In: **Principles of Soil and Plant Water Relations**. Burlington: Academic Press. 2005. p. 425-435.

KOCHLER, M. *et al.* Modelling the effects of soil water limitations on transpiration and stomatal regulation of cauliflower. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 375-383, 2007

KOETZ, M. *et al.* **Caracterização agronômica e o Brix em frutos de tomate industrial sob irrigação por gotejamento no sudoeste de Goiás**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. Fortaleza: INOVAGRI. v. 4, n. 1, 14-22p., 2010.

LAFITTE, R. Relationship between leaf relative water content during reproductive stage water deficit and grain formation in rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 165-174, 2002.

MARENCO, R. A. LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: fotossíntese; respiração; relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa, MG:UFV, 2005, 451p.

MAROUELLI, W. A; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa, 5.ed. 1996, 72p

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Irrigação por gotejamento do tomateiro industrial durante o estágio de frutificação, na região do cerrado.** Horticultura Brasileira, Brasília, v.24, n.3, p.342-346, 2006

MAROUELLI, W. A. **Tensões-limite de água no solo para o cultivo do tomateiro para processamento irrigado por gotejamento.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 17p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; SILVA, W. L. C. **Irrigação do Tomateiro para Processamento.** Circular Técnica 102. Embrapa Hortaliças. Brasília- DF. 2012.

MCAUSLAND, L.; DAVEY, P. A.; KANWAL, N.; BAKER, N.; LAWSON, T. A novel system for spatial and temporal imaging of intrinsic plant water use efficiency. **Journal of Experimental Botany.** England, SEB – Our Journals. v. 64, p. 4993-5007, 2013.

MENDES, R.M.S.; LUCENA, E. M. P.; PONTES, J. B. L. **Princípios de fisiologia vegetal.** Fortaleza: EdUECE, 2015. 2ed. 126p.

MENEZES, R. S. C. *et al.* **Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome.** Brazilian Journal of Biology, v.72, n.3, p. 643–653, 2012.

MERON, M.; SPRINTSIN, M.; TSIPRIS, J.; ALCHANATIS, V.; COHEN, Y. Foliage temperature extraction from thermal imagery for crop water stress determination. **Precision Agriculture.** Netherlands, Springer. v. 14, p. 467–477, 2013.

NEPA – NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO).** 4ª ed. rev., e ampl. Campinas: NEPA – UNICAMP, 2011. 161 p.

OLIVEIRA, Fabrício de Souza. **Viabilidade financeira na produção de tomate: sistemas de cultivo no campo e na estufa, nas épocas seca e chuvosa.** 2014. 99 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Gestão do Agronegócio) — Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

OSANAI, Y.; TISSUE, D. T.; BANGE, M. P.; BRAUNACK, M. V.; ANDERSON, I. C.; SINGH, B. K. **Interactive effects of elevated CO₂, temperature and extreme weather events on soil nitrogen and cotton productivity indicate increased variability of cotton production under future climate regimes.** Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 246, p. 343-353, 2017.

PAOLINELLI, D. D. N.; MANTOVANI, E. C. **Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia** [recurso eletrônico] Piracicaba: ESALQ; Viçosa: ABID, 2022.

PEIXOTO, C. **Princípios de fisiologia vegetal: teoria e prática.** Rio de Janeiro: Pod, 2020.1 ed. 256 p.

PESSI, D. D. 2019. **Sensoriamento remoto com Sensores de Aeronaves Remotamente Pilotadas para Aplicações de Agricultura de Precisão e Gestão Ambiental.** Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, Mato Grosso, 2019.

PIRES, W. N.; MOURA, M. S. B. de; AIDAR, S. de T.; SOUZA, L. S. B. **Temperatura**

foliar e do dossel como indicador de déficit hídrico em plantas da Caatinga: resultados iniciais. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, Petrolina. Experiências e oportunidades para o desenvolvimento. Petrolina: Embrapa Semiárido, 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.

SANTANA, M. J.; VIEIRA, T. A.; BARRETO, A. C. **Efeito dos níveis de reposição de água no solo na produtividade do tomateiro.** Horticultura Brasileira, v.27, p.1378-1384, 2009.

SANTIAGO, E. J. P. *et al.* **Qualidade do tomate cereja cultivado sob lâminas de irrigação em ambiente protegido e campo aberto.** Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. Passo Fundo: Agrometeoros. v.26, n.1, 213-221p., jul-2018.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. **Sap pressure in vascular plant.** *Science*, v.148, p.339-346, 1965.

SILVA, A. D. G. da; BEZERRA DOS SANTOS, A. L. .; MÉRCIA DOS SANTOS, J. .; LUNA LUCENA, R. . **Balço hídrico climatológico e classificação climática do estado do Rio Grande do Norte.** Revista Brasileira de Climatologia, [S. l.], v. 30, n. 18, p. 798–816, 2022.

SILVA, JBC da; GIORDANO, L. de B. **Produção mundial e nacional. Tomate para processamento industrial.** Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, EMBRAPA Hortaliças, 168p, 2000.

SILVA, E. L., PEREIRA, G. M., CARVALHO, J. A., VILELA, L. A. A., FARIA, M. A. **Manejo de irrigação das principais culturas.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000. 89p.

SILVEIRA, E. M. C. **Fisiologia de plantas de meloeiro cultivadas sob diferentes níveis de irrigação.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2013.

SOUSA, Kleyton de Chagas. **Fator de sensibilidade ao déficit hídrico e resposta à irrigação deficitária em duas cultivares de tomate cereja.** Dissertação. (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará. 64p. Fortaleza, 2020.

SRINIVASA RAO, N. K. *et al.* Tolerance to Water Stress in Tomato Cultivars. **Photosynthetica**, Prague, v. 38, n. 3, p. 465-467, 2001.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Relatório final da Delimitação do Semiárido.** Recife: SUDENE, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad.: Eliane R. Santarém *et al.*, 4 Ed., Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TAIZ L.; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p

TATAGIBA, D.S. *et al.* **Disponibilidade hídrica e doses de polímero hidrorretentor na produção de mudas clonais de eucalipto**. Revista de Engenharia na Agricultura. DEA/UFV. Viçosa, Minas Gerais.v. 27, n. 4, p. 359-369, 2019.

TÁVORA, F. J. A. F.; PINHO, J. L. N. **Cadernos de fisiologia da produção: estresse hídrico nas plantas**. Fortaleza: UFC,1999.137p.

VALENÇA, D. D. C., CARVALHO, D. F. D., REINERT, F., AZEVEDO, R. A., PINHO, C. F. D., e MEDICI, L. O. **Automatically controlled deficit irrigation of lettuce in “organic potponics”**. Scientia Agricola, v. 75, n. 1, p. 52-59, 2018.

VELLOSO, A. L. *et al.* **Ecorregiões - propostas para o Bioma Caatinga. Resultados do Seminário de Planejamento Ecorregional da Caatinga/Aldeia-PE**. Associação Plantas do Nordeste, Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, Recife, p.76, 2002.

VIANA, L.A.; ZAMBOLIM, L.; SOUSA, T. V.; TOMAZ, D. C. **Potencial uso de câmera termal acoplada a vant para monitoramento de culturas**. Brazilian Journal of Biosystems Engineering. São Paulo: UNESP, v. 12(3), 286-298p, 2018.

YAO, H.; QIN, R.; CHEN, X. **Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications—A Review**. Remote Sensing, v. 11, n. 12, p. 1443, 2019.