



## UTILIZAÇÃO DA TERMOGRAFIA PARA AVALIAR O ESTRESSE HÍDRICO NA CULTURA DO TOMATE CEREJA SOB DISTINTAS ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO E A APLICAÇÃO DE HIDROGEL

Daniela Andreska da Silva<sup>1</sup>, Mirelysia Meireles Moura<sup>2</sup>, João Davi Tabosa Cruz<sup>3</sup>, Davi dos Santos Queiroz<sup>4</sup>, Alexsandro Oliveira da Silva<sup>5</sup>, Marlos Alves Bezerra<sup>5</sup>

**RESUMO:** Objetivou-se utilizar a termografia para avaliar a variação de temperatura do tomate cereja pêra vermelho conduzido em ambiente protegido, sob distintas estratégias de irrigação e aplicação de hidrogel. O experimento foi conduzido em estufa, na Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará. Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados subdivididos, em esquema fatorial 5 x 2, referentes às cinco estratégias de irrigação (IP - irrigação plena, DR - irrigação com déficit regular, E3 - irrigação com déficit na fase vegetativa, E4 - irrigação com déficit na fase de floração e frutificação, E5 - irrigação com déficit na fase de maturação e colheita) com e sem hidrogel, constando de três plantas por parcela experimental, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Foram avaliados a temperatura do dossel (câmeras térmicas Fluke e Flir), índice SPAD e potencial hídrico foliar (bomba de Scholander). Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo SAS e o teste de Tukey ao nível de 1 e 5% de probabilidade. O hidrogel mostrou-se significativo para a redução de temperatura da planta apenas na avaliação aos 30 DAT. Já a estratégia de irrigação influenciou significativamente aos 60 e 90 DAT, apontando o DR com as maiores temperaturas, seguido dos tratamentos E4 e E5 (com déficit). O índice SPAD e o potencial hídrico foliar exibiram resposta significativa apenas aos 60 e 90 DAT para o hidrogel e estratégia de irrigação. A utilização das imagens térmicas demonstrou ser eficiente para determinação da temperatura na cultura do tomate cereja somente a partir da fase de florescimento e frutificação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Imagem térmica, potencial hídrico foliar, spad.

<sup>1</sup> Doutoranda, Dpto de Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza – CE

<sup>2</sup> Mestranda, Dpto de Fitotecnia – Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza – CE

<sup>3</sup> Graduando em Agronomia – Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza – CE

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo – Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza – CE

<sup>5</sup> Prof. Doutor, Depto de Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Ceará - UFC. Fortaleza, Ceará

## **USE OF THERMOGRAPHY TO ASSESS WATER STRESS IN CHERRY TOMATO CULTURE UNDER DIFFERENT IRRIGATION STRATEGIES AND HYDROGEL APPLICATION**

**ABSTRACT:** The objective was to use thermography to assess the temperature variation of red cherry pear tomatoes grown in a protected environment under different irrigation strategies and the application of hydrogel. The experiment was conducted in a greenhouse at the Agrometeorological Station of the Federal University of Ceará. The experimental design was a split-plot randomized block design, in a 5 x 2 factorial scheme, consisting of five irrigation strategies (FI - full irrigation, RD - regular deficit irrigation, S3 - deficit irrigation during the vegetative phase, S4 - deficit irrigation during the flowering and fruiting phase, S5 - deficit irrigation during the maturation and harvesting phase) with and without hydrogel, with three plants per experimental plot and four replications, totaling 40 experimental plots. Canopy temperature (measured using Fluke and Flir thermal cameras), SPAD index, and leaf water potential (measured using a Scholander pump) were evaluated. The results were subjected to analysis of variance using SAS software, and Tukey's test was performed at the 1% and 5% probability levels. The hydrogel was significant in reducing plant temperature only at the 30 days after transplanting (DAT) assessment. The irrigation strategy significantly influenced the temperatures at 60 and 90 DAT, with DR showing the highest temperatures, followed by treatments S4 and S5 (with deficit irrigation). The SPAD index and leaf water potential exhibited significant responses only at 60 and 90 DAT for both the hydrogel and irrigation strategy. The use of thermal images proved to be effective in determining the temperature in cherry tomatoes only from the flowering and fruiting phase onwards.

**KEYWORDS:** Thermal image, leaf water potential, SPAD.

### **INTRODUÇÃO**

O tomateiro (*Lycopersicon esculentum*) é uma das hortaliças mais importantes no Brasil e no mundo (ESCALONA, 2009). Em 2022, de acordo com o IBGE, a safra nacional de tomate, envolvendo os segmentos de mesa e processamento, foi estimada em 4 milhões de toneladas. Um dos insumos básicos para a produção de tomate é a água, utilizada para irrigação da cultura. Sabe-se que na região Nordeste a produção é limitada principalmente, na região semiárida, por

diversos fatores negativos à cultura, um deles é a irregularidade e distribuição de chuvas que ocasiona escassez de água (SILVA et al., 2020).

A utilização da água na agricultura é uma preocupação recorrente de profissionais que lidam com a utilização dos recursos naturais, devido às poucas fontes hídricas doces e límpidas, necessitando gradativamente a melhora da sua utilização. De acordo com a FAO (2017), a agricultura é o principal setor consumidor de água no mundo, usufruindo em média de 70% do total de água utilizada.

Dessa forma, se atribui ao setor agrícola o compromisso de utilizar este recurso de forma racional e sustentável. Sendo assim, o sensoriamento remoto tem sido um artifício essencial para embasar a agricultura de precisão, que por sua vez colabora para o desenvolvimento de uma produção agrícola cada vez mais sustentável, otimizando a utilização dos recursos enquanto mantém ou eleva a produção.

O emprego dessas tecnologias no manejo da irrigação tem refletido significativamente nas tomadas de decisão no campo, de modo que estas são baseadas nas necessidades reais da cultura, refletidas em dados, que por sua vez, são obtidos por meio de equipamentos como sensores, câmeras, entre outros. A utilização da termografia para refletir o estresse hídrico em plantas foi um método pouco invasivo e representativo que foi incluído nas práticas do sensoriamento remoto. Sabe-se que a temperatura foliar aumenta à medida que ocorre o fechamento dos estômatos devido ao estresse hídrico que a planta está sendo submetida.

Tendo em vista que a literatura evidencia a aplicação de câmeras termográficas para avaliação de estresse hídrico em diversas culturas, o trabalho objetivou utilizar a termografia para avaliar a variação de temperatura do tomate cereja pêra vermelho conduzido em ambiente protegido, sob distintas estratégias de irrigação e aplicação de hidrogel.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, cujas coordenadas geográficas são 3°74' de latitude S e 38° 58' de longitude W. De acordo com a classificação de Köppen (1918) o clima local é do tipo Aw'.

A cultivar utilizada foi o tomate pêra vermelho, de crescimento indeterminado, apresentando ciclo médio de 90 a 100 dias após a semeadura. A semeadura foi realizada em duas bandejas de polietileno pretas compostas por 128 células de 25 mL, cada. O desbaste das

mudas foi realizado aos 10 dias após sementeira, deixando apenas uma planta por célula visando o seu completo desenvolvimento. No total foram 22 dias até o transplante das mudas para vasos de 11L, contendo em seu interior solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo de textura franco-arenosa.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas (DBC) com esquema fatorial 5x2, referentes às cinco estratégias de irrigação conforme a fase fenológica da cultura (IP - irrigação plena, DR - irrigação com déficit contínuo, E3 - irrigação com déficit na fase vegetativa, E4 - irrigação com déficit na fase de floração e frutificação, E5 - irrigação com déficit na fase de maturação e colheita). Para o segundo fator, adotou-se tratamento com “H” e sem o uso do hidrogel, constando três plantas por parcela experimental, com 4 repetições, totalizando 40 parcelas. Foi estabelecido déficit de 50% da evapotranspiração da cultura.

Foi utilizado o sistema de irrigação localizada tipo fita gotejadora com emissores espaçados a 0,40 m, com vazão de 1,6 L h<sup>-1</sup>, pressão de serviço de 20 mca, com tubos de polietileno de 16 mm, com um emissor por planta. Nos primeiros 10 dias após o transplante (DAT) todos os tratamentos receberam a mesma irrigação, a fim de garantir o estabelecimento uniforme das plantas. As irrigações foram realizadas diariamente utilizando como manejo da irrigação o tanque Classe A instalado no interior da estufa.

O cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) foi realizado, de acordo com a metodologia proposto por Allen et al. (1998) (Eq. 1), adando o consumo hídrico do tomateiro, em função do período de desenvolvimento. Em relação a evapotranspiração da cultura ET<sub>c</sub>, considerando recomendações de Evangelista & Pereira (2003), os coeficientes da cultura “K<sub>c</sub>” (Eq. 2) foram determinados nas diferentes fases fenológicas.

Eq. 1:

$$ET_0 = ECA * Kp \quad (1)$$

Em que: ET<sub>0</sub> - Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>); ECA - Evaporação medida no tanque classe A (mm dia<sup>-1</sup>); K<sub>p</sub> - Coeficiente do tanque (adimensional, sendo equivalente a 1).

Eq. 2:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (2)$$

Em que: ET<sub>c</sub> = evapotranspiração da cultura, em mm dia<sup>-1</sup>; K<sub>c</sub> = Coeficiente da cultura.

Para o cálculo do tempo de irrigação foi utilizada KL, constante Conforme Keller (1978), equivalente a 1, baseada na área do vaso de 0,25 m<sup>2</sup>. Vale destacar que as irrigações foram realizadas diariamente considerando o déficit hídrico estabelecido como 50% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) nas estratégias submetidas a déficit (DR, E3, E4, E5) em suas respectivas fases.

Para a avaliação das temperaturas foram utilizadas as câmeras termográficas: Flir E4 e Fluke TiS10, ambas com 4800 pixels de resolução. As coletas foram realizadas aos 30, 60 e 90 DAT. 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 distribuídos na planta (ponteira, meio e base). Para as folhas, foram delineadas 5 linhas no centro das folhas.

O índice SPAD foi obtido utilizando-se um clorofilômetro portátil SPAD-502, as leituras foram realizadas entre às 8 e 12 horas da manhã, sendo realizadas em folhas do terço médio da planta, sendo posteriormente obtida a média geral das diferentes partes da folha. O potencial hídrico da planta foi estabelecido com o emprego da bomba de Scholander (Soil Moisture model 3000), sendo as medições realizadas às 8:30 da manhã no local do experimento. Utilizou-se uma folha por planta de cada tratamento e foi obtida a média do potencial hídrico representado em MPa.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo SAS (SAS, 1992) versão 9.4 e para comparações entre médias de tratamentos foi utilizado o teste de Tukey ao nível de 5% e 1% de probabilidade.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A análise de variância para as variáveis significativas relacionadas a temperatura média das plantas encontra-se resumida na tabela 1.

A partir dos dados analisados, foi possível observar que apenas aos 30 DAT, o uso do hidrogel apontou resposta significativa para a temperatura da planta do tomate cereja pêra vermelho, exibindo menores temperaturas quando comparado aos tratamentos sem aplicação do polímero (hidrogel). Contudo, para o fator estratégia de irrigação, observa-se diferença

significativa aos 60 e 90 DAT, sendo possível aferir maior temperatura nas plantas que foram submetidas ao déficit hídrico regular (Figura 2).

**Tabela 1.** Resumo das análises de variância para as variações de temperatura nas plantas de tomate cereja, em função das estratégias de irrigação e doses de hidrogel.

Parâmetro Avaliação	DAT	Fonte de Variação				CV (%)	Média geral
		Bloco	Estratégia (E)	Hidrogel (H)	E x H		
T (C°)	30	4,13*	3,00 <sup>ns</sup>	5,23*	2,92 <sup>ns</sup>	3,67	31.66
	60	22,94**	6,01**	0,05 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	3,46	34.92
	90	23,76**	4,45**	0,04 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	2,56	34.19

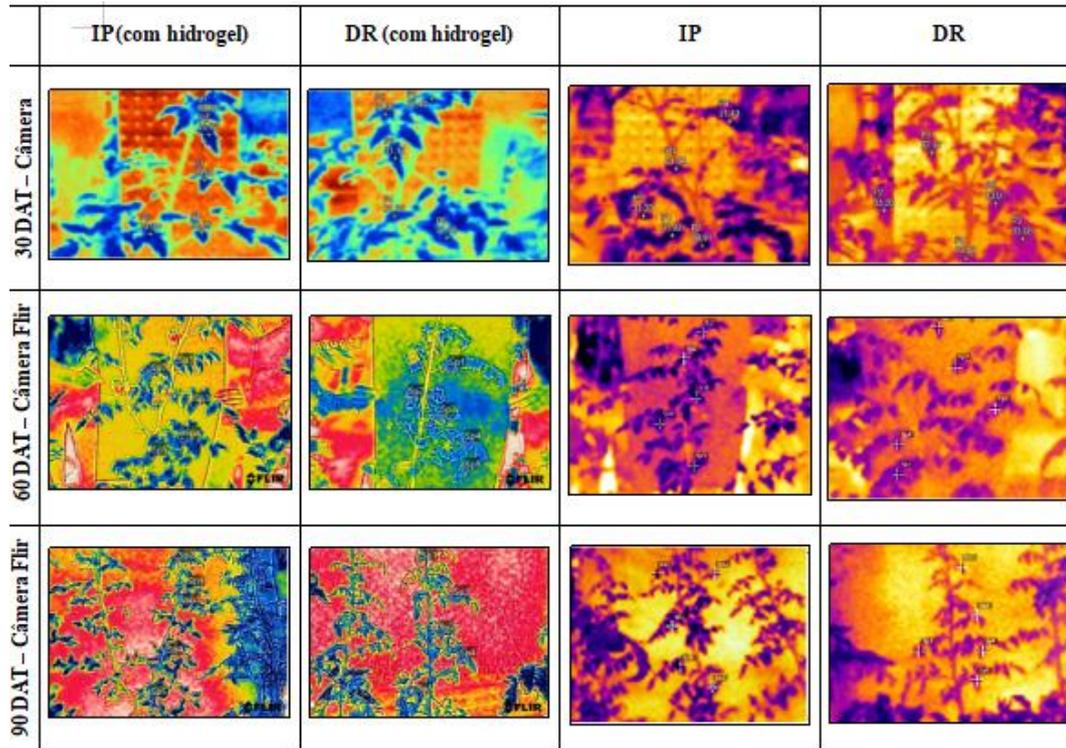
Fonte: Autor, 2023, Legenda: ns - não significativo; (\*) significativo 5% de probabilidade; (\*\*) significativo 1% de probabilidade pelo teste F\*; CV - coeficiente de variação.

É possível observar nas três avaliações que a interação entre as estratégias de irrigação e o uso do polímero hidrogel não se mostrou significativa para o parâmetro de temperatura das plantas. Abdala (2019), ao avaliar o tomate cereja cv. 'BRS Nagai' sob diferentes doses de hidrogel e manejos de irrigação por gotejamento observou que, frequências de irrigação diária e retenção de água elevada influenciaram na resposta não significativa da temperatura foliar dos tratamentos utilizados.

O aumento significativo da temperatura média aos 60 e 90 DAT, se deve ao déficit hídrico promovido neste período, o que pode ser explicado, segundo ZIA et al. (2012), pela diminuição da dissipação de energia e pelo aumento da temperatura do dossel devido ao fechamento dos estômatos da planta durante o estresse hídrico.

O que também justifica as menores temperaturas aos 30 DAT em todas as estratégias analisadas, visto nessa fase haver menor exploração do sistema radicular no solo e, portanto, mais disponibilidade de água para a planta. Aragão et al. (2019) ao estudar o estado hídrico do meloeiro, observaram as menores temperaturas do dossel em tratamentos com as maiores lâminas de irrigação, utilizando também avaliações termográficas.

A figura 2, exibe o comportamento da variação de temperatura nas plantas submetidas a estratégia DR, visto exibirem maior contraste quando comparadas às plantas submetidas a estratégia IP (controle). De modo, constata-se que plantas sob déficit hídrico regular exibem coloração mais clara quando comparado às plantas sob lâminas de 100% da ETc, sendo mais evidente sobretudo, ao longo do desenvolvimento da cultura, onde aos 90 DAT as plantas evidenciam maior distinção na coloração.



**Figura 2.** Imagens térmicas das plantas.

Para a variável de unidade SPAD (Tabela 2), não foi evidenciado resposta significativa aos 30 DAT, sendo o hidrogel significativo aos 90 DAT e a estratégia de irrigação aos 60 e 90 DAT. Não houve diferença estatística para a interação dos tratamentos estudados.

**Tabela 2.** Resumo das análises de variância (F calculado) para o índice SPAD obtidos na cultura do tomate cereja pêra vermelho, em função das estratégias de irrigação e doses de hidrogel, avaliados aos 30, 60 e 90 DAT.

Parâmetro	Avaliação	DAT	Fonte de Variação			CV (%)	Média geral
			Bloco	Estratégia (E)	Hidrogel (H)		
		30	0,17 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	45,60
	SPAD	60	2,29 <sup>ns</sup>	6,53 <sup>**</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	7,99
		90	3,47 <sup>ns</sup>	6,16 <sup>**</sup>	7,26 <sup>*</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	9,64

Fonte: Autor, 2023. Legenda: ns - não significativo; (\*) significativo 5% de probabilidade; (\*\*) significativo 1% de probabilidade pelo teste F\*; DAT - dias após transplante; CV - coeficiente de variação.

Observando os teores de clorofila obtidos com o medidor SPAD nas distintas épocas de avaliação, pode-se verificar tendência à decréscimo das médias com o decorrer do desenvolvimento da cultura. De acordo com Torres Netto et al. (2005), leituras de unidades SPAD inferiores a 40 indicam o início da deficiência de clorofila, podendo prejudicar o processo fotossintético da planta. Somente aos 60 e 90 DAT foi evidenciado resposta significativa do índice SPAD aos tratamentos submetidos.

Do mesmo modo, o potencial hídrico foliar ( $\Psi_H$ ) apontou resposta significativa aos tratamentos aplicados apenas aos 60 e 90 DAT, evidenciando aos 60 DAT apenas efeito significativo ao tratamento contendo o polímero na forma de hidrogel e, aos 90 DAT resposta significativa a 1% a estratégia de irrigação e interação dos tratamentos aplicados (Tabela 3). Nascimento et al. (2011) relataram ao avaliar genótipos de feijão-caupi, que sob estresse hídrico, as plantas expressaram redução dos valores de potencial hídrico.

**Tabela 3.** Resumo das análises de variância (F calculado) para o potencial hídrico foliar da cultura do tomate cereja pêra vermelho, em função das estratégias de irrigação e doses de hidrogel, avaliados aos 30, 60 e 90 DAT.

Parâmetro Avaliação	DAT	Fonte de Variação				CV (%)	Média geral
		Bloco	Estratégia (E)	Hidrogel (H)	E x H		
PHF	30	3,26 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	50,99	1,53
	60	1,28 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>*</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	43,59	4,75
	90	0,69 <sup>ns</sup>	6,72 <sup>**</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	9,53 <sup>**</sup>	16,21	8,23

Fonte: Autor, 2023. Legenda: ns - não significativo; (\*) significativo 5% de probabilidade; (\*\*) significativo 1% de probabilidade pelo teste F\*; DAT - dias após transplante; CV - coeficiente de variação.

## CONCLUSÕES

A utilização das imagens térmicas demonstrou ser uma ferramenta eficiente quanto à determinação de temperatura no tomate cereja apenas a partir da fase de florescimento e frutificação.

Quanto ao índice SPAD pode-se verificar redução das médias com o decorrer do desenvolvimento da cultura, principalmente as estratégias IP e E3.

A variação da disponibilidade de água no solo conforme a estratégia de irrigação aplicada à planta, induziu no decréscimo no conteúdo de água apontando resposta no potencial hídrico foliar e aumento da temperatura foliar obtidas pela câmera térmica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA, L. **Manejos de irrigação associados a doses de hidrogel na produção do tomateiro de mesa**. 2019. 72 f. Dissertação (Mestrado em Olericultura). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Morrinhos, 2019.

ARAGÃO, M. F. **Utilização de imagens termométricas na estimativa do estado hídrico do meloeiro cultivado em solo com e sem cobertura vegetal**. 2019. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

ESCALONA, V.; ALVARADO, P.; MONARDES, H.; URBINA, C.; MARTIN, A. **Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**. Facultad de Ciencias Agronomicas, Universidad de Chile, Chile, 2009. 60p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Agricultura irrigada sustentável no Brasil: identificação de áreas prioritárias**. Brasília, DF: FAO, 2017. Disponível em: <URL>. Acesso em: [data de acesso].

IBGE (org.). **Produção de Tomate**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/br>>. Acesso em: 25 mai. 2023.

NASCIMENTO, S. P. D.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. D. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 853-860, 2011.

SILVA, J. R.; MORENO, P. G. Cultivo em ambiente protegido como promotor de ganhos produtivos na cultura do pimentão. **Revista Perspectiva em Educação, Gestão & Tecnologia**, Itapetininga, v. 5, n. 9, 2016.

ZIA, S.; DU, W.; SPREER, W.; SPOHRER, K.; HE, X.; MULLER, J. Assessing crop water stress of winter wheat by thermography under different irrigation regimes in North China Plain. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 5, n. 3, p. 24-34, 2012.