

USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NA RESPOSTA HÍDRICA DO MELOEIRO SUBMETIDO AO ESTRESSE HÍDRICO

LUIS GONZAGA PINHEIRO NETO^{1*}, ²JAMES DO NASCIMENTO COSTA; ³BENITO MOREIRA DE AZEVEDO; ¹FRANCISCO JOSE CARVALHO MOREIRA; ²MÁRCIO FACUNDO ARAGÃO

¹ Prof. Dr. Instituto Federal do Ceará – Campus Sobral, luis.neto@ifce.edu.br, franze.moreira@ifce.edu.br; ² Doutorando em Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Ceará – UFC, jamesnascimento07@gmail.com, marcioaragao26@gmail.com; ³Prof. Dr. Universidade Federal do Ceará-UFC, benito@ufc.br;

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC

06 a 09 de outubro de 2025.

RESUMO: Este trabalho objetivou observar a resposta hídrica da cultura do melão sob lâminas de irrigação, através da termografia infravermelha. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso 4x4. Os tratamentos de lâminas de irrigação foram: T1 e T2 – 100% e 40% da ETc em todo o ciclo da cultura; T3 – 50% na fase I, 100% na fase II e 75% nas fases III e IV; 100% na fase II e 50% nas fases III e IV. O monitoramento da temperatura da planta (Tc) foi pela manhã, às 08h00. Com as informações de Tc, foram calculados os índices térmicos $\Delta T_{(T_c - T_a)}$, CWSI e IG. As plantas de meloeiro não apresentam diferença expressiva entre os tratamentos testados para os parâmetros avaliados no decorrer de seu ciclo. O IG quando combinado com o $\Delta T_{(T_c - T_a)}$, pode se tornar ferramenta com potencial para estudos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: *Cucumis melo* L., índices térmicos, irrigação

USE OF INFRARED THERMOGRAPHY IN THE WATER RESPONSE OF MELON PLANT SUBJECTED TO WATER STRESS

ABSTRACT: This study aimed to observe the water response of melon crops under irrigation depths using infrared thermography. The experimental design was a 4x4 randomized complete block design. The irrigation depth treatments were: T1 and T2 – 100% and 40% of ETc throughout the crop cycle; T3 – 50% of ETc in phase I, 100% in phase II, and 75% in phases III and IV; T4 – 75% in phase I, 100% in phase II, and 50% in phases III and IV. Plant temperature (Tc) was monitored in the morning at 8:00 a.m. Using Tc information, the thermal indices $\Delta T_{(T_c - T_a)}$, CWSI, and IG were calculated. The melon plants showed no significant differences between the treatments tested for the parameters evaluated throughout their cycle. GI, when combined with $\Delta T_{(T_c - T_a)}$, could become a potential tool for future studies.

KEYWORDS: *Cucumis melo* L., thermal indices, irrigation

INTRODUÇÃO

A investigação da resposta da planta ao estresse hídrico com foco na temperatura foliar é um assunto que vem sendo estudado há muitos anos, com registros iniciais na década de 1960, com trabalhos como o de Gates (1964), cujo resultados obtidos pelo autor podem ser interpretados como pioneiros à observação da diferença de temperatura entre a planta e o ar. Conforme Tanner (1963), com base no balanço de energia, a diminuição na troca de calor latente resulta na diminuição da transpiração da planta, logo, causa um aumento da temperatura da planta.

Nas décadas seguintes, outros trabalhos suplementaram as pesquisas envolvendo a resposta térmica foliar, com a apresentação de índices, entre os quais o CWSI (*crop water stress index*) apresentados de forma empírica e teórica, respectivamente por Idso et al (1981) e por Jackson et al (1981), e o IG (*stomatal conductance index*), proposto por Jones (1999), proporcional à condutância estomática e em resposta a não aplicação do CWSI em ambientes úmidos.

Concomitante à evolução dos estudos da resposta térmica foliar, o avanço tecnológico possibilitou a observação da temperatura das folhas de forma termográfica, através do sensoriamento remoto de curto alcance, com o uso de câmeras térmicas, corrigindo erros de termômetros infravermelhos (Costa et al., 2025). Estudos publicados após o desenvolvimento dos termovisores reforçam o potencial proposto por este método no monitoramento da variabilidade hídrica das plantas.

Sendo assim, este trabalho objetivou observar a resposta hídrica da cultura do melão sob lâminas de irrigação, através da termografia infravermelha, analisando as relações entre a temperatura e os índices térmicos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Sobral – CE, com a área de implantação localizada a 18,2 km da cidade sede do município, sob as coordenadas 3°42'40.16"S e 40°28'55.37"O, com elevação de 220 m. Pertencente ao Semiárido brasileiro, o clima predominante no município é do tipo “Aw”, conforme a classificação de Köppen (1918).

O melão utilizado foi o tipo amarelo, variedade híbrido Goldex F1. O transplântio foi realizado quando as plantas apresentavam a primeira folha definitiva totalmente expandida, ocorrendo aproximadamente 10 dias após a emergência de plantas. As mudas, espaçadas 0,5 m entre plantas e 2,0 m entre fileiras, perfizeram um stand de 10.000 plantas ha⁻¹.

A adubação foi calculada seguindo a recomendação proposta por Crisóstomo *et al.* (2002). A partir dos cálculos foram utilizados 225,6 kg ha⁻¹ de Ureia (fonte de N); 400 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio – KCl (fonte de K₂O); e 800 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (aplicados na fundação) e 184,6 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônico (MAP) utilizado para a fertirrigação, como fonte de P₂O₅. Na fertirrigação, os fertilizantes foram distribuídos percentualmente utilizando como referência a sugestão de Sousa *et al.* (2011), sendo adotado para este trabalho a distribuição recomendada para solos de textura grossa.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos completos ao acaso com 4 repetições de 4 tratamentos de lâminas de irrigação em função da evapotranspiração de cultivo (ET_c), utilizando para o cálculo os coeficientes de cultivo (kc) recomendado pelo manual FAO 56 (Allen *et al.*, 1998). Os tratamentos de irrigação foram: T1 – 100% da ET_c em todo o ciclo da cultura; T2 – 40% da ET_c em todo o ciclo da cultura; T3 – 50% da ET_c na fase I, 100% na fase II e 75% nas fases III e IV.

O método de irrigação utilizado foi o localizado, do tipo gotejamento. Os emissores, do tipo botão autocompensante PCJ-CNL, apresentavam vazão de 2,0 L h⁻¹ a uma pressão de 150 kPa. As linhas laterais foram compostas por mangueiras de (PEBD) com diâmetro nominal de 16 mm, pressão de trabalho de 300 kPa (PN 30) e espaçadas em 2,0 m, foram abastecidas por uma principal de PEBD PN 40, de 32 mm. Concluída a instalação do sistema, foi avaliada sua uniformidade de distribuição (CUD), sendo obtido um CUD de 97%.

A quantidade de água aplicada foi calculada a partir da estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), realizada diariamente por meio do método do tanque classe “A” (Allen *et al.*, 1998). Para este experimento foi adotado um valor de K_p igual a 0,75, mantido fixo durante todo o período de condução, em função de não se dispor de dados locais da velocidade do vento, elemento determinante do K_p. O coeficiente de redução da evapotranspiração (K_r) foi calculado empregando a metodologia proposta por Freeman e Garzoli (Vermeiren e Jobling, 1997). Os valores da ET_c foram convertidos em escala de tempo utilizando o *software* “Sistema Ômega de manejo da Microirrigação” (Valnir Júnior *et al.*, 2017), cujo informações sobre o cultivo, sistema de irrigação e intensidade de reposição foram anteriormente inseridas, sendo a EV e Cs medidos diário e semanalmente, respectivamente, ao longo da condução.

O monitoramento da temperatura da planta (T_c) através da termografia infravermelha constou da captura de imagens térmicas pela manhã, às 08h00, sendo utilizada uma câmera termográfica portátil da Teledyne FLIR LLC[®], modelo FLIR E5xt, com emissividade (ε) ajustada em 0,95, e a distância de captura de 1,0 m. Para a definição da T_c, as imagens capturadas foram analisadas no *software* Flir Thermal Studio Suite, (modelo Starter; versão 1.9.23.0). Com as informações de T_c,

foram calculados os índices térmicos: diferença de temperatura entre o dossel e ar - $\Delta T_{(T_c - T_a)}$; *Crop Water Stress Index* - CWSI; e, *Index Stomatal Conductance* - IG (Maes e Steep, 2012) obtidos conforme as equações apresentadas abaixo:

$$\Delta T_{canopy-air} = T_c - T_{ar} \quad (01)$$

$$CWSI = \frac{(T_c - T_{wet})}{(T_{dry} - T_{wet})} \quad (02)$$

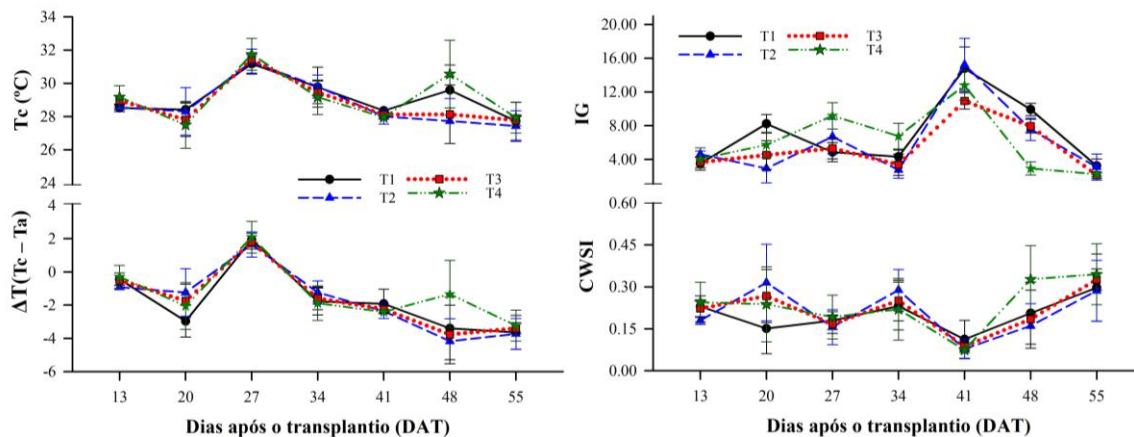
$$IG = \frac{(T_{dry} - T_c)}{(T_c - T_{wet})} \quad (03)$$

Onde: T_{dry} – temperatura máxima de referência seca, simulando folhas com estômatos totalmente fechados; e, T_{wet} – temperatura mínima de referência úmida, simulando folhas com estômatos totalmente abertos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 encontram-se apresentados a tendência dos valores dos parâmetros avaliados, para o horário em que foram capturadas as imagens térmicas, às 08h00. Observa-se que a T_c e $\Delta T_{(T_c - T_a)}$ dos regimes hídricos avaliados apresentam tendência semelhante, com diferença aos 48 DAT, destacando o tratamento T4 cujo reposição hídrica estava em 50% da E_{Tc} , justificando o aumento, embora o tratamento T2 (50% da E_{Tc} no ciclo todo), não tenha seguido a tendência, vindo a expressar os resultados característicos de estresse hídrico apenas no CWSI, nos dias 20 e 34 DAT onde suas médias foram maiores. No IG, um ponto notório é aos 41 DAT. Os tratamentos T1 e T2 apresentaram médias semelhantes, demonstrando que mesmo sobre deficiência hídrica, o meloeiro não apresenta sinais de estresse hídrico pela manhã, até o momento em que foram capturadas as imagens neste experimento, às 08h00. Tal fato é corroborado pelos outros parâmetros avaliados, quando não foi observado diferença expressiva.

Figura 1. Variação periódica da temperatura da planta (T_c) e dos índices térmicos $\Delta T_{(T_c - T_a)}$, CWSI e IG do meloeiro submetido ao estresse hídrico.

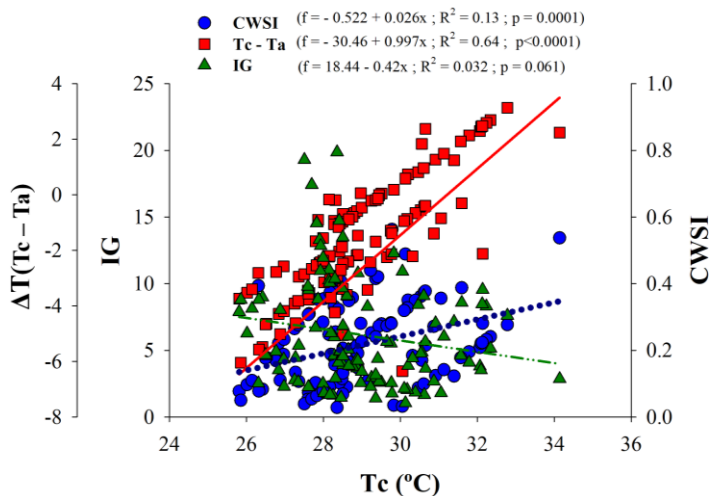


Uma possível explicação está no mecanismo da planta denominado *feedback* hidroativo, conforme Buckley (2019) e Grossiord et al (2020). Segundo os autores, em plantas angiospermas os estômatos abrem-se transitoriamente antes de fecharem como resposta a um aumento da perda ou diminuição do suprimento de água, como por exemplo, uma mudança na demanda evaporativa (Mott *et al.*, 1997), permitindo-nos concluir que neste experimento, o horário avaliado ainda não era suficientemente estressante para as plantas. Resultados semelhantes foram apresentados por Costa et al (2025).

Na Figura 2, é observado que entre os índices térmicos avaliados, o $\Delta T_{(T_c - T_a)}$ apresenta-se com maior relação com a T_c , possivelmente justifica-se pelo fato de ser simples, logo mais prático de

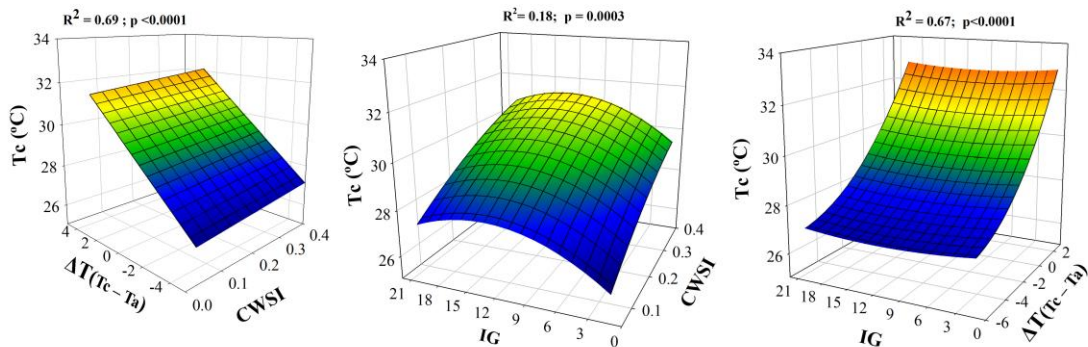
ser utilizado em planejamentos de irrigação. Contudo, deve ser interpretado com cautela, em razão da alta variabilidade que pode apresentar no decorrer do dia. Enquanto aos outros índices, considerados mais robustos, a correlação foi baixa, mas ainda significativa no CWSI. A fraca correlação pode estar relacionada com o fato do uso das temperaturas de referência pelo CWSI e pelo IG, e também terem sido afetadas pelo horário de avaliação, uma vez que a diferença entre máxima e mínima pode não ter sido expressiva para este momento. Sendo assim, estes índices ainda são passíveis de mais estudos para observar o comportamento em regiões semiáridas em diferentes horários.

Figura 2. Correlação dos índices térmicos $\Delta T_{(T_c - T_a)}$, CWSI e IG em função da temperatura do dossel (T_c) para a cultura do melão submetida ao estresse hídrico.



Ainda sobre a relação entre os índices térmicos, na Figura 3 são apresentadas correlações em modelos tridimensionais, utilizando os índices em pares mais a T_c para compor as 3 dimensões. Conforme pode ser observado, o CWSI e o IG quando combinados apresentam baixa capacidade preditiva do aumento da T_c , no entanto, quando em conjunto com $\Delta T_{(T_c - T_a)}$, apresentam coeficientes de 0,69 e 0,67, respectivamente, com significância inferior a 0,01%. No par CWSI x IG, os dados sugerem que sob alto CWSI ocorrem valores medianos de IG, enquanto no par IG x $\Delta T_{(T_c - T_a)}$, o baixo valor de IG combinado com alto $\Delta T_{(T_c - T_a)}$ resultam na elevação da T_c .

Figura 3. Correlação tridimensional entre a T_c e os índices térmicos $\Delta T_{(T_c - T_a)}$, CWSI e IG, para o meloeiro sob estresse hídrico



CONCLUSÃO

As plantas de meloeiro não apresentam diferença expressiva entre os tratamentos testados para os parâmetros avaliados no decorrer de seu ciclo;

O índice $\Delta T_{(T_c - T_a)}$ é apontado como o mais prático e fácil de usar no manejo ou planejamento da irrigação;

O IG quando combinado com o $\Delta T_{(T_c - T_a)}$, pode se tornar ferramenta com potencial para estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (**FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56**).
- Buckley, T. N. How do stomata respond to water status? **New Phytologist**, [S.l.] v. 224, n. 1, p. 21-36, 2019.
- Costa, J. N., Gomes, F. F. L., Aragão, M. F., Pinheiro Neto, L. G., Azevedo, B. M., Lima, J. S., Costa, F. W. N., Frazão, D. S. Thermal Behavior and Yield of Yellow Melon Subjected to Different Irrigation Strategies in a Semiarid Region. **ACS Agricultural Science & Technology**, v. 5, n. 5, p. 725-738, 2025.
- Crisóstomo, L. A.; Santos, A. A. dos; Raij, B. Van; Faria, C. M. B. de; Silva, D. J. da; Fernandes, F.A. M.; Santos, F. J. De S.; Crisostomo, J. R.; Freitas, J. de A. D. de; Holanda, J. S. de; Cardoso, J. W.; Costa, N. D. **Adubação, irrigação, híbridos e práticas culturais para o meloeiro no Nordeste**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 21 p. (Circular Técnica, 14).
- Gates, D. M. Leaf temperature and transpiration 1. **Agronomy Journal**, [S.l.] v. 56, n. 3, p. 273-277, 1964.
- Grossiord, C.; Buckley, T. N.; Cernusak, L. A.; Novick, K. A.; Poulter, B.; Siegwolf, R. T.; Sperry, J. S.; McDowell, N. G. Plant responses to rising vapor pressure deficit. **New Phytologist**, [S.l.] v. 226, n. 6, p. 1550-1566, 2020.
- Idso, S. B.; Jackson, R. D.; Pinter Junior, P. J.; Reginato, R. J.; Hatfield, J. L. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. **Agricultural Meteorology**, [S.l.] v. 24, p. 45-55, 1981.
- Jackson, R. D.; Idso, S. B.; Reginato, R. J.; Pinter Junior, P. J. Canopy temperature as a crop water stress indicator. **Water Resources Research**, [S.l.] v. 17, n. 4, p. 1133-1138, 1981.
- Jones, H. G. Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. **Agricultural and forest meteorology**, [S.l.] v. 95, n. 3, p. 139-149, 1999.
- Köppen, W. Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. **Petermanns Mitt**, Gotha, v. 64, p. 193-203, 1918.
- Maes, W. H.; Steppe, K. Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.] v. 63, n. 13, p. 4671-4712, 2012.
- Mott, K. A.; Denne, F.; Powell, J. Interactions among stomata in response to perturbations in humidity. **Plant, Cell & Environment**, [S.l.] v. 20, n. 9, p. 1098-1107, 1997.
- Sousa, V. F. De; Pinto, J. M.; Marouelli, W. A.; Coelho, E. F.; Medeiros, J. F. de; Santos, F. J. de S. **Irrigação e fertirrigação na cultura do melão**. In: Sousa, V, F.; Marouelli, W, A.; Coelho, E. F.; Pinto, J. M.; Coelho Filho, M. A. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília - DF, 2011. Cap. 23, p. 657 - 688.
- Tanner, C. B. Plant Temperatures 1. **Agronomy Journal**, [S.l.] v. 55, n. 2, p. 210-211, 1963.
- Valnir Junior, M.; Ribeiro, F. C.; Rocha, J. P. A.; et al. Developing a *software* Microirrigation Management. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 2, p. 1324, 2017.
- Vermeiren, L.; Jobling, G.A. **Irrigação localizada**. Tradução de H.R. Gheyi, F.A.V. Damasceno, L.G.A. Silva Jr.; J.F. de Medeiros, Campina Grande, UFPB, 1997. 184p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36).