



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**JAMES DO NASCIMENTO COSTA**

**TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NO MONITORAMENTO DO ESTADO  
HÍDRICO DO MELOEIRO SOB IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT FIXO (FDI) E  
REGULADO (RDI)**

**FORTALEZA**

**2023**

JAMES DO NASCIMENTO COSTA

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NO MONITORAMENTO DO ESTADO HÍDRICO  
DO MELOEIRO SOB IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT FIXO (FDI) E REGULADO (RDI)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo

Co-Orientador: Prof. Dr. Luis Gonzaga Pinheiro Neto

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)

---

C873t Costa, James do Nascimento.

Termografia infravermelha no monitoramento do estado hídrico do meloeiro sob irrigação com déficit fixo (FDI) e regulado (RDI) / James do Nascimento Costa. – 2023.  
97 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo.

Coorientação: Prof. Dr. Luis Gonzaga Pinheiro Neto.

1. Cucumis melo L.. 2. estratégias de irrigação. 3. termografia infravermelha. 4. índices térmicos. 5. manejo de irrigação. I. Título.

CDD 630

---

JAMES DO NASCIMENTO COSTA

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NO MONITORAMENTO DO ESTADO HÍDRICO  
DO MELOEIRO SOB IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT FIXO (FDI) E REGULADO (RDI)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Luis Gonzaga Pinheiro Neto (Co-Orientador)  
Instituto Federal do Ceará – *Campus* Sobral (IFCE)

---

Prof. Dr. Manoel Valnir Júnior  
Instituto Federal do Ceará – *Campus* Sobral (IFCE)

---

Prof. Dr. Marco Antônio Rosa de Carvalho  
Instituto Federal do Ceará – *Campus* Sobral (IFCE)

À Deus.

Ao meu pai, Raimundo Felipe Costa (*in memoriam*), e aos meus familiares, em especial minha mãe, Maria Adelina do Nascimento Costa, por tudo que representa para mim e pelo apoio nesta trajetória.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo que permitiu que acontecesse na minha vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro com a concessão da bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem - UFC pela oportunidade. E também aos professores do programa, pela dedicação e domínio das tecnologias para ministrar aulas de forma remota, em meio a um período problemático causado pela pandemia da Covid-19.

Ao meu orientador, o professor Dr. Benito Moreira de Azevedo, pela orientação e ensinamentos, incentivo e contribuição para meu crescimento profissional.

Ao meu coorientador, o professor Dr. Luis Gonzaga Pinheiro Neto, pela proposta da pesquisa, acompanhamento e disponibilidade nas avaliações no campo, pela orientação na análise dos dados, incentivo e insistência, e amizade.

Ao doutorando Marcio Facundo Aragão, do Departamento de Engenharia Agrícola - UFC, pelo auxílio e condução conjunta dos experimentos, e pela orientação no manuseio da bomba de pressão de Schollander e da câmara termográfica infravermelha.

A Embrapa Caprino e Ovinos, em especial o professor pesquisador Dr. Roberto Cláudio Fernandes Franco Pompeu, por ter disponibilizado o analisador de gás no infravermelho – IRGA para a análise de trocas gasosas.

Aos pós-graduandos Rafael Santiago e Patrício Leandro, pela condução do IRGA, auxílio e orientação nas análises de trocas gasosas.

Ao pesquisador Dr. Marlos Alves pelo empréstimo da bomba de pressão de Schollander.

Ao Instituto Federal do Ceará – *Campus Sobral* – IFCE, pelo apoio e logística no desenvolvimento desta pesquisa na disponibilidade laboratorial e técnica do Agrônomo Joilson Silva Lima durante a condução do experimento e análises de produção e pós-colheita, e do Técnico Dimitri Matos Silva do Laboratório de Análises de Solo, pelo auxílio nas análises de solo e discussão sobre inferências estatísticas. E ao professor Valnir Júnior e seu bolsista João Paulo, pela disponibilidade do uso do *software* “Ômega de manejo da Microirrigação”.

Ao bolsista de iniciação científica Francisco Fábio Lima Gomes, e ao meu irmão Francisco Walisson do Nascimento Costa, pelo auxílio assíduo na condução desta pesquisa.

E especialmente, a todos os amigos e colegas pelo apoio, incentivo e torcida nessa etapa de minha vida.

## RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo avaliar, através da termografia infravermelha, o estado hídrico da cultura do meloeiro decorrente da aplicação de irrigação com déficit fixo (FDI) e regulado (RDI) em dois ciclos de cultivo. O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados com 9 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos de irrigação basearam-se na evapotranspiração de cultivo (ET<sub>c</sub>), sendo 4 referentes a FDI (T1 - 125%, T2 - 100%, T3 - 75%, T4 - 50%) e 5 caracterizando o RDI [T5 (75% nas fases I e IV e 100% nas fases II e III); T6 (50% na fase I, 100% na fase II e 75% nas fases III e IV); T7 (100% na fase I, 75% nas fases II e III e 50% na fase IV); T8 (50% na fase II e 100% nas demais); e T9 (75% na fase I, 100% na fase III e 50% nas fases III e IV)]. O monitoramento termográfico do estresse hídrico foi realizado através da captura de imagens térmicas às 08h, 12h e 16h. Em sequência, foram calculados os índices  $\Delta T$  (diferença de temperatura entre a planta e ar), CWSI (*crop water stress index*) e IG (*stomatal conductance index*), aos quais foram correlacionados com medições da umidade do solo (0,10 m), do potencial hídrico foliar e das trocas gasosas [condutância estomática, (*g<sub>s</sub>*) e transpiração (*E*)], realizadas às 08h. No rendimento do meloeiro, os efeitos foram observados na produtividade e na eficiência no uso da água (EUA). Conforme os resultados obtidos, as trocas gasosas (*g<sub>s</sub>* e *E*) apresentaram-se inversas ao percentual de reposição hídrica na estratégia FDI. Quando correlacionadas com os índices térmicos, as melhores respostas para ambas as estratégias FDI e RDI foram apresentadas no ciclo 2; os índices térmicos  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e I<sub>G</sub> correlacionaram-se significativamente com o potencial hídrico foliar e com a umidade do solo em todos os horários monitorados, corroborando com o potencial da termografia para o manejo da irrigação; Entre os horários monitorados, é sugerido a coleta de dados térmicos por volta de 12h. As correlações entre os índices térmicos sugerem o  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  como um índice prático e rápido na resposta térmica das plantas ao estresse hídrico. A estratégia RDI demonstrou-se ser mais eficaz, apresentando médias de produtividade e EUA superiores à FDI. O tratamento T6 – RDI é indicado como a melhor estratégia para irrigação do meloeiro; Correlações entre EUA e índices térmicos demonstraram resultados superiores da RDI no ciclo 1 com os índices mensurados às 08h e 12h. No ciclo 2, destaque da FDI com ambos os índices medidos nos mesmos horários monitorados.

**Palavras-chave:** *Cucumis melo* L.; estratégias de irrigação; termografia infravermelha; índices térmicos; manejo de irrigação.

## ABSTRACT

This work aimed to evaluate, through infrared thermography, the water status of the melon crop resulting from the application of fixed (FDI) and regulated (RDI) deficit irrigation in two crop cycles. The experimental design was complete randomized blocks with 9 treatments and 4 replications. Irrigation treatments were based on crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>), with 4 referring to FDI (T1 - 125%, T2 - 100%, T3 - 75%, T4 - 50%) and 5 characterizing the RDI [T5 (75 % in phases I and IV and 100% in phases II and III); T6 (50% in phase I, 100% in phase II and 75% in phases III and IV); T7 (100% in phase I, 75% in phases II and III and 50% in phase IV); T8 (50% in phase II and 100% in the others); and T9 (75% in phase I, 100% in phase III and 50% in phases III and IV)]. Thermographic monitoring of water stress was performed by capturing thermal images at 08:00, 12:00 and 16:00. Subsequently, the  $\Delta T$  (temperature difference between the plant and air), CWSI (crop water stress index) and IG (stomatal conductance index) indices were calculated, which were correlated with measurements of soil moisture (0.10 m), leaf water potential and gas exchange [stomatal conductance, (g<sub>s</sub>) and transpiration (E)], performed at 8 am. In melon yield, effects were observed on productivity and water use efficiency (EUA). According to the results obtained, the gas exchanges (g<sub>s</sub> and E) were adopted inverse to the percentage of water replacement in the FDI strategy. When correlated with thermal indices, the best responses for both the FDI and RDI strategies were developed in cycle 2; the thermal indices  $\Delta T_{\text{canopy-air}}$ , CWSI and IG correlated significantly with leaf water potential and soil moisture at all monitored times, corroborating the potential of thermography for irrigation management; Among the monitored times, it is suggested to collect thermal data around 12h. The correlations between the thermal indices suggest the  $\Delta T_{\text{canopy-air}}$  as a practical and fast index in the thermal response of plants to water stress. The RDI strategy proved to be more effective, with average productivity and UAE higher than FDI. The T6 – RDI treatment is indicated as the best strategy for melon irrigation; Correlations between US and thermal indices disappointingly superior RDI results in cycle 1 with indices measured at 08:00 and 12:00. In cycle 2, highlight the FDI with both indices measured at the same monitored times.

**Keywords:** *Cucumis melo* L.; irrigation strategies; infrared thermography; thermal indices; irrigation management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Apresentação da área experimental. Sobral – CE, 2022 .....	29
Figura 2 -	(A) Mudanças de meloeiro aptas ao transplante aos 10 dias após a germinação; (B) Transplante sendo realizado; (C) fruto do melão amarelo híbrido Goldex F1 .....	31
Figura 3 -	Pulverização manual de adubos foliares quando o meloeiro estava com 14 DAT .....	34
Figura 4 -	Representação esquemática detalhada de um bloco experimental .....	35
Figura 5 -	Sistema de irrigação durante (A) e após (B) sua instalação conforme o esquema de distribuição dos tratamentos .....	36
Figura 6 -	Tanque classe “A” instalado na área experimental .....	38
Figura 7 -	(A) Câmera termográfica Flir E5xt (Fonte: Fabricante); (B) representação da distância e direção de captura; e, (C) da imagem térmica no visor da câmera .....	40
Figura 8 -	Representação das imagens termográficas no software Flir Thermal Studio Suite durante a caracterização da temperatura média da planta (A) e depois do “tratamento de limpeza” (B). As imagens apresentadas correspondem ao mesmo tratamento às 12 horas .....	41
Figura 9 -	Representação termográfica das temperaturas de referência úmida, Twet (Sp1 e Sp2), e referência seca, Tdry (Sp3 e Sp4). A imagem apresentada corresponde ao horário de 08 horas.....	44
Figura 10 -	Câmara de pressão do tipo Scholander (A); Avaliação do potencial hídrico foliar (B) .....	46
Figura 11 -	Pesagem das amostras deformadas de solo úmido .....	47
Figura 12 -	Analisador de gás infravermelho – IRGA (A), avaliação das trocas gasosas aos 45 DAT no ciclo 1 (B) e aos 42 DAT no ciclo 2 (C) .....	48
Figura 13 -	Médias diárias da temperatura do ar (Tar, °C), umidade relativa do ar (UR, %) e déficit de pressão de vapor (DPV, kPa) observadas no decorrer do ciclo 1 (A) e do ciclo 2 (B) .....	50

Figura 14 - Médias horárias da temperatura do ar (Tar, °C), umidade relativa do ar (UR, %) e déficit de pressão de vapor (DPV, kPa) monitorados (A) aos 45 DAT no 1º ciclo (ago-set de 2021) e (B) aos 42 DAT no 2º ciclo (nov-dez de 2021) .....	51
Figura 15 - Trocas gasosas (gs e E) observadas (A) aos 45 DAT no ciclo 1 (ago-set de 2021) e (B) aos 42 DAT no ciclo 2 (nov-dez de 2021), em função de reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI) na cultura do meloeiro .....	54
Figura 16 - Correlação entre as lâminas acumuladas (mm) com o potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ , símbolos triangulares) e com a umidade do solo (US, símbolos quadrados). As lâminas correspondem ao acumulado até o final da fase III, em que foram coletados os dados (45 DAT e 42 DAT, respectivamente no 1º e 2º ciclo). Os símbolos em vermelhos representam os dados do 1º ciclo; os em azul, representam os dados do 2º ciclo .....	60
Figura 17 - Regressão entre a condutância estomática (gs) e transpiração foliar (E) com os índices térmicos $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e IG obtidos às 8:00h em ambos os ciclos conduzidos, respectivamente aos 45 DAT (ciclo 1, ago-set de 2021) e aos 42 DAT (ciclo 2, nov-dez de 2021). Quadrado cinza, triângulo e cruz em vermelhos correspondem ao ciclo 1; quadrado branco, triângulo e cruz em azul correspondem ao ciclo 2; triângulos e cruces representam os tratamentos FDI e RDI, respectivamente .....	63
Figura 18 - Relação entre o índice térmico $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ em função do potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ ) e da umidade do solo (US) para dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI). (A) corresponde aos dados térmicos obtidos às 8 h; (B) aos obtidos às 12 h, e (C) aos obtidos às 16 h. Os dados foram coletados aos 45 DAT no ciclo 1 (ago-set de 2021) e aos 42 DAT no ciclo 2 (nov-dez de 2021). Triângulos e linhas em vermelho representam o ciclo 1; triângulos e linhas em azul representam o ciclo 2 .....	67

- Figura 19 - Relação entre o índice térmico CWSI em função do potencial hídrico foliar ( $\Psi F$ ) e da umidade do solo (US) para dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI). (A) corresponde aos dados térmicos obtidos às 8 h; (B) aos obtidos às 12 h, e (C) aos obtidos às 16 h. Os dados foram coletados aos 45 DAT no ciclo 1 (ago-set de 2021) e aos 42 DAT no ciclo 2 (nov-dez de 2021). Triângulos e linhas em vermelho representam o ciclo 1; triângulos e linhas em azul representam o ciclo 2 ..... 70
- Figura 20 - Relação entre o índice térmico IG em função do potencial hídrico foliar ( $\Psi F$ ) e da umidade do solo (US) para dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI). (A) corresponde aos dados térmicos obtidos às 08 h; (B) aos obtidos às 12 h, e (C) aos obtidos às 16 h. Os dados foram coletados aos 45 DAT no ciclo 1 (ago-set de 2021) e aos 42 DAT no ciclo 2 (nov-dez de 2021). Triângulos e linhas em vermelho representam o ciclo 1; triângulos e linhas em azul representam o ciclo 2..... 73
- Figura 21 - Correlação entre os índices térmicos avaliados em dois ciclos da cultura do meloeiro submetida a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI). (A, D e G) correspondem aos dados térmicos obtidos às 08 h; (B, E e H) aos obtidos às 12 h, e (C, F e I) aos obtidos às 16 h. Os dados foram coletados aos 45 DAT no ciclo 1 (ago-set de 2021) e aos 42 DAT no ciclo 2 (nov-dez de 2021). Símbolos e linhas em vermelho representam o ciclo 1; símbolos e linhas em azul representam o ciclo 2 . 76
- Figura 22 - Correlação entre a eficiência de uso da água (EUA) obtida para dois ciclos do meloeiro submetido a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), em função dos índices térmicos  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e IG, respectivamente coletados às 08h (A, D e G), 12h (B, E e H) e 16 h (C, F e I). Os índices térmicos foram coletados aos 45 DAT no ciclo 1 (ago-set de 2021) e aos 42 DAT no ciclo 2 (nov-dez de 2021). Símbolos e linhas em vermelho representam o ciclo 1; símbolos e linhas em azul representam o ciclo 2 ..... 83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Características químicas e físicas do solo da área experimental nas profundidades de 0 – 20 cm e de 20 – 40 cm .....	34
Tabela 2 -	Recomendação de adubação mineral para o melão .....	35
Tabela 3 -	Distribuição percentual de nitrogênio, potássio, e fósforo a ser aplicada via fundação e fertirrigação, ao longo do ciclo de desenvolvimento do meloeiro.....	35
Tabela 4 -	Definição dos tratamentos de irrigação por déficit fixo (FDI) e déficit regulado (RDI) em função da evapotranspiração de cultivo (% da ETc), para as diferentes fases fenológicas do meloeiro .....	36
Tabela 5 -	Parâmetros da água distribuída pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Sobral - CE, apresentado nas faturas recebidas no decorrer dos ciclos conduzidos .....	38
Tabela 6 -	Análise de variância ANOVA para a condutância estomática (gs) e transpiração foliar (E) obtidos em 2 ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez- de 2021) .....	54
Tabela 7 -	Análise de variância ANOVA para o potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ ), umidade do solo (US) e para os índices térmicos $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e IG nos respectivos horários de 08 h, 12 h e 16 h, referentes a 2 ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021) .....	59
Tabela 8 -	Teste de Tukey das médias das variáveis de potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ , MPa), umidade do solo (US, g g <sup>-1</sup> ) e dos índices térmicos $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e IG nos respectivos horários de 08 h, 12 h e 16 h, referentes a 2 ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021). A L <sub>acum</sub> corresponde a lâmina acumulada até o final da fase fenológica III, correspondente aos dados apresentados .....	60

Tabela 9 -	Equações resultantes das regressões decorrentes das interações entre as lâminas acumuladas (L.acum) com o potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ ) e com a umidade do solo (US), referentes a 2 ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021) .....	61
Tabela 10 -	Coefficientes de determinação ( $R^2$ ) e significância estatística (p - valor) das regressões lineares entre as trocas gasosas (gs e E) e os índices térmicos ( $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e IG), referentes a 2 ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021) .....	65
Tabela 11 -	Regressões do índice térmico $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ em função do potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ ) e da umidade do solo (US), obtidas para os dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021). As equações foram escolhidas conforme a significância (p-valor) .....	69
Tabela 12 -	Regressões do índice térmico CWSI em função do potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ ) e da umidade do solo (US), obtidas para os dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021). As equações foram escolhidas conforme a significância (p-valor) .....	72
Tabela 13 -	Regressões do índice térmico IG em função do potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ ) e da umidade do solo (US), obtidas para os dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021). As equações foram escolhidas conforme a significância (p-valor) .....	75

Tabela 14 - Equações resultantes das regressões lineares entre os índices térmicos $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e IG, avaliados em dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021) .....	78
Tabela 15 - Imagens termográficas, produtividade e eficiência no uso da água do meloeiro submetido a irrigação por déficit fixo (FDI) e regulado (RDI). As imagens foram capturadas às 08h, 12h e 16h aos 45 DAT no ciclo 1. Os percentuais da ETc são equivalentes à lâmina total acumulada durante todo o ciclo .....	79
Tabela 16 - Imagens termográficas, produtividade e eficiência no uso da água do meloeiro submetido a irrigação por déficit fixo (FDI) e regulado (RDI). As imagens foram capturadas às 08h, 12h e 16h aos 42 DAT no ciclo 2. Os percentuais da ETc são equivalentes à lâmina total acumulada durante todo o ciclo .....	80
Tabela 17 - Análise de variância ANOVA para a eficiência no uso da água (EUA) em dois ciclos da cultura do meloeiro submetida a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI). Ciclo 1 - ago-set de 2021; ciclo 2 - nov-dez- de 2021 .....	82
Tabela 18 - Equações de regressão resultantes das interações entre a eficiência de uso da água (EUA) obtida para dois ciclos do meloeiro submetido a reposições de irrigação fixas (FDI) e controladas (RDI), em função dos índices térmicos $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e IG, obtidos às 08h, 12, e 16h aos 45 DAT no ciclo 1 e aos 42 DAT no ciclo 2. As equações foram escolhidas conforme a significância (P-valor < 0,05) e o valor do coeficiente R2 .....	84

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	17
2	OBJETIVOS .....	19
2.1	Geral .....	19
2.2	Específicos .....	19
3	REVISÃO DE LITERATURA .....	20
3.1	Aspectos gerais da cultura do meloeiro .....	20
3.2	Estratégias de irrigação por déficit fixo (FDI) e déficit regulado (RDI) .....	21
3.3	Temperatura das plantas, termografia infravermelha e índices térmicos .....	24
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	28
4.1	Caracterização do ambiente experimental .....	28
4.2	Produção de mudas, transplântio e tratamentos culturais .....	29
4.3	Adubação e fertirrigação .....	30
4.4	Delineamento experimental .....	33
4.5	Especificação do sistema de irrigação .....	35
4.6	Manejo e reposição das lâminas de irrigação .....	36
4.7	Termografia infravermelha .....	39
4.8	Variáveis analisadas .....	40
4.8.1	<i>Parâmetros meteorológicos</i> .....	41
4.8.2	<i>Índices térmicos</i> .....	41
4.8.3	<i>Potencial hídrico foliar (<math>\Psi_f</math>)</i> .....	43
4.8.4	<i>Umidade do solo (<math>U_s</math>)</i> .....	44
4.8.5	<i>Trocas gasosas</i> .....	45
4.8.6	<i>Produtividade do meloeiro e Eficiência no Uso da Água (EUA)</i> .....	46
4.9	Análises estatística .....	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	48
5.1	Parâmetros meteorológicos e trocas gasosas .....	48
5.2	Relações hídricas em função de irrigações fixas (FDI) e reguladas (RDI) no meloeiro .....	55
5.2.1	<i>Relação entre trocas gasosas e índices térmicos</i> .....	60
5.2.2	<i>Relação entre o índice térmico <math>\Delta T_{\text{dossel-ar}}</math> (<math>T_c - T_a</math>) em função do potencial hídrico foliar e da umidade do solo</i> .....	64

5.2.3	<i>Relação entre o índice térmico CWSI em função do potencial hídrico foliar e umidade do solo</i> .....	66
5.2.4	<i>Relação entre o índice térmico <math>I_G</math> em função do potencial hídrico foliar e umidade do solo</i> .....	70
5.2.5	<i>Correlação entre os índices térmicos</i> .....	72
5.3	<b>Imagens térmicas, produtividade e eficiência no uso da água do meloeiro sob déficit fixo (FDI) e regulado (RDI)</b> .....	76
5.4	<b>Relação entre a eficiência no uso da água (EUA) e índices térmicos</b> .....	80
6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	84
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	85

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Almeida (2016), estima-se que o crescimento populacional seja de 30% até o ano de 2030, acarretando numa maior demanda por alimentos e conseqüentemente, um aumento do uso da água para irrigação das culturas. Sendo assim, em razão dessa crescente necessidade por alimentos, e em função dos já insustentáveis índices de crescimento global da demanda de água, o setor agrícola atual, em especial a agricultura irrigada, tem como principal desafio aumentar sua eficiência de uso, reduzindo as perdas e, ainda mais importante, aumentando a produtividade das culturas em relação aos recursos hídricos utilizados (JACOBI e GRANDISOLI, 2017), encontrando-se desta forma pressionado a conservar água, ou propor estratégias de irrigação que propiciem o incremento conjunto de produtividade e eficiência no uso da água. O setor também deve preparar-se para enfrentar os desafios gerados pelas mudanças climáticas, que já estão modificando a disponibilidade de água em todo o mundo (BLANCO et al., 2019).

Chai *et al.* (2014) relatam que em muitas partes do mundo, a água de irrigação tem sido superexplorada e superutilizada, evidenciando a importância do emprego de estratégias que conservem os recursos hídricos, garantindo a produção de alimentos e a proteção do meio ambiente (BLANCO et al., 2019).

Sob essa ótica, diferentes estratégias foram desenvolvidas e sugeridas para mitigar o efeito da baixa disponibilidade hídrica, objetivando propiciar um aumento da eficiência produtiva dos cultivos, com incrementos na produção e redução da lâmina de água aplicada. Entre as quais, merecido destaque é dado à irrigação deficitária decorrente de reduções percentuais na reposição da evapotranspiração.

Em condições de escassez, a aplicação do déficit surge como alternativa corroborando com a necessidade dos produtores de manter sua área de cultivo sob irrigação, eliminando as reduções que não favoreçam incrementos de produtividade nas culturas, uma vez que o objetivo principal desta prática é o aumento do uso e eficiência da água (KIRDA, 2002; ZWIRTES, 2013). De acordo com English (1990), em áreas de escassez hídrica, para o produtor, a maximização da produtividade da água pode ser economicamente mais rentável do que a maximização da produção.

Indicadores com base na planta têm sido menos utilizados para manejo produtivo comercial por serem mais complexos na coleta de informações, necessitarem de nível técnico qualificado para o manuseamento dos equipamentos e viabilidade de suas propostas. Não obstante, vários estudos têm demonstrados boas relações entre indicadores da planta e

indicadores do solo, e/ou da atmosfera. Entre as respostas das plantas, a temperatura foliar emitida em função de estresses hídrico, vem sendo utilizada por ser de coleta mais simples que o potencial hídrico ou as trocas gasosas, mantendo o potencial semelhante no que concerne ao estado hídrico momentâneo da planta.

De todo modo, a necessidade da definição de um manejo adequado corrobora com a adoção de técnicas de irrigação deficitárias em regiões semiáridas, não apenas em relação à intensidade do déficit, mas também em formas mais práticas e viáveis de aplicar e monitorar o estresse hídrico.

No semiárido brasileiro, as condições edafoclimáticas intrínsecas favorecem e beneficiam o desenvolvimento de frutíferas e olerícolas, a exemplo da cultura do meloeiro, cujo a produção nacional ocorre de forma substancial, respondendo por cerca de 95% da produção nacional (OLIVEIRA *et al.*, 2017a; CELIN *et al.*, 2017), além de ser competitivo pela qualidade dos frutos e por seu ciclo reduzido ( $\approx$  60 dias), permitindo até três safras por ano, ao passo que na Espanha, um dos principais concorrentes do Brasil, o ciclo dura aproximadamente 120 dias (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2017). Contudo, a produção e expansão do meloeiro no semiárido brasileiro está fortemente atrelado à disponibilidade hídrica regional.

No contexto da limitação hídrica da região nordeste, abrangendo a cultura do meloeiro, irrigação deficitária e manejo via planta baseado na temperatura foliar, Aragão (2019) concluiu que o uso de imagens termométricas foi eficiente na identificação do estado hídrico, onde a temperatura do dossel das plantas apresentou-se inversa às produtividades e às respectivas lâminas aplicadas, corroborando com o fato de que a temperatura do dossel pode ser empregada como estratégia de manejo de irrigação.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar o desempenho do meloeiro submetido a irrigação por déficit fixo (FDI) e regulado (RDI), monitorando seu estado hídrico por meio da termografia infravermelha.

### **2.2 Específicos**

- ✓ Monitorar os parâmetros climatológicos do local do experimento;
- ✓ Mensurar as trocas gasosas em função das estratégias de irrigação;
- ✓ Avaliar o estado hídrico das plantas por meio da termografia infravermelha;
- ✓ Verificar os índices térmicos obtidos durante os ciclos de cultivo;
- ✓ Analisar as relações entre os índices térmicos com as trocas gasosas, potencial hídrico foliar e umidade do solo;
- ✓ Mensurar a produtividade e eficiência no uso da água do meloeiro em função da irrigação por déficit fixo (FDI) e regulado (RDI);
- ✓ Verificar a viabilidade da aplicação da irrigação por déficit fixo (FDI) e regulado (RDI) no ciclo da cultura do melão;
- ✓ Propor uma estratégia de manejo da irrigação para o meloeiro através do uso da termografia infravermelha.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Aspectos gerais da cultura do meloeiro

O meloeiro (*Cucumis melo* L.), pertencente à família Cucurbitaceae e ao gênero *Cucumis*, é uma espécie de olerícola polimórfica cujo centro de diversidade genética ainda não foi precisamente elucidado, com teorias que apontam desde a África até o oeste da Ásia, sendo levado da Índia para todas as regiões do mundo (BRANDÃO FILHO e VASCONCELOS, 1998; ROBINSON e DECKER-WALTER, 1997; OLIVEIRA *et al.*, 2017a).

Notadamente, o cultivo do meloeiro ocorre em mais de 52 países (PAULA *et al.*, 2017), contudo, de acordo com dados da FAO (2020), em 2019 a produção mundial aproximada de melão foi de 41,04 milhões de toneladas. Desse total, a contribuição da produção brasileira foi de apenas 1,43%, deixando o Brasil na 13ª posição. O destaque foi da produção chinesa, responsável por 65,86% da oferta mundial, evidenciando a China como o principal produtor desta olerícola.

Em razão da sua adaptabilidade a vários tipos de clima e de solo, bem como a valorização econômica (LAURENTINO, 2018), o melão tornou-se muito popular e apreciado em vários lugares do mundo, com melhores respostas adaptativas, espelhadas na produção, observadas em tropicais com condições edafoclimáticas de regiões semiáridas, semelhantes às condições presentes nas regiões especuladas como centro de origem (OLIVEIRA *et al.*, 2017a), como é o caso da região Nordeste brasileira.

No Brasil, embora seja possível produzir melão em todas as regiões, é na região Nordeste onde está concentrada 95% da produção nacional (OLIVEIRA *et al.*, 2017a). Em comparação às demais regiões, o destaque da região Nordeste no cultivo do melão dá-se diretamente por suas condições edafoclimáticas de semiárido, que proporcionam temperatura, umidade do ar e luminosidade adequados ao desenvolvimento do meloeiro, que requer clima quente e seco, uma vez que é originário de regiões tropicais, conforme já comentado.

Adicionalmente, Figueirêdo *et al.* (2017) ressaltam que ultimamente os principais produtores de melão têm sido os Polos Jaguaribe-Açu com produção aproximada de 467 mil toneladas por ano, e a região do Submédio do Vale do São Francisco, situado na divisa dos estados da Bahia e Pernambuco, com produção aproximada de 64 mil toneladas por ano.

O Polo Jaguaribe-Açu encontra-se localizado na divisa entre os vales dos Rios Jaguaribe (CE) e Açu (RN), e é considerado como o principal polo agrícola do agronegócio brasileiro da cultura do melão, sendo responsável por uma produção de 86,9% do percentual

regional (OLIVEIRA *et al.*, 2017a). Segundo Oliveira *et al.* (2017b), nacionalmente, a região também é responsável por uma produção aproximada de 80%, assim como por quase a totalidade das exportações brasileiras de melão.

Apesar da adaptabilidade da cultura do melão no nordeste brasileiro, seu cultivo ainda pode ser limitado pelo uso dos recursos hídricos, que justamente no período mais vantajoso ao seu plantio, tendem a reduzir em razão da característica intrínseca de regiões semiáridas, que é um balanço hídrico negativo. A solução para este problema foi encontrada através do uso de sistemas de irrigação, embora devido a limitação na disponibilidade hídrica, em algumas propriedades sejam utilizadas águas de qualidade inferior, bombeadas a partir de poços (MEDEIROS *et al.*, 2010; LAURENTINO, 2018).

O cultivo do meloeiro com o uso da irrigação demanda muita água, contudo para que a prática seja viável tanto no contexto ambiental quanto no econômico, é de elevada importância a escolha do sistema e do manejo mais adequado para a continuidade do cultivo na região semiárida (MAROUELLI e SILVA, 1998). Segundo Valnir Júnior *et al.* (2013), para a definição do manejo é de suma importância a definição da quantidade de água a ser aplicada (lâmina d'água), assim como a maneira em que será fornecida às plantas, uma vez que, erros ou negligências nesses pontos muitas vezes geram insucessos da produção tornando os cultivos economicamente inviáveis (COELHO *et al.*, 2005).

Entre as técnicas de irrigação deficitárias, a variação da intensidade do déficit hídrico conforme a fase fisiológica da cultura pode ser mais viável ao meloeiro do que a aplicação um déficit no ciclo todo, pois, segundo Negreiros e Medeiros (2005) e Pedrosa (1997), a demanda hídrica do meloeiro é variável em função do estágio fenológico. Segundo os autores, o estresse na fase inicial pode favorecer a ocorrência de doenças de solo (excesso) ou prejudicar a germinação (déficit). No estágio vegetativo, o déficit moderado além de favorecer o desenvolvimento do sistema radicular, propicia o aparecimento de flores femininas. Na frutificação, por ser o estágio mais crítico, quando na ocorrência de déficit são observados efeitos no pegamento e tamanho de frutos, comprometendo a produtividade, e quando submetido ao excesso há ocorrência de doenças no colo da planta e de frutos. A variação brusca na aplicação da lâmina neste estágio também causa danos fisiológicos como a rachadura dos frutos.

### **3.2 Estratégias de irrigação por déficit fixo (FDI) e déficit regulado (RDI)**

A irrigação, embora não seja uma técnica agrícola recente, é a que mais propicia o incremento produtivo das culturas, desde que conduzida de forma adequada. Métodos de irrigação pressurizados são apontados como mais eficientes que os gravitacionais, com os denominados localizados (microaspersão e gotejamento) podendo apresentar eficiência e uniformidade de aplicação superior aos demais métodos (ALBUQUERQUE e DURÃES, 2013; FRIZZONE *et al.*, 2012; MANTOVANI *et al.*, 2009; BERNARDO *et al.*, 2019).

Apesar das características intrínsecas a cada método de irrigação, o sistema de irrigação localizado por permitir maior controle da lâmina aplicada, por apresentar menores perdas por evaporação, percolação e escoamento superficial, entre outras vantagens (BERNARDO *et al.*, 2019), é tido como o mais vantajoso para regiões semiáridas, que somado a limitação dos recursos hídricos, caracteriza-se por apresentar balanço hídrico negativo, período chuvoso com precipitações irregulares no espaço e no tempo e ocorrência de déficit hídrico na maior parte do ano, tornando, dessa forma, relevante o desenvolvimento de estudos referentes a avaliação da resposta das plantas em situações de estresse por déficit hídrico.

De acordo com Chai *et al.* (2016) em revisão apresentada sobre irrigação deficitária, os autores comentam que na literatura científica, existem variações substanciais em termos da definição de “déficit hídrico” para culturas agrícolas, haja visto que os estudos são baseados em diferentes abordagens e formas de aplicação de déficits hídricos. Objetivando facilitar a análise e o resumo dos resultados publicados, os autores propuseram uma classificação para o déficit hídrico definida em 5 níveis. Segundo os mesmos, essas definições fornecem uma abordagem “padronizada” com a qual tratamentos de déficits hídricos e as respostas relatadas em vários estudos publicados podem ser avaliadas.

Conforme a classificação de Chai *et al.* (2016), o déficit varia desde o grave, quando a água no solo inferior a 50% da capacidade de campo, até ao excedente, quando a água é superior à necessidade das plantas. O destaque para essa classificação é o nível “sem déficit”, que foi considerado partindo de um percentual igual a 70% da capacidade de campo.

Ao analisarmos de forma geral a literatura científica, observa-se que a aplicação de déficits fixos ao longo do ciclo das culturas tem sido plausível no que concerne a otimização dos recursos hídricos, entretanto os resultados têm demonstrado médias inferiores à irrigação plena (100% da evapotranspiração de cultivo – ETc), principalmente em relação a produção, o que não é recomendado para as grandes lavouras, uma vez que os custos ainda serão elevados quando comparados com a produção obtida e qualidade final do produto, a depender do cultivo. Entretanto, ponderando a eficiência no uso da água, para grande parte dos cultivos, reposições

inferiores a 100% da ETc tendem a proporcionar maiores médias. Considerações semelhantes são ponderadas por Chai *et al.* (2016).

Outra observação interessante a respeito da irrigação com déficit fixo é que esta pode proporcionar a produção de frutos com qualidade superior, elevando os sólidos solúveis (°Brix) e a firmeza da polpa, afirmou Valnir Júnior (2007), que testou lâminas e frequência de irrigação no meloeiro, com foco na exportação. Conforme o autor, no menor fornecimento d'água (159,41 mm), 94% dos frutos apresentaram qualidade conforme exigência do mercado externo, enquanto que na lâmina máxima aplicada (372,38 mm), esse valor foi inferior a 60%. Aragão (2019) também avaliando lâminas de irrigação fixas no meloeiro, com e sem a presença de cobertura morta, observou que o aumento no suprimento hídrico proporcionou menores valores de firmeza de polpa, obtendo 16,7 N com a reposição de 120% da ETc e um valor superior a 30 N na reposição de 40% da ETc.

Na irrigação por déficit regulado (RDI), seu princípio segundo Mitchell *et al.* (1984), baseia-se na redução da irrigação em períodos fenológicos em que o déficit hídrico não afeta consideravelmente a produção e qualidade da colheita, suprimindo plenamente as necessidades hídricas durante as fases do ciclo da cultura mais sensíveis, possibilitando a redução do consumo de água e energia sem grandes prejuízos na qualidade do fruto e produção do pomar, podendo proporcionar retornos econômicos por unidade de área maiores que os obtidos nas produções com máximas irrigações (HARGREAVES e SAMANI, 1984).

Esta técnica foi utilizada inicialmente com o objetivo de evitar um crescimento vegetativo excessivo da planta, que em alguns casos podem induzir efeitos negativos na frutificação. Mitchell *et al.* (1984), comentam que a redução da irrigação durante a brotação e crescimento dos ramos, pode favorecer ao atendimento pleno das necessidades da planta na fase de frutificação, sem limitar o crescimento de fruto.

Estudos com a aplicação da RDI são encontrados para diversas culturas, entretanto, para o meloeiro torna-se uma boa estratégia uma vez que a aplicação de déficit moderado no estágio vegetativo favorece o desenvolvimento do sistema radicular e propicia o aparecimento de flores femininas (NEGREIROS e MEDEIROS, 2005; PEDROSA, 1997).

Estudos com a aplicação da RDI também são encontrados para a cultura da manga (SANTOS, 2012; COTRIM *et al.* 2017); das videiras (SANTOS *et al.*, 2007; LOPES, 2008); na cultura da laranja (ZAPATA-SIERRA e MANZANO-AGUGLIARO, 2017); da pera (MOLINA-OCHOA *et al.*, 2015); da cana-de-açúcar (SIMÕES *et al.*, 2018); do tomate (NANGARE *et al.*, 2016; VALCÁRCEL *et al.*, 2020); e da beterraba (FABEIRO *et al.*, 2002), entre outras.

Entre os trabalhos desenvolvidos com a aplicação da RDI, no melão ressalta-se o trabalho desenvolvido por Fabeiro *et al.* (2002), onde os tratamentos da irrigação deficitária foram aplicados em três fases da cultura (floração, frutificação e maturação). Ao final da condução, as lâminas aplicadas variaram de 339 mm a 407 mm e os autores observaram que o déficit imposto na fase de floração afeta principalmente o rendimento, enquanto que na fase de pega afeta o rendimento e a qualidade, e por último, o déficit imposto na fase de maturação afeta principalmente a qualidade (teor de açúcar) dos frutos. Campos *et al.* (2017) também trabalhando com RDI e avaliando em conjunto diferentes dosagens de adubação nitrogenada no meloeiro, concluíram que o aumento do déficit hídrico após a floração acarretou reduções na espessura da parte comestível do fruto e conseqüentemente no seu peso.

Considerando a aplicação de déficits hídricos, indicadores com base na planta têm sido pouco aceitos no meio produtivo para a programação de irrigação, pois além de ser um método caro, necessita de calibrações sofisticadas dos instrumentos (MAROUELLI *et al.*, 2011; CAMOGLU, 2013). Entre os sinais ao estresse hídrico expressados pelas plantas, comentados por Haise e Hagan (1967), ressalta-se a temperatura foliar, que varia conforme a disponibilidade hídrica e a demanda da transpiração, podendo se aproximar ou tornar-se muito maior que a temperatura do ar em condições sem restrições de água e com deficiência hídrica, respectivamente (MAROUELLI *et al.*, 2011).

### **3.3 Temperatura das plantas, termografia infravermelha e índices térmicos**

A temperatura da planta é um importante indicador da resposta da planta a fatores ambientais, como radiação solar e térmica, temperatura do ar, movimento do ar e disponibilidade de água (GATES, 1964). A compreensão mais simples é de que a temperatura expressada pela planta é resultante das interações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera, caracterizada pela transpiração foliar, ou seja, pela troca de vapor entre a planta e a atmosfera durante a absorção de gás carbônico, controlado diretamente pelo movimento das células estomáticas.

Resultados apresentados por Gates (1964) podem ser interpretados como pioneiros à observação da diferença de temperatura entre a planta e o ar. Citando Tanner (1963), o autor *opcit* comenta que 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. Com isso, o autor propôs-se a apresentar um diagrama de energia que permitisse estimar diretamente a taxa de transpiração em termos da energia absorvida pela planta e o afastamento

da planta da temperatura do ar. Contribuições para uma maior compreensão da interação entre dissipação de calor, transpiração, temperatura foliar e ambiente foram apresentadas por Gates (1968).

Em meados da década de 1970 passam a ser apresentados os primeiros trabalhos expressando as respostas resultantes da diferença direta de temperatura entre o dossel da planta ( $T_c$ ) e o ar ( $T_a$ ), tais como o trabalho de Ehrler (1973) com o algodão, Jackson *et al.* (1977), Ehrler *et al.* (1978a) e Ehrler *et al.* (1978b) com o trigo, entre outros, utilizando para as medições termopares embutidos nas folhas das plantas, radiômetros, e próximo da década de 1980, já utilizando termômetros infravermelho.

Sendo assim, o resultado da diferença ( $\Delta T$ ) entre a temperatura do dossel da planta ( $T_c$ ) e a temperatura do ar ( $T_a$ ) foi a primeira expressão térmica das plantas, ou índice térmico, utilizado para fins de monitoramento do estresse hídrico, e uso como guia para cronogramas de irrigação.

No início da década de 1980 é apresentado à comunidade científica o índice de estresse hídrico da cultura, popularmente denominado *Crop Water Stress Index* (CWSI), um índice térmico considerado mais robusto para a avaliação do estresse hídrico. As publicações de Idso *et al.* (1981) e de Jackson *et al.* (1981) propuseram a obtenção do CWSI de duas maneiras diferentes, as quais as metodologias ficaram conhecidas como CWSI empírico e CWSI teórico, respectivamente.

O método empírico (apresentado como o mais simples), é calculado em função de temperatura base foliar sem e com estresse hídrico relacionadas com o déficit de pressão de vapor (DPV), sendo específicas de cada cultura e influenciadas pelas condições climáticas (BUCKS *et al.*, 1985). Eles usaram uma linha obtida por regressão linear nesses dados como um limite inferior, e um limite superior assumido como válido para culturas não transpirantes (JACKSON *et al.* 1981). No teórico (considerado mais complexo), além do déficit de pressão de vapor (DPV), foram incluídos o saldo de radiação ( $R_n$ ) e resistência aerodinâmica ( $r_a$ ), para uma melhor previsão dos efeitos do clima sobre a temperatura da cultura (KEENER e KIRCHER, 1983). Este método mostrou-se ser igual a razão entre a evapotranspiração real e potencial obtida pela equação de Penman-Montheith ( $1 - E / E_p$ ). Contudo, os resultados do CWSI obtido por ambas as metodologias tendem a variar de 0,0 (plantas adequadamente hidratadas) a 1,0 (plantas em déficit hídrico severo) segundo Marouelli *et al.* (2011). Estudos recentes têm demonstrado semelhança quanto ao desempenho dos dois métodos, conforme observado no trabalho de Liu *et al.* (2020), com plantas em ecossistemas naturais.

Nos anos seguintes à apresentação das metodologias de cálculo do CWSI, vários estudos em diferentes regiões, abrangendo cultivos sob estratégias de irrigação e intensidade de déficits, foram conduzidos com o objetivo de confirmá-lo como um indicador útil do estresse hídrico das plantas, ficando bem estabelecido para climas áridos e semiáridos, não ocorrendo o mesmo para regiões com climas mais úmidos (JONES, 1999), limitando o uso do CWSI devido as temperaturas absolutas serem pequenas (JONES *et al.*, 2002), logo, a temperatura da linha de base sem estresse torna-se próxima ou na mesma ordem que a faixa de temperatura do dossel (JONES, 1999). A alternativa foi apresentada por Jones (1999), que por meio de analogias entre os dados de entrada do CWSI, definiu um índice proporcional à condutância estomática, referido como  $I_G$ .

Concomitante à apresentação do  $I_G$  (índice de condutância estomática), em razão do avanço tecnológico, também surgiam trabalhos iniciais cujo os dados térmicos eram obtidos por através do sensoriamento remoto de curto alcance, com sistemas de imagem térmica portáteis de campo ou termovisores portáteis (JONES *et al.*, 2002). Até esse momento, a avaliação da temperatura do dossel era realizada utilizando termopares de cobre-constantan inseridos nas veias das folhas, e termômetros infravermelhos, com este último sendo utilizado pela maioria dos estudos anteriores nesta área, segundo Padhi *et al.* (2009). Neste período também foi introduzido o conceito de superfícies de referência para uso análogo às temperaturas de linha de bases sem e com estresse hídrico, sendo obtidas respectivamente, molhando ambos os lados da folha pulverizando água com um pouco de detergente para atuar como umectante (referência molhada,  $T_{wet}$ ), e cobrindo ambas as superfícies com vaselina para prevenir a transpiração (referência seca,  $T_{dry}$ ).

Ainda que a termometria tenha sido largamente utilizada antes do desenvolvimento dos termovisores, Moran *et al.* (1994), Jones *et al.* (2002) e Jones e Leinonen (2003) corroboram com o fato dos termômetros infravermelhos, dado ao seu finito campo de visão, limitarem as medições térmicas a uma média sobre uma única área alvo, o que poderia inadvertidamente incluir solo, tronco ou céu na área detectada, com erros consequentes na temperatura estimada do dossel. Com essas limitações corrigidas pelas imagens térmicas, a termografia passou a ser uma ferramenta com grande potencial na estimativa da temperatura do dossel da planta, e consequente observação do estresse hídrico.

Estudos publicados após o desenvolvimento dos termovisores reforçam o potencial proposto por este método no monitoramento da variabilidade hídrica das plantas. A ascensão da termografia ao longo dos anos é atribuída maiormente à capacidade de as imagens térmicas de cobrir um grande número de folhas e plantas individuais ao mesmo tempo, em uma alta

resolução espacial, fornecendo medidas mais robustas do status da água apresentado pelo dossel das plantas (PADHI *et al.*, 2009), além do crescimento da disponibilidade comercial de equipamentos (termovisores portáteis) para a geração de imagens térmicas digitais, além da facilidade para a aquisição e uso de *softwares* de análise das mesmas, oferecendo uma oportunidade única de desenvolver índices instantâneos de estresse no dossel espacial para uso em agricultura de precisão (CHAERLE e VAN DER STRATEN, 2000).

Atualmente, são encontradas aplicações da termografia para diferentes áreas na agricultura, como no monitoramento de viveiros, detecção de salinidade do solo, detecção de doenças e patógenos, estimativa de produtividade, avaliação de maturidade e detecção de hematomas nos frutos, fenotipagem de plantas e na programação de irrigação (ISHIMWE *et al.*, 2014). Neste último, as abordagens ainda se apresentam limitadas por serem demasiadamente complexas. No monitoramento do estresse hídrico, vários trabalhos têm apresentado bons resultados com a aplicação da termografia e cálculo de índices de expressão dos dados térmicos para várias culturas, entre as quais cita-se Jones *et al.* (2002) e Stoll e Jones (2007) ambos com a cultura da videira, Padhi *et al.* (2009) e Padhi *et al.* (2012) com a cultura do algodão, Zarco-Tejada *et al.* (2012) com um pomar de citros, Pipatsitee *et al.* (2018) com a cultura da mandioca, entre vários outros.

Com a cultura do melão, ressalta-se o trabalho de Silva *et al.* (2007), cujo as informações da temperatura das plantas foram coletadas através da termometria. O índice térmico avaliado foi CWSI, e conforme os resultados obtidos pelos autores, o CWSI médio para o meloeiro foi de 0,35, o qual proporcionou rendimento máximo e que pode ser usado como valor limite para iniciar a irrigação. Aragão (2019), também com a cultura do melão, obteve através da termografia valores para a diferença de temperatura entre o dossel e o ar ( $\Delta T$ ) que variaram de -3,3 °C a +2,5 °C em solo cultivado com cobertura vegetal, e -3,0 °C a +3,8°C em solos sem cobertura vegetal, ao aplicar diferentes lâminas de irrigação, com variações de 20% e os limites correspondendo a 120% e 40% da ETc respectivamente.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização do ambiente experimental

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 seguintes coordenadas geográficas: 3°42'40.16"S de latitude e 40°28'55.37"O de longitude, com elevação de 220 m. Pertencente ao Semiárido brasileiro, o clima predominante no município é do tipo “Aw”, conforme a classificação de Köppen, com precipitação média (1961 – 2016) de 896,7 mm, concentradas de janeiro e maio, com temperaturas máximas variando de 37,7°C em outubro e 29,4°C em maio, e temperaturas mínimas variando de 24,7°C em dezembro e 18,5°C em julho, com umidade relativa média de 70% e insolação anual média de 2.648 h, (INMET, 2018).

A área experimental era cercada pela vegetação nativa, a caatinga, contudo, a área ocupada por este trabalho foi de 640 m<sup>2</sup>, demarcada pela cor branca (Figura 1). Conforme apresentado no Google Earth, a data de captura da imagem apresentada é de 21 de agosto de 2021.

**Figura 1** - Apresentação da área experimental. Sobral – CE, 2022.



Fonte: Adaptado do Google Earth.

#### 4.2 Produção de mudas, transplântio e tratos culturais

As mudas foram produzidas em bandejas de polipropileno com 128 células, preenchidas com substrato composto proporcionalmente por areia e esterco caprino curtido (1:2), sendo mantido uma profundidade de semente de até 1 cm, utilizando uma semente por célula.

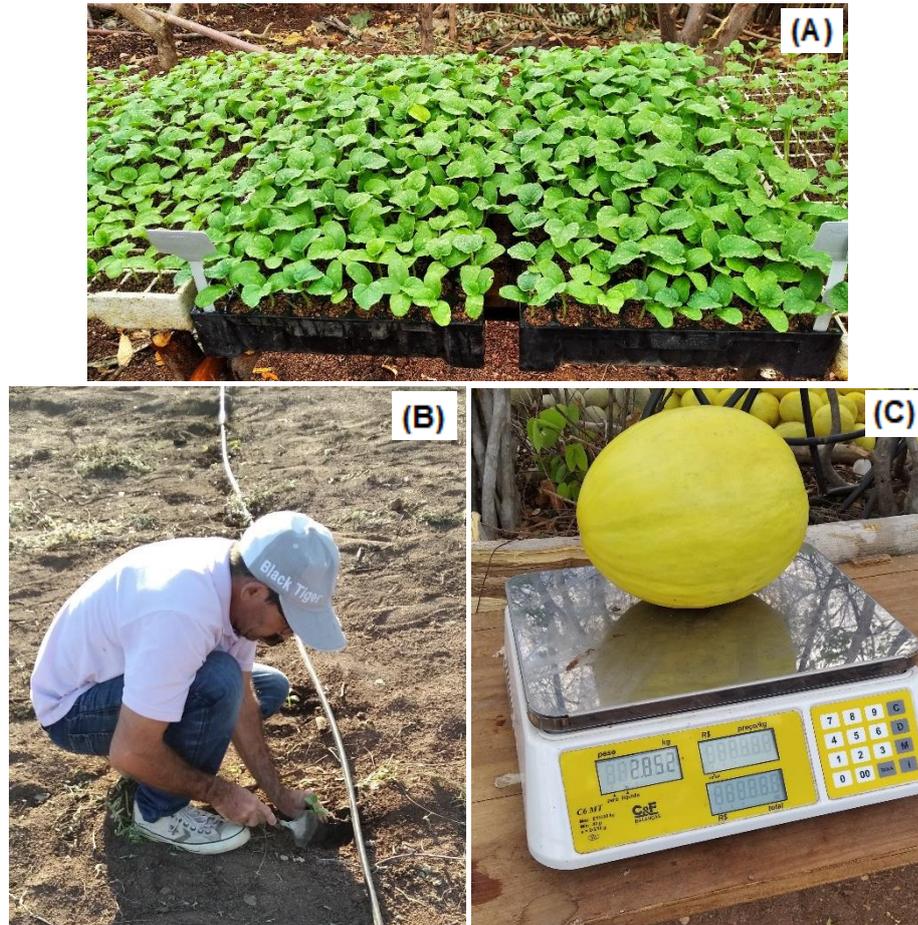
O melão utilizado foi o tipo amarelo, variedade híbrido Goldex F1, da linha Topssed Premium da empresa Agristar. Segundo a empresa, esta variedade apresenta planta bastante vigorosa com boa rusticidade, ciclo médio de 70 dias, frutos com peso entre 1,5 e 2,5 kg e °Brix de 13 a 16.

O transplântio para os dois ciclos conduzidos foi realizado quando as plantas apresentavam a primeira folha definitiva totalmente expandida (Figura 2), 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<sup>-1</sup>.

No manejo fitossanitário, quando necessário, foi realizada capina manual para o controle da incidência de plantas invasoras, e, aplicação preventiva do fungicida Cerconil WP e do inseticida Dimexion, ambos com modo de ação de contato. O fungicida foi pulverizado logo após o transplântio afim de evitar os danos causados pelo crestamento gomoso do caule (*Didymella bryoniae*); e o inseticida apenas 1 vez em cada ciclo, no dia seguinte ao transplântio. Ambos foram aplicados conforme a recomendação dos fabricantes.

Decorrida a carência do inseticida, a ocorrência de insetos praga foi controlada com o método alternativo, utilizando extratos vegetais formulados com o óleo da castanha de caju e com alho. A dosagem utilizada foi de 50 ml para 15 litros de água (1:300), mantendo um intervalo de 5 dias entre aplicações e alternando entre os extratos.

**Figura 2** - (A) Mudas de meloeiro aptas ao transplântio aos 10 dias após a germinação; (B) Transplântio sendo realizado; (C) fruto do melão amarelo híbrido Goldex F1.



Fonte: Elaborado pelo autor

### 4.3 Adubação e fertirrigação

Após o preparo da área de condução do experimento foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm e encaminhadas ao Laboratório de Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *Campus Sobral*, para realização das análises física e química.

Com base nos resultados obtidos na análise química do solo (Tabela 1), a adubação foi calculada seguindo a recomendação proposta por Crisóstomo *et al.* (2002) (Tabela 2). A partir dos cálculos, para o suprimento de N foram utilizados 225,6 kg ha<sup>-1</sup> de Ureia; para o de K<sub>2</sub>O, 400 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (KCl); e, para o de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 800 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples (aplicados na fundação) e 184,6 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato monoamônico (MAP) utilizado para a fertirrigação. No valor obtido para a ureia já consta subtraído o valor de N suprido pelo MAP.

**Tabela 1** - Características químicas e físicas do solo da área experimental nas profundidades de 0 – 20 cm e de 20 – 40 cm.

<b>PARÂMETROS</b>	<b>UNID.</b>	<b>0-20 cm</b>	<b>20-40 cm</b>
<b>Químicos</b>			
pH	-	6,2	6,1
Carbono	dag/kg	0,48	0,24
Matéria Orgânica	dag/kg	0,83	0,42
Fósforo	mg/kg	1,32	0,78
Cálcio	cmolc/kg	2,70	1,80
Magnésio	cmolc/kg	0,80	0,90
Potássio	cmolc/kg	0,230	0,205
Sódio	cmolc/kg	0,26	0,22
Alumínio	cmolc/kg	0,0	0,0
Acidez Potencial	cmolc/kg	1,24	1,24
Soma de Base	cmolc/kg	3,99	3,12
Capacidade de troca de cátions Total	cmolc/kg	5,23	4,36
Percentagem de Saturação por Bases	%	76,33	71,61
Percentagem de Saturação por Sódio	%	4,99	4,99
Percentagem de Saturação por Alumínio	%	0,0	0,0
Condutividade Elétrica	dS/m	0,33	0,27
<b>Físicos</b>			
Argila	g/kg	56,65	71,63
Silte	g/kg	151,79	216,73
Areia	g/kg	791,56	711,64
Classificação Textural	-	Areia Franca	Franco Arenosa
Argila Natural	g/kg	11,04	19,92
Grau de Flocculação Do Solo	%	80,51	72,19
Densidade Do Solo	g/cm <sup>3</sup>	1,32	1,24
Densidade De Partícula	g/cm <sup>3</sup>	2,49	2,52
Porosidade Total	%	0,47	0,51

**Extratores:** Mehlich1: P, Na e K; Cloreto de potássio: Ca, Mg e Al; Acetato de Cálcio: H+Al. pH em água (1:2,5).  
**Método:** - Granulométrica = Pipeta; - Densidade do Solo = Proveta; - Densidade de Partícula = Balão volumétrico;  
 - Porosidade Total = Indireto; - Classificação Textural = Adaptado de Santos *et al.* (2013)

**Tabela 2** - Recomendação de adubação mineral para o melão.

Produtividade Esperada (t/ha)	N (kg ha <sup>-1</sup> )	P resina (mg dm <sup>-1</sup> )			K solo (mmolc/dm <sup>3</sup> )		
		0 a 25	26 a 60	> 60	0 a 1,5	1,6 a 3,0	> 3,0
		kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			kg ha <sup>-1</sup> K <sub>2</sub> O		
< 20	80	160	120	80	200	160	100
20 a 30	100	200	160	100	250	200	140
> 30	120	240	180	140	300	240	180

Fonte: Crisóstomo *et al.* (2002)

Na fertirrigação, os fertilizantes foram distribuídos percentualmente utilizando como referência a sugestão de Sousa *et al.* (2011), que apresentam recomendações para solos de textura fina e solos de textura grossa. Para este trabalho foi adotado a distribuição recomendada para solos de textura grossa (Tabela 3).

Para o suprimento de micronutrientes, foram realizadas adubações foliares semanais (Figura 3), com início aos 14 dias após o transplântio (DAT) e persistindo até o final da fase fisiológica de floração e frutificação. Os adubos foliares utilizados foram: dalgin Mg (Mg, B, Mo e S), e codafol 14-6-5 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Cu, Fe), com volume de aplicação conforme recomendação dos fabricantes.

**Tabela 3** - Distribuição percentual de nitrogênio, potássio, e fósforo a ser aplicada via fundação e fertirrigação, ao longo do ciclo de desenvolvimento do meloeiro.

Nutriente	Aplicação em fundação	Aplicação por gotejamento							
		Ciclo (dias)							
		1 - 7	8 - 14	15 - 21	22 - 28	29 - 35	36 - 42	43 - 49	50 - 56
Quantidade relativa de nutrientes em solos de textura grossa (%)									
N	0	5	10	10	10	20	20	15	5
K <sub>2</sub> O	20	2	3	5	10	20	20	15	5
P	60	0	0	10	10	10	10	0	0

Fonte: Adaptado de Sousa *et al.* (2011)

**Figura 3** - Pulverização manual de adubos foliares quando o meloeiro estava com 14 DAT.



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o de blocos completos ao acaso com 4 repetições de 9 tratamentos referentes a reposição da lâmina de irrigação em função da evapotranspiração de cultivo (ETc), utilizando para o cálculo os coeficientes de cultivo (kc) recomendado pelo FAO 56 (ALLEN *et al.*, 1998) e a duração de cada fase conforme o ciclo da cultura observado por Miranda e Bleicher (2001). Allen *et al.* (1998) apresentam os valores de kc em três períodos: inicial (kc-ini), meia temporada (kc-mid) e final (kc-end), com o kc-mid abrangendo as fases de crescimento e de floração e frutificação.

Os tratamentos definidos consistiram de reposições fixas e variadas ao longo do ciclo do meloeiro, caracterizando o que denominamos como déficit de irrigação fixo (FDI) e déficit de irrigação regulado (RDI), respectivamente, apresentado em detalhes na Tabela 4.

**Tabela 4** - Definição dos tratamentos de irrigação por déficit fixo (FDI) e déficit regulado (RDI) em função da evapotranspiração de cultivo (% da ETc), para as diferentes fases fenológicas do meloeiro.

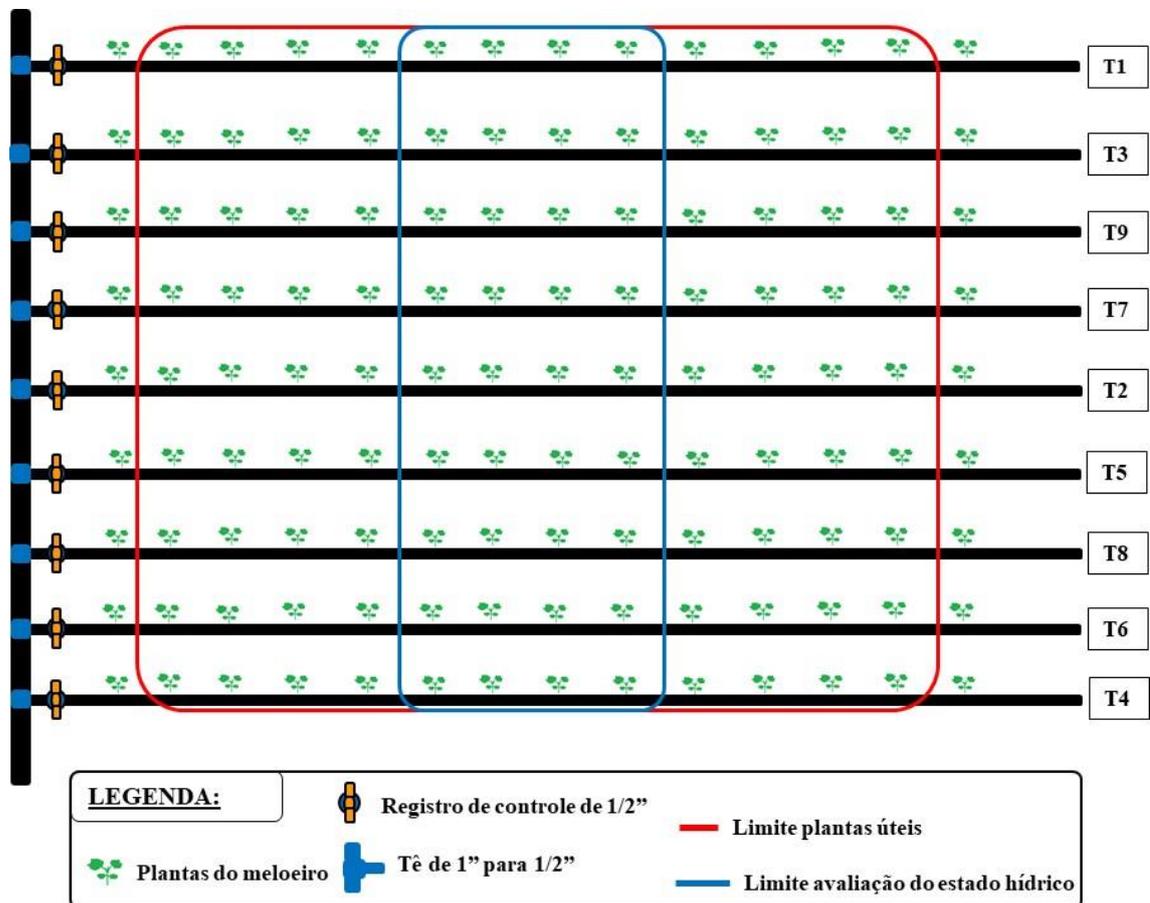
Fases Fenológicas	Kc <sup>(1)</sup>	DAP <sup>(2)</sup>	Tratamentos de Irrigação (% da ETc)								
			FDI				RDI				
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Inicial (I)	0,5	0-22	125	100	75	50	75	50	100	100	75
Crescimento (II)	0,5– 1,05	23-40	125	100	75	50	100	100	75	50	100
Floração e Frutificação (III)	1,05	41-58	125	100	75	50	100	75	75	100	50
Maturação (IV)	0,75	59-66	125	100	75	50	75	75	50	100	50

Fonte: <sup>(1)</sup>Allen *et al.* (1998); <sup>(2)</sup>Miranda e Bleicher (2001); DAP – Dias após o Plantio.

Em função do intervalo de valores de  $k_c$  da fase de crescimento (0,5 a 1,05), esta fase foi dividida em 3 subfases com seis dias de duração cada. Neste caso, os coeficientes, obtidos por interpolação linear, foram de 0,58, 0,77 e 0,96, respectivamente.

Na Figura 4 pode ser visualizado, de forma detalhada, o croqui de um bloco experimental. Cada tratamento continha 14 plantas, sendo que 2 foram utilizadas como bordadura, uma no início e outra no final da linha. Entre as 12 plantas restantes, foi priorizada as plantas centrais para as avaliações do estado hídrico e coleta de dados termográficos das plantas.

**Figura 4** - Representação esquemática detalhada de um bloco experimental.

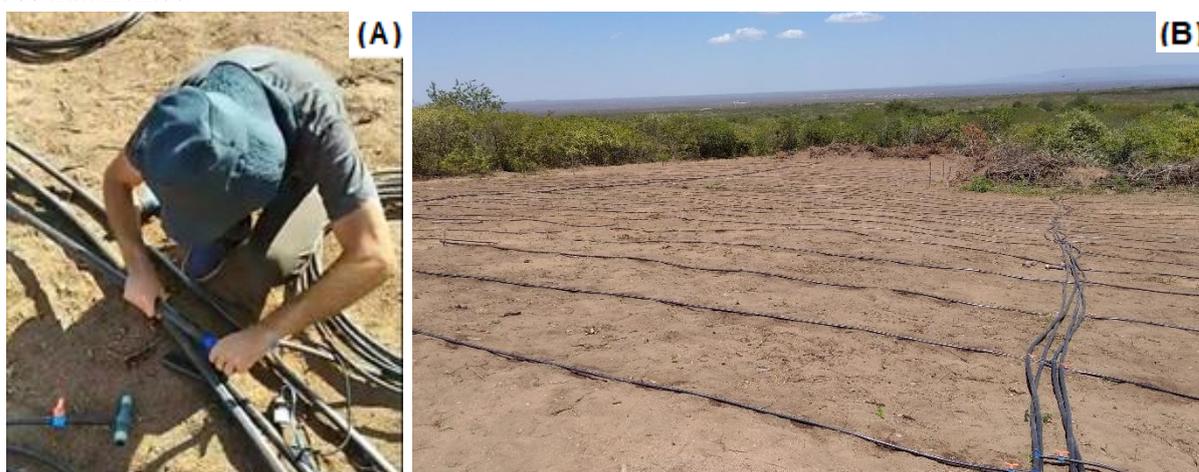


Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.5 Especificação do sistema de irrigação

O método de irrigação utilizado foi o localizado, com sistema do tipo gotejamento, dispondo 1 (um) emissor por planta. Os emissores, do tipo botão autocompensante PCJ-CNL, foram instalados de forma “online” e apresentavam vazão de 2,0 L h<sup>-1</sup> a uma pressão de 150 kPa. As linhas laterais, compostas por mangueiras de polietileno de baixa densidade (PEBD) com diâmetro nominal de 1/2” (16 mm), pressão de trabalho de 300 kPa (PN 30) e distanciadas em 2,0 m, foram abastecidas por uma principal de PEBD PN 40, de 1” (32 mm). Em cada linha lateral foi instalado um registro de globo, para que fosse atendido o esquema de distribuição das lâminas entre os tratamentos (Figura 4 e Figura 5).

**Figura 5** - Sistema de irrigação durante (A) e após (B) sua instalação conforme o esquema de distribuição dos tratamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor

O sistema ainda apresentava um cabeçal de controle composto por manômetro analógico, aplicador de fertilizante do tipo venturi para atender as fertirrigações programadas, e filtro de disco, cujo a limpeza era realizada em dias alternados. Para a pressurização do sistema, foi utilizada uma eletrobomba com potência de 3/4 de cv.

A água utilizada era proveniente do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do Município de Sobral, cujo parâmetros da água distribuída encontram-se apresentados na Tabela 5. Em razão do fornecimento de água em dias alternados (1 ou 2 dias de intervalo), foram utilizadas 5 caixas d’água de 1000 L cada para garantir água disponível diariamente.

**Tabela 5** - Parâmetros da água distribuída pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Sobral - CE, apresentado nas faturas recebidas no decorrer dos ciclos conduzidos.

Reservatório:	E.T.A.		Data: 01/01/2021			
Parâmetros	Cor (UH*)	pH	Cloro (mg L <sup>-1</sup> )	Turbidez (UT*)	Flúor (mg L <sup>-1</sup> )	Coliformes Totais
<b>Padrão</b>	Até 15	6,0 a 9,5	Até 5,0	Até 5	Até 1,5	Ausente
<b>Obtidos</b>	10,0	7,58	2,0	1,97	0,7	0.0

E.T.A.: Estação de Tratamento de Água; UH: Unidade de Hazen; UT: Unidade de Turbidez; \* Ver Lira (2014).

Concluída a instalação do sistema em campo, avaliou-se sua uniformidade de distribuição (CUD) através da metodologia proposta por Keller e Karmelli (1975). A partir dos dados coletados e utilizando a equação 1, foi obtido um CUD de 97%, considerado excelente conforme preconiza Frizzone *et al.* (2012).

$$CUD = 100 \times \left[ \frac{\bar{q}}{\bar{Q}} \right] \quad (01)$$

Em que: CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição (%);  $\bar{q}$  – média entre 25% das menores vazões coletadas (L h<sup>-1</sup>);  $\bar{Q}$  – média de todas as vazões coletadas (L h<sup>-1</sup>).

#### 4.6 Manejo e reposição das lâminas de irrigação

A quantidade de água aplicada foi calculada mediante a necessidade de reposição de perdas decorrentes da evapotranspiração de cultivo (ETc) a partir da estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), realizada diariamente por meio do método do tanque classe “A” (Figura 6), preconizado por Allen *et al.* (1998) e calculada conforme a equação a seguir:

$$ETo = EV \times Kp \quad (02)$$

Em que: ETo – evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>); EV – evaporação do tanque (mm dia<sup>-1</sup>) Kp – coeficiente do tanque (adimensional).

**Figura 6** - Tanque classe “A” instalado na área experimental.



Fonte: Elaborado pelo autor

O valor do coeficiente do tanque é obtido em função da combinação dos fatores: umidade relativa do ar, bordadura do tanque e velocidade do vento; entretanto, na ocorrência de não se dispor de dados locais dos mesmos, o coeficiente  $K_p$  pode ser substituído por um valor fixo, que varia de 0,7 a 0,8 para a região do nordeste brasileiro (SANTOS *et al.*, 2010). Desta forma, para este experimento foi adotado um valor de  $K_p$  igual a 0,75, mantido fixo durante todo o período de condução.

Em sequência, na estimativa da evapotranspiração de cultivo ( $ET_c$ ), utilizou-se a expressão abaixo proposta por Allen *et al.* (1998), com os valores do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) correspondendo aos recomendados pelos autores *opcit*, conforme já comentado:

$$ET_c = E_{To} \times K_c \times K_r \quad (03)$$

Em que:  $ET_c$  – evapotranspiração da cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $E_{To}$  – evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $K_c$  – coeficiente de cultivo (adimensional);  $K_r$  – coeficiente de redução da evapotranspiração (adimensional).

Segundo Mantovani *et al.* (2009), o uso do coeficiente de redução da evapotranspiração ( $K_r$ ), ou coeficiente de localização, justifica-se pelo fato de que em sistemas de irrigação localizados não há o molhamento de toda a área, implicando na redução da evaporação direta do solo da área não molhada. Sendo assim, empregando a metodologia proposta por Freeman e Garzoli (VERMEIREN e JOBLING, 1997), o coeficiente de redução da evapotranspiração ( $K_r$ ) foi calculado utilizando a seguinte equação:

$$K_r = C_s + 0,5(1 - C_s) \quad (04)$$

Em que:  $K_r$  - coeficiente de redução da evapotranspiração (adimensional);  $C_s$  – índice de cobertura do solo (adimensional).

Para o índice de cobertura do solo ( $C_s$ ) (também denominado percentagem de área sombreada – PAS, ou fator de cobertura do solo - FCS), recomenda-se tomar  $K_r = C_s$  quando  $C_s < 0,5$  e  $K_r = 1$  quando  $C_s = 1$  (CARVALHO *et al.*, 2007; FERREIRA *et al.*, 2010; FONTENELE *et al.*, 2013). Contudo, inicialmente foi utilizado um valor de FCS igual a 0,33 (33%), correspondente a fração mínima de área molhada recomendada para regiões áridas e semiáridas conforme preconiza Mantovani *et al.* (2009). A medida que as plantas foram se desenvolvendo, este fator foi estimado segundo Hernandez (1995), o qual recomenda medir as dimensões dos ramos do meloeiro no sentido transversal às linhas de plantio, dividindo o valor encontrado pelo espaçamento entre linhas. Tais medições ocorreram periodicamente no tratamento correspondente a 100% da  $ET_c$ , com intervalo de 7 dias.

Calculado os valores para a  $ET_c$  diária, as necessidades de reposição das lâminas de irrigação foram quantificadas em escala de tempo, utilizando para esta finalidade os desdobramentos da equação apresentada abaixo:

$$T_i = \frac{ITN \times E_{gL} \times E_{Lg}}{q} \quad (05)$$

Em que:  $T_i$  – tempo de irrigação (hora);  $ITN$  – irrigação total necessária ou lâmina bruta de irrigação (mm);  $E_{gL}$  – espaçamento de gotejadores na linha (m);  $E_{Lg}$  – espaçamento entre linhas de gotejadores (m);  $q_{got}$  – vazão do gotejador ( $L h^{-1}$ ).

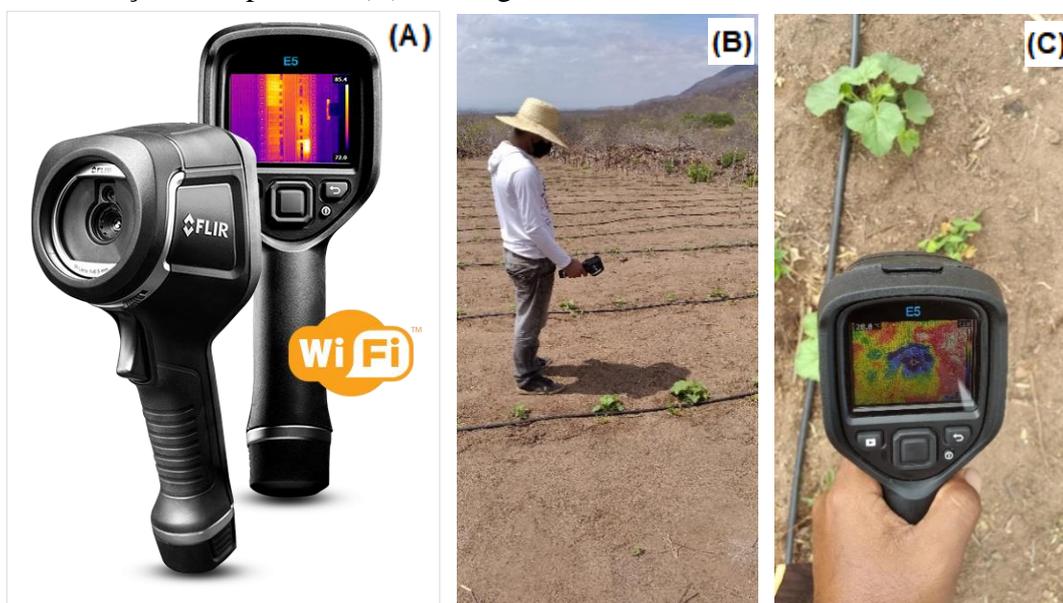
Ressalta-se ainda que para ambos os ciclos o manejo da irrigação foi realizado utilizando o *software* “Sistema Ômega de manejo da Microirrigação”, desenvolvido por Valnir Júnior *et al.* (2017), cujo informações sobre o cultivo, sistema de irrigação e intensidade de reposição foram anteriormente inseridas, sendo a  $EV$  e  $C_s$  medidos diário e semanalmente, respectivamente, ao longo da condução.

#### 4.7 Termografia infravermelha

O monitoramento da temperatura da planta através da termografia infravermelha constou da captura de imagens térmicas em três períodos diferentes do dia: pela manhã, ao meio dia e à tarde, respectivamente às 08, 12 e 16 horas (Figura 7).

Para a captura das imagens foi utilizada uma câmera termográfica portátil da Teledyne FLIR LLC<sup>®</sup>, modelo FLIR E5xt (Figura 7A), com wi-fi incluso e aprimoramento de imagens MSX<sup>®</sup>; detector de infravermelho de 19.200 (resolução térmica 160 × 120) pixels e uma faixa de temperatura operacional de -20 °C a 400 °C; precisão de ±2% (±2 °C) da leitura para temperatura ambiente (10 °C a 35 °C), sensibilidade térmica < 0,10 °C, e imagens capturadas com resolução de 320 x 240. A emissividade ( $\epsilon$ ) foi ajustada em 0,95, e a distância de captura, da câmera ao alvo, mantida em 1,0 m. As imagens foram capturadas em direção única, sendo definido o sentido leste-oeste (Figura 7C).

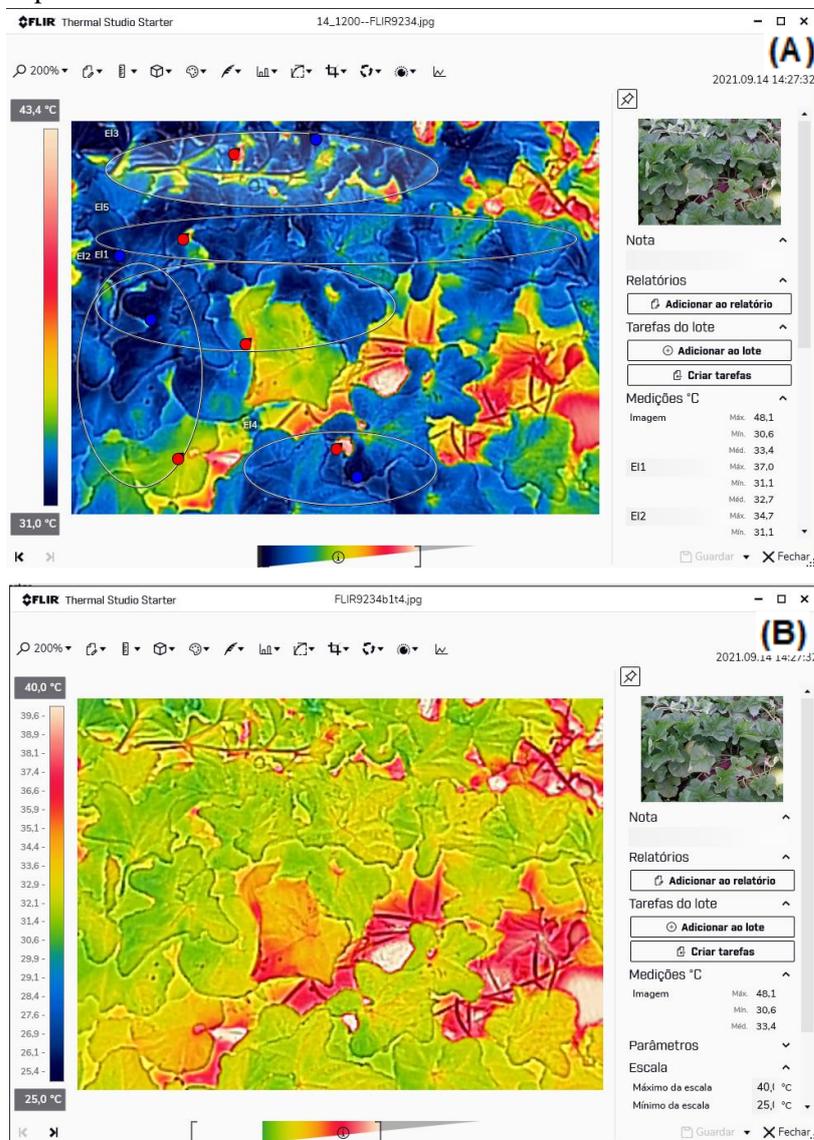
**Figura 7** - (A) Câmera termográfica Flir E5xt (Fonte: Fabricante); (B) representação da distância e direção de captura; e, (C) da imagem térmica no visor da câmera.



Para a definição da temperatura média da planta, foi utilizado a ferramenta *ellipse* (Figura 8A) do *software* Flir Thermal Studio Suite, (modelo Starter; versão 1.9.23.0, disponível em <<https://www.flir.com.br/products/flir-thermal-studio-suite/>>), mantendo-se o cuidado de evitar o solo, os frutos e as tubulações na área de seleção. A ferramenta fornece a temperatura média da área abrangida, sendo assim, em cada imagem termográfica obtida (duas por

tratamento), foram distribuídas 5 elipses, resultando num total de 40 pontos ( $n = 40$ ) para estimativa da temperatura média do dossel do tratamento ( $T_c$ ). Em sequência, após a tabulação dos dados das elipses, foi realizado um “tratamento de limpeza”, cujo objetivo consistiu em remover os polígonos inseridos e ajustar as imagens em uma escala única (25 a 40 °C), mantendo-as no modo Thermal MSX, facilitando desta forma, a visualização da diferença entre os tratamentos de irrigação aplicados (Figura 8B).

**Figura 8** - Representação das imagens termográficas no *software* Flir Thermal Studio Suite durante a caracterização da temperatura média da planta (A) e depois do “tratamento de limpeza” (B). As imagens apresentadas correspondem ao mesmo tratamento às 12 horas.



#### 4.8 Variáveis analisadas

As variáveis apresentadas a seguir foram coletadas durante os ciclos conduzidos da cultura do meloeiro, no entanto, os resultados apresentados correspondem a dados obtidos em meados da fase de floração e frutificação (Fase III), uma vez que essa fase é caracterizada como a de maior demanda hídrica das culturas, logo, as avaliações no meloeiro foram realizadas quando as plantas estavam a 45 DAT no ciclo 1 e 42 DAT no ciclo 2, respectivamente nas estações de inverno e primavera. Ressalta-se que para estas duas estações, a ocorrência de precipitações na região em que este trabalho foi conduzido é rara ou nenhuma.

#### 4.8.1 *Parâmetros meteorológicos*

Os parâmetros meteorológicos monitorados foram a temperatura do ar ( $T$ , °C) e umidade relativa do ar (UR, %), e através destes dois, foi calculado o déficit de pressão de vapor do ar (DPV, kPa).

Para ambos os ciclos, os dados utilizados foram cedidos pela unidade de caprinos e ovinos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Caprinos e Ovinos), os quais eram coletados por uma estação meteorológica automática, localizada a aproximadamente a 25 km da área experimental deste trabalho. Os dados cedidos apresentavam registros com intervalos de 15 minutos.

#### 4.8.2 *Índices térmicos*

Utilizando as médias de temperatura da planta obtidas para cada tratamento, foram calculados os índices térmicos: diferença de temperatura entre o dossel e ar -  $\Delta T_{\text{canopy-air}}$  (GARCÍA-TEJERO *et al.*, 2011; MAES e STEEP, 2012); *Crop Water Stress Index* - CWSI (JONES *et al.*, 2002; MÖLLER *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2012; MAES e STEEP, 2012); e, *Index Stomatal Conductance* -  $I_G$  (JONES *et al.*, 2002; GRANT *et al.*, 2007; MAES e STEEP, 2012); obtidos conforme as equações apresentadas abaixo:

$$\Delta T_{\text{canopy-air}} = T_C - T_{ar} \quad (06)$$

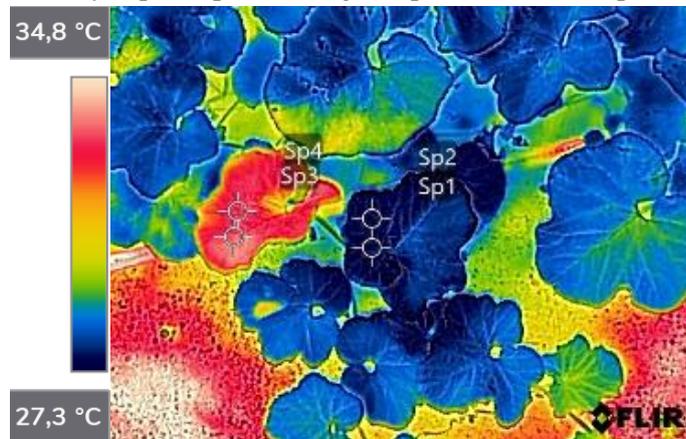
$$CWSI = \frac{(T_C - T_{wet})}{(T_{dry} - T_{wet})} \quad (07)$$

$$I_G = \frac{(T_{dry} - T_C)}{(T_C - T_{wet})} \quad (08)$$

Onde:  $\Delta T_{canopy-air}$  – diferença de temperatura entre o dossel da planta e o ar;  $T_C$  - temperatura do dossel da planta obtida na imagem térmica; CWSI – índice de estresse hídrico da cultura;  $I_G$  – índice de condutância estomática;  $T_{dry}$  – temperatura máxima de referência (referência seca), simulando folhas com estômatos totalmente fechados; e,  $T_{wet}$  – temperatura mínima de referência (referência úmida), simulando folhas com estômatos totalmente abertos.

As temperaturas de referência foram obtidas no tratamento FDI correspondente a 100% da ETc, conforme a metodologia para os índices térmicos apresentados, sendo selecionadas duas folhas adultas saudáveis totalmente expostas à luz solar, contadas a 3ª ou a 4ª a partir do ápice da planta. Para a  $T_{dry}$  foi aplicada vaselina em ambos os lados da folha 20 a 30 minutos antes de sua captura, enquanto que para a  $T_{wet}$  foi pulverizada água 10 a 15 segundos, também em ambos os lados, antes de sua aquisição.

**Figura 9** - Representação termográfica das temperaturas de referência úmida,  $T_{wet}$  (Sp1 e Sp2), e referência seca,  $T_{dry}$  (Sp3 e Sp4). A imagem apresentada corresponde ao horário de 08 horas.



Fonte: elaborado pelo autor.

### 4.8.3 *Potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ )*

As medições do potencial hídrico foliar foram realizadas ao amanhecer, com início por volta das 5:30 da manhã. Conforme comentado por Silva (2008) essa medição ao amanhecer, é aludida por muitos autores ao conceito de *pre-dawn*, que é quando a transpiração é quase nula, correspondendo teoricamente ao momento em que o potencial hídrico foliar é considerado igual ao potencial hídrico do solo.

A folha selecionada para a medida era a folha adulta mais jovem, ou seja, a terceira ou quarta folha, desde que totalmente expandida, contada a partir do ápice do ramo do meloeiro. O método empregado foi o da câmara de pressão, sendo utilizado uma do tipo Scholander, (SCHOLANDER *et al.*, 1964; 1965) (Figura 10).

A avaliação do potencial hídrico baseia-se na estimativa indireta das pressões negativas causadas pela tração que a transpiração induz às folhas, e que, por conseguinte, são transmitidas às raízes através da coesão da água nos condutos do xilema (COCHARD *et al.*, 2001), sendo esse processo conhecido desde o século 19 como teoria da “coesão-tensão”, proposto por Dixon e Joly (1894).

No procedimento realizado com a câmara de Scholander, assume-se que o  $\Psi_F$  de determinado órgão da planta (geralmente a folha) cortado e encaixado na câmara de pressão é igual ao  $\Psi_F$  de todos os órgãos. No momento do corte, a coluna de água no xilema que estava sob tensão também é cortada e puxada para dentro dos capilares do xilema (ARAGÃO, 2019), instalações estruturalmente fortes o suficiente para resistir ao colapso mesmo com um diferencial de pressão muito alto entre o exterior e o interior do órgão (SCHOLANDER *et al.*, 1964).

Para se fazer a medição, é aplicado um diferencial de pressão com gás comprimido através da câmara, o qual ocorrerá uma pequena exsudação da seiva na superfície do corte, sendo este fenômeno correspondente à pressão hidrostática que existia no sistema vascular antes do corte. Nesse momento, deve-se parar a pressurização e anotar a pressão exercida, registrada no manômetro.

**Figura 10** - Câmara de pressão do tipo Scholander (A); Avaliação do potencial hídrico foliar (B).



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.8.4 Umidade do solo ( $U_s$ )

A estimativa da umidade do solo decorrente dos tratamentos de irrigação foi obtida a partir do método gravimétrico (REICHARDT e TIMM, 2012).

Valendo-se do procedimento para estimativa da umidade à base de massa ( $U_s$ ), foram coletadas amostras de solo deformadas utilizando um trado de PVC adaptado, com uma das extremidades cortadas em bisel para facilitar a penetração no solo. As amostras no momento da coleta foram acondicionadas em latas de alumínio padronizadas, e posteriormente encaminhadas ao laboratório de solos do IFCE - campus Sobral, para obtenção da massa úmida ( $M_u$ ). Após a pesagem da  $M_u$ , as amostras foram submetidas a secagem a 105 °C até peso constante, sendo assim obtida a massa seca ( $M_s$ ) das amostras. Para ambas as pesagens foi utilizada uma balança analítica com precisão  $\pm 0,0001$  g (Figura 11).

Com os valores de  $M_u$  e  $M_s$ , calculou-se a  $U_s$  conforme a equação abaixo:

$$U_s = \frac{M_u - M_s}{M_s - M_r} \quad (09)$$

Em que:  $U_s$  – Umidade do solo à base de massa ( $g\ g^{-1}$ );  $M_u$  – massa do recipiente com a amostra úmida (g);  $M_s$  – massa do recipiente com a amostra seca (g);  $M_r$  – massa do recipiente.

**Figura 11** - Pesagem das amostras deformadas de solo úmido.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### **4.8.5 Trocas gasosas**

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas no intervalo entre 08 e 09 horas, antecedendo as irrigações e concomitante com a captura de imagens térmicas desse horário. A folha selecionada para a medida, foi a quarta folha contada a partir do ápice do ramo do meloeiro, sendo realizada duas medições por tratamento (Figura 12). As mensurações foram realizadas utilizando um analisador de gás infravermelho (IRGA), modelo Li-6400XT system portable photosynthesis, da LI-COR Biosystems® - Lincoln, NE, E.U.A. As variáveis examinadas foram: condutância estomática ( $g_s$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e taxa de transpiração foliar ( $E$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

**Figura 12** - Analisador de gás infravermelho – IRGA (A), avaliação das trocas gasosas aos 45 DAT no ciclo 1 (B) e aos 42 DAT no ciclo 2 (C).



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.8.6 Produtividade do meloeiro e Eficiência no Uso da Água (EUA)

Por ocasião da colheita, realizada em ambos os ciclos por volta dos 70 DAT, a produtividade média (Produt., ton. ha<sup>-1</sup>) do meloeiro para cada tratamento foi calculada a partir do produto das médias de peso e quantidade de frutos colhidos por planta, e utilizando como referência um estande de 10.000 plantas.ha<sup>-1</sup> conforme o espaçamento adotado (0,5 m x 2,0 m).

Para a estimativa da eficiência de uso da água (EUA, kg m<sup>-3</sup>), foi utilizada a produtividade calculada em kg ha<sup>-1</sup>, sendo este valor dividido pelas lâminas de irrigação acumuladas conforme os tratamentos aplicados.

As equações utilizadas para Produt. e EUA foram:

$$\text{Produt} = P_F \times N_F \times 10 \quad (10)$$

$$\text{EUA} = \frac{\left[ \frac{PT}{LI} \right]}{10} \quad (11)$$

Em que:  $P_{\text{Produção}}$  - produtividade média em ton. ha<sup>-1</sup>;  $P_F$  – peso médio dos frutos (kg);  $N_F$  – número médio de frutos planta<sup>-1</sup> (unidades);  $P_T$  – produtividade média em kg ha<sup>-1</sup>;  $LI$  – lâmina de irrigação acumulada no final do ciclo (mm); 10 – fator de conversão.

#### 4.9 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram avaliados mediante a análise de variância (ANOVA) pelo teste de F ( $P < 0,05$ ). Em sequência, as variáveis que apresentaram efeito significativo foram submetidas a análise de regressão e teste de Tukey, ambos com nível de significância de 0,05, conforme a natureza da variável analisada.

No índice térmico  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , em razão dos dados dos horários 08h e 12h apresentarem valores positivos e negativos, o coeficiente de variação (CV) mostrava-se indiferente, distante da faixa aceitável estatisticamente. Sendo assim, o ajuste dos dados foi realizado transformando os dados através da soma de um valor constante igual a 10.

Para a interação entre as variáveis avaliadas, as equações de regressão, modelo linear e/ou polinomial quadrático, foram selecionadas conforme o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e significância do modelo, a 5% de probabilidade pelo teste de F. Quando não significativas, prevaleceu o maior valor de  $R^2$ . O *software* utilizado para as inferências estatísticas foi o SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

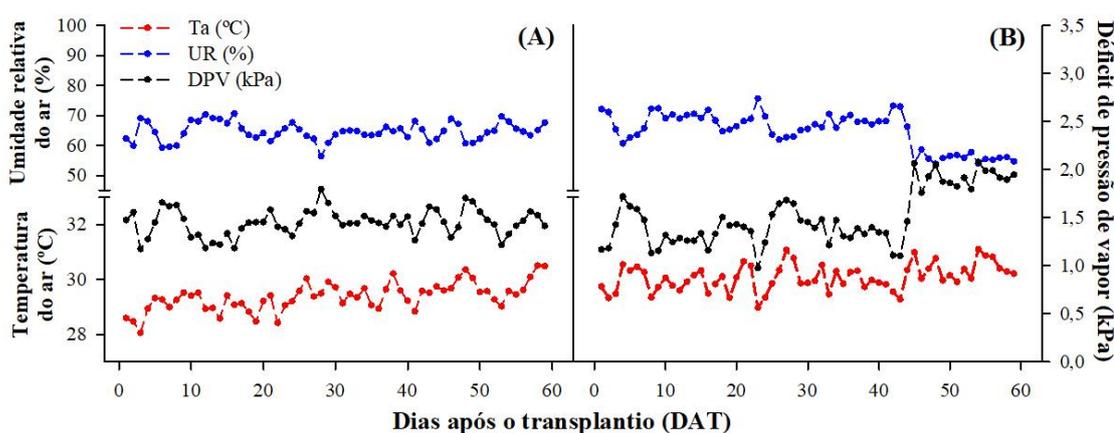
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Parâmetros meteorológicos e trocas gasosas

Diuturnamente, as plantas estão condicionadas aos parâmetros biofísicos do meio ao qual estão inseridas, sendo esses caracterizados como bióticos e abióticos. Entre os abióticos, parâmetros meteorológicos como a temperatura ( $T_a$ ), a umidade relativa do ar (UR) e o déficit de pressão de vapor (DPV) têm sido alvo de muitos estudos, os quais têm buscado compreender os efeitos de tais parâmetros nas relações hídricas das plantas com a atmosfera e com o solo, mais diretamente, na resposta estomática. Segundo Reichardt e Timm (2012), os estômatos são orifícios pelos quais se dão as principais trocas gasosas entre a planta e a atmosfera, cuja abertura é devido à diferença de potencial de água dentro deles, em razão da variação na translocação de água na planta à intensidade de perda de água da folha para a atmosfera.

Na Figura 13 estão apresentadas as médias diárias observadas para a  $T_a$ , UR e DPV, obtidas no intervalo entre o transplântio e a colheita, em ambos os ciclos conduzidos, cujo as respectivas médias obtidas para o primeiro ciclo foram 29,4 °C, 64,6% e 1,45 kPa, e para o segundo ciclo foram 30,1 °C, 64,7 % e 1,51 kPa, corroborando com a faixa ótima de  $T_a$  e UR para o desenvolvimento e produção do meloeiro (OLIVEIRA *et al.*, 2017b).

**Figura 13** - Médias diárias da temperatura do ar ( $T_a$ , °C), umidade relativa do ar (UR, %) e déficit de pressão de vapor (DPV, kPa) observadas no decorrer do ciclo 1 (A) e do ciclo 2 (B).

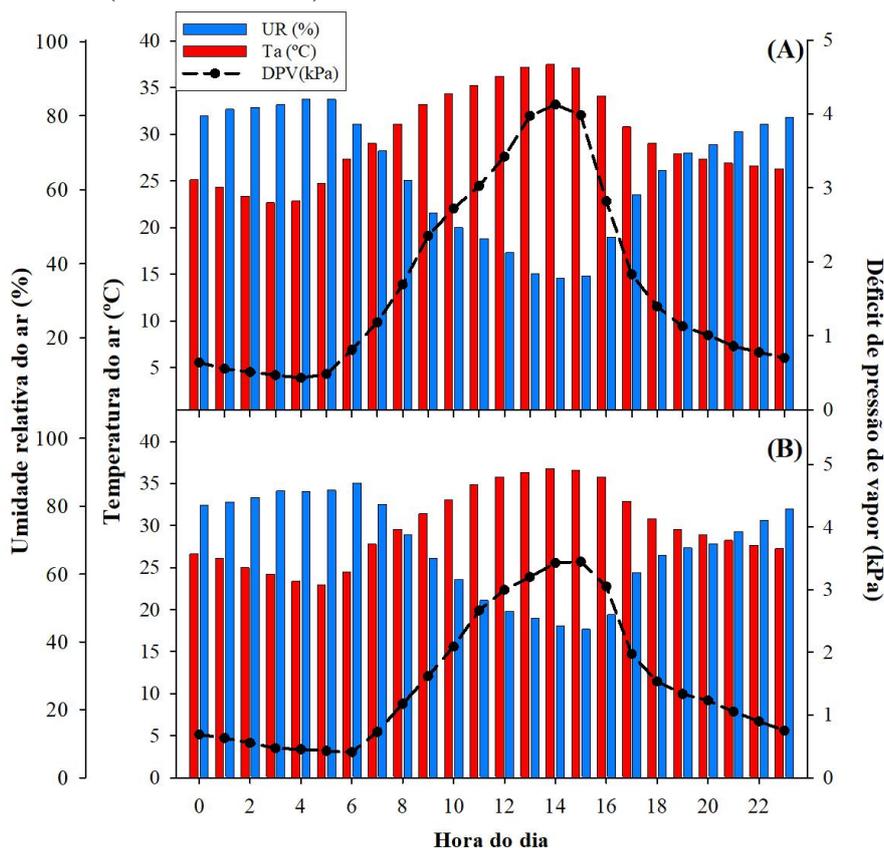


Fonte: elaborado pelo autor

Na Figura 14, os valores apresentados individualizam a tendência de variação dos parâmetros meteorológicos ( $T_a$ , UR e DPV) no decorrer dos dias em que as plantas estavam a 45 DAT no ciclo 1 e aos 42 DAT no ciclo 2. Notadamente, esses dias caracterizam a fase de

floração e frutificação do meloeiro nos respectivos ciclos, e também, concomitantemente, nesses dias foram realizadas as demais avaliações apresentadas neste trabalho, com exceção das que são dependentes da colheita.

**Figura 14** - Médias horárias da temperatura do ar ( $T_a$ , °C), umidade relativa do ar (UR, %) e déficit de pressão de vapor (DPV, kPa) monitorados (A) aos 45 DAT no 1º ciclo (ago-set de 2021) e (B) aos 42 DAT no 2º ciclo (nov-dez de 2021).



Fonte: elaborado pelo autor

Inicialmente é observado na Figura 14 que os extremos dos parâmetros meteorológicos (médias mínimas e máximas) ocorrem respectivamente nos ciclos entre 05h e 06h, e no intervalo entre 14h e 15h. Também é notado que a variação diária dos parâmetros avaliados em ambos os dias monitorados apresentam tendência semelhantes (Figura 14), tal que se presume que este fato possa ser explicado em função do clima semiárido da região, e do período não-chuvoso em que este trabalho foi conduzido (agosto a dezembro), com dias ensolarados e condições climáticas típicas da estação seca, respectivamente abrangendo inverno e primavera.

Sendo assim, faz-se necessário o entendimento da interação entre os parâmetros apresentados no sistema atmosfera. O DPV, conforme relatado por Du et al. (2019) e por Song

et al. (2021), reflete o estado da umidade atmosférica e é considerada a principal força motriz do movimento da água no sistema vascular das plantas, ou seja, é uma medida direta da força de dessecação atmosférica (GROSSIORD et al., 2020), representando a diferença entre a pressão de vapor de água de saturação ( $e_s$ ), impulsionada apenas pela temperatura - aumentando durante os períodos de alta (ondas de calor), seguindo uma relação não linear (LAWRENCE, 2005; De BOECK et al., 2010), e a pressão de vapor real do ar ( $e_a$ ), dependente da umidade relativa do ar (MONTEITH e UNSWORTH, 1990; GROSSIORD et al., 2020). Corroborando com Reichardt e Timm (2012), essas relações resultam das características termodinâmicas do ar próximo a superfície do solo, regendo o comportamento do vapor na atmosfera, com a temperatura do ar atuando diretamente na capacidade do ar de reter vapor.

Adicionalmente, essas características termodinâmicas do ar ocorrem em função da radiação solar, cuja energia líquida e disponível - resultante após os fenômenos de absorção e difusão, e do balanço de radiações - adiciona calor e, conseqüentemente, causa o aumento de temperatura, elevando-a a partir de um valor mínimo ( $T_{mín}$ ) na madrugada até alcançar um valor máximo ( $T_{máx}$ ) à tarde. No entanto, em temperaturas aquém ou além das temperaturas limites basais inferior e superior a atividade biológica é mínima (RICHARDT e TIMM, 2012). Para os dias monitorados neste trabalho, os valores de  $T_{mín}$  e  $T_{máx}$  observados foram respectivamente 22,7 e 37,5 °C aos 45 DAT no 1º ciclo, e 22,9 e 36,8 °C aos 42 DAT no 2º ciclo (Figura 14), sendo estes valores suportáveis pelo meloeiro, cuja faixa ideal situa-se entre 25 °C e 35 °C (COSTA, 2010; BEZERRA et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017a).

Assimilando a variação dos parâmetros meteorológicos com as relações hídricas no sistema planta-atmosfera, é observado que a passagem de água da planta para a atmosfera, em forma de vapor (transpiração foliar,  $E$ ), ocorre simultaneamente à absorção de gás carbônico ( $CO_2$ ) pelos estômatos das plantas, sendo esse processo denominado condutância estomática ( $g_s$ ) e definida como uma medida do fluxo em que ocorrem as trocas gasosas (entrada de  $CO_2$  e saída de vapor de água) nas folhas (TAIZ e ZEIGER, 2006; TAIZ et al., 2017). Contudo, os valores observados para  $g_s$  são dependentes do movimento estomático de abertura e/ou fechamento, sendo este determinado pelo deslocamento das paredes das células-guarda adjacentes ao poro estomático, devido a mudanças na turgescência celular e a ocorrência de gradientes no potencial hídrico tanto entre como dentro dos tecidos da planta (BUCKLEY, 2019). O autor *opcit* ainda comenta que o efeito direto e imediato de um declínio no potencial hídrico do solo é um declínio igual no potencial hídrico em todos os pontos da planta, causando, conseqüentemente, diminuição na condutância estomática como resultado de *feedbacks* negativos.

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados obtidos na análise de variância ANOVA para as variáveis condutância estomática (*gs*) e transpiração foliar (*E*), avaliadas neste trabalho. Nota-se que, conforme apresentado, para ambas as variáveis houve variação significativa ( $P < 0,01$ ) entre os tratamentos de irrigação aplicados. As médias obtidas, quando submetidas ao teste de Tukey ( $P < 0,05$ ), também demonstraram ser estatisticamente diferentes (Figura 15).

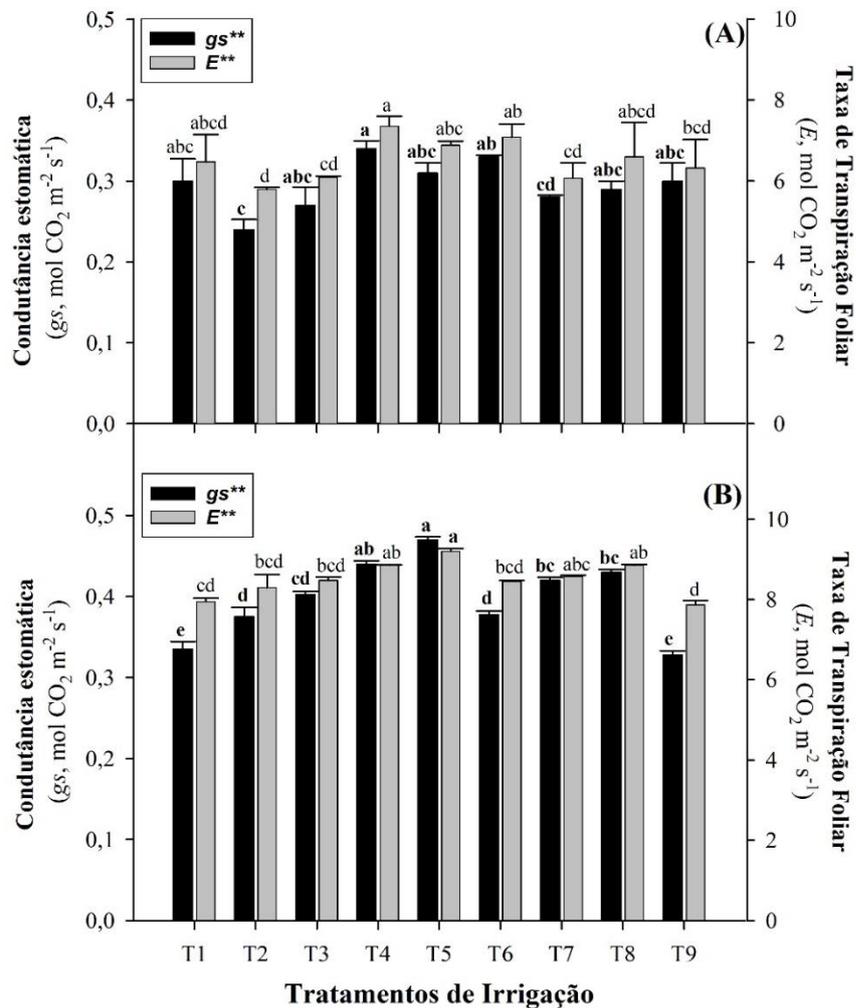
**Tabela 6** - Análise de variância ANOVA para a condutância estomática (*gs*) e transpiração foliar (*E*) obtidos em 2 ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez- de 2021).

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		Ciclo 1		Ciclo 2	
		<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>
Bloco	3	0,001781 <sup>ns</sup>	2,225425 <sup>**</sup>	0,000077 <sup>ns</sup>	0,119292 <sup>ns</sup>
Tratamentos	8	0,004132 <sup>**</sup>	1,052206 <sup>**</sup>	0,009181 <sup>**</sup>	0,749449 <sup>**</sup>
Erro	24	0,00091	0,149406	0,000208	0,077971
Total corrigido	35				
CV (%)		10,27	5,93	3,63	3,28

FV – fonte de variação; GL – graus de liberdade; ns – não significativo; \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Analisando a Figura 15, observa-se que as taxas obtidas evidenciam comportamentos, em parte, semelhantes aos encontrados por Vieira *et al.* (2019) com o melão amarelo e pele de sapo na região do Vale do São Francisco. Relacionando as taxas gasosas de condutância estomática (*gs*) e transpiração foliar (*E*) com a condição de reposições FDI, os citados autores observaram menor taxa de *gs* na menor reposição (50% da ETc), discordando com os resultados aqui encontrados, onde a menor reposição hídrica propiciou valores de *gs*, maiores que nas reposições T1 e T2, respectivamente 125% e 100% da ETc. O mesmo não acontecendo quanto a taxa de transpiração foliar (*E*), onde foi encontrado, para o melão amarelo, valor maior na menor reposição testada (50% da ETc), corroborando com os resultados aqui obtidos. Observa-se ainda uma notória elevação nas taxas *gs* e *E* para o ciclo 2 em comparação ao primeiro ciclo.

**Figura 15** - Trocas gasosas ( $g_s$  e  $E$ ) observadas (A) aos 45 DAT no ciclo 1 (ago-set de 2021) e (B) aos 42 DAT no ciclo 2 (nov-dez de 2021), em função de reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI) na cultura do meloeiro.



\*\* - significativo a 1% pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Fonte: elaborado pelo autor

Em relação aos tratamentos referentes à RDI, seus resultados diferenciam-se tanto entre os ciclos, como entre tratamentos correspondentes do FDI, conforme pode ser observado a resposta dos tratamentos T2 (FDI), T5 e T8 (RDI), que na fase avaliada recebiam reposição de 100% da  $ET_c$ . As demais correspondências nessa fase eram os tratamentos T3, T6 e T7 que recebiam 75% da  $ET_c$ , e os tratamentos T4 e T9, que recebiam 50% da  $ET_c$ . É importante frisar que essas correspondências se diferenciavam nas demais fases fisiológicas. Dito isso, é provável que a divergência nos resultados dos tratamentos RDI proceda de adaptações das plantas à disponibilidade hídrica resultante das diferentes reposições entre fases. Tal fato foi observado por Zwirter (2013) na cultura do sorgo, onde as plantas anteriormente irrigadas com 100% da  $ET_c$ , apresentaram diferenças fisiológicas após sofrerem uma redução da aplicação de água. Ferreira (2018) trabalhando com déficits de irrigação em amendoeiras observou que sob déficit

sustentado (100% de ETc, exceto durante o período de enchimento da semente e pré-colheita, quando este tratamento foi irrigado com ~ 50% de ETc), a condutância estomática (gs) alterou-se de acordo com a quantidade de água aplicada.

Para embasar e reforçar o que até aqui foi exposto, consideremos os seguintes pontos relacionados do contínuo sistema solo-planta-atmosfera:

- a) Primeiro ponto: as plantas por serem sésseis são capazes de adaptar sua fisiologia a fatores externos, influenciando na alteração da distribuição e função estomática (DRIESEN *et al.*, 2020). As células-guarda por perceberem várias sugestões ambientais, respondem otimizando as trocas gasosas para maximizar a taxa fotossintética evitando o estresse hídrico. No curto prazo, essa resposta corresponde ao ajuste no fechamento estomático, no longo prazo, responde a regulação da densidade estomática nas folhas em desenvolvimento (PILLITTERI e TORII, 2012; ZOULIAS *et al.*, 2018; HAWORTH *et al.*, 2011; CASSON *et al.*, 2009);
- b) Segundo ponto: conforme Grossiord *et al.* (2020), o DPV é um dos principais determinantes dos recursos hídricos globais e das relações hídricas das plantas, que quando alto, normalmente faz com que as plantas fechem seus estômatos para minimizar a perda de água e evitar a tensão crítica da água dentro do xilema (RUNNING, 1976), e ocasiona simultaneamente aumento na taxa de transpiração até um ponto, após o qual permanece alto ou começa a diminuir (FRANKS *et al.*, 1997), e resulta em taxas aumentadas de perda de água de solos úmidos, causando secagem e aquecimento das superfícies terrestres e contribuindo para eventos de seca mais frequentes e severos e estresse hídrico das plantas (DAI, 2013). Devido a relação entre o aquecimento do ar e a quantidade de vapor que o ar pode conter na saturação - pressão de vapor de água de saturação (es) (BOHREN *et al.*, 2000) – os impactos do DPV na fisiologia das plantas, na maioria dos estudos empíricos, estão associados à temperatura e à radiação solar, e também ao aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> (GROSSIORD *et al.*, 2020);
- c) Terceiro ponto: Buckley (2019) comenta que em angiospermas, a inflação passiva das células epidérmicas em alto potencial hídrico empurra as células-guarda fazendo com que os estômatos se fechem em vez de se abrirem, com isso, o autor explana que o modelo conceitual mais simples e intuitivamente óbvio da resposta dos estômatos aos fatores ambientais que

influenciam o estado da água da folha – onde o estado da água controla a condutância estomática ( $g_s$ ) passivamente, simplesmente inflando e desinflando as células guarda estomáticas em relação ao potencial hídrico predominante da folha, e assim abrindo e fechando o poro estomático – é fundamentalmente incorreto, devido ao fato de ignorar o efeito oposto das células epidérmicas adjacentes. Sendo assim, para que o alto potencial hídrico de água abra os estômatos, o efeito epidérmico deve ser superado. Conforme Buckley (2005; 2019), um mecanismo provável para conseguir isso é o *feedback* hidroativo, que em hipótese, unifica parcimoniosamente as respostas estomáticas a qualquer fator que influencie o potencial hídrico da folha, incluindo mudanças na umidade, umidade do solo e transporte de água pelas plantas, sob o guarda-chuva de um único mecanismo;

- d) Quarto ponto: notadamente, Buckley (2019) e Grossiord *et al.* (2020) abordam o fato de os estômatos abrirem-se transitoriamente antes de fecharem como resposta a um aumento da perda ou diminuição do suprimento de água. Em angiospermas, essa abertura transitória ocorre após qualquer perturbação hidráulica (BUCKLEY, 2019), incluindo uma mudança na demanda evaporativa (MOTT *et al.*, 1997), potencial da água da fonte (COMSTOCK e MENCUCCINI, 1998), condutância hidráulica (SALIENDRA *et al.*, 1995) ou excisão foliar (POWLES *et al.*, 2006).

Embora as respostas estomáticas às variações ambientais sejam complexas de se compreender, neste trabalho, presume-se que as condições ambientais referentes à Tar, DPV e UR no horário mensurado ainda propiciavam às plantas submetidas ao tratamento T4, uma viabilidade no fluxo vapor - CO<sub>2</sub>, explicando taxas elevadas de  $g_s$  para este tratamento nos dois ciclos, especialmente no 1º ciclo, sendo que à medida que a perda de água para a atmosfera fosse aumentando (representada pelo aumento do DPV), as mesmas tenderiam a fechar seus estômatos, devido à baixa disponibilidade hídrica no solo, fazendo jus às reposições hídricas.

Nos tratamentos T1 (FDI – 125% ETc) e T2 (FDI – 100% ETc), suas respostas são em função do mesmo motivo, baixo DPV, só que devido as perdas para a atmosfera estarem baixas, a saturação no mesófilo, devido ao alto potencial nesses tratamentos, causou uma pressão fechando parcialmente os estômatos, conforme comentado por Buckley (2019), acarretando as baixas taxas de  $g_s$  e E apresentadas, que momentos depois, com o aumento do DPV apresentariam taxas consideradas normais e condizentes com as reposições.

O mesmo pode ser replicado para os tratamentos RDI, contudo, nestes tratamentos também há a influência da morfologia da planta, cuja estrutura foi maiormente desenvolvida na fase específica, a de crescimento vegetativo (fase II), com uma reposição diferente à aplicada na fase em que os dados apresentados acima foram colhidos. Associado a estes fatos, as respostas de trocas gasosas obtidas tanto para a FDI quanto para a RDI, ainda devem estar relacionadas com a folha selecionada, que foi a quarta a partir do ápice, onde no caso, provavelmente seria mais benéfico a escolha de uma folha mais morfológicamente madura, que já teria sua densidade estomática estabelecida. Segundo Driesen et al. (2020), a densidade de estômatos é apontada como uma resposta adaptativa das plantas às condições ambientais.

## **5.2 Relações hídricas em função de irrigações fixas (FDI) e reguladas (RDI) no meloeiro**

Valendo-se das variáveis avaliadas, as relações hídricas em função da FDI e da RDI no meloeiro foram caracterizadas através de regressões.

Na tabela 7 estão apresentados os resultados da análise de variância ANOVA ( $P < 0,05$ ) das variáveis avaliadas no monitoramento da resposta do meloeiro às reposições fixas (FDI) e reguladas (RDI). Denota-se que a resposta do potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ ) e da umidade do solo (US) em relação aos tratamentos de irrigação aplicados apresentaram-se estatisticamente significativos a 0,1%, em ambos os ciclos conduzidos. Ainda na tabela 7, observa-se que os índices térmicos, nos três horários em que foram avaliados, também apresentaram resposta estatística significativa a 0,1%, sendo semelhantes em ambos os ciclos.

Na tabela 8, onde estão apresentados as médias obtidas para as variáveis citadas, os valores apresentados para as lâminas de irrigação acumuladas correspondem à ETC de cada tratamento monitorada até o final da terceira fase fisiológica do melão (fase III - floração e frutificação), condizente com as variáveis apresentadas.

**Tabela 7** - Análise de variância ANOVA para o potencial hídrico foliar ( $\Psi F$ ), umidade do solo ( $U_s$ ) e para os índices térmicos  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e  $I_G$  nos respectivos horários de 08 h, 12 h e 16 h, referentes a 2 ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021).

		QUADRADOS MÉDIOS				
FV	GL	Ciclo 1			Ciclo 2	
		$\Psi F$	$U_s$	$\Psi F$	$U_s$	
Bloco	3	0,015556 <sup>ns</sup>	3,396400*	0,056410*	1,425296 <sup>ns</sup>	
Tratamentos	8	0,146944**	4,870161**	0,177769**	4,703486**	
Erro	24	0,018056	0,820833	0,017535	0,499296	
Total corrigido	35					
CV (%)		15,12	7,83	17,23	5,83	

FV	GL	$\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ - Ciclo 1			$\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ - Ciclo 2		
		08 h	12h	16 h	08 h	12h	16 h
Bloco	3	0,017037 <sup>ns</sup>	0,043981 <sup>ns</sup>	0,126296 <sup>ns</sup>	0,219630*	0,158056 <sup>ns</sup>	0,505463*
Trat.	8	1,127986**	9,344028**	6,660625**	14,979861**	7,096944**	10,480486**
Erro	24	0,036412	0,090231	0,098588	0,055046	0,154722	0,090671
Total corrigido	35						
CV (%)		2,31	5,05	4,89	2,11	5,86	9,35

		CWSI - Ciclo 1			CWSI - Ciclo 2		
Bloco	3	0,000144 <sup>ns</sup>	0,000063 <sup>ns</sup>	0,000700 <sup>ns</sup>	0,000462*	0,000529 <sup>ns</sup>	0,003441*
Trat.	8	0,005911**	0,022307**	0,033403**	0,035878**	0,025009**	0,063481**
Erro	24	0,000194	0,000234	0,000492	0,000145	0,000527	0,000564
Total corrigido	35						
CV (%)		9,16	11,42	9,95	8,02	18,82	9,31

		$I_G$ - Ciclo 1			$I_G$ - Ciclo 2		
Bloco	3	0,201462 <sup>ns</sup>	0,085936 <sup>ns</sup>	1,119455*	0,608811*	0,053930 <sup>ns</sup>	1,595581*
Trat.	8	12,5968**	47,85601**	35,99018**	142,95582**	133,53012**	15,62994**
Erro	24	0,736112	1,052269	0,348392	0,189697	0,844834	0,432256
Total corrigido	35						
CV (%)		14,22	12,64	13,19	5,11	9,32	17,38

FV – fonte de variação; GL – graus de liberdade;  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  – diferença entre o dossel e o ar; CWSI – crop water stress index;  $I_G$  – índice de condutância estomática; ns – não significativo; \*, \*\* significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

**Tabela 8** - Teste de Tukey das médias das variáveis de potencial hídrico foliar ( $\Psi F$ , MPa), umidade do solo (US, g g<sup>-1</sup>) e dos índices térmicos  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e IG nos respectivos horários de 08 h, 12 h e 16 h, referentes a 2 ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021). A L.acum corresponde a lâmina acumulada até o final da fase fenológica III, correspondente aos dados apresentados.

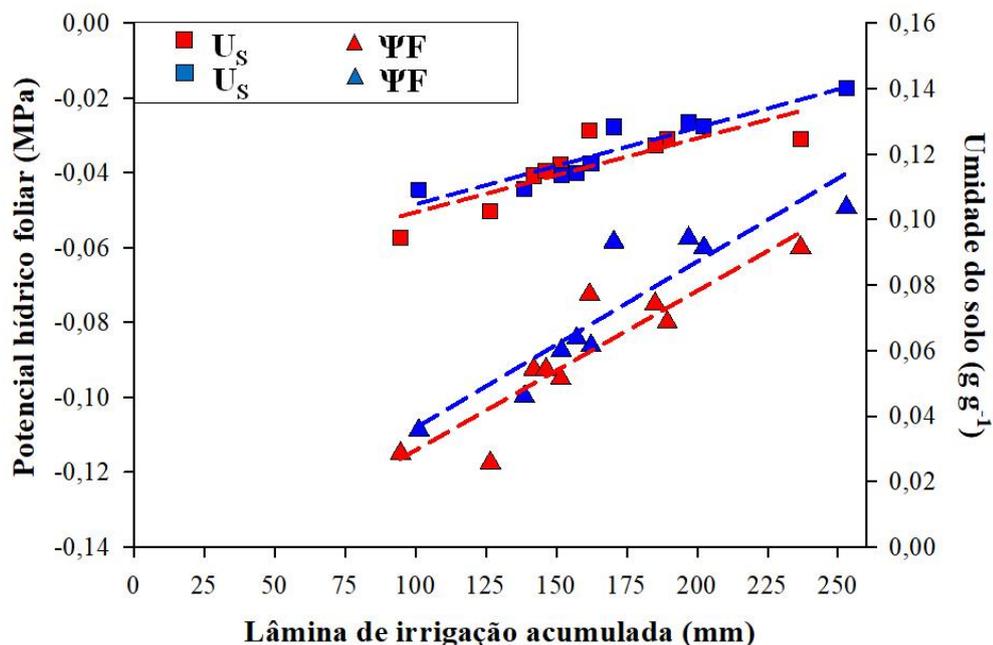
<b>CICLO 1</b>												
Var. Trat.	L.acum	$\Psi F$	Us	$\Delta T_{\text{dossel-ar}}$			CWSI			IG		
				08 h	12h	16 h	08 h	12h	16 h	08 h	12h	16 h
<b>T1</b>	236,7	-0,06c	0,125a	-2,5e	-5,4e	-5,6f	0,10d	0,07e	0,08f	9,67a	13,97a	11,70a
<b>T2</b>	189,4	-0,08bc	0,125a	-2,0cd	-5,0de	-4,5e	0,13c	0,09de	0,16e	6,76bc	10,63b	5,55b
<b>T3</b>	142	-0,093ab	0,113abc	-1,7bcd	-4,25c	-3,5cd	0,16bc	0,13c	0,23cd	5,58bc	7,49d	3,49cd
<b>T4</b>	94,7	-0,115a	0,094c	-0,6a	-0,45a	-1,3a	0,23a	0,31a	0,39a	3,29d	2,24e	1,59e
<b>T5</b>	185,1	-0,075bc	0,123ab	-2,1de	-4,9cde	-4,1de	0,13cd	0,09cde	0,19de	6,93b	9,96bc	4,41bc
<b>T6</b>	151,5	-0,095ab	0,117ab	-1,7bcd	-4,3c	-3,3c	0,16bc	0,13c	0,24c	5,55bc	7,27d	3,13cd
<b>T7</b>	146,4	-0,093ab	0,115abc	-1,6bc	-4,5cd	-3,3c	0,16bc	0,11cd	0,24c	5,27bcd	7,94cd	3,16cd
<b>T8</b>	161,8	-0,073bc	0,127a	-1,9cd	-4,8cde	-4,4e	0,13c	0,10cde	0,17e	6,58bc	9,28bcd	5,09b
<b>T9</b>	126,6	-0,118a	0,102bc	-1,4b	-2,9b	-2,2b	0,18b	0,19b	0,32b	4,70cd	4,28e	2,17de
<b>CICLO 2</b>												
<b>T1</b>	253,01	-0,049c	0,140a	-1,03d	-4,63d	-8,45c	0,05d	0,04c	0,12c	20,19a	21,32a	7,10a
<b>T2</b>	202,41	-0,060bc	0,129ab	-0,33c	-4,18bcd	-7,90c	0,08c	0,08bc	0,17c	11,43c	12,70b	5,14b
<b>T3</b>	151,80	-0,088ab	0,114bc	1,58b	-3,52b	-7,03b	0,17b	0,11b	0,24b	4,77d	8,06c	3,30c
<b>T4</b>	101,20	-0,109a	0,109c	4,30a	-1,20a	-4,28a	0,31a	0,25a	0,45a	2,26e	3,20d	1,24d
<b>T5</b>	196,94	-0,058bc	0,130ab	-0,53cd	-4,10bcd	-7,88c	0,07cd	0,08bc	0,17c	12,81b	12,06b	4,89b
<b>T6</b>	162,32	-0,086ab	0,117bc	1,35b	-3,48bc	-6,85b	0,16b	0,11b	0,25b	5,17d	7,08c	3,18c
<b>T7</b>	157,27	-0,084ab	0,114bc	1,15b	-3,30b	-6,75b	0,15b	0,12b	0,26b	5,48d	7,22c	2,88c
<b>T8</b>	170,43	-0,059bc	0,128ab	-0,45c	-4,25cd	-7,95c	0,08cd	0,07bc	0,17c	12,08bc	13,60b	5,24b
<b>T9</b>	138,65	-0,100a	0,109c	3,9a	-0,93a	-3,95a	0,29a	0,27a	0,48a	2,48e	2,79d	1,11d

Var. – variáveis; Trat. - tratamentos de irrigação; L.acum – lâminas de irrigação acumuladas (mm). Médias na vertical seguidas pela mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Anterior às regressões entre variáveis, é válido destacar os resultados do tratamento T1 (125% ETc), que estão condizentes com o excedente hídrico imposto, embora semelhante ao T2 (100% ETc) na US no ciclo 1. Outro destaque é a proximidade das médias nos tratamentos correspondentes (T2, T5 e T8 com 100% ETc; T3, T6 e T7 com 75% da ETc; e, T4 e T9 com 50% ETc), o que nos permite alegar que as respostas das plantas do meloeiro observadas pelos índices térmicos são visivelmente semelhantes termograficamente, refletindo diretamente o estado da água da planta decorrente do aporte hídrico realizado naquela referida fase fisiológica, não sendo dependente do estresse imposto na fase anterior.

Correlacionando as lâminas acumuladas com o  $\Psi_F$  e a  $U_S$  (Figura 16), observa-se que em ambos os ciclos essa relação apresentou forte correlação, com a interação L.acum x  $U_S$  no ciclo 1 apresentando um valor de  $R^2$  igual a 0,7 com o modelo linear significativo a 1%, enquanto que nas outras interações os coeficientes foram superiores a 0,8 e os modelos apresentando significância a  $P < 0,001$ , conforme apresentado na Tabela 9.

**Figura 16** - Correlação entre as lâminas acumuladas (mm) com o potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ , símbolos triangulares) e com a umidade do solo ( $U_S$ , símbolos quadrados). As lâminas correspondem ao acumulado até o final da fase III, em que foram coletados os dados (45 DAT e 42 DAT, respectivamente no 1º e 2º ciclo). Os símbolos em vermelhos representam os dados do ciclo 1; os em azul, representam os dados do ciclo 2.



Fonte: Elaborado pelo autor

**Tabela 9** - Equações resultantes das regressões decorrentes das interações entre as lâminas acumuladas (L.acum) com o potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ ) e com a umidade do solo ( $U_S$ ), referentes a 2 ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021).

	<b>CICLO 1</b>	<b>CICLO 2</b>
<b>Interação</b>	<b>Equação</b>	<b>Equação</b>
<b>L.acum x <math>\Psi_F</math></b>	$y = -0,157 + 4,260e^{-004}x$ $R^2 = 0,82; P = 0,0007$	$y = -0,153 + 4,446e^{-004}x$ $R^2 = 0,83; P = 0,0006$
<b>L.acum x <math>U_S</math></b>	$y = 0,08 + 2,261e^{-004}x$ $R^2 = 0,7; P = 0,005$	$y = 0,081 + 2,341e^{-004}x$ $R^2 = 0,87; P = 0,0002$

Medições quinzenais do  $\Psi_F$  e da  $U_S$  no meloeiro realizadas por Aragão (2019) – o que configura uma medição por fase fenológica - demonstraram que as maiores diferenças entre os regimes de irrigação são observadas aos 45 DAT, sendo mais acentuadas em solos sem cobertura vegetal morta, corroborando com os dados aqui apresentados. Porém, comparando-se as médias do  $\Psi_F$  entre os trabalhos, percebe-se que uma diferença de 5% no excesso pode causar uma diferença aproximada de -0,02 MPa, enquanto que 10% em déficits acentuados pode ser de aproximadamente -0,24 MPa. Os excessos e os déficits acentuados foram 125% e 50% da ETc neste trabalho, e 120% e 40% da ETc em Aragão (2019). Semelhanças são observadas em relação à  $U_S$ , concordando desta forma com Buckley (2019), no que diz respeito a relação entre os gradientes de potencial hídrico no contínuo solo-planta.

Suplementar à  $U_S$ , é esperado que o conteúdo de água na camada efetiva de raízes do meloeiro dos tratamentos RDI mantenham-se numa condição média de estresse, entre o déficit severo aplicado e a condição adequada, aproximando mais destes extremos conforme o percentual da ETc aplicado na fase, como foi o caso deste trabalho, onde foram obtidas médias próximas entre os tratamentos correspondentes, ressaltando que a mudança na reposição também acarretaria mudanças no teor de umidade do solo, conforme observado por Lagos *et al.* (2017), Cotrim *et al.* (2017) e Blanco *et al.* (2019), sendo essa variação mais perceptível nas primeiras camadas do solo. Neste trabalho foram nos primeiros 0,1 m, no kiwi, Lagos *et al.* (2017) observaram nos primeiros 0,3 m.

### 5.2.1 *Relação entre trocas gasosas e índices térmicos*

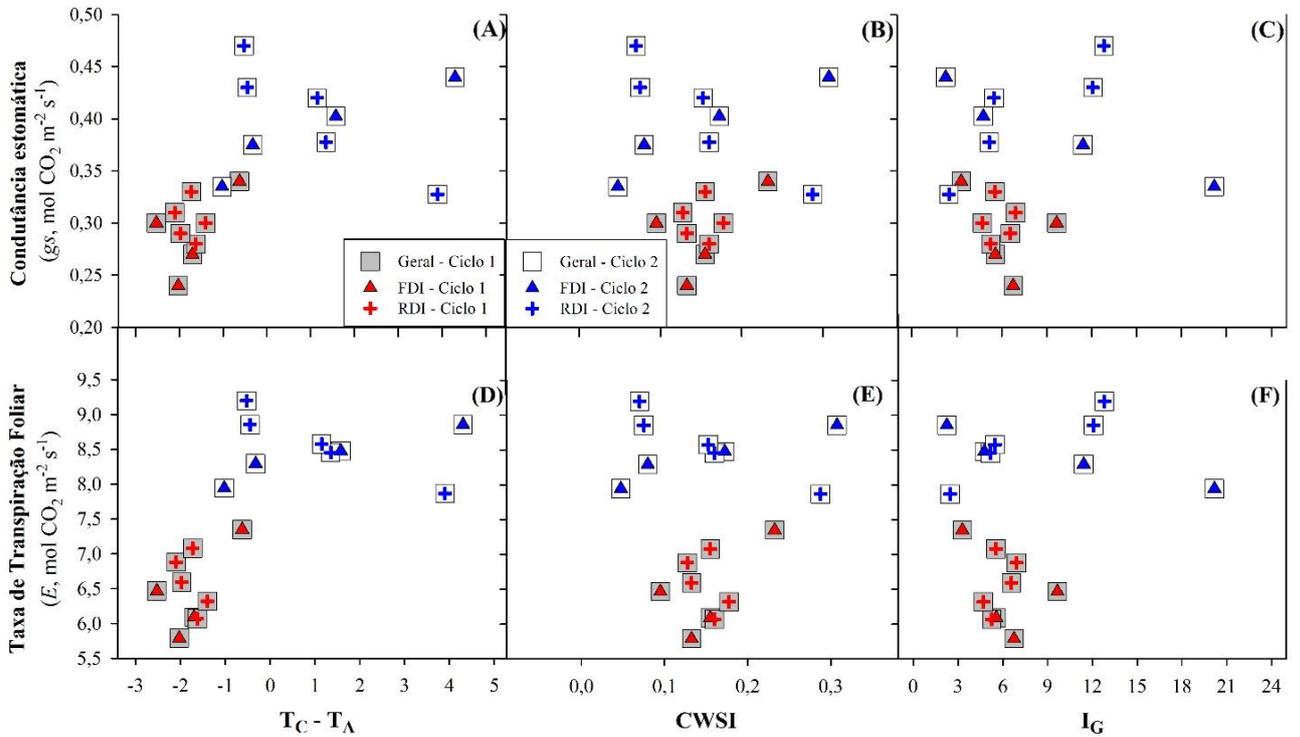
Condizentes com o horário em que foram coletadas as trocas gasosas, para esta relação foram utilizados os índices térmicos calculados com as medições realizadas às 08 h.

Na figura 17 encontram-se apresentados a distribuição da gs e da E em função dos índices térmicos. Denota-se que ambas as variáveis coletadas no ciclo 2 (quadrados brancos e símbolos internos azuis) são superiores às obtidas no ciclo 1 (quadrados cinzas e símbolos internos vermelhos). Também é visto que em ambos os ciclos, a relação geral entre as respostas obtidas (sem distinção de FDI e RDI) não apresenta distribuição condizente com o modelo de regressão linear, sendo observados valores de  $R^2$  de até 0,2 sem significância, em ambos os ciclos, tanto para a gs como para a E (Tabela 10). Embora não tenha sido realizadas regressões polinomiais quadráticas, acredita-se que os coeficientes também não seriam tão robustos.

Para compreender essa relação geral entre as variáveis, devemos inicialmente considerar, também de forma geral, como estava a reposição hídrica às plantas em função dos tratamentos: condição excedente (T1 - 125% da ETc), condição ideal (T2, T5 e T8 - 100% da ETc), déficit moderado (T3, T6 e T7 - 75% da ETc) e déficit severo (T4 e T9 - 50% da ETc). Conforme comentado anteriormente, as trocas gasosas não foram fisiologicamente condizentes, de forma passiva, com as reposições hídricas, devido as condições ambientais no horário monitorado. Contudo, quando as respostas das reposições são vistas através da termografia, observa-se que os tratamentos submetidos às mesmas restrições hídricas na fase avaliada apresentam respostas próximas e condizentes, com os índices térmicos do ciclo 1 envoltos numa escala inferior à do ciclo 2 (Figura 17).

Neste trabalho, observa-se que os valores do  $\Delta T(T_c - T_a)$  obtidos no ciclo 2 estão condizentes com os observados por Aragão (2019) para a mesma região (semiárido), cultura e fase fenológica, e período de condução (nov-dez), que variaram entre -3,3 a 3,7 em solos sem cobertura vegetal.

**Figura 17** - Regressão entre a condutância estomática ( $g_s$ ) e transpiração foliar ( $E$ ) com os índices térmicos  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e  $I_G$  obtidos às 8:00h em ambos os ciclos conduzidos, respectivamente aos 45 DAT (ciclo 1, ago-set de 2021) e aos 42 DAT (ciclo 2, nov-dez de 2021). Quadrado cinza, triângulo e cruz em vermelhos correspondem ao ciclo 1; quadrado branco, triângulo e cruz em azul correspondem ao ciclo 2; triângulos e cruzes representam os tratamentos FDI e RDI, respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor

**Tabela 10** - Coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e significância estatística (p - valor) das regressões lineares entre as trocas gasosas ( $gs$  e  $E$ ) e os índices térmicos ( $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ ,  $CWSI$  e  $I_G$ ), referentes a 2 ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021).

Interação	Ciclo 1		
	Geral	FDI	RDI
$\Delta T_{\text{dossel-ar}} \times gs$	$Y = 0,340 + 0,025x$ $R^2 = 0,20; P = 0,233$	$Y = 0,342 + 0,032x$ $R^2 = 0,36; P = 0,402$	$Y = 0,286 - 0,009x$ $R^2 = 0,02; P = 0,831$
$\Delta T_{\text{dossel-ar}} \times E$	$Y = 7,211 + 0,399x$ $R^2 = 0,17; P = 0,269$	$Y = 7,457 + 0,601x$ $R^2 = 0,51; P = 0,286$	$Y = 5,172 - 0,803x$ $R^2 = 0,30; P = 0,339$
$CWSI \times gs$	$Y = 0,242 + 0,353x$ $R^2 = 0,20; P = 0,229$	$Y = 0,221 + 0,434x$ $R^2 = 0,35; P = 0,410$	$Y = 0,311 - 0,062x$ $R^2 = 0,004; P = 0,916$
$CWSI \times E$	$Y = 5,674 + 5,540x$ $R^2 = 0,17; P = 0,266$	$Y = 5,155 + 8,254x$ $R^2 = 0,50; P = 0,292$	$Y = 8,077 - 9,891x$ $R^2 = 0,25; P = 0,393$
$I_G \times gs$	$Y = 0,328 - 0,005x$ $R^2 = 0,098; P = 0,411$	$Y = 0,325 - 0,006x$ $R^2 = 0,14; P = 0,632$	$Y = 0,291 + 0,002x$ $R^2 = 0,008; P = 0,884$
$I_G \times E$	$Y = 7,020 - 0,084x$ $R^2 = 0,084; P = 0,450$	$Y = 7,230 - 0,127x$ $R^2 = 0,25; P = 0,501$	$Y = 5,269 + 0,227$ $R^2 = 0,26; P = 0,375$
Ciclo 2			
$\Delta T_{\text{dossel-ar}} \times gs$	$Y = 0,40 - 0,002x$ $R^2 = 0,01; P = 0,823$	$Y = 0,368 + 0,018x$ $R^2 = 0,93; P = 0,038$	$Y = 0,436 - 0,028x$ $R^2 = 0,88; P = 0,018$
$\Delta T_{\text{dossel-ar}} \times E$	$Y = 8,535 - 0,029x$ $R^2 = 0,016; P = 0,743$	$Y = 8,22 + 0,154x$ $R^2 = 0,93; P = 0,035$	$Y = 8,88 - 0,267x$ $R^2 = 0,94; P = 0,006$
$CWSI \times gs$	$Y = 0,404 - 0,045x$ $R^2 = 0,008; P = 0,821$	$Y = 0,333 + 0,365x$ $R^2 = 0,92; P = 0,041$	$Y = 0,491 - 0,579x$ $R^2 = 0,88; P = 0,019$
$CWSI \times E$	$Y = 8,592 - 0,594x$ $R^2 = 0,017; P = 0,739$	$Y = 7,917 + 3,140x$ $R^2 = 0,93; P = 0,037$	$Y = 9,403 - 5,452x$ $R^2 = 0,94; P = 0,0061$
$I_G \times gs$	$Y = 0,404 - 8,08e^{-004}x$ $R^2 = 0,010; P = 0,796$	$Y = 0,440 - 0,005x$ $R^2 = 0,95; P = 0,027$	$Y = 0,325 + 0,011x$ $R^2 = 0,79; P = 0,046$
$I_G \times E$	$Y = 8,540 - 0,004x$ $R^2 = 0,004; P = 0,879$	$Y = 8,832 - 0,045x$ $R^2 = 0,92; P = 0,043$	$Y = 7,828 + 0,100x$ $R^2 = 0,86; P = 0,023$

Fonte: elaborado pelo autor

FDI – irrigação por déficit fixo; RDI – Irrigação por déficit regulado

Analisando a relação das trocas gasosas em função dos índices térmicos, agora separando os tratamentos de acordo com o método de reposição hídrica, é observado uma melhora nos valores do  $R^2$  para a reposição FDI no ciclo 1 em ambas as interações (Tabela 10). No entanto, para a RDI, a interação entre a  $gs$  com os índices térmicos apresentou valores inferiores em comparação com a relação geral, com  $R^2$  de até 0,02. No ciclo 2, tanto para FDI quanto para RDI é observado que em ambas as interações, os valores do  $R^2$  passaram a ser mais robustos, sendo todos superiores a 0,75 e significativos a 5% de probabilidade. É válido ressaltar que em todos os casos, os resultados são de regressões lineares.

Relações entre índices térmicos e trocas gasosas realizadas por García-Tejero *et al.* (2016) também demonstraram baixas correlações às 08h entre a  $gs$  com o  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , com o

CWSI e com o  $I_G$  para duas variedades de videiras submetidas a irrigação por déficit sustentado (SDI) e irrigação por déficit regulado (RDI), acontecendo o mesmo quando as avaliações foram realizadas às 20 h, e diferenciando quando os dados foram coletados às 11h, 14 h e 17h onde as correlações foram mais robustas.

Adicionalmente, relações entre a  $g_s$  e  $E$  com os índices térmicos  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  e CWSI realizadas por García-Tejero *et al.* (2017a) apresentaram relações não significativas quando utilizado informações térmicas coletadas da parte superior de plantas oliveiras às 8:30h, enquanto que em horários mais estressantes, como às 12:30h, todas as correlações apresentaram coeficientes robustos e significativos a 1%. Em amendoeiras, García-Tejero *et al.* (2018a) observou que a relação entre a  $g_s$  e os índices térmicos apresentaram correlações em diferentes horários do dia, contudo, às 8:30h apenas o CWSI apresentou correlação significativa, com o  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  e o  $I_G$  sendo não significativos. Correlações da  $g_s$  em função do CWSI e do  $I_G$  realizadas por Belfiore *et al.* (2019) com videiras (variedades Merlot e Moscato) e coleta de dados nas horas mais quentes do dia (entre 13:00h e 14:30h) apresentaram  $R^2$  entre 0,5 e 0,85, significativas a 0,1% ( $p < 0,001$ ). Ressalta-se que em ambos os trabalhos as plantas estavam submetidas a diferentes estratégias de irrigação.

Tais resultados corroboram com a ocorrência da interação entre os parâmetros meteorológicos (Tar, UR e DPV) ainda não propiciarem condições estressantes nas primeiras horas do dia (até às 8:30) conforme a literatura citada e os resultados observados neste trabalho com a cultura do meloeiro, cujo a estrutura, morfologia e hábito de crescimento são diferentes das culturas citadas - coincidindo também com o ajuste estomático das plantas à relação entre a perda de água para a atmosfera e a disponibilidade no solo, que à medida que o poder secante da atmosfera aumenta e se mantém numa faixa estressante (coincidentemente nas horas de maior incidência da radiação solar) tende a ocorrer correlações significativas nas variáveis respostas das plantas representadas pela  $g_s$  e  $E$  e pelos índices térmicos.

### 5.2.2 *Relação entre o índice térmico $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ ( $T_c - T_a$ ) em função do potencial hídrico foliar e da umidade do solo*

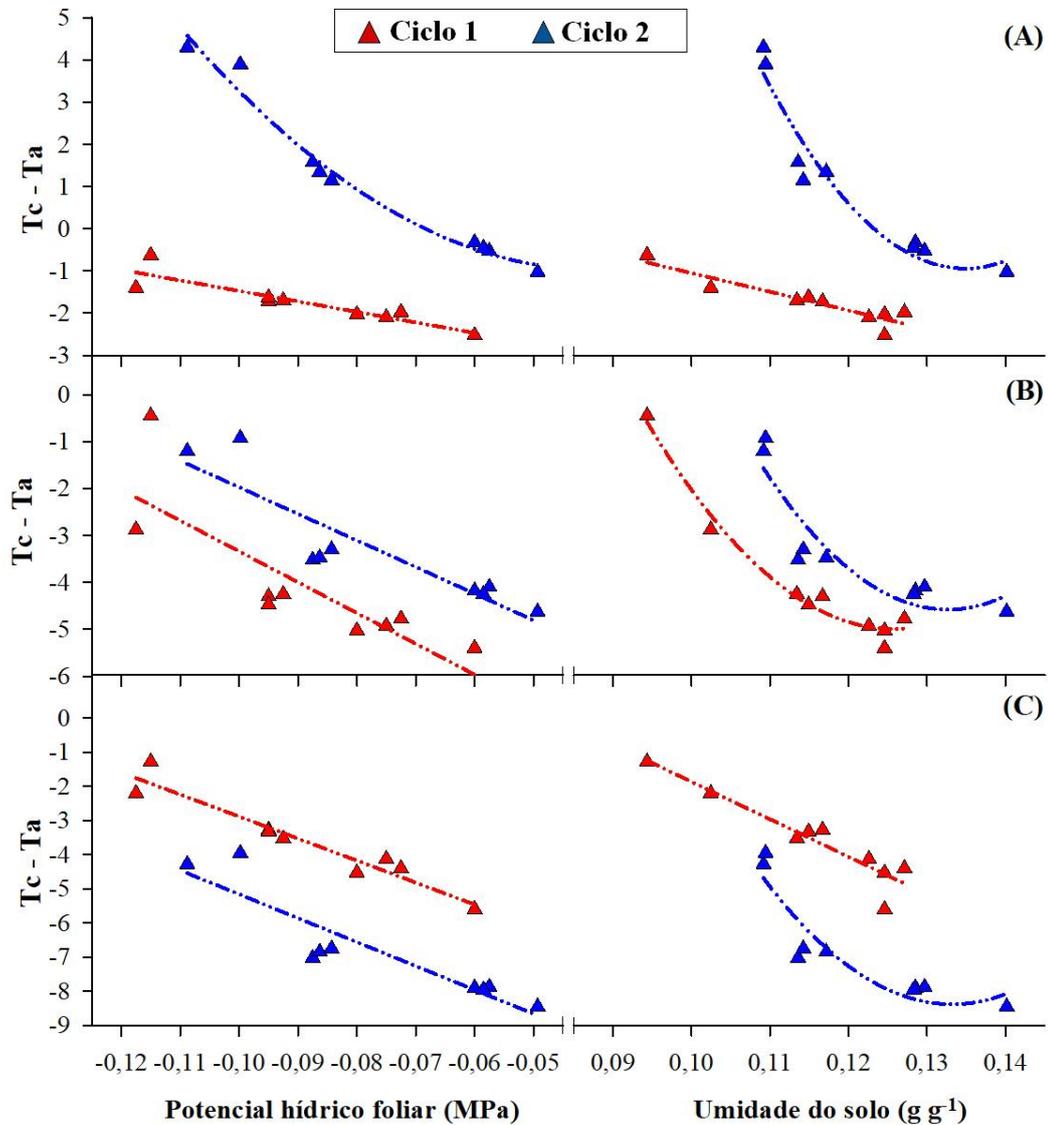
A literatura disponível e abarcante de estudos relacionados à imposição de estresses hídricos às plantas tem consagrado o potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ ) como uma ótima variável resposta das plantas ao estresse hídrico, sobretudo em situações de reposições deficitárias. Contudo, variação no  $\Psi_F$  só ocorre devido a variações na água disponível para a planta, aqui representado pela umidade do solo ( $U_S$ ), explicando a relação entre essas duas variáveis. Conforme Buckley (2019), o efeito direto e imediato de um declínio no potencial hídrico do solo é um declínio igual no potencial hídrico em todos os pontos da planta.

Variações no potencial hídrico no sistema solo-planta influenciam diretamente no turgor das folhas, que, por conseguinte são espelhados pela resposta térmica observada na termografia. Tal fato corrobora com as correlações obtidas entre os índices térmicos em função do  $\Psi_F$  e da  $U_S$ , como o que pode ser observado na Figura 18 para o índice  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ .

As relações apresentadas para os horários de 12 h (Fig. 18B) e 16 h (Fig. 18C) foram realizadas utilizando valores de  $\Psi_F$  e  $U_S$  obtidos pela manhã (08 h). No entanto, conforme observado, esse fato não interfere negativamente nas relações apresentadas, uma vez que menores valores do  $\Psi_F$  coincidem com os menores valores do  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , caracterizando o conforto hídrico das plantas. A mesma tendência é observada para a  $U_S$ , sendo observado coincidência quando os dados expressam deficiência hídrica.

Ao observarmos as médias do  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  entre os ciclos, observa-se certa semelhança apenas às 12h, onde as médias concentraram-se numa escala entre 0,0 e -5,5. Às 08h é visto que as médias do ciclo 2 distribuem-se numa escala maior que o ciclo 1, enquanto que às 16h o intervalo das escalas é semelhante, mas com as médias do ciclo 2 sendo menores, atingindo valores inferiores a -8,0. Atribui-se a esses resultados: 1) a estação climática – inverno no ciclo 1 e primavera no ciclo 2; 2) a interação e variação dos parâmetros meteorológicos, que proporcionam condições mais estressantes às 12h, sendo 08h e 16h menos estressantes; 3) o microclima local – diferente entre os ciclos, foi percebido mais seco no ciclo 2 (dados não apresentados), devido a característica de desfolha da caatinga no período não chuvoso (ALBUQUERQUE e BANDEIRA 1995; LEAL *et al.*, 2003), que na vegetação circundante à área experimental demonstrou-se mais acentuada no 2º ciclo conduzido. Corroboram com o que foi dito as observações realizadas por Fitter and Fitter (2002), Morison e Morecroft (2008) e Shoa *et al.* (2021).

**Figura 18** - Relação entre o índice térmico  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  em função do potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ ) e da umidade do solo (US) para dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI). (A) corresponde aos dados térmicos obtidos às 8 h; (B) aos obtidos às 12 h, e (C) aos obtidos às 16 h. Os dados foram coletados aos 45 DAT no ciclo 1 (ago-set de 2021) e aos 42 DAT no ciclo 2 (nov-dez de 2021). Triângulos e linhas em vermelho representam o ciclo 1; triângulos e linhas em azul representam o ciclo 2.



Fonte: Elaborado pelo autor

No contexto de monitoramento de status hídrico das plantas através de dados térmicos infravermelhos, é visto na literatura que em trabalhos anteriores as relações foram realizadas utilizando o índice térmico  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  (valendo também para o CWSI e  $I_G$ ) para estimar a resposta fisiológica  $\Psi_F$ , ou o conteúdo de água no solo. Entre os quais faz-se referência a Möller *et al.* (2007); Zia *et al.* (2011), Thaghvaeian *et al.* (2012); Gonzalez-Dugo *et al.* (2012; 2014); Ballester *et al.* (2013a), Rios (2014, 2016), Poblete-Echeverría *et al.* (2014), García-Tejero *et al.* (2012; 2016; 2017a; 2017b; 2018a; 2018b), Egea *et al.* (2017), Costa *et al.*

(2020), Ranilovic *et al.* (2021), entre outros, abrangendo diferentes culturas, horários de medição, estratégias de irrigação e ambiente de condução (campo e ambiente protegido).

Contudo, neste trabalho a relação entre as variáveis foi realizada de forma inversa, e conforme apresentado na Tabela 11, vê-se que não influenciou na significância do modelo ajustado (linear e polinomial quadrático, selecionado conforme o *p*-valor), com todos apresentando significância igual ou inferior a 0,1%, justificando o fato de ambas as variáveis expressarem de forma consistente o status hídrico das plantas, bem como o potencial uso dos índices térmicos para o manejo da irrigação.

Corroboram com as relações aqui realizadas o trabalho de Ben-Gal *et al.* (2009) com oliveiras, García-Tejero *et al.* (2011) com citros, Ballester *et al.* (2013b) com citrus e caqui, Viana *et al.* (2015) com morango, Costa *et al.* (2019) e Valín *et al.* (2019) com vinhas, e Blaya-Ros *et al.* (2020) com cerejeiras. No meloeiro, correlações realizadas por Aragão (2019) apresentaram  $R^2$  de 0,83 e 0,88 para o  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  em função do  $\Psi F$  e da  $U_s$ , respectivamente.

**Tabela 11** - Regressões do índice térmico  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  em função do potencial hídrico foliar ( $\Psi F$ ) e da umidade do solo ( $U_s$ ), obtidas para os dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021). As equações foram escolhidas conforme a significância (*p*-valor).

<b>CICLO 1</b>			
<b>Interação</b>	<b>08 h</b>	<b>12 h</b>	<b>16 h</b>
<b><math>\Psi F \times \Delta T</math></b>	$Y = -3,967 - 24930x$ $R^2 = 0,82; P = 0,0008$	$Y = -9,906 - 65,647x$ $R^2 = 0,68; P = 0,006$	$Y = -9,334 - 64,494x$ $R^2 = 0,93; P < 0,0001$
<b><math>U_s \times \Delta T</math></b>	$Y = 3,38 - 44,312x$ $R^2 = 0,85; P = 0,0004$	$Y = 65,83 - 1126,61x + 4480,12x^2$ $R^2 = 0,97; P < 0,0001$	$Y = 9,120 - 109,852x$ $R^2 = 0,88; P = 0,0002$
<b>CICLO 2</b>			
<b><math>\Psi F \times \Delta T</math></b>	$Y = 0,774 + 89,692x + 1145,88x^2$ $R^2 = 0,98; P < 0,0001$	$Y = -7,643 - 56,677x$ $R^2 = 0,81; P = 0,001$	$Y = -12,169 - 70,081x$ $R^2 = 0,83; P = 0,0006$
<b><math>U_s \times \Delta T</math></b>	$Y = 126,64 - 1892,29x + 7017,24x^2$ $R^2 = 0,93; P = 0,0003$	$Y = 91,646 - 1450,84x + 5468,71x^2$ $R^2 = 0,84; P = 0,0044$	$Y = 105,402 - 1708,62x + 6414,33x^2$ $R^2 = 0,85; P = 0,0031$

### 5.2.3 Relação entre o índice térmico CWSI em função do potencial hídrico foliar e umidade do solo

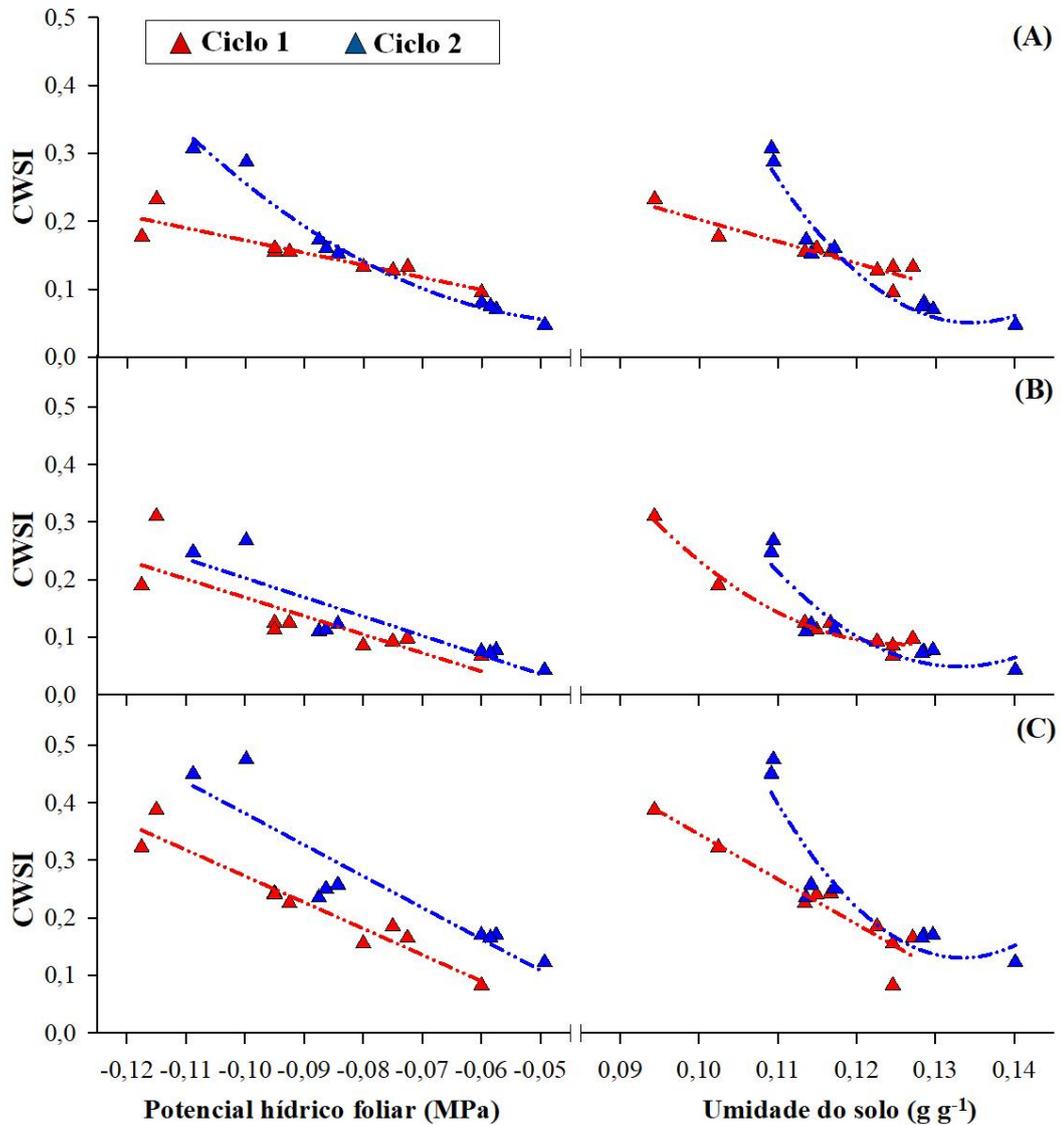
Apresentado no início da década de 1980, e podendo ser calculado de maneira empírica (IDSO *et al.*, 1981) e teórica (JACKSON *et al.* 1981), o CWSI atualmente é o

indicador termal mais usado para avaliar o estado da água das plantas (GONZALEZ-DUGO e ZARCO-TEJADA, 2022), sendo atribuída pela literatura uma acurada robustez em comparação ao  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , em razão da maneira em que se procede sua obtenção, que baseia-se na normalização dos limites inferior ( $T_{\text{wet}}$ ) e superior ( $T_{\text{dry}}$ ), representando respectivamente a cultura bem irrigada e quando os estômatos estão totalmente fechados, e valores obtidos variando de 0 (sem estresse hídrico) a 1 (totalmente estressada). Para mais detalhes, ver Maes e Steppe (2012).

Não obstante, os valores para o CWSI obtidos nesta pesquisa encontram-se apresentados na Figura 19. Os dados obtidos foram plotados igualmente ao  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , e denota-se que também são condizentes com os limites obtidos para o  $\Psi F$  e para a  $U_s$ , mas sem uma grande variação entre ciclos ou entre horários, com os valores obtidos às 08h e 12h inseridos no intervalo entre 0,0 e 0,3, e os de 16h atingindo um valor máximo de 0,39 para o T4 (FDI) no ciclo 1 e 0,48 para o T9 (RDI) no ciclo 9, ambos com reposição de 50% da  $ET_c$  na fase avaliada. Valores semelhantes, também para o meloeiro, foram obtidos por Silva *et al.* (2007), que ao aplicar irrigações fixas - tratamento controle correspondendo a 75% da evaporação do tanque classe A, e os demais correspondendo a 90, 80 e 70% do tratamento controle – obteve CWSI médio do ciclo variando entre 0,23 e 0,39, com os valores oscilando em torno de 0,2 entre 28 e 50 dias após a semeadura, em cada tratamento. Ferreira (1995) aponta que o CWSI de 0,3 pode ser um valor limite para iniciar a irrigação no meloeiro sem que haja prejuízo para a cultura, uma vez que o autor também observou grande variabilidade do índice térmico durante a condução do experimento.

Em relação aos modelos que melhor se ajustaram, observa-se que o linear foi o melhor para o CWSI em função do  $\Psi F$  às 12h e 16h em ambos os ciclos; quando em função da  $U_s$ , o melhor foi o quadrático às 12h. Para as demais relações, os modelos foram diferentes entre os ciclos. Em todos os casos, os modelos apresentaram-se significativos a partir de 1% (Tabela 12).

**Figura 19** - Relação entre o índice térmico CWSI em função do potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ ) e da umidade do solo (US) para dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI). (A) corresponde aos dados térmicos obtidos às 8 h; (B) aos obtidos às 12 h, e (C) aos obtidos às 16 h. Os dados foram coletados aos 45 DAT no ciclo 1 (ago-set de 2021) e aos 42 DAT no ciclo 2 (nov-dez de 2021). Triângulos e linhas em vermelho representam o ciclo 1; triângulos e linhas em azul representam o ciclo 2.



Fonte: elaborado pelo autor.

**Tabela 12** - Regressões do índice térmico CWSI em função do potencial hídrico foliar ( $\Psi_F$ ) e da umidade do solo ( $U_S$ ), obtidas para os dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021). As equações foram escolhidas conforme a significância (p-valor).

<b>CICLO 1</b>			
<b>Interação</b>	<b>08 h</b>	<b>12 h</b>	<b>16 h</b>
<b><math>\Psi_F</math> x CWSI</b>	$Y = -0,010 - 1,819x$ $R^2 = 0,83; P = 0,0006$	$Y = -0,152 - 3,210x$ $R^2 = 0,68; P = 0,0059$	$Y = -0,184 - 4,562x$ $R^2 = 0,92; P < 0,0001$
<b><math>U_S</math> x CWSI</b>	$Y = 0,525 - 3,222x$ $R^2 = 0,86; P = 0,0004$	$Y = 3,482 - 53,839x + 213,459x^2$ $R^2 = 0,97; P < 0,0001$	$Y = 1,126 - 7,810x$ $R^2 = 0,89; P = 0,0001$
<b>CICLO 2</b>			
<b><math>\Psi_F</math> x CWSI</b>	$Y = 0,149 + 4,795x + 58,62x^2$ $R^2 = 0,98; P < 0,0001$	$Y = -0,131 - 3,339x$ $R^2 = 0,79; P = 0,0013$	$Y = -0,164 - 5,454x$ $R^2 = 0,83; P = 0,0006$
<b><math>U_S</math> x CWSI</b>	$Y = 6,405 - 94,459x + 351,019x^2$ $R^2 = 0,93; P = 0,0003$	$Y = 5,547 - 82,651x + 310,626x^2$ $R^2 = 0,82; P = 0,0060$	$Y = 8,824 - 130,311x + 488,332x^2$ $R^2 = 0,85; P = 0,0033$

Analisando a literatura observa-se que o uso do CWSI vem demonstrando bons resultados no monitoramento do status hídrico da planta, com valores variando conforme a sazonalidade diária e ao longo ciclo da cultura, justificado pela percepção da planta às condições impostas, conforme observado por Erdem *et al.* (2005; 2006), Agam *et al.* (2013), Sezen *et al.* (2014), García-Tejero *et al.* (2017a), Ghazouani *et al.* (2017), Blaya-Ros *et al.* (2020), entre outros.

Comparando os índices térmicos  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  e CWSI e considerando os resultados obtidos nesta pesquisa, são ponderadas as seguintes observações: 1) as diferenças entre ciclos observadas neste trabalho são mais notáveis com o  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , especialmente nas horas menos estressantes (08h e 16h), possivelmente devido esse índice ser mais sensível à variação e influência ambiental, por ser propriamente a diferença de temperatura entre a planta e o ar; 2) o CWSI reduz ao mínimo o efeito das diferenças de microclima local entre ciclos, justificado pela sua robustez que considera a normalização das temperaturas limites superior e inferior, corroborando para com os dados apresentados na Figura 19, sobretudo quando a irrigação é adequada ou com déficit moderado (100 e 75% da  $ET_c$  respectivamente); 3) um horário propício para coleta de dados térmicos para fins de manejo é às 12h. Segundo os dados obtidos nesta pesquisa, foi esse horário onde as médias apresentaram menor variação entre os ciclos, sendo observado tanto no índice  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  quanto no CWSI. Resultados semelhantes foram observados para citros (melhor horário entre 11:20 e 12:00) por Gonzalez-Dugo *et al.* (2014),

e para amendoeiras por García-Tejero *et al.* (2018a) (melhor horário entre 11:30 e 14:00) e por Gutiérrez-Gordillo *et al.* (2020) (melhor horário entre 12:00 e 13:30).

#### **5.2.4 Relação entre o índice térmico $I_G$ em função do potencial hídrico foliar e umidade do solo**

Apresentado por Jones (1999), o índice de condutância estomática ( $I_G$ ) foi proposto inicialmente como uma ferramenta para o monitoramento do estresse hídrico das plantas em ambientes úmidos, uma vez que, segundo o autor, a termometria infravermelha amplamente utilizada em climas áridos, não era confiável em climas úmidos mais frios. Através de manipulações matemáticas que partiram da equação que embasa o CWSI, e utilizando diferentes superfícies de referência (para  $T_{dry}$  e para  $T_{wet}$ ), entre as abordagens realizadas pelo autor, uma apresentou melhor linearidade com a condutância estomática da folha medida com porômetro, sendo a partir de então, a equação utilizada para calcular um índice proporcional à condutância estomática, estimado diretamente da termometria infravermelha.

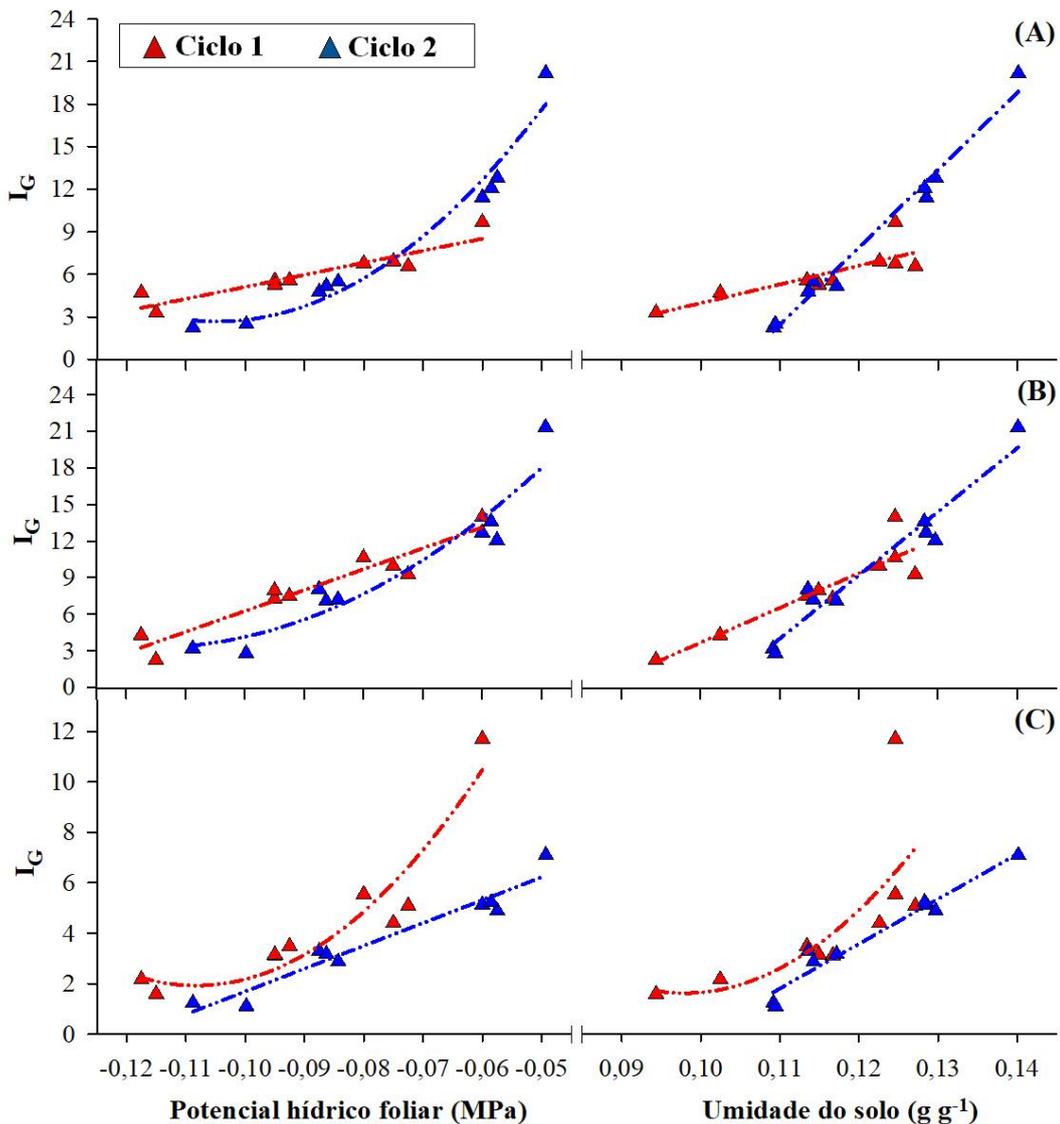
Jones *et al.* (2002) avaliando o  $I_G$  em videiras maduras, submetidas a diferentes tratamentos de irrigação, obteve correlação positiva com a condutância estomática, com os valores do  $I_G$  variando entre 0,0 e 2,0. Intrínseco aos resultados do  $I_G$  obtidos para o meloeiro neste trabalho, é observado que em trabalhos anteriores, os valores para condições bem irrigadas não se apresentam superiores a 5,0, conforme pode ser confirmado em Grant *et al.* (2006; 2016), Costa *et al.* (2012), Pou *et al.* (2014), García-Tejero *et al.* (2016), Valín *et al.* (2019), Belfiore *et al.* (2019) e Gautam e Pagay (2020).

Na Figura 20 observa-se que nesse trabalho, os valores mais próximos da faixa encontrada nos trabalhos anteriores foram às 16h, com as médias concentradas entre 1,0 e 5,5, respectivamente nos tratamentos com 50% e 100% da  $ET_c$  em ambos os ciclos conduzidos. Nos outros horários monitorados e para os tratamentos com reposições correspondentes, a faixa oscilou entre 3,0 e 6,0 às 08h e entre 2,0 e 10,0 às 12h no ciclo 1, enquanto que no ciclo 2 a faixa foi entre 2,0 e 11,0 às 08h e entre 3,0 e 12,0 quando monitorado às 12h. Para o tratamento T1, onde a reposição era excedente, ou seja, bem irrigado, maiores valores foram observados para às 08h e 12h no ciclo 2, com média em torno de 20,0, enquanto no ciclo 1, maior média foi no horário de 12h, com um valor aproximado de 14,0.

Assim como o  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  e o CWSI, o  $I_G$  em função do  $\Psi_F$  e da  $U_s$  apresentou correlações significativas menores que 1% com  $R^2$  superiores a 0,6 (Tabela 13). A exceção foi às 16h no ciclo 1, onde não foi observado significância, e o  $R^2$  foi de 0,49. Esse resultado pode

estar relacionado ao fato do IG do T1 ter se apresentado superior ao dobro dos obtidos para os tratamentos com 100% da  $ET_c$  (T2, T5 e T8), apresentando-se como um outline.

**Figura 20** - Relação entre o índice térmico  $I_G$  em função do potencial hídrico foliar ( $\Psi_f$ ) e da umidade do solo (US) para dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI). (A) corresponde aos dados térmicos obtidos às 08 h; (B) aos obtidos às 12 h, e (C) aos obtidos às 16 h. Os dados foram coletados aos 45 DAT no ciclo 1 (ago-set de 2021) e aos 42 DAT no ciclo 2 (nov-dez de 2021). Triângulos e linhas em vermelho representam o ciclo 1; triângulos e linhas em azul representam o ciclo 2.



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme observado e comentado por Maes e Steppe (2012), os dados de entrada do  $I_G$  são os mesmos usados para o cálculo do CWSI, e embora os valores do  $I_G$  aqui obtidos estejam superiores aos obtidos em trabalhos anteriores, ainda se encontram de acordo com a equação a relação apresentada por Maes e Steppe (2012), onde  $CWSI = (1 + I_G)^{-1}$ . Ressalta-se

que o CWSI utilizado pelos autores é o obtido por uma abordagem direta, contudo, análogo às abordagens analítica (teórica) (JACKSON *et al.*, 1981) e empírica (IDSO *et al.*, 1981). Tal fato não causa implicações quando utilizado os dados obtidos desta pesquisa na relação citada, como por exemplo as médias do IG e do CWSI no tratamento T4 às 08h no ciclo 1, que foram respectivamente 3,29 e 0,23, ou o tratamento T2, também às 08h no ciclo 2, com médias de 11,43 e 0,08. Para todas as médias obtidas em todos os tratamentos, horários e ciclos aqui obtidas, a relação  $CWSI = (1 + IG)^{-1}$  apresenta-se condizente.

Ainda em relação as médias de IG aqui obtidas, ressalta-se que os valores obtidos são inerentes à cultura do melão em região quente, haja visto que nos trabalhos anteriores citados acima as culturas eram videiras e amendoeiras. Na cultura do pepino, pertencente à mesma família do meloeiro, Kaukoranta *et al.* (2005) encontraram valores de IG de até aproximadamente 6,0, em condições de ambiente protegido com iluminação suplementar de 18h e 22h, no inverno da Finlândia. Ressalta-se também que até este trabalho, ainda não havia resultados do índice IG para a cultura do meloeiro, especialmente submetidas a diferentes estratégias e tratamentos de irrigação, em condições de campo.

**Tabela 13** - Regressões do índice térmico IG em função do potencial hídrico foliar ( $\Psi F$ ) e da umidade do solo ( $U_s$ ), obtidas para os dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021). As equações foram escolhidas conforme a significância (p-valor).

<b>CICLO 1</b>			
<b>Interação</b>	<b>08 h</b>	<b>12 h</b>	<b>16 h</b>
<b><math>\Psi F \times IG</math></b>	Y = 13,610 + 84,951x R2 = 0,85; P = 0,0004	Y = 23,40 + 171,394x R2 = 0,91; P < 0,0001	Y = 45,014 + 796,091x + 3676,977x <sup>2</sup> R2 = 0,89; P = 0,0015
<b><math>U_s \times IG</math></b>	Y = -9,214 + 131,865x R2 = 0,67; P = 0,0067	Y = -24,805 + 284,687x R2 = 0,83; P = 0,0007	Y = 66,27 - 1320,472x + 6743,149x <sup>2</sup> R2 = 0,49; P = 0,1338
<b>CICLO 2</b>			
<b><math>\Psi F \times IG</math></b>	Y = 57,49 + 1047,13x + 5000,988x <sup>2</sup> R2 = 0,96; P < 0,0001	Y = 48,62 + 780,511x + 3357,278x <sup>2</sup> R2 = 0,90; P = 0,0009	Y = 10,756 + 90,681x R2 = 0,94; P < 0,0001
<b><math>U_s \times IG</math></b>	Y = -57,628 + 54,010x R2 = 0,98; P < 0,0001	Y = -53,279 + 520,533x R2 = 0,94; P < 0,0001	Y = -17,731 + 177,598x R2 = 0,95; P < 0,0001

### 5.2.5 Correlação entre os índices térmicos

A objetividade do uso dos índices térmicos, desde suas apresentações à comunidade científica, tem apresentado resultados satisfatórios a diferentes culturas e ambientes. Em relação

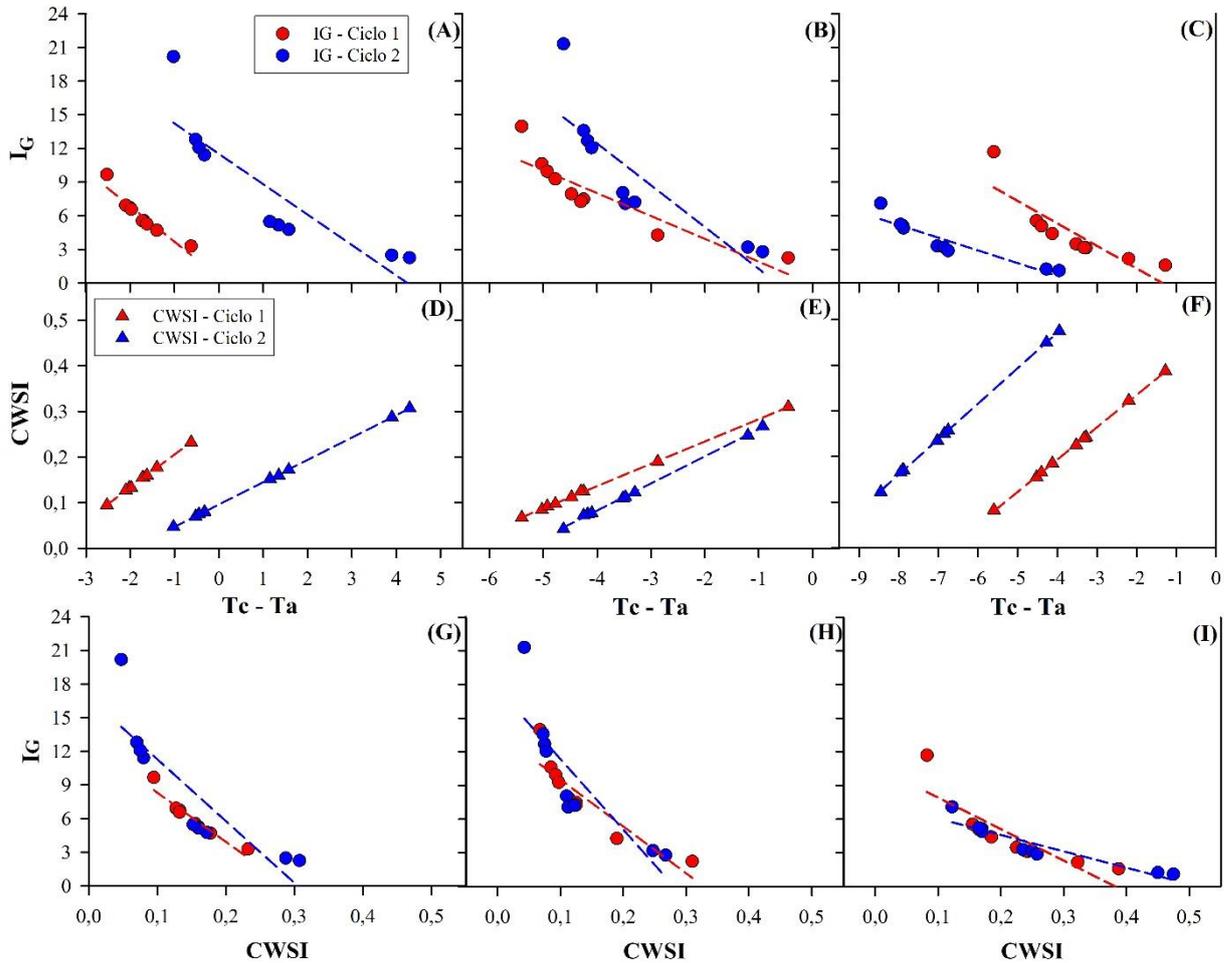
à sazonalidade diária, a relação entre dados térmicos e outras formas de monitorar o estresse hídrico - como potencial hídrico, trocas gasosas e umidade do solo - tem sido variável durante o dia, com horários mais estressantes (entre 11:00 e 14:00) apresentando as melhores relações, conforme observado na proximidade das médias entre ciclos dos índices térmicos aqui obtidos às 12:00, e nos trabalhos de Gonzalez-Dugo *et al.* (2014), García-Tejero *et al.* (2018a) e Gutiérrez-Gordillo *et al.* (2020).

Embora os índices térmicos representem adequadamente a proposta de monitoramento de estresse hídrico dentro de suas particularidades, até o momento ainda não se encontra implícito qual o mais adequado para fins de programação de irrigação, ainda que Erdem *et al.* (2005) tenham obtido bons resultados ao irrigar a melancia utilizando diferentes níveis do CWSI. Segundo os autores, quando o valor de CWSI avaliado atingia o nível estabelecido, realizava-se irrigação até a capacidade de campo, com isso, eles obtiveram maiores eficiência de uso da água irrigando quando a melancia apresentava CWSI de 0,6.

No contexto de manejo de irrigação e seguindo os resultados de Erdem *et al.* (2005), é visto que o CWSI foi utilizado para responder a pergunta básica de “quando irrigar?”, o que supõe-se que o mesmo poderia ser realizado com o  $I_G$ , uma vez que os dados de entrada são os mesmos. Para a mesma finalidade, o  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  também seria útil, e com mais praticidade, por não necessitar das temperaturas de referência  $T_{\text{dry}}$  e  $T_{\text{wet}}$ , contudo, ele apresenta a desvantagem de ser mais influenciado pelas condições climáticas que o CWSI (García-Tejero *et al.*, 2018a), logo, mais que o  $I_G$  também.

Adicionalmente, observando a Figura 21 e a Tabela 14, no meloeiro, para as condições deste trabalho, ambos os índices poderiam ser utilizados como indicadores de “quando irrigar?”, explicado pelas correlações acima de 0,7 com significância menor ou igual a 1%. As correlações do CWSI em função do  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , aqui consideradas perfeitas por apresentarem  $R^2$  de 0,99 e 1,0 com significância inferior a 0,1%, são justificadas pelo fato de que o  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  em função da variação diária, em determinado momento do dia pode caracterizar a diferença de temperatura das referências seca e úmida (como exemplo, as  $T_c$  dos tratamentos de maior déficit e reposição excedente, que como sugerem, podem ser utilizadas como  $T_{\text{dry}}$  e  $T_{\text{wet}}$ , respectivamente). O mesmo pode ser empregado quando consideramos as correlações do  $I_G$  em função do  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , que embora as correlações não tenham sido “perfeitas” como observado no CWSI, ainda proporcionaram bons resultados, com coeficientes  $R^2$  superiores a 0,7 e significância menor que 1%.

**Figura 21** - Correlação entre os índices térmicos avaliados em dois ciclos da cultura do meloeiro submetida a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI). (A, D e G) correspondem aos dados térmicos obtidos às 08 h; (B, E e H) aos obtidos às 12 h, e (C, F e I) aos obtidos às 16 h. Os dados foram coletados aos 45 DAT no ciclo 1 (ago-set de 2021) e aos 42 DAT no ciclo 2 (nov-dez de 2021). Símbolos e linhas em vermelho representam o ciclo 1; símbolos e linhas em azul representam o ciclo 2.



Fonte: elaborado pelo autor

**Tabela 14** - Equações resultantes das regressões lineares entre os índices térmicos  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e  $I_G$ , avaliados em dois ciclos da cultura do meloeiro submetidos a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), correspondendo respectivamente aos 45 DAT (ago-set de 2021) e 42 DAT (nov-dez de 2021).

<b>CICLO 1</b>			
<b>Interação</b>	<b>08 h</b>	<b>12 h</b>	<b>16 h</b>
<b><math>\Delta T \times \text{CWSI}</math></b>	$Y = 0,278 + 0,072x$ $R^2 = 0,99; P < 0,0001$	$Y = 0,332 + 0,049x$ $R^2 = 1,00; P < 0,0001$	$Y = 0,476 + 0,071x$ $R^2 = 1,00; P < 0,0001$
<b><math>\Delta T \times I_G</math></b>	$Y = 0,521 - 3,161x$ $R^2 = 0,90; P = 0,0001$	$Y = - 0,134 - 2,036x$ $R^2 = 0,81; P = 0,001$	$Y = -2,715 - 2,006x$ $R^2 = 0,75; P = 0,0027$
<b><math>\text{CWSI} \times I_G</math></b>	$Y = 12,684 - 43,755x$ $R^2 = 0,90; P < 0,0001$	$Y = 13,707 - 41,755x$ $R^2 = 0,81; P = 0,0009$	$Y = 10,733 - 28,096x$ $R^2 = 0,73; P = 0,003$
<b>CICLO 2</b>			
<b><math>\Delta T \times \text{CWSI}</math></b>	$Y = 0,096 + 0,049x$ $R^2 = 1,00; P < 0,0001$	$Y = 0,320 + 0,059x$ $R^2 = 0,99; P < 0,0001$	$Y = 0,783 + 0,078x$ $R^2 = 1,00; P < 0,0001$
<b><math>\Delta T \times I_G</math></b>	$Y = 11,513 - 2,709x$ $R^2 = 0,77; P = 0,0019$	$Y = - 2,460 - 3,726x$ $R^2 = 0,73; P = 0,0034$	$Y = -3,913 - 1,135x$ $R^2 = 0,86; P = 0,0003$
<b><math>\text{CWSI} \times I_G</math></b>	$Y = 16,795 - 55,076x$ $R^2 = 0,76; P = 0,002$	$Y = 17,654 - 62,845x$ $R^2 = 0,73; P = 0,003$	$Y = 7,509 - 14,610x$ $R^2 = 0,87; P = 0,0003$

Elaborado pelo autor

Analisando a relação do  $I_G$  em função do CWSI observa-se que a correlação se assemelha com a relação do  $I_G$  em função do  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  (Tabela 14), o que indiretamente já era esperado, em razão da “correlação perfeita” entre CWSI e  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ . Por serem mais robustos, na análise de Maes e Steppe (2012) foi visto, com base na modelagem, que ambos apresentaram poder discriminativo semelhante, no entanto, o  $I_G$  pode ser recomendado por ser linearmente relacionado com a condutância estomática, ao ponto que o CWSI é mais conhecido pelos cientistas.

Apesar das diferenças entre os índices térmicos no que se refere a robustez, poder discriminativo e influência da variabilidade ambiental, estudos futuros devem apresentar propostas que viabilizem a possibilidade de uso da termografia infravermelha e dos índices térmicos comercialmente. As soluções possíveis são: 1) a análise rápida da imagens térmicas e extração dos dados para o uso no CWSI e no  $I_G$ , que são mais complexos; 2) um modelo que possibilite estimar a necessidade de irrigação (quanto irrigar?) com praticidade, como por exemplo, a medida simples da diferença de temperatura entre o dossel e o ar ( $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ ). Sugestões semelhantes foram realizadas por Maes e Steppe (2012).

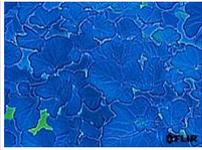
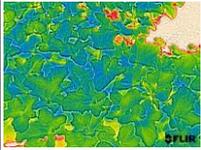
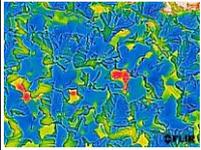
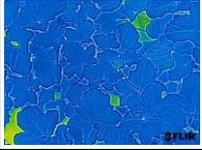
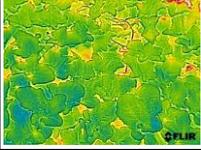
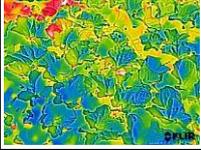
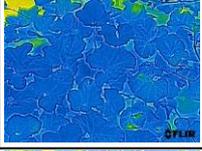
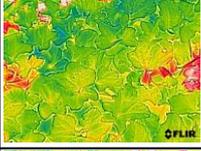
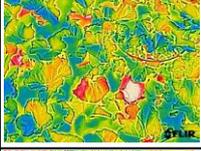
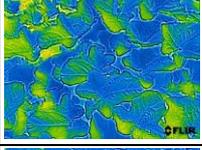
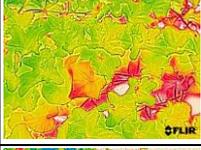
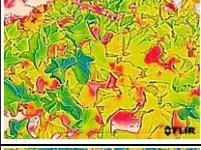
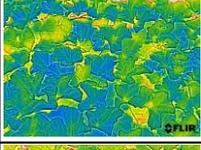
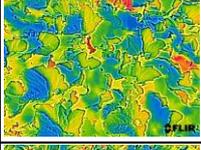
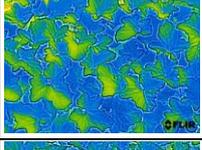
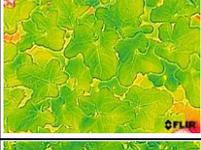
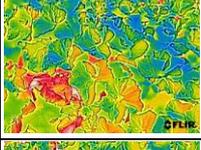
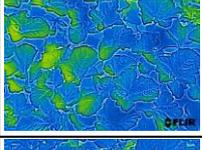
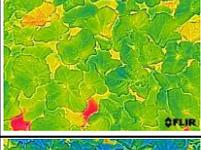
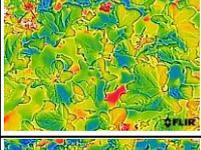
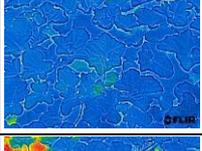
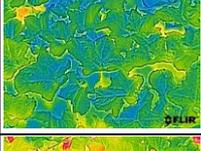
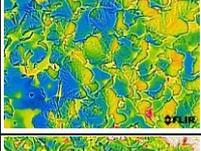
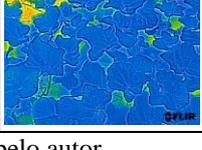
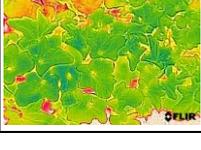
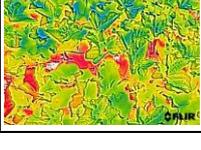
### 5.3 Imagens térmicas, produtividade e eficiência no uso da água do meloeiro sob déficit fixo (FDI) e regulado (RDI)

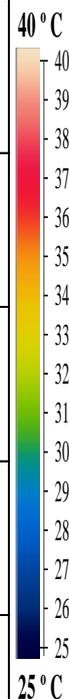
Analisando a tabela 15, observa-se que no ciclo 1, o padrão térmico infravermelho apresentado pelas imagens foi menos variável às 08h, o que não se repetiu no ciclo 2 (Tabela 16). Nos demais horários monitorados, em ambos os ciclos, é notório a diferença entre os níveis de déficits, assim como a semelhança entre os tratamentos FDI e RDI com a mesma reposição. Baseando-se nos  $\Delta T$ s, também é visto que no ciclo 2 os valores são superiores às 08h, indicando que as plantas nesse horário estavam mais quentes que no ciclo 1. Tal fato, possivelmente está relacionado a uma maior ocorrência de ventos (dados não apresentados), que no ciclo 2, devido a vegetação circundante estar mais seca, ocorria o chamado efeito oásis, fenômeno decorrente da diferença de umidade entre o entorno e a área experimental (ALLEN *et al.*, 1998).

Nos outros dois horários avaliados, a diferença no padrão térmico infravermelho nas imagens é mais visível, e pelos valores do  $\Delta T$  às 12h, onde as médias são semelhantes entre ciclos, esse horário se apresenta como um bom momento coleta de dados para o desenvolvimento de modelos de manejo de irrigação via termografia em trabalhos futuros, conforme já comentado. Em relação às informações térmicas observadas às 16h, a explicação da diferença entre os limites de  $\Delta T$  entre ciclos relaciona-se com o rápido esfriamento do ar, que às 16h no ciclo 1 estava aproximadamente 3°C abaixo da temperatura às 15h, enquanto que no ciclo 2, essa redução foi inferior a 1°C. Sendo assim, o ar mais quente no ciclo 2 às 16h propiciou índices térmicos inferiores. Numa análise geral, ressalta-se que conclusões baseadas em padrões de imagens térmicas induzem diretamente a erros; o mesmo pode acontecer para interpretações do  $\Delta T$  quando os dados remetem a mais de um ciclo conduzido.

Em relação à produtividade, embora os ciclos tenham sido estatisticamente iguais, a produtividade geral do ciclo 1 apresentou-se mediamente 8% superior à do ciclo 2. Observa-se ainda que no ciclo 1 os tratamentos RDI T5, T6, T7 e T8 proporcionaram produtividades superiores à produtividade média do semiárido brasileiro que é de 29 ton ha<sup>-1</sup>, segundo dados do IBGE (2021) para o ano de 2019, repetindo o feito no ciclo 2. Para os FDI, somente o T2 no ciclo 1 e T1 no ciclo 2.

**Tabela 15** - Imagens termográficas, produtividade e eficiência no uso da água do meloeiro submetido a irrigação por déficit fixo (FDI) e regulado (RDI). As imagens foram capturadas às 08h, 12h e 16h aos 45 DAT no ciclo 1. Os percentuais da ETC são equivalentes à lâmina total acumulada durante todo o ciclo.

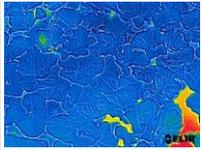
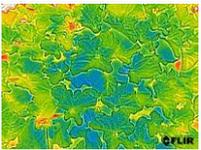
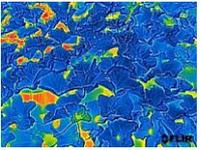
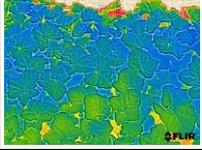
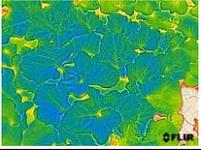
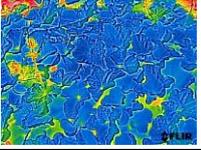
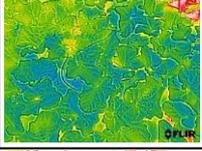
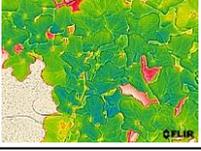
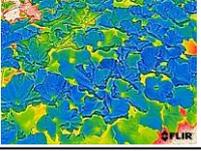
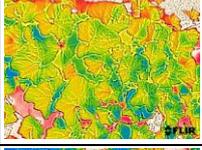
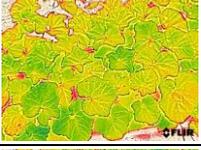
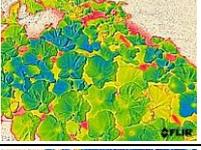
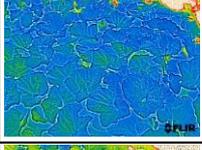
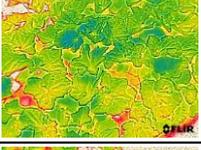
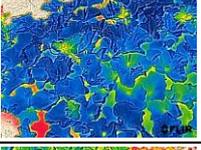
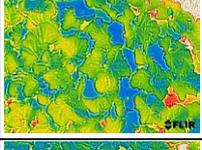
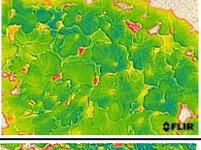
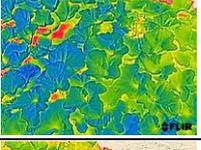
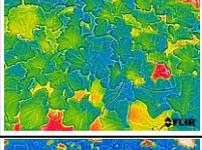
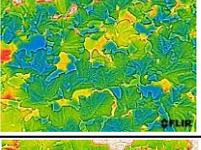
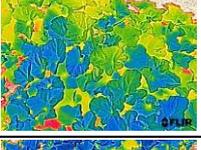
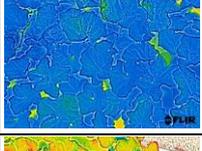
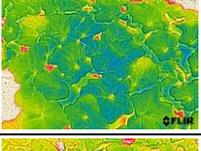
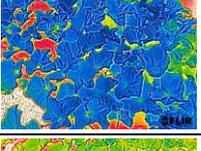
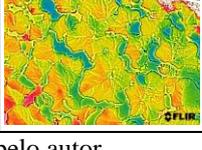
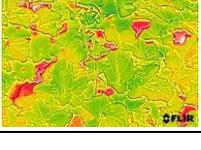
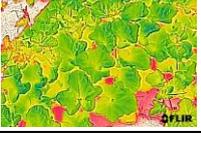
Tratamentos (% ETC)	CICLO 1							
		08:00		12:00		16:00	Produt. (ton. ha <sup>-1</sup> )	EUA (kg m <sup>-3</sup> )
<b>T1 - FDI 125%</b>							27,8 ab	7,5 b
$\Delta T(Tc - Ta)$	-2,5		-5,4		-5,6			
<b>T2 - FDI 100%</b>							34,2 a	11,6 ab
$\Delta T(Tc - Ta)$	-2,0		-5,0		-4,5			
<b>T3 - FDI 75%</b>							23,6 ab	10,7 ab
$\Delta T(Tc - Ta)$	-1,7		-4,3		-3,5			
<b>T4 - FDI 50%</b>							16 b	10,8 ab
$\Delta T(Tc - Ta)$	-0,6		-0,5		-1,3			
<b>T5 - RDI 98%</b>							29,4 ab	11,1 ab
$\Delta T(Tc - Ta)$	-2,1		-4,9		-4,1			
<b>T6 - RDI 80%</b>							36,1 a	15,6 a
$\Delta T(Tc - Ta)$	-1,7		-4,3		-3,3			
<b>T7 - FDI 77%</b>							31,7 a	15,9 a
$\Delta T(Tc - Ta)$	-1,6		-4,5		-3,3			
<b>T8 - RDI 85%</b>							33,2 a	12,6 ab
$\Delta T(Tc - Ta)$	-2,0		-4,8		-4,4			
<b>T9 - RDI 67%</b>							27,5 ab	15,3 a
$\Delta T(Tc - Ta)$	-1,4		-2,9		-2,2			

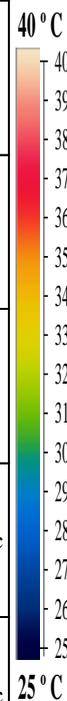


Fonte: elaborado pelo autor

Médias na vertical seguidas pela mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

**Tabela 16** - Imagens termográficas, produtividade e eficiência no uso da água do meloeiro submetido a irrigação por déficit fixo (FDI) e regulado (RDI). As imagens foram capturadas às 08h, 12h e 16h aos 42 DAT no ciclo 2. Os percentuais da ETC são equivalentes à lâmina total acumulada durante todo o ciclo.

Tratamentos (% ETC)	CICLO 2							
		08:00		12:00		16:00	Produt. (ton. ha <sup>-1</sup> )	EUA (kg m <sup>-3</sup> )
<b>T1 - FDI</b> <b>125%</b>							29,48 ab	8,7 c
$\Delta T(Tc - Ta)$	-1,0		-4,6		-8,5			
<b>T2 - FDI</b> <b>100%</b>							26,43 abc	9,8 bc
$\Delta T(Tc - Ta)$	-0,3		-4,2		-7,9			
<b>T3 - FDI</b> <b>75%</b>							20,55 bc	10,2 bc
$\Delta T(Tc - Ta)$	1,6		-3,5		-7,0			
<b>T4 - FDI</b> <b>50%</b>							14,78 c	11,0 abc
$\Delta T(Tc - Ta)$	4,3		-1,2		-4,3			
<b>T5 - RDI</b> <b>97%</b>							29,8 ab	12,0 abc
$\Delta T(Tc - Ta)$	-0,5		-4,1		-7,9			
<b>T6 - RDI</b> <b>80%</b>							32,28 ab	15,3 a
$\Delta T(Tc - Ta)$	1,4		-3,5		-6,9			
<b>T7 - FDI</b> <b>78%</b>							29,05 ab	15,1 a
$\Delta T(Tc - Ta)$	1,2		-3,3		-6,8			
<b>T8 - RDI</b> <b>84%</b>							34,18 a	14,4 ab
$\Delta T(Tc - Ta)$	-0,5		-4,3		-8,0			
<b>T9 - RDI</b> <b>68%</b>							21,55 bc	12,4 abc
$\Delta T(Tc - Ta)$	3,9		-0,9		-4,0			



Fonte: elaborado pelo autor

Médias na vertical seguidas pela mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Comparando as estratégias de irrigação, a produtividade média RDI foi superior à média FDI, com destaque para o tratamento T6 do ciclo 1, que apresentou produtividade

máxima entre tratamentos e entre ciclo, com média de 36,1 ton. ha<sup>-1</sup>, e cujo a reposição na fase avaliada (fase III do meloeiro) era de 75% da ETc. Comparando-o com o T7-RDI, que também recebia o mesmo percentual de reposição na fase III, e com o T3-FDI (75% fixo durante o ciclo), ambos do ciclo 1, sua produtividade foi respectivamente 13,7% e 52,8% superior. Quando essa comparação é realizada utilizando as produtividades do ciclo 2, a superioridade do T6 (32,28 ton ha<sup>-1</sup>) foi simultaneamente 11,1% e 41,4%. No ciclo 2, a maior produtividade foi do tratamento T8, com 34,18 ton ha<sup>-1</sup>. Estatisticamente, o tratamento T6 manteve-se igual ao T7 em ambos os ciclos.

Em relação à eficiência do uso da água (EUA), o tratamento T6 também se destacou dos demais tratamentos testados apresentando 15,6 kg m<sup>-3</sup> no ciclo 1 e 15,3 kg m<sup>-3</sup> no ciclo 2, apresentando-se inferior apenas ao tratamento T7 no ciclo 1 (15,9 kg m<sup>-3</sup>), embora ainda estatisticamente igual.

Trabalhos anteriores têm demonstrado que menores lâminas de irrigação proporcionam maior EUA, corroborando com os resultados aqui obtidos quando consideramos somente os tratamentos FDI, onde a EUA do T4 (50%) foi superior à do T2 (100% ETc). No entanto, conforme observado, as lâminas acumuladas dos tratamentos RDI, concentraram-se no intervalo entre 50% – 100% ETc, e seus resultados divergiram da irrigação por déficit fixo (FDI), proporcionando produtividade e EUA maiores, confirmando a vantagem da adoção da estratégia de irrigação por déficit regulado (RDI), e segundo os resultados apresentados, a estratégia do T6-RDI apresentou-se mais eficaz.

Corroboram com viabilidade da adoção de estratégias de irrigação com déficit regulado (RDI) os resultados obtidos por Fabeiro *et al.* (2003) para a beterraba, Cortés *et al.* (2003) para o alho, Ollala *et al.* (2004) para a cebola, Silva *et al.* (2009) para o café, Santos (2012) para a manga, Varona (2013) para a banana, Gava *et al.* (2015) para a soja, Molina-Ochoa *et al.* (2015) com a pera, Faria *et al.* (2016) na indução floral da manga, Nangare *et al.* (2016) para o tomate, Cotrim *et al.* (2017) para a manga, Lagos *et al.* (2017) para o kiwi, Yang *et al.* (2018) para a pimenta, Simões *et al.* (2018) para a cana-de-açúcar, e Válcarcel *et al.* (2020) no tomate para processamento. Para o meloeiro, tem-se os resultados de Fabeiro *et al.* (2002) e Campos *et al.* (2017).

#### 5.4 Relação entre a eficiência no uso da água (EUA) e índices térmicos

Adicional à EUA, a análise de variância ANOVA apresentada na Tabela 17 demonstra que os tratamentos em ambos os ciclos apresentaram significância estatística a 0,1%. O mesmo foi observado para os índices térmicos apresentados anteriormente.

Em relação às médias da EUA, também foi visto que não apresentaram tendência ou ordem de sequência (direta ou inversa) conforme as lâminas acumuladas, haja visto que as maiores EUA foram observadas nos tratamentos RDI, onde o acumulado das lâminas concentrou-se entre 50% e 100% da ETc. Esse fato, quando correlacionado com os índices térmicos, provocou distribuições desordenadas das médias (Figura 22), uma vez que a resposta térmica observada apresentou médias concomitantes às reposições hídricas, logo, quando considerados os tratamentos em geral, não havia ajuste considerável na regressão (linear e quadrática).

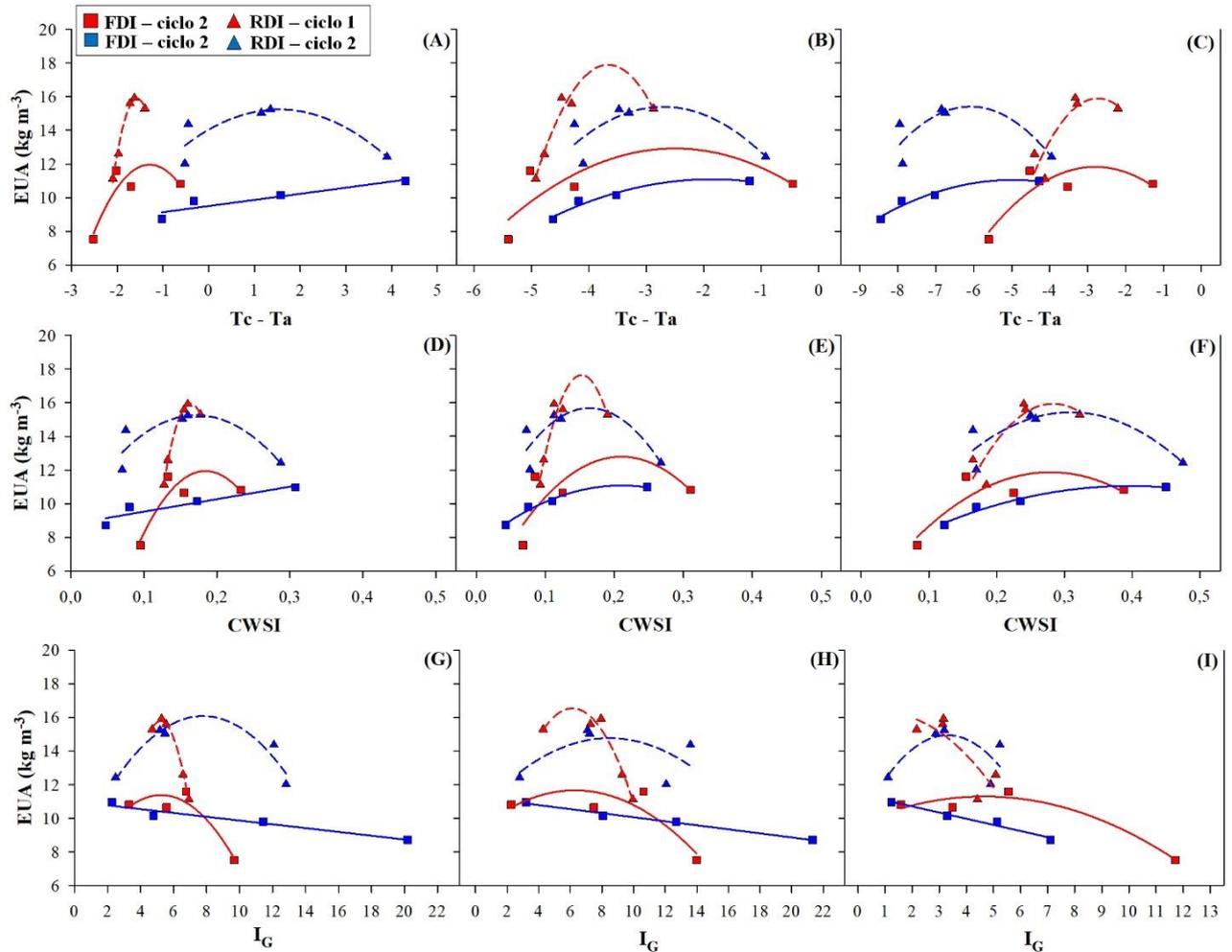
Conforme observado na Figura 22, quando a regressão foi realizada destacando as estratégias FDI e RDI, os ajustes foram mais condizentes, com grande maioria ajustando-se ao modelo polinomial quadrático, e as exceções, onde o ajuste foi linear, foram as relações da FDI do ciclo 2 com o  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  e CWSI de 08h, e com o IG de ambos os horários avaliados (Tabela 18).

**Tabela 17** - Análise de variância ANOVA para a eficiência no uso da água (EUA) em dois ciclos da cultura do meloeiro submetida a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI). Ciclo 1 - ago-set de 2021; ciclo 2 - nov-dez- de 2021.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS	
		EUA – Ciclo 1	EUA – Ciclo 2
Bloco	3	5,201111 <sup>ns</sup>	20,302500 <sup>**</sup>
Tratamentos	8	31,333750 <sup>**</sup>	22,829444 <sup>**</sup>
Erro	24	5,294028	4,084167
Total corrigido	35		
CV (%)		18,63	16,72

FV – fonte de variação; GL – graus de liberdade; ns – não significativo; \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

**Figura 22** - Correlação entre a eficiência de uso da água (EUA) obtida para dois ciclos do meloeiro submetido a reposições de irrigação fixas (FDI) e reguladas (RDI), em função dos índices térmicos  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e  $I_G$ , respectivamente coletados às 08h (A, D e G), 12h (B, E e H) e 16 h (C, F e I). Os índices térmicos foram coletados aos 45 DAT no ciclo 1 (ago-set de 2021) e aos 42 DAT no ciclo 2 (nov-dez de 2021). Símbolos e linhas em vermelho representam o ciclo 1; símbolos e linhas em azul representam o ciclo 2.



Fonte: elaborado pelo autor.

**Tabela 18** - Equações de regressão resultantes das interações entre a eficiência de uso da água (EUA) obtida para dois ciclos do meloeiro submetido a reposições de irrigação fixas (FDI) e controladas (RDI), em função dos índices térmicos  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e IG, obtidos às 08h, 12, e 16h aos 45 DAT no ciclo 1 e aos 42 DAT no ciclo 2. As equações foram escolhidas conforme a significância (P-valor < 0,05) e o valor do coeficiente  $R^2$ .

<b>CICLO 1</b>			
<b>Interação</b>	<b>08 h</b>	<b>12 h</b>	<b>16 h</b>
<b>EUA<sub>FDI</sub> x <math>\Delta T</math></b>	$Y = 7,398 - 7,044x - 2,720x^2$ $R^2 = 0,79; P = 0,459$	$Y = 9,761 - 2,526x - 0,504x^2$ $R^2 = 0,44; P = 0,7496$	$Y = 7,976 - 2,755x - 0,492x^2$ $R^2 = 0,73; P = 0,5169$
<b>EUA<sub>RDI</sub> x <math>\Delta T</math></b>	$Y = -27,787 - 55,629x - 17,716x^2$ $R^2 = 0,99; P = 0,0124$	$Y = -38,549 - 30,811x - 4,204x^2$ $R^2 = 0,95; P = 0,0554$	$Y = 4,065 - 8,667x - 1,586x^2$ $R^2 = 0,75; P = 0,2489$
<b>EUA<sub>FDI</sub> x CWSI</b>	$Y = -5,643 + 190,775x - 517,436x^2$ $R^2 = 0,80; P = 0,4432$	$Y = 4,029 + 83,488x - 198,914x^2$ $R^2 = 0,42; P = 0,7650$	$Y = 4,075 + 55,845x - 100,031x^2$ $R^2 = 0,72; P = 0,5296$
<b>EUA<sub>RDI</sub> x CWSI</b>	$Y = -79,98 + 1171,123x - 3574,112x^2$ $R^2 = 0,99; P = 0,0024$	$Y = -21,949 + 519,226x - 1702,104x^2$ $R^2 = 0,90; P = 0,0965$	$Y = -9,617 + 180,427x - 318,452x^2$ $R^2 = 0,74; P = 0,2574$
<b>EUA<sub>FDI</sub> x IG</b>	$Y = 6,161 + 1,998x - 0,191x^2$ $R^2 = 0,90; P = 0,3182$	$Y = 9,16 + 0,799x - 0,064x^2$ $R^2 = 0,76; P = 0,4898$	$Y = 9,666 + 0,704x - 0,076x^2$ $R^2 = 0,95; P = 0,2237$
<b>EUA<sub>RDI</sub> x IG</b>	$Y = -28,681 + 17,057x - 1,635x^2$ $R^2 = 0,99; P = 0,0035$	$Y = 2,533 + 4,574x - 0,373x^2$ $R^2 = 0,96; P = 0,0355$	$Y = 15,953 + 0,570x - 0,279x^2$ $R^2 = 0,66; P = 0,3422$
<b>CICLO 2</b>			
<b>EUA<sub>FDI</sub> x <math>\Delta T</math></b>	$Y = 9,50 + 0,364x$ $R^2 = 0,87; P = 0,0696$	$Y = 10,080 - 1,088x - 0,292x^2$ $R^2 = 0,96; P = 0,2068$	$Y = 6,585 - 1,795x - 0,180x^2$ $R^2 = 0,95; P = 0,2214$
<b>EUA<sub>RDI</sub> x <math>\Delta T</math></b>	$Y = 14,043 + 1,554x - 0,506x^2$ $R^2 = 0,73; P = 0,2688$	$Y = 8,569 - 5,050x - 0,933x^2$ $R^2 = 0,55; P = 0,4472$	$Y = -8,702 - 7,918x - 0,650x^2$ $R^2 = 0,64; P = 0,36$
<b>EUA<sub>FDI</sub> x CWSI</b>	$Y = 8,785 + 7,426x$ $R^2 = 0,86; P = 0,0723$	$Y = 7,516 + 33,884x - 80,567x^2$ $R^2 = 0,98; P = 0,1514$	$Y = 6,434 + 23,326x - 29,467x^2$ $R^2 = 0,96; P = 0,1941$
<b>EUA<sub>RDI</sub> x CWSI</b>	$Y = 8,966 + 73,224x - 213,014x^2$ $R^2 = 0,75; P = 0,2555$	$Y = 7,633 + 98,337 - 300,565x^2$ $R^2 = 0,60; P = 0,3976$	$Y = 5,045 + 67,215x - 108,766x^2$ $R^2 = 0,65; P = 0,3529$
<b>EUA<sub>FDI</sub> x IG</b>	$Y = 11,002 - 0,113x$ $R^2 = 0,94; P = 0,0307$	$Y = 11,272 - 0,120x$ $R^2 = 0,99; P = 0,0066$	$Y = 11,446 - 0,366x$ $R^2 = 0,97; P = 0,0151$
<b>EUA<sub>RDI</sub> x IG</b>	$Y = 7,948 + 2,092x - 0,134x^2$ $R^2 = 0,87; P = 0,1285$	$Y = 10,246 + 1,068x - 0,063x^2$ $R^2 = 0,34; P = 0,6560$	$Y = 9,547 + 3,269x - 0,495x^2$ $R^2 = 0,49; P = 0,5061$

EUA – eficiência o uso da água; FDI – irrigação por déficit fixo; RDI – irrigação por déficit controlado;  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  – diferença de temperatura entre o dossel e o ar; CWSI – índice de estresse hídrico da cultura; IG – índice de condutância estomática.

Analisando os modelos obtidos, denota-se que a maioria não apresentou significância estatística, embora tenham apresentado coeficientes  $R^2$  aceitáveis acima de 0,7, com alguns inferiores a 0,5. De todos os casos, as relações em que a regressão apresentou significância estatística no ciclo 1 foram a EUA da RDI em função do  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e  $I_G$  às 08h, e ainda em função do  $I_G$  às 12h, todas ajustadas à regressão polinomial quadrática, com o coeficiente  $R^2$  acima de 0,9. No ciclo 2, somente a EUA da FDI em função do  $I_G$ , contudo, nos três horários avaliados, ajustados linearmente e com coeficiente também acima de 0,9.

Entre os resultados semelhantes encontrados na literatura, faz-se referência aos trabalhos em que a regressão é realizada com a produtividade em função dos índices térmicos. Entre os quais cita-se Silva *et al.* (2007) com o meloeiro, Sezen *et al.* (2014) com o pimentão vermelho, Çolak *et al.* (2015) com a berinjela, Delgado *et al.* (2017) com a alface, Silva *et al.* (2018) com o tomate, Camoglu *et al.* (2018) com a pimenta e Khan *et al.* (2022) com o trigo, ambos aplicando irrigações com reposições fixas e correlacionando a produtividade com o CWSI. O  $R^2$  obtido pelos trabalhos variou de 0,68 a 0,99.

Numa análise geral, com base nos resultados das regressões e considerando o coeficiente de determinação  $R^2$ , observa-se que em cada ciclo, a EUA de uma das estratégias de irrigação correlaciona-se melhor com os índices térmicos: da RDI no ciclo 1 e da FDI do ciclo 2. Não se sabe ao certo o motivo, ou se esse fato é venéreo do ponto de vista sequencial, mas, a proposição é de que o motivo esteja relacionado ao microclima circundante à área experimental. No entanto, quando o objetivo é o incremento da produtividade com volume menor de água, a sugestão é a adoção de estratégias RDI, que apresentaram os melhores EUA.

## 6 CONCLUSÕES

Os parâmetros meteorológicos (Tar e UR) monitorados apresentaram médias na faixa indicada para o cultivo do meloeiro.

As trocas gasosas ( $g_s$  e  $E$ ) obtidas apresentaram-se inversas ao percentual de reposição hídrica, sendo semelhantes nos dois ciclos conduzidos e quando correlacionadas com os índices térmicos coletados no mesmo horário, as melhores respostas das regressões, em ambas as estratégias FDI e RDI, foram apresentadas no ciclo 2.

Os índices térmicos  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , CWSI e  $I_G$  correlacionaram-se significativamente com o potencial hídrico foliar e com a umidade do solo em todos os horários monitorados, corroborando com o potencial da termografia para o manejo da irrigação.

Entre os horários monitorados, é sugerido a coleta de dados térmicos por volta de 12h, uma vez que foi observado nesse horário a proximidade das médias dos índices térmicos em ambos os ciclos conduzidos.

As correlações entre os índices térmicos sugerem o  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$  como um índice prático e rápido na resposta térmica das plantas ao estresse hídrico.

Para o manejo da irrigação com o monitoramento às 12h é sugerido o intervalo entre -5,0 e 0,0 para o  $\Delta T_{\text{dossel-ar}}$ , 0,0 e 0,3 para o CWSI e, 12,0 e 2,7 para o  $I_G$ , respectivamente para as condições bem irrigada (100% da  $ET_c$ ) e sob estresse hídrico (50% da  $ET_c$ ).

Produtividade e EUA superiores proporcionadas pela estratégia RDI corroboram para sua vantagem em relação à FDI na adoção de estratégia de irrigação deficitária.

O tratamento T6 – RDI é indicado como a melhor estratégia para irrigação do meloeiro, apresentando respectivamente produtividade e EUA de 36,1 ton. ha<sup>-1</sup> e 15,6 kg m<sup>-3</sup> no ciclo 1, e 32,28 ton. ha<sup>-1</sup> e 15,3 kg m<sup>-3</sup> no ciclo 2.

Correlações entre EUA e índices térmicos demonstraram melhores resultados da RDI no ciclo 1 com ambos os índices às 08h e 12h. No ciclo 2, destaque da FDI com ambos os índices térmicos e horários monitorados.

## REFERÊNCIAS

- AGAM, N.; COHEN, Y.; BERNI, J. A. J.; ALCHANATIS, V.; KOOL, D.; DAG, A.; YERMIYAHU, U.; BEN-GAL, A. An insight to the performance of crop water stress index for olive trees. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 118, p. 79-86, 2013.
- ALBUQUERQUE, S. G. de; BANDEIRA, G. R. L. Effect of thinning and slashing on forage phytomass from a caatinga of Petrolina, Pernambuco, Brazil. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, DF. v. 30, n. 6, p. 885 – 891, 1995.
- ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo da irrigação**. Embrapa informação tecnológica. 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 528 p.
- 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**).
- ALMEIDA, B. M. **Déficit e excesso hídrico na cultura do milho (*Zea mays* L.) em ambiente protegido**. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 124 p. 2016.
- ARAGÃO, M. F. **Utilização de imagens termométricas na estimativa do estado hídrico do meloeiro cultivado em solo com e sem cobertura vegetal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 74 p. 2019.
- BALLESTER, C.; CASTEL, J.; JIMÉNEZ-BELLO, M. A.; CASTEL, J. R.; INTRIGLIOLO, D. S. Thermographic measurement of canopy temperature is a useful tool for predicting water deficit effects on fruit weight in citrus trees. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 122, p. 1-6, 2013a.
- BALLESTER, C.; JIMÉNEZ-BELLO, M. A.; CASTEL, J. R.; INTRIGLIOLO, D. S. Usefulness of thermography for plant water stress detection in citrus and persimmon trees. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S.l.] v. 168, p. 120-129, 2013b.
- BELFIORE, N.; VINTI, R.; LOVAT, L.; CHITARRA, W.; TOMASI, D.; BEI, R. de; MEGGIO, F.; GAIOTTI, F. Infrared thermography to estimate vine water status: Optimizing canopy measurements and thermal indices for the varieties Merlot and Moscato in northern Italy. **Agronomy**, [S.l.] v. 9, n. 12, p. 821, 2019.
- BEN-GAL, A.; AGAM, N.; ALCHANATIS, V.; COHEN, Y.; YERMIYAHU, U.; ZIPORI, I.; PRESNOV, E.; SPRINTSIN, M.; DAG, A. Evaluating water stress in irrigated olives: correlation of soil water status, tree water status, and thermal imagery. **Irrigation Science**, [S.l.] v. 27, n. 5, p. 367-376, 2009.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D da.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 9. ed. atual. ampl. – Viçosa, MG: editora UFV, 2019. 545 p.

- BEZERRA, M. A.; ARAÚJO, L. F. de; CALVET, A. S. F.; CARVALHO, C. A. C de. Cultivo do meloeiro em condições de elevados níveis de dióxido de carbono e de temperatura na atmosfera. *In*. FIGUEIRÊDO, M. C. B. de; GONDIM, R. S.; ARAGÃO, F. A. S de. **Produção de melão e mudanças climáticas**: Sistemas conservacionistas de cultivo para redução das pegadas de carbono e hídrica. Brasília – DF, Embrapa, 2017, 302 p.
- BLANCO, V.; TORRES-SÁNCHEZ, R.; BLAYA-ROS, P. J.; PÉREZ-PASTOR, A.; DOMINGO, R. Vegetative and reproductive response of ‘Prime Giant’ sweet cherry trees to regulated deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, [S.l.] v. 249, p. 478-489, 2019.
- BLAYA-ROS, P. J.; BLANCO, V.; DOMINGO, R.; SOTO-VALLES, F.; TORRES-SÁNCHEZ, R. Feasibility of low-cost thermal imaging for monitoring water stress in young and mature sweet cherry trees. *Applied Sciences*, [S.l.] v. 10, n. 16, p. 5461, 2020.
- BOHREN, C. F.; ALBRECHT, B. A.; SCHROEDER, D. V. Atmospheric Thermodynamics. *American Journal of Physics*, [S.l.] v. 68, n. 12, p. 1159-1160, 2000.
- BRANDÃO FILHO, J. V. T.; VASCONCELLOS, M. A. S. A. Cultura do meloeiro. *In*: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. (Ed.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido**: condições subtropicais. São Paulo: Fundação Editora da UESP, 1998. Cap. 6, p. 161-193.
- Buckley, T. N. The control of stomata by water balance. *New phytologist*, [S.l.] v. 168, n. 2, p. 275-292, 2005.
- BUCKLEY, T. N. How do stomata respond to water status? *New Phytologist*, [S.l.] v. 224, n. 1, p. 21-36, 2019.
- BUCKS, D. A.; FRENCH, O. F.; NAKAYAMA, F. S.; FANGMEIER, D. D. **Trickle irrigation management for grape production**. Proceedings of the Third International Drip/Trickle Irrigation Congress, American Society of Agricultural Engineers, Fresno, CA (1985), pp. 204–211.
- CAMOGLU, G.; DEMIREL, K.; GENÇ, L. Use of infrared thermography and hyperspectral data to detect effects of water stress on pepper. *Quantitative Infra-Red Thermography Journal*, [S.l.] v. 15, n. 1, p. 81-94, 2018.
- CAMOGLU, G. The effects of water stress on evapotranspiration and leaf temperatures. *Žemdirbystė Agriculture*. Lituânia, Kaunas. v. 100, p. 91–98, 2013.
- CAMPOS, L. D. A.; SILVA, J.; ROCHA, D.; MESQUITA, A.; YURI, J. Adubação nitrogenada e irrigação com déficit hídrico controlado (RDI) na qualidade de frutos do meloeiro. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 20; SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 5. Juazeiro, BA. 2017.
- CARVALHO, M. A. R. de; LEÃO, M. C. S.; CARVALHO, L. C. C. de; SOUSA, F. de; AGUIAR, J. V. de. Coeficientes de cobertura (Kr), em fruteiras tropicais adultas microirrigadas. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, CE. v. 1, n. 1, p. 20 – 23, 2007.

CASSON, S.A.; FRANKLIN, K.A.; GRAY, J.E.; GRIERSON, C.S.; WHITELAM, G.C.; HETHERINGTON, A.M. Phytochrome B and PIF4 regulate stomatal development in response to light quantity. **Current Biology**, [S.l.] v. 19, n. 3, p. 229-234, 2009.

CELIN, E. F.; SILVA, F. D.; OLIVEIRA, N. R. X.; DIAS, R. de C. S.; ARAGÃO, F. A. S de. Simple genetic inheritance conditions resistance to *Liriomyza sativae* in melon. **EUPHYTICA (WAGENINGEN)**, Netherlands, Springer Link. v. 213, p. 1-11, 2017.

CHAERLE, L.; VAN DER STRAETEN, D. Imaging techniques and the early detection of plant stress. **Trends in Plant Science**, [S.l.] v. 5, n. 11, p. 495-501, 2000.

CHAI, Q.; GAN, Y.; TURNER, N. C.; ZHANG, R. Z.; YANG, C.; NIU, Y. SIDDIQUE, K. H. M. Water-saving innovations in Chinese agriculture. **Advances in agronomy**, [S.l.] v. 126, p. 149-201, 2014.

CHAI, Q.; GAN, Y.; ZHAO, C.; XU, H-L.; WAKSOM, R. M.; NIU, Y.; SIDDIQUE, K. H. M. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [S.l.] v. 36, n. 1, p. 3, 2016.

COCHARD, H.; FORESTIER, S.; AMÉGLIO, T. A new validation of the Scholander pressure chamber technique based on stem diameter variations. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.] v. 52, n. 359, p. 1361-1365, 2001.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L de. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, Cruz das Almas, BA. v.7, n.1, p.57-60, 2005.

ÇOLAK, Y. B.; YAZAR, A.; ÇOLAK, İ.; AKÇA, H.; DURAKTEKIN, G. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for eggplant under varying irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, [S.l.] v. 4, p. 372-382, 2015.

COMSTOCK, J.; MENCUCCINI, M. Control of stomatal conductance by leaf water potential in *Hymenoclea salsola* (T. & G.), a desert subshrub. **Plant, Cell & Environment**, [S.l.] v. 21, n. 10, p. 1029-1038, 1998.

CORTÉS, C. F.; OLALLA, F. M. de S.; URREA, R. L. Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 59, n. 2, p. 155-167, 2003.

COSTA, N. D. (Ed.). **Sistema de produção de melão**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. (Embrapa Semiárido. Sistemas de Produção, 5).

COSTA, J. M.; ORTUÑO, M. F.; LOPES, C. M.; CHAVES, M. M. Grapevine varieties exhibiting differences in stomatal response to water deficit. **Functional Plant Biology**, [S.l.] v. 39, n. 3, p. 179-189, 2012.

COSTA, J. M.; EGIPTO, R.; SÁNCHEZ-VIROSTA, A.; LOPES, C. M.; CHAVES, M. M. Canopy and soil thermal patterns to support water and heat stress management in vineyards. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 216, p. 484-496, 2019.

- COSTA, J. D. O.; COELHO, R. D.; BARROS, T. H. D. S.; FRAGA JUNIOR, E. F.; FERNANDES, A. L. T. Canopy thermal response to water deficit of coffee plants under drip irrigation. **Irrigation and Drainage**, [S.l.] v. 69, n. 3, p. 472-482, 2020.
- COTRIM, C. E.; COELHO, E. F.; SILVA, J. A.; COELHO FILHO, M. A.; SANTOS, M. R. Irrigação com déficit controlado e produtividade de mangueira ‘Tommy atkins’ sob gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE. v. 11, n. 8, p. 2229, 2017.
- 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).
- DAI, A. Increasing drought under global warming in observations and models. **Nature Climate Change**, [S.l.] v. 3, n. 1, p. 52-58, 2013.
- De BOECK, H. J.; DREESEN, F. E.; JANSSENS, I. A.; NIJS, I. Climatic characteristics of heat waves and their simulation in plant experiments. **Global Change Biology**, [S.l.] v. 16, n. 7, p. 1992-2000, 2010.
- DELGADO, M. T.; RIVERA, R. C.; HERRERA, F. C. M.; LUNA, J. J. Q.; TERRAZAS, R. T.; VILLALOBOS, S. G. Índice de estrés hídrico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), mediante termometria infrarroja a diferentes láminas de riego. **Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales**, [S.l.] v. 4, n. 1, p. 7-18, 2017.
- DIXON, H. H.; JOLY, J. On the ascent of sap. **Proceedings of the Royal Society of London**, [S.l.] v. 57, p. 3-5, 1894.
- DRIESEN, E.; ENDE, W. V. D.; PROFT, M. D.; SAEYS, W. Influence of environmental factors light, CO<sub>2</sub>, temperature, and relative humidity on stomatal opening and development: A review. **Agronomy**, [S.l.] v. 10, n. 12, p. 1975, 2020.
- DU, Q.; LIU, T.; JIAO, X.; SONG, X.; ZHANG, J.; LI, J. Leaf anatomical adaptations have central roles in photosynthetic acclimation to humidity. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.] v. 70, n. 18, p. 4949-4962, 2019.
- EGEA, G.; PADILLA-DÍAZ, C. M.; MARTINEZ-GUANter, J.; FERNÁNDEZ, J. E.; PÉREZ-RUIZ, M. Assessing a crop water stress index derived from aerial thermal imaging and infrared thermometry in super-high density olive orchards. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 187, p. 210-221, 2017.
- EHRLER, W. L.; IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; REGINATO, R. J. Diurnal changes in plant water potential and canopy temperature of wheat as affected by drought 1. **Agronomy Journal**, [S.l.] v. 70, n. 6, p. 999-1004, 1978a.

- EHRLER, W. L.; IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; REGINATO, R. J. Wheat canopy temperature: relation to plant water potential 1. **Agronomy Journal**, [S.l.] v. 70, n. 2, p. 251-256, 1978b.
- EHRLER, William L. Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors 1. **Agronomy Journal**, [S.l.] v. 65, n. 3, p. 404-409, 1973.
- ENGLISH, M. Deficit irrigation. I. Analytical framework. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. ASCE, v. 116, n.3, p. 399-412, May. 1990.
- ERDEM, Y.; ERDEM, T.; ORTA, A. H.; OKURSOY, H. Irrigation scheduling for watermelon with crop water stress index (CWSI). **Journal of Central European Agriculture**, [S.l.] v. 6, n. 4, p. 449-460, 2005.
- ERDEM, Y.; ŞEHIRALI, S.; ERDEM, T.; KENAR, D. Determination of crop water stress index for irrigation scheduling of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, [S.l.] v. 30, n. 3, p. 195-202, 2006.
- FABEIRO, C.; OLLALA, F. M. S.; JUAN, J. A. Production of muskmelon (*cucumis melo* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 54, p.93-105, 2002.
- FABEIRO, C.; OLALLA, F. M. de S.; LOPEZ, R.; DOMINGUEZ, A. Production and quality of the sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 62, n. 3, p. 215-227, 2003.
- FAO. **FAOSTAT**: Crops. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 04 de maio 2021.
- FARIA, L. N.; DONATO, S. L.; SANTOS, M. R. D.; CASTRO, L. G. The effects of irrigation management on floral induction of 'Tommy Atkins' mango in Bahia semiarid. **Engenharia Agrícola**, [S.l.] v. 36, p. 387-398, 2016.
- FERREIRA, J. A. da S. **Monitoramento da deficiência hídrica do meloeiro (*Cucumis melo* L.) com termometria infravermelha**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande – PB, 95 p. 1995.
- FERREIRA, T. T. S.; RODRIGUES, D. N. B.; GOMES FILHO, R. R. Demanda hídrica de fruteiras utilizando coeficiente de redução da evapotranspiração adequado a região do baixo Jaguaribe no Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE. v. 4, n. 4, p. 217 – 225, 2010.
- FERREIRA, L. S. Déficit de irrigação em amendoeiras (*Prunus dulcis* L.): Diferentes estratégias fisiológicas para avaliar o estado hídrico da cultura. Tese (doutorado em produção vegetal). Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ, 86p.; 2018.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, MG. v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; GONDIM, R. S.; ARAGÃO, F. A. S. **Produção de melão e mudanças climáticas: sistemas conservacionistas de cultivo para redução das pegadas de carbono e hídrica.** Embrapa Agroindústria Tropical - **Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2017.

FITTER, A. H.; FITTER, R. S. R. Rapid changes in flowering time in British plants. **Science**, [S.l.] v. 296, n. 5573, p. 1689-1691, 2002.

FONTENELE, A. J. P. B.; CARVALHO, M. A. R. de; CARVALHO, L. C. C. de; MONTEIRO, R. N. F.; SILVA, A. O. da; CORDEIRO NETO, A. T. Demanda hídrica de fruteiras utilizando coeficiente de redução adequado ao perímetro irrigado baixo Acaraú – CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE. v. 7, n. 2, p. 136 - 145, 2013.

FRANKS, P. J.; COWAN, I. R.; FARQUHAR, G. D. The apparent feedforward response of stomata to air vapour pressure deficit: information revealed by different experimental procedures with two rainforest trees. **Plant, Cell & Environment**, [S.l.] v. 20, n. 1, p. 142-145, 1997.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. D.; REZENDE, R.; FARIA, M. D. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão.** Maringá: Eduem, 2012.

GARCÍA-TEJERO, I. F.; DURÁN-ZUAZO, V. H.; MURIEL-FERNANDÉZ, J. L.; JIMÉNEZ-BOCANEGRA, J. A. Linking canopy temperature and trunk diameter fluctuations with other physiological water status tools for water stress management in citrus orchards. **Functional Plant Biology**, [S.l.] v. 38, n. 2, p. 106-117, 2011.

GARCÍA-TEJERO, I.; DURÁN-ZUAZO, V. H.; ARRIAGA, J.; HERNÁNDEZ, A.; VÉLEZ, L. M.; MURIEL-FERNÁNDEZ, J. L. Approach to assess infrared thermal imaging of almond trees under water-stress conditions. **Fruits**, [S.l.] v. 67, n. 6, p. 463-474, 2012.

GARCÍA-TEJERO, I. F.; COSTA, J. M.; EGIPTO, R.; DURÁN-ZUAZO, V. H.; LIMA, R. S. N.; LOPES, C. M.; CHAVES, M. M. Thermal data to monitor crop-water status in irrigated Mediterranean viticulture. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 176, p. 80-90, 2016.

GARCÍA-TEJERO, I. F.; HERNÁNDEZ, A.; PADILLA-DÍAZ, C. M.; DIAZ-ESPEJO, A.; FERNÁNDEZ, J. E. Assessing plant water status in a hedgerow olive orchard from thermography at plant level. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 188, p. 50-60, 2017a.

GARCÍA-TEJERO, I. F.; HERNÁNDEZ-COTÁN, A.; APOLO, O. E.; DURÁN-ZUAZO, V. H.; PORTERO, M. A.; RUBIO-CASAL, A. E. Infrared thermography to select commercial varieties of maize in relation to drought adaptation. **Quantitative Infra-Red Thermography Journal**, [S.l.] v. 14, n. 1, p. 54-67, 2017b.

GARCÍA-TEJERO, I. F.; RUBIO, A. E.; VIÑUELA, I.; HERNÁNDEZ, A.; GUTIÉRREZ-GORDILLO, S.; RODRÍGUEZ-PLÉGUEZUELO, C. R.; DURÁN-ZUAZO, V. H. Thermal imaging at plant level to assess the crop-water status in almond trees (cv. Guara) under deficit irrigation strategies. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 208, p. 176-186, 2018a.

GARCÍA-TEJERO, I. F.; ORTEGA-ARÉVALO, C. J.; IGLESIAS-CONTRERAS, M.; MORENO, J. M.; SOUZA, L.; TAVIRA, S. C.; DURÁN-ZUAZO, V. H. Assessing the crop-

water status in almond (*Prunus ulcis* mill.) trees via thermal imaging camera connected to smartphone. **Sensors**, [S.l] v. 18, n. 4, p. 1050, 2018b.

GATES, D. M. Leaf temperature and transpiration 1. **Agronomy Journal**, [S.l] v. 56, n. 3, p. 273-277, 1964.

GATES, David M. Transpiration and leaf temperature. **Annual Review of Plant Physiology**, [S.l] v. 19, n. 1, p. 211-238, 1968.

GAUTAM, D.; PAGAY, V. A review of current and potential applications of remote sensing to study the water status of horticultural crops. **Agronomy**, [S.l] v. 10, n. 1, p. 140, 2020.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSE, J. V.; FRAGA JUNIOR, E. F.; PERBONI, A. O estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE. v. 9, n. 6, p. 349-359, 2015.

GHAZOUANI, H.; CAPODICI, F.; CIRAULO, G.; MALTESE, A.; RALLO, G.; PROVENZANO, G. Potential of thermal images and simulation models to assess water and salt stress: Application to potato crop in central Tunisia. **Chemical Engineering Transactions**, [S.l] v. 58, p. 709-714, 2017.

GONZALEZ-DUGO, V.; ZARCO-TEJADA, P.; BERNI, J. A.; SUAREZ, L.; GOLDHAMER, D.; FERERES, E. Almond tree canopy temperature reveals intra-crown variability that is water stress-dependent. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S.l] v. 154, p. 156-165, 2012.

GONZALEZ-DUGO, V.; ZARCO-TEJADA, P. J.; FERERES, E. Applicability and limitations of using the crop water stress index as an indicator of water deficits in citrus orchards. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S.l] v. 198, p. 94-104, 2014.

GONZALEZ-DUGO, V.; ZARCO-TEJADA, P. J. Assessing the impact of measurement errors in the calculation of CWSI for characterizing the water status of several crop species. **Irrigation Science**, p. 1-13, 2022.

GRANT, O. M.; CHAVES, M. M.; JONES, H. G. Optimizing thermal imaging as a technique for detecting stomatal closure induced by drought stress under greenhouse conditions. **Physiologia Plantarum**, [S.l] v. 127, n. 3, p. 507-518, 2006.

GRANT, O. M.; TRONINA, L.; JONES, H. G.; CHAVES, M. M. Exploring thermal imaging variables for the detection of stress responses in grapevine under different irrigation regimes. **Journal of Experimental Botany**, [S.l] v. 58, n. 4, p. 815-825, 2007.

GRANT, O. M.; OCHAGAVÍA, H.; BALUJA, J.; DIAGO, M. P.; TARDÁGUILA, J. Thermal imaging to detect spatial and temporal variation in the water status of grapevine (*Vitis vinifera* L.). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, [S.l] v. 91, n. 1, p. 43-54, 2016.

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.

GUTIÉRREZ-GORDILLO, S.; GARCÍA-TEJERO, I. F.; ZUAZO, V. H. D.; ESCALERA, A. G.; GIL, F. F.; AMORES-AGÜERA, J. J.; RODRÍGUEZ, B. C.; HERNÁNDEZ-SANTANA, V. Assessing the water-stress baselines by thermal imaging for irrigation management in almond plantations under water scarcity conditions. **Water**, [S.l.] v. 12, n. 5, p. 1298, 2020.

HAISE, H. R.; HAGAN, R. M. Soil, plant, and evaporative measurements as criteria of scheduling irrigation. In: HAGAN, R. M.; HAISE, H. R.; EDMINSTER, T. W. (Ed.). **Irrigation of agricultural lands**. USA, Madison: American Society of Agronomy - ACSESS, (Agronomy Series, 11). p. 577-604, 1967.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Economic consideration of deficit irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, [S.l.] v. 110, n. 4, p. 343-358, 1984.

HAWORTH, M.; ELLIOTT-KINGSTON, C.; MCELWAIN, J. C. Stomatal control as a driver of plant evolution. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.] v. 62, n. 8, p. 2419-2423, 2011.

HERNANDEZ, F. B. T. **Efeito da supressão hídrica nos aspectos produtivos e qualitativos da cultura do melão**. (Tese de Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 90 p. 1995.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. **Pesquisa Produção Agrícola Municipal PAM – 2019**: tabelas. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 28 dez. 2022.

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.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, 2018. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. **Estação meteorológica de Sobral**, CE. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 16 out. 2020.

ISHIMWE, R.; ABUTALEB, K.; AHMED, F. Applications of Thermal Imaging in Agriculture - A Review. **Advances in Remote Sensing**, [S.l.] v. 3, n. 03, p. 128-140, 2014.

JACOBI, P. R.; GRANDISOLI, E. Água e sustentabilidade: desafios, perspectivas e soluções. 1ª ed, São Paulo: IEE-USP e Reconecta, 2017.

JACKSON, R. D.; REGINATO, R. J.; IDSO, S. B. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. **Water Resources Research**, [S.l.] v. 13, n. 3, p. 651-656, 1977.

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.
- JONES, H. G.; STOLL, M.; SANTOS, T.; SOUSA, C. D.; CHAVES, M. M.; GRANT, O. M. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.] v. 53, n. 378, p. 2249-2260, 2002.
- JONES, H. G.; LEINONEN, I. Thermal imaging for the study of plant water relations. **Journal of Agricultural Meteorology**, [S.l.] v. 59, n. 3, p. 205-217, 2003.
- KAUKORANTA, T.; MURTO, J.; TAKALA, J.; TAHVONEN, R. Detection of water deficit in greenhouse cucumber by infrared thermography and reference surfaces. **Scientia Horticulturae**, [S.l.] v. 106, n. 4, p. 447-463, 2005.
- KEENER, M. E.; KIRCHER, P. L. The use of canopy temperature as an indicator of drought stress in humid regions. **Agricultural Meteorology**, [S.l.] v.28, n. 4, p. 339-349, 1983.
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.
- KHAN, M. I.; SADDIQUE, Q.; ZHU, X.; ALI, S.; AJAZ, A.; ZAMAN, M.; SADDIQUE, N.; BUTTAR, N. A.; ARSHAD, R. H.; SARWAR, A. Establishment of Crop Water Stress Index for Sustainable Wheat Production under Climate Change in a Semi-Arid Region of Pakistan. **Atmosphere**, [S.l.] v. 13, n. 12, p. 2008, 2022.
- KIRDA, C. Deficit irrigation sheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. In: FAO, Deficit Irrigation Practices. FAO water report, n. 22. FAO, Rome, Italy, 111 p. 2002.
- LAGOS, L. O.; LAMA, W.; HIRZEL, J.; SOUTO, C.; LILLO, M. Evaluación de Riego deficitario controlado sobre la producción de kiwi (*Actinidia deliciosa*). **Agrociencia**, Texcoco, v. 51, n. 4, p. 359-372, 2017.
- LAURENTINO, L. G. de S. **Demanda hídrica e crescimento do meloeiro em relação aos graus-dia acumulados**. Monografia (Graduação). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia – PB, 59 f, 2018.
- LAWRENCE, M. G. The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air: A simple conversion and applications. **Bulletin of the American Meteorological Society**, [S.l.] v. 86, n. 2, p. 225-234, 2005.
- LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C da. **Ecologia e conservação da Caatinga** – Recife, PE: Editora Universitária da UFPE, 2003, 822p.
- LIRA, O. de O. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. **BRASIL, Ministério da Saúde**. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). – Brasília: Funasa, 2014. 112 p.

LIU, N.; DENG, Z.; WANG, H.; LUO, Z.; GUTIÉRREZ-JURADO, H. A.; HE, X.; GUAN, H. Thermal remote sensing of plant water stress in natural ecosystems. **Forest Ecology and Management**, [S.l.] v. 476, p. 118433, 2020.

LOPES, C. **Rega da vinha**. 13 p. I Conferências da Tapada. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia, 2008.

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.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **IRRIGAÇÃO: Princípios e Métodos**. 3ª. ed. atual. – Viçosa: UFV, 2009. 351 p.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, W. L. C. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, (**Circular Técnica da Embrapa Hortaliças**, 11), p. 15, 1998.

MAROUELLI, W. A.; OLIVEIRA, Á. S.; COELHO, E. F.; NOGUEIRA, L. C.; SOUSA, V. F. Manejo da água de irrigação. 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. 5, p. 157 - 232.

MEDEIROS, A. M. A.; BARBOSA, J. E. L.; MEDEIROS, P. R.; ROCHA, R. M.; SILVA, L. F. Salinity and fresh water discharge determine rotifer distribution at the Mossoró River Estuary (Semiarid Region of Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, [S.l.] v. 70, n. 3, p. 551-557, 2010.

MIRANDA, F.R. de; BLEICHER, E. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo e de irrigação para a cultura do melão (*Cucumis melo* L.) na Região Litorânea do Ceará. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 2. 17 p., 2001.

MITCHELL, P. D.; JERIE, P. H.; CHALMERS, D. J. Effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, [S.l.] v. 109, n. 5, p. 604-606, 1984.

MOLINA-OCHOA, M. J.; VÉLEZ-SÁNCHEZ, J. E.; RODRÍGUEZ, P. Efecto del riego deficitario controlado em las tasas de crecimiento del fruto de pera (*Pyrus communis* L.), var. Triunfo de Viena. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, Bogotá, v. 9, n. 2, p. 234-246, 2015.

MOLINA-OCHOA, M. J.; VÉLEZ-SÁNCHEZ, J. E.; RODRÍGUEZ, P. Effect of regulated deficit on tree growth of pear cv. Triunfo de Viena. **Agronomia Colombiana**, Bogotá, v. 33. n. 3, p. 330-338, 2015.

MÖLLER, M.; ALCHANATIS, V.; COHEN, Y.; MERON, M.; TSIPRIS, J.; NAOR, A.; OSTROVSKY, V.; SPRINTSIN, M.; COHEN, S. Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.] v. 58, n. 4, p. 827-838, 2007.

MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. Principles of environmental physics (2nd edn). London, UK: Edward Arnold. 1990.

MORAN, M. S.; CLARKE, T. R.; INOUE, Y.; VIDAL, A. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.] v. 49, n. 3, p. 246-263, 1994.

MORISON, J. I. L.; MORECROFT, M. D. (Ed.). **Plant growth and climate change**. John Wiley & Sons, 2008.

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.

NANGARE, D. D.; SINGH, Y.; KUMAR, P. S.; MINHAS, P. S. Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 171, p. 73-79, 2016.

NEGREIROS, M. Z. de; MEDEIROS, J. F. de. **Produção de melão no Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Instituto Frutal, 2005. 110 p.

OLALLA, F. M. de S.; DOMINGUEZ-PADILLA, A.; LOPEZ, R. Production and quality of the onion crop (*Allium cepa* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 68, n. 1, p. 77-89, 2004.

OLIVEIRA, F. I. C.; GRANGEIRO, L. C.; NEGREIROS, M. Z.; NUNES, G. H. S.; ARAGÃO, F. A. S. **Sistema de produção de melão no polo agrícola Jaguaribe-Açu**. In: FIGUEIRÊDO, M. C. B.; GONDIM, R. S.; ARAGÃO, F. A. S. Produção de melão e mudanças climáticas: sistemas conservacionistas de cultivo para redução das pegadas de carbono e hídricas. Embrapa, Brasília – DF, 2017b. Cap. 3, p. 45 – 76.

OLIVEIRA, F. I. C.; NUNES, A. C.; SILVA, F. D.; SILVA, G. T. M. A.; ARAGÃO, F. A. S. **A cultura do melão**. In: FIGUEIRÊDO, M. C. B.; GONDIM, R. S.; ARAGÃO, F. A. S. Produção de melão e mudanças climáticas: sistemas conservacionistas de cultivo para redução das pegadas de carbono e hídricas. Embrapa, Brasília – DF, 2017a. Cap. 1, p. 17 – 31.

PADHI, J.; MISRA, R. K.; PAYERO, J. Use of infrared thermography to detect water deficit response in an irrigated cotton crop. **Water Resources and Watershed Management (WRWM)**, [S.l.] p. 1-10, 2009.

PADHI, J.; MISRA, R. K.; PAYERO, J. O. Estimation Of Soil Water Deficit In An Irrigated Cotton Field With Infrared Thermography. **Field Crops Research**, [S.l.] v.126, p.45–55, 2012.

PAULA, J. A. A.; CARDOSO, E. A.; SOUSA, R. P.; ASSIS, J. P. Análise agronômica e econômica do cultivo de melão (*Cucumis melo*, L.) conduzido na região semiárida do nordeste brasileiro. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 14, n. 26, p.44 – 52, 2017.

PEDROSA, J. F. **Cultura do melão**. Mossoró: ESAM, 1997. 50 p. Apostila.

PILLITTERI, L. J.; TORII, K. U. Mechanisms of Stomatal Development. **Annual Review of Plant Biology**, [S.l.] v. 63, p. 591-614, 2012.

PIPATSITEE, P.; EIUMNOH, A. PRASEARTKUL, P.; TAOTA, K.; KONGPUGDEE, S. SAKULLEERUNGROJ, K.; CHA-UM, S. Application of infrared thermography to assess cassava physiology under water deficit condition. **Plant Production Science**, [S.l.] v.21, n.4, 398 – 406, 2018.

POBLETE-ECHEVERRÍA, C.; ORTEGA-FARÍAS, S.; ZUÑIGA, M.; LOBOS, G. A.; ROMERO, S.; ESTRADA, F.; FUENTES, S. Use of infrared thermography on canopies as indicator of water stress in 'Arbequina' olive orchards. **Acta Horticulturae**, [S.l.] n. 1057, p. 399-403, 2014.

POU, A.; DIAGO, M. P.; MEDRANO, H.; BALUJA, J.; TARDAGUILA, J. Validation of thermal indices for water status identification in grapevine. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 134, p. 60-72, 2014.

POWLES, J. E.; BUCKLEY, T. N.; NICOTRA, A. B.; FARQUHAR, G. D. Dynamics of stomatal water relations following leaf excision. **Plant, Cell & Environment**, [S.l.] v. 29, n. 5, p. 981-992, 2006.

RANILOVIĆ, B.; CUKROV, A.; BORAS, I.; ŠVAIĆ, S.; ZOVKO, M. Infrared Thermography as a Prediction Tool for the Irrigation Requirement in Agriculture. **Transactions of FAMENA**, [S.l.] v. 45, n. SI-1, p. 23-34, 2021.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2ª ed – Barueri, SP: Manole, 2012.

RIOS, J. B. **El uso de la teledetección de alta resolución como herramienta para realizar un manejo eficiente del Riego em viñedos**. Tese de Doutorado. Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba (ESP), 2014.

RÍOS, J. B. Uso de la teledetección de alta resolución con sensores térmicos para el manejo del riego y la variabilidad espacial intralote. **Revista Palmas**, [S.l.] v. 37, p. 267-273, 2016.

ROBINSON, R. W.; DECKER-WALTERS, D. S. Evolution and exploitation. In: ROBINSON, R. W.; DECKER-WALTERS, D. S. (Ed.). **Curcubis**. New York: CAB International, 1997. Cap. 2, p. 35.

RUNNING, S. W. Environmental control of leaf water conductance in conifers. **Canadian Journal of Forest Research**, [S.l.] v. 6, n. 1, p. 104-112, 1976.

SALIENDRA, N. Z.; SPERRY, J. S.; COMSTOCK, J. P. Influence of leaf water status on stomatal response to humidity, hydraulic conductance, and soil drought in *Betula occidentalis*. **Planta**, Salt Lake city, v. 196, n. 2, p. 357-366, 1995.

SANTOS, M. R. dos. **Irrigação com déficit hídrico controlado na cultura da mangueira no semiárido baiano**. Tese (doutorado em engenharia agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 79 p. 2012.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual De descrição e coleta de solo no campo**. 6ª ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – SBCS, 2013, 100 p.

SANTOS, T.P.; LOPES, C.M.; RODRIGUES, M.L.; SOUZA, C.R.; SILVA, J.R.; MAROCO, J.P.; PEREIRA, J.S.; CHAVES, M.M. Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of Moscatel field-grown grapevines. **Scientia Horticulturae**, [S.l.] v. 112, p. 321-330, 2007.

SANTOS, W. O.; BATISTA, B. D. O.; ASSIS, J. P.; RODRIGUES, W. M.; SOBRINHO, J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETO) para a região de Mossoró – RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S.l.] v. 5, n. 5, p. 210-221, 2010.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; HEMMINGSEN, E. A.; BRADSTREET, E. D. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [S.l.] v. 52, n. 1, p. 119-125, 1964.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. **Science**. USA, University of California los Angeles –AAAS. v. 148, p. 339-346, 1965.

SEZEN, S. M.; YAZAR, A.; DAŞGAN, Y.; YUCEL, S.; AKYILDIZ, A.; TEKIN, S.; AKHOUNDNEJAD, Y. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 143, p. 59-70, 2014.

SHOA, P.; HEMMAT, A.; GHEYSARI, M.; AMIRFATTAHI, R. Effect of micro climatic indices on the accuracy of thermographic plant water status monitoring, case study of a semi-arid area. **Quantitative Infra-Red Thermography Journal**, [S.l.] v. 18, n. 5, p. 283-299, 2021.

SILVA, B. D.; FERREIRA, J. A.; RAO, T. V. R.; SILVA, V. P. R. Crop water stress index and water use efficiency for melon (*cucumis melo* L.) on different irrigation regimes. **Agricultural Journal**, [S.l.] v. 2, n. 1, p. 31-37, 2007.

SILVA, E. A. D.; BRUNINI, O.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. D. M. Influência de déficits hídricos controlados na uniformização do florescimento e produção do cafeeiro em três diferentes condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 493-501, 2009.

SILVA, C. J. D.; SILVA, C. A. D.; FREITAS, C. A. D.; GOLYNSKI, A.; SILVA, L. F. da; FRIZZONE, J. A. Tomato water stress index as a function of irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, p. 95-100, 2018.

SILVA, M. A. **Caracterização fisiológica em mudas de *eucalyptus citriodora* hook submetidas a déficit hídrico**. Dissertação (mestrado em ciências florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE, 76 p.; 2008.

SIMÕES, W. L.; CALGARO, M.; GUIMARÃES, M. J.; OLIVEIRA, A. R. D.; PINHEIRO, M. P. M. A. Sugarcane crops with controlled water deficit in the Sub-Middle São Francisco Valley, Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, p. 963-971, 2018.

SONG, X.; BAI, P.; DING, J.; LI, J. Effect of vapor pressure deficit on growth and water status in muskmelon and cucumber. **Plant Science**, [S.l.] v. 303, p. 110755, 2021.

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.

STOLL, M.; JONES, H. G. Thermal imaging as a viable tool for monitoring plant stress. **Journal International des Sciences de Lavigne et Duvin**, [S.l.] v. 41, n. 2, pág.77-84, 2007.

TAGHVAEIAN, S.; CHÁVEZ, J. L.; HANSEN, N. C. Infrared thermometry to estimate crop water stress index and water use of irrigated maize in Northeastern Colorado. **Remote Sensing**, [S.l.] v. 4, n. 11, p. 3619-3637, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ª ed - Porto Alegre: Artmed. 2006. 719p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; Møller, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª ed. – Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TANNER, C. B. Plant Temperatures 1. **Agronomy Journal**, [S.l.] v. 55, n. 2, p. 210-211, 1963.

VALCÁRCEL, M.; LAHOZ, I.; CAMPILLO, C.; MARTÍ, R.; LEIVA-BRONDO, M.; ROSELLO, S.; CEBOLLA-CORNEJO, J. Controlled deficit irrigation as a water-saving strategy for processing tomato. **Scientia Horticulturae**, [S.l.] v. 261, p. 108972, 2020.

VALÍN, M. I.; ARAÚJO-PAREDES, C. A.; ALONSO, J.; RODRIGUES, A. S.; MENDES, S. Utilização de técnicas de termografia para a avaliação do estado hídrico da *vitis vinífera* cv Loureiro. X Congreso Ibérico de Agroingeniería. Huesca – España. 2019.

VALNIR JÚNIOR, M. **Melão tipo exportação sob diferentes lâminas de água e frequência de irrigação**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, PB. 135 p.; 2007.

VALNIR JÚNIOR, M.; LIMA, V. L. A. de; GOMES FILHO, R. R.; CARVALHO, C. M. de; SOARES, F. A. L.; LIMA, S. C. R. V. Lâminas de irrigação e frequência de aplicação no crescimento do meloeiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, Fortaleza – CE, v. 7, n. 1, 2013.

VARONA, R. M. Efecto del Riego deficitario controlado em la productividad del banano. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, San José de las Lajas, v. 22, n. 2, p. 51-55, 2013.

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).

VIANA, T. V. de A.; JUAREZ, J. M.; ALCÂNTARA, P. F.; GIMENO, M. A. M.; VIANA, S. F. Utilização da termografia na detecção do estresse hídrico. XXV CONIRD – Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. UFC – São Cristóvão, SE, 2015.

VIEIRA, D. A.; MESQUITA, A. C.; MARINHO, L. B.; SOUZA, V. de; AIDAR, S. de T.; CARVALHO, M. M. P. C. Gas exchanges of melon under water stress in the Submedium region of the São Francisco River Valley. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [S.l.] v. 41, 2019.

YANG, H.; LIU, H.; ZHENG, J.; HUANG, Q. Effects of regulated deficit irrigation on yield and water productivity of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) in the arid environment of Northwest China. **Irrigation Science**, [S.l.] v. 36, n. 1, p. 61-74, 2018.

ZAPATA-SIERRA, A. J.; MANZANO-AGUGLIARO, F. Controlled déficit irrigation for Orange tress in Mediterranean countries. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.] v. 162, p. 130-140, 2017.

ZARCO-TEJADA, P. J.; GONZÁLEZ-DUGO, V.; BERNI, J. A. J. FLUORESCENCE. Temperature and Narrow-Band Indices Acquired From A UAV Platform for Water Stress Detection Using a Micro-Hyperspectral Imager and a Thermal Camera. **Remote Sensing of Environment**. Netherlands, Elsevier. v. 117, p. 322–337, 2012.

ZIA, S.; SPOHRER, K.; WENYONG, D.; SPREER, W.; ROMANO, G.; XIONGKUI, H.; JOACHIM, M. Monitoring physiological responses to water stress in two maize varieties by infrared thermography. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, [S.l.] v. 4, n. 3, p. 7-15, 2011.

ZOULIAS, N.; HARRISON, E. L.; CASSON, S. A.; GRAY, J. E. Molecular control of stomatal development. **Biochemical Journal**, [S.l.] v. 475, n. 2, p. 441-454, 2018.

ZWIRTES, A. L. **Características morfofisiológicas e produtividade de plantas de sorgo submetidas à irrigação deficitária**. Dissertação (mestrado em engenharia agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 95 p.; 2013.