



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

**FRANCISCO FÁBIO LIMA GOMES**

**IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT REGULADO ASSOCIADO AO USO DO HIDROGEL**  
**NA CULTURA DO PIMENTÃO**

**FORTALEZA**

**2025**

FRANCISCO FÁBIO LIMA GOMES

IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT REGULADO ASSOCIADO AO USO DO HIDROGEL NA  
CULTURA DO PIMENTÃO

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 (a): Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva  
Coorientador (a): Prof. Dr. Luis Gonzaga Pinheiro Neto.

FORTALEZA

2025

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)

---

G614i Gomes, Francisco Fábio Lima.  
Irrigação com déficit regulado associado ao uso do hidrogel na cultura do pimentão / Francisco Fábio Lima Gomes. – 2025.  
77 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Alessandro Oliveira da Silva.

Coorientação: Prof. Dr. Luis Gonzaga Pinheiro Neto.

1. Índice térmico. 2. Manejo da Irrigação. 3. Hidrorretentor. I. Título.

CDD 630

---

FRANCISCO FÁBIO LIMA GOMES

IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT REGULADO ASSOCIADO AO USO DO HIDROGEL NA  
CULTURA DO PIMENTÃO

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 25 / 09 / 2025

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

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

---

Prof. Dr. Luis Henrique Bassoi  
Embrapa Instrumentação São Carlos-SP

---

Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

À Deus. A minha mãe Maria Jovelina Braga Lima, ao meu pai Francisco de Assis Gomes Lima, aos meus irmãos (Fabiola, Fabrício e Felipe) e toda minha família pelo apoio nessa jornada.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado a força e o prazer de estudar e aprender.

Ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao professor Dr. Alessandro Oliveira da Silva e ao Professor Dr. Luis Gonzaga Pinheiro Neto pela orientação e coorientação, como também pelo apoio, ajuda e ensinamentos fundamentais no meu crescimento profissional e científico.

Aos professores da banca examinadora, prof. Luis Henrique Bassoi, prof. Ênio Farias de França e Silva, pelas correções que aprimoraram a dissertação e ao prof. Raimundo Nonato Távora Costa pelas sugestões na qualificação.

A todo o grupo de pesquisa pela ajuda e colaboração, em especial a Dra. Rafaela Arruda pelas dicas e operação da câmara de Scholander. Agradeço as discentes Daniela Andreska da Silva, Jamili Nobre Fiusa Pimentel, Vanessa Pires de Souza, James do Nascimento Costa, pela grande ajuda e auxílio prestado principalmente nas avaliações.

Ao Dr. Joilson Silva Lima por me incentivar a seguir na área da pesquisa e pela assistência técnica no controle de pragas e doenças que ocorreram ao longo do experimento. Ao Dr. Marlos Alves e a Dra. Amanda Soraya Freitas pela disponibilização e operação do analisador de gás no infravermelho (IRGA) e a câmara de Scholander, fundamentais nas análises dessa dissertação.

A todos os funcionários da estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará, especialmente ao servidor Weverton e aos servidores Fernando e Slone.

“ Um pouco de ciência te afasta de Deus, muita te aproxima dele” (Louis Pasteur).

## RESUMO

Devido ao aumento do uso da água e a escassez hídrica em diversas regiões do mundo, técnicas para elevar a produtividade da água se fazem necessárias, principalmente na produção de hortaliças como o pimentão. O objetivo desse trabalho foi analisar o desenvolvimento e a produção da cultura do pimentão quando submetida ao déficit hídrico regulado, associado ao uso do hidrogel. O experimento foi conduzido em um delineamento de blocos completos ao acaso com 4 repetições, no esquema de parcelas subdivididas, com cinco tratamentos de irrigação: (100% da evapotranspiração da cultura (ETc) durante todo o ciclo (IP); 60% da ETc durante todo o ciclo da cultura (DR); 60% da ETc somente na fase vegetativa (DCV); 60% da ETc somente na fase de floração (DFL) e 60% da ETc somente na fase de frutificação (DFR)) e nas subparcelas foi utilizado o polímero hidrogel (com e sem). As variáveis analisadas foram: de crescimento (altura da planta, número de folhas diâmetro do caule, massa seca e fresca da folha e do caule), fisiológicas (potencial hídrico foliar e trocas gasosas), térmicas (índices de estresse hídrico da cultura), produção e produtividade da água de irrigação. O hidrogel não influenciou nos efeitos causados pelo déficit nos tratamentos DCV e DFL; entretanto, na fase de frutificação o hidrogel mostrou uma resposta positiva reduzindo os efeitos do déficit na fase final da cultura. A irrigação de 60% da ETc pode ser usada pelo menos em um estágio do pimentão, não afetando de forma significativa seu desenvolvimento e rendimento. O déficit hídrico durante todo o ciclo da cultura (tanto com como sem o hidrogel) não demonstrou ser uma boa estratégia de irrigação, pois reduziu de forma significativa o desenvolvimento, rendimento e eficiência do uso da água.

**Palavras-chave:** índice térmico; manejo da irrigação; hidroretentor.

## ABSTRACT

Due to increased water use and water scarcity in several regions of the world, techniques to increase water productivity are necessary, especially in the production of vegetables such as bell peppers. The objective of this study was to analyze the development and production of bell peppers under regulated water deficit conditions, combined with the use of hydrogel. The experiment was conducted in a randomized complete block design with four replicates, in a split-plot design, with five irrigation treatments: (100% of crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) throughout the crop cycle (IP); 60% of ET<sub>c</sub> throughout the crop cycle (DR); 60% of ET<sub>c</sub> only in the vegetative phase (DCV); 60% of ET<sub>c</sub> only in the flowering phase (DFL); and 60% of ET<sub>c</sub> only in the fruiting phase (DFR)). The subplots used the hydrogel polymer (with and without). The variables analyzed were: growth (plant height, number of leaves, stem diameter, leaf and stem dry and fresh mass), physiological (leaf water potential and gas exchange), thermal (crop water stress indices), production, and irrigation water productivity. The hydrogel did not influence the effects of the deficit in the DCV and DFL treatments; however, in the fruiting phase, the hydrogel showed a positive response, reducing the effects of the deficit in the final phase of the crop. Irrigation at 60% of ET<sub>c</sub> can be used at least in one stage of the pepper, without significantly affecting its development and yield. Water deficit throughout the crop cycle (both with and without the hydrogel) did not prove to be a good irrigation strategy, as it significantly reduced development, yield, and water use efficiency.

**Keywords:** thermal index; irrigation management; water-retainer.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Imagens térmicas do pimentão aos 60 dias após o transplântio, com estresse hídrico (A) e sem estresse hídrico (B) .....	22
Figura 2	– Estufa experimental localizada na estação meteorológica da Universidade do Ceará .....	24
Figura 3	– Temperatura (T °C) e Umidade relativa (UR %) média dentro da estufa ao longo do ciclo de cultivo do pimentão .....	25
Figura 4	– Produção de mudas de pimentão em bandeja (A). Vasos com o fundo preenchidos co brita e manta bidim (B). Vasos cheios com solo (C). Transplântio de mudas (D) e vasos com mudas espaçadas de 0,5 x 1 m .....	26
Figura 5	– Visão do Bloco experimental (A). Procedimento para aplicação do hidrogel no vaso (B) .....	28
Figura 6	– Registro inicial para controle dos déficits (A), Linhas laterais de polietileno e Linha principal de PVC (B), Sistema montado (C), Esquema de coleta de vazões para o teste de uniformidade do sistema de irrigação localizada (D) ...	30
Figura 7	– Tensiômetros instalados (A e C); Tensímetro digital (B). Curva de umidade x Tensão do solo experimental (D) .....	32
Figura 8	– Mensuração do diâmetro caulinar (A), Massa fresca da folha (B) e do Caule (C), Plantas dentro da estufa para obtenção da massa seca (D) .....	33
Figura 9	– Peso médio do fruto em balança de precisão (A), Diâmetro longitudinal do fruto (B) .....	33
Figura 10	– Imagem térmica (A); Captura da imagem (B); Aplicação da vaselina para aquisição da imagem de referência seca (C) .....	34
Figura 11	– Análise do potencial hídrico foliar com auxílio de uma bomba de pressão do tipo Scholander .....	35
Figura 12	– Análise das trocas gasosas com um analisador portátil de gases no infravermelho (IRGA) .....	36
Figura 13	– Umidade do solo em todas as estratégias de irrigação com (A) e sem (B) o uso do polímero hidrogel .....	37
Figura 14	– Médias obtidas para altura da planta, número de folhas e diâmetro do caule, submetido as estratégias de irrigação .....	39

Figura 15	– Médias obtidas para massa fresca e seca da folha e massa fresca e seca do caule, submetido as estratégias de irrigação .....	40
Figura 16	– Médias obtidas para o número de frutos (A), diâmetro longitudinal do fruto (B) peso seco e fresco do fruto (C e D) e peso médio do fruto (E), submetido as estratégias de irrigação, com e sem uso do hidrogel (CH; SH) .....	43
Figura 17	– Produção (A) e eficiência do uso da água de irrigação (B) submetida as estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do polímero hidrogel .....	45
Figura 18	– Médias obtidas para o potencial hídrico foliar na fase vegetativa (Figura 18 A) e estágio de frutificação (Figura 18 B), sob interação das estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel .....	47
Figura 19	– Médias obtidas para a taxa de transpiração na fase vegetativa (A), floração (B) e frutificação (C), submetido as estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel .....	50
Figura 20	– Médias obtidas para a condutância estomática na fase vegetativa (60 DAT) (A e B), floração (90 DAT) (A) e frutificação (120 DAT) (C) DAT, submetido as estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel .....	52
Figura 21	– Médias obtidas para a fotossíntese líquida na fase vegetativa (A e B), floração (C) e frutificação (D), submetido as estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel .....	54
Figura 22	– Médias obtidas para os índices térmicos CWSI e $\Delta T$ , na fase vegetativa, submetido as estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel, nos horários de 6:30h; 8:30h; 10:30h; 12:30h; 14:30h; 16:30h do dia .....	57
Figura 23	– Médias obtidas para os índices térmicos CWSI e $\Delta T$ , nas fases de floração (A, B e C) e frutificação (D), submetido as estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel, nos horários de 6:30h; 8:30h; 10:30h; 12:30h; 14:30h; 16:30h do dia .....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Recomendação de adubação para o pimentão .....	26
Tabela 2	– Quantidade relativa de nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P) e cálcio (Ca) aplicada via fertirrigação por gotejamento, ao longo do ciclo de desenvolvimento do pimentão .....	27
Tabela 3	– Coeficientes de cultivo para as diferentes fases fenológicas da cultura do pimentão .....	29
Tabela 4	– Resumo das análises de variância da altura da planta (AP), diâmetro caulinar (DC), número de folhas (NF), massa fresca da folha e caule (MFF, MFC), massa seca da folha e caule (MSF, MSC) .....	38
Tabela 5	– Resumo da análise de variância do número de frutos por planta (NF), peso médio do fruto (PF), peso fresco do fruto (PFR), peso seco do fruto (PSF), diâmetro longitudinal e transversal do fruto (DLOG; DTRA) e produção por planta (PROD) do pimentão .....	41
Tabela 6	– Resumo das análises de variância (F calculado) para o potencial hídrico filiar, em função das estratégias de irrigação e uso do hidrogel, avaliados na fase vegetativa (VG), e nos estádios de florescimento (FL) e de frutificação (FR) .....	46
Tabela 7	– Resumo das análises de variância para as variáveis concentração de gás carbônico (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (gs), fotossíntese líquida (A). Nas fases vegetativa (VG), floração (FL) e frutificação (FR) .....	49
Tabela 8	– Resumo das análises de variância (F calculado) para os índices térmicos CWSI e $\Delta T$ , em função das estratégias de irrigação e uso do hidrogel, avaliados nas fases vegetativa (VG), floração (FL) e frutificação (FR), nos horários de 6:30h; 8:30h; 10:30h; 12:30 h; 14:30 h; 16:30 h .....	55
Tabela 9	– Imagens térmicas submetidas as estratégias de déficit e uso do hidrogel nas fases vegetativa, floração e frutificação, nos horários de 14:30h, 12:30h e 10:30h, respectivamente .....	60

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	14
<b>2.1</b>	<b>Geral</b> .....	14
<b>2.2</b>	<b>Específicos</b> .....	14
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
<b>3.1</b>	<b>A cultura do pimentão</b> .....	15
<b>3.2</b>	<b>Manejo da Irrigação</b> .....	16
<b>3.3</b>	<b>Déficit hídrico</b> .....	17
<b>3.4</b>	<b>Efeito do polímero hidrogel na retenção hídrica</b> .....	19
<b>3.5</b>	<b>Imagens térmicas e Índices térmicos</b> .....	21
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	23
<b>4.1</b>	<b>Caracterização do ambiente experimental</b> .....	23
<b>4.2</b>	<b>Variáveis Meteorológicas</b> .....	24
<b>4.3</b>	<b>Produção de mudas, transplante e tratamentos culturais</b> .....	25
<b>4.4</b>	<b>Delineamento experimental</b> .....	27
<b>4.5</b>	<b>Sistema de irrigação</b> .....	29
<b>4.6</b>	<b>Manejo da irrigação</b> .....	31
<b>4.7</b>	<b>Curva de retenção de água no solo</b> .....	31
<b>4.8</b>	<b>Variáveis a serem analisadas</b> .....	32
<b>4.8.1</b>	<i>Variáveis de crescimento</i> .....	32
<b>4.8.2</b>	<i>Variáveis de produção</i> .....	33
<b>4.8.3</b>	<i>Estado hídrico da planta</i> .....	34
<b>4.8.4</b>	<i>Índices de estresse hídrico da planta (CWSI) e (<math>\Delta T</math> canopy – ar)</i> .....	35
<b>4.8.5</b>	<i>Potencial hídrico foliar (<math>\Psi F</math>)</i> .....	35
<b>4.8.6</b>	<i>Trocas Gasosas</i> .....	35
<b>4.8.7</b>	<i>Eficiência do uso da água</i> .....	36
<b>4.9</b>	<b>Análise estatística</b> .....	36
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	36
<b>5.1</b>	<b>Umidade do solo</b> .....	36
<b>5.2</b>	<b>Variáveis de Crescimento</b> .....	48
<b>5.3</b>	<b>Variáveis de Produção e EUA</b> .....	41

<b>5.4</b>	<b>Variáveis Fisiológicas .....</b>	<b>46</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Potencial Hídrico Foliar (<math>\Psi_F</math>) .....</b>	<b>46</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Trocas Gasosas .....</b>	<b>48</b>
<b>5.5</b>	<b>Índices Térmicos .....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A área e a produção mundial de pimentão (*Capsicum annuum L.*) foram relatadas como 1,99 milhões de hectares e 38,02 milhões de toneladas, respectivamente, sendo cultivado em 126 países do mundo, destacando a China como o maior produtor mundial, seguida pelo México (TIAMIYU et al., 2023). No Brasil se destacam: Minas Gerais, São Paulo, Ceará, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Pernambuco, somando 87% da produção total (SILVA et al., 2022).

A irrigação é o setor de maior uso da água no Brasil, responsável por 46% das retiradas nos corpos hídricos e por 67% do consumo (água que não retorna diretamente) (ANA, 2015). Destes recursos, estima-se que apenas metade fica disponível à cultura, sendo o restante “perdido” entre o ponto de captação e o plantio. Em muitos países em desenvolvimento, a proporção utilizada é ainda maior, evidenciando a dependência das economias rurais ao recurso hídrico para a agricultura (KNOX; KAY; WEATHERHEAD, 2012).

Em condições limitadas de abastecimento de água, a utilização de tecnologias de irrigação com déficit de economia de água é considerada uma estratégia essencial para garantir um equilíbrio favorável da umidade do solo na zona radicular com maior eficiência no uso da água, sem prejudicar o rendimento e a qualidade das culturas (PATRA et al., 2022).

A irrigação com déficit regulado (RDI) tem sido aplicada com sucesso em culturas frutíferas e hortícolas (LIMA et al., (2015); WANG et al., (2023); LI et al., (2019)). No entanto, a viabilidade econômica da produção agrícola quando submetida ao RDI precisa ser avaliada, considerando que o rendimento e a qualidade das culturas podem ser afetados pela quantidade do déficit hídrico e pelas fases de desenvolvimento das culturas durante as quais a RDI é aplicada (YANG et al., 2018).

Uma outra tecnologia que maximiza o uso da água é a utilização do polímero hidrorretentor que tem sido utilizado no setor agrícola como condicionador de solo devido ao seu uso polivalente na absorção e na capacidade de armazenamento de água. O hidrogel mantém um alto volume de água e tem a capacidade de liberação de umidade sob condições de déficit hídrico e, conseqüentemente, melhora a eficiência do uso da água e nutrientes, diminuindo as perdas por evaporação, percolação e lixiviação de nutrientes sob os climas áridos e semiáridos do mundo, melhorando o desenvolvimento e rendimento das culturas (PATRA et al., 2022).

Os hidrogéis reduzem a frequência de irrigação, diminui a compactação e aumenta a aeração e a atividade microbiana do solo, além de atuar como um reservatório cuja água é liberada mediante demanda da raiz através da diferença de pressão osmótica (NEETHU; DUBEY; KASWALA, 2018). Essas características são essenciais para uma maior eficiência de

produção, sendo necessário comprovar cada vez mais sua eficácia com avaliações em plantas cultivadas sob estresse hídrico.

Nas últimas décadas, foram desenvolvidos métodos para monitorar diretamente o estresse hídrico na planta como determinação da condutância estomática, potencial hídrico foliar, conteúdo relativo de água e medidas de fluxo de seiva. Além desses, os índices espectrais da vegetação e termografia infravermelha tem surgido como métodos alternativos interessantes para o monitoramento do estado hídrico das culturas, devido à sua confiabilidade, rapidez na aquisição de dados e natureza não destrutiva (PRADAWET *et al.*, 2022).

As principais limitações desta técnica estão no processamento da imagem e na sua correta interpretação. Por causa disso, muitas vezes são necessárias relações entre as imagens térmicas e outros parâmetros fisiológicos, como condutância estomática, taxa fotossintética líquida, transpiração e potencial hídrico do caule (GARCIA *et al.*, 2018). Tais parâmetros são essenciais no estudo do déficit hídrico, indicando os efeitos da baixa umidade do solo nos processos fisiológicos da planta.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Analisar o potencial de uso do hidrorretentor tipo hidrogel para mitigar os efeitos do déficit hídrico no desenvolvimento e produção da cultura do pimentão submetida a diferentes estratégias de irrigação.

### **2.2 Específicos**

- Monitorar o estado hídrico das plantas ao longo do ciclo da cultura por meio da termografia infravermelha;
- Quantificar a eficiência no uso da água proporcionado pelas estratégias de irrigação com déficit;
- Estudar a viabilidade da aplicação da irrigação por déficit regulado (RDI) em diferentes fases fenológicas da cultura do pimentão;
- Verificar o potencial e limitações do hidrogel para uso em plantas em regime de irrigação deficitária.
- Quantificar o crescimento da cultura, produtividade e qualidade dos frutos do pimentão quando submetidos ao déficit hídrico.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 A cultura do pimentão

O pimentão (*Capsicum annuum L.*), pertencente à família das solanáceas, é uma cultura de clima tropical. Do ponto de vista econômico, está entre as dez hortaliças mais importantes do mercado brasileiro, sendo uma cultura que, devido ao curto período para o início da produção, apresenta retorno rápido dos investimentos, por isto é largamente explorada por pequenos e médios horticultores (NASCIMENTO *et al.*, 2015).

Essa olerícola tem sido classificada como suscetível ao estresse hídrico, sendo o período vegetativo e floração o período mais crítico (COLAK, 2021). Uma quantidade adequada de água no solo durante o período de crescimento da cultura é necessária para o crescimento, rendimento e qualidade dos frutos (KABIR *et al.*, 2021).

Segundo Abdelkhalik *et al.*, (2020), a irrigação deficitária reduziu a produtividade do pimentão. Se a água estiver prontamente disponível, a irrigação plena deve ser aplicada, pois isso leva a uma maior receita bruta. Contudo, se a restrição hídrica for aplicada durante os primeiros estádios, o crescimento da planta pode se recuperar e a produtividade dos frutos não é reduzida.

O cultivo do pimentão apresenta alta demanda evapotranspirométrica durante o ciclo. A necessidade hídrica depende das variáveis meteorológicas locais, duração do ciclo, cultivar, sistema de irrigação e ambiente de cultivo, se em campo ou em casa de vegetação, variando de 450 mm a 650 mm (MATOS; SILVA; BASTOS, 2020).

Carvalho *et al.*, (2016), avaliaram o efeito de diferentes tensões da água no solo aplicadas em dois estádios fenológicos da cultura do pimentão cultivado em ambiente protegido. Os resultados indicaram que a cultura foi mais sensível ao déficit hídrico aplicado na fase reprodutiva; as maiores produtividades total e comercial nas fases vegetativa e reprodutiva foram obtidas para os tratamentos em que a irrigação era realizada quando a tensão da água no solo atingia 15 kPa.

Por ser a produção de pimentão realizada em campo, especialmente durante a estação mais seca do ano, ou em casas de vegetação, a irrigação é uma prática fundamental para suprir a demanda hídrica das plantas. Assim, o manejo e estratégias corretas de irrigação é fundamental para o sucesso da cultura. Dentre os sistemas de irrigação localizada, o gotejamento é o mais indicado para essa cultura, associado a um bom manejo nutricional através da fertirrigação (PADRÓN *et al.*, 2015).

Salih, Sabri & Amer (2025), avaliaram o desempenho do pimentão sob diferentes níveis e sistemas de irrigação, com o objetivo de otimizar a eficiência do uso da água e melhorar a produtividade da cultura. Os resultados mostraram que a irrigação por gotejamento superficial reduziu significativamente o consumo sazonal de água em comparação à irrigação por sulco, com uma redução de 21% no mesmo nível de irrigação.

### **3.2 Manejo da irrigação**

A irrigação é uma tecnologia usada na intensificação da produção em dois terços das terras agrícolas globais, onde a produtividade das culturas é altamente limitada pelas chuvas. Enquanto, a agricultura de sequeiro depende da distribuição natural de água às culturas através das chuvas, a agricultura irrigada é a aplicação artificial de água através de infraestruturas hídricas. Essa técnica proporciona aumento da produtividade em pelo menos duas vezes mais quando comparado com a agricultura não irrigada, além de ser crucial para a segurança alimentar (ROSA, 2022).

Nikolaou et al., (2020), procurando fornecer informações sobre práticas de irrigação sustentável em regiões com escassez de água, concluíram que as boas técnicas de irrigação e gestão da água são destacadas com o objetivo de transferir conhecimentos em regiões que estão na fase de desenvolvimento de esquemas nacionais relativos à maximização da produtividade e eficiência da água.

Mancosu et al., (2015), com o objetivo de fornecer uma ampla revisão de várias questões relacionadas com a água e propor soluções potenciais para lidar com a escassez de água na produção de alimentos, concluíram que a aplicação de estratégias eficientes de gestão dos recursos hídricos é um elemento chave para aumentar a produtividade da água. Além da avaliação das estratégias de manejo das culturas, a melhoria do manejo da irrigação pode levar a uma gestão da água agrícola mais eficiente e sustentável.

O monitoramento inteligente da irrigação precisa ser realizado para alcançar níveis ideais de rendimento e eficiência do uso da água e, de fato, otimizar a produtividade da água na agricultura. Isto implica determinar a quantidade e a frequência da irrigação para adequar a aplicação de água às necessidades da cultura e à dinâmica hídrica da zona radicular (ZINKERNAGEL, et al., 2020).

Carracelas et al., (2019), estudando práticas e técnicas de manejo de irrigação que aumentem a eficiência da água sem afetar o rendimento de grãos, mostraram que a irrigação intermitente até o início da panícula, permitiu um aumento significativo na produtividade da

água, sem afetar negativamente a produção de grãos de arroz e sem efeito na qualidade industrial do grão.

A programação da irrigação é geralmente baseada na medição do conteúdo de água do solo ou em parâmetros meteorológicos para modelagem ou cálculo da evapotranspiração. O manejo baseado no estado hídrico das culturas tem uma precisão maior, uma vez que as culturas respondem tanto ao solo como ao clima (evapotranspiração). Os métodos baseados em plantas, como o potencial hídrico foliar e o índice de stress hídrico das culturas, são de grande potencial para o controle da irrigação (ALGHORY & YAZAR, 2019).

Tradicionalmente, o manejo da irrigação depende principalmente da medição direta dos indicadores fisiológicos, como estimativa baseada na evapotranspiração, medição do potencial hídrico das plantas e medição da umidade do solo. No entanto, essas medidas requerem mão de obra especializada para operar os instrumentos. A identificação rápida e não invasiva do stress hídrico nas culturas é fundamental no monitoramento da irrigação de precisão (ZHOU et al., 2021).

O manejo da irrigação via solo, baseado no monitoramento da umidade na profundidade radicular efetiva das plantas é de suma importância, pois ajuda na compreensão da dinâmica da umidade e sua relação com a quantidade de água aplicada e a que foi absorvida pela planta. Existem vários métodos para determinação da umidade do solo: o direto (gravimétrico) e indiretos, como métodos tendo como propriedades físicas: eletromagnética, resistência elétrica, contagem de nêutrons, potencial hídrico e condutividade térmica (BWAMBALE; ABAGALE; ANORNU, 2022).

A irrigação deficitária é um manejo que costuma ser utilizado para um melhor aproveitamento dos recursos hídricos. O objetivo desse manejo é conseguir poupar a água sem que haja significativas reduções no rendimento da cultura, expondo-a a um ligeiro stress hídrico durante seus estádios de desenvolvimento menos sensíveis. O sucesso da irrigação por déficit, requer conhecimento sobre as culturas e a gestão da disponibilidade limitada de água que pode mudar ao longo do tempo (GHEYSARI et al., 2017).

### **3.3 Déficit hídrico**

Em regiões de clima árido e semiárido as condições de abastecimento de água são bastante limitadas. Diante disso, pesquisas e estudos sobre abordagens de tecnologias de irrigação com déficit hídrico visando a economia de água é fundamental para garantir um equilíbrio favorável da umidade do solo na zona radicular com maior eficiência no uso da água, sem prejudicar a produção e a qualidade das culturas (PATRA, et al., 2022).

Segundo Sziderics *et al.*, (2010), o pimentão é considerado uma das culturas mais sensíveis ao déficit hídrico. Especialmente, durante as fases iniciais de crescimento, o que pode resultar na redução do tamanho das plantas e do número de flores e frutos. Diante disso, é essencial o estabelecimento de níveis de déficits hídricos que aumente a eficiência do uso da água sem prejudicar o desenvolvimento e produtividade da cultura. São necessárias estratégias para mitigar esses efeitos.

A irrigação deficitária (DI) é definida como uma estratégia de manejo de irrigação, na qual as plantas são expostas a um nível de estresse hídrico durante toda a fase de crescimento ou em determinados estádios fenológicos. Embora a produção seja reduzida sob irrigação deficitária, a redução nos custos de energia e a conservação da água podem compensar as reduções de rendimento (ABDELGHAFAR; ABDELFATTAH; MOSTAFA, 2024).

Yang *et al.*, (2018), investigaram os efeitos da irrigação com déficit regulado em vários estádios de crescimento da cultura da pimenta. Durante a fase final, o déficit hídrico causou as menores reduções na produtividade total em ambas as safras. Em geral, rendimentos abaixo de 25 e 50% de déficit hídrico não diferiram significativamente daqueles do tratamento controle.

Blanco *et al.*, (2018), estudaram quais dos indicadores comumente usados do estado da água do solo e das plantas são mais úteis para o planejamento da irrigação deficitária de cerejeiras 'Prime Giant'. Conseguiram resultados mostrando que apesar das diferentes quantidades de água aplicadas (110%; 100% e 55% da ETc), não foram encontradas diferenças significativas na produção de frutos entre os tratamentos nas safras de 2015 e 2016.

A irrigação deficitária é uma estratégia de aplicação de uma menor lâmina de água que a demanda da evapotranspiração com o objetivo de melhorar a produtividade da água, eliminando a irrigação em excesso com impacto não significativo na produtividade. A técnica de DI utilizada para diversas culturas, incluindo vegetais em áreas com escassez de água, expõe as plantas a diferentes níveis de stress hídrico, procurando sempre obter o nível de stress que não afete a produção das culturas (SING *et al.*, 2019).

Yufeng *et al.*, (2021) estudaram a irrigação deficitária no rendimento do milho sob condições de escassez hídrica, demonstraram que o tratamento de irrigação que recebeu 80% da irrigação total desde o estádio V8 até a maturidade obteve o rendimento geral mais alto.

Tari (2016), estudando o efeito da irrigação total e deficitária no rendimento das culturas e na eficiência do uso da água, verificaram que os déficits hídricos aplicados nas fases de alongamento do colmo do trigo e encabeçamento resultaram em reduções significativas na produção. Portanto, os déficits hídricos deveriam ser aplicados durante a fase de grãos leitosos

para minimizar as perdas de rendimento. Os resultados demonstram a importância de saber quais estádios as plantas são mais sensíveis ao déficit hídrico.

As equações usadas para estimar as necessidades de irrigação assumem uma produtividade marginal constante da água ao longo do desenvolvimento e maturação das plantas, mas é bem conhecido que a sensibilidade das culturas à seca varia entre os estádios de desenvolvimento, de modo que estas equações podem ser simplificadas e ter espaço para melhorias (COMAS et al., 2019).

Segundo Cheng et al., (2021), a fase de aplicação do déficit hídrico afetou as respostas da produtividade do algodão em caroço. A irrigação deficitária na fase de abertura dos botões e dos capulhos causou a menor diminuição na produtividade (-6,6%), como também a maior diminuição na produção de algodão foi obtida sob irrigação deficitária aplicada durante toda a estação de cultivo.

Com o aumento da produtividade e economia da água através da irrigação por déficit, pode-se utilizar o recurso hídrico poupado para aumentar áreas irrigadas, alocá-la para outros setores ou para muitos outros fins. O rendimento e a eficiência do uso da água podem ser melhorados simultaneamente com a irrigação deficitária, mas o fator mais significativo é a diminuição da quantidade de irrigação aplicada (MENMON, 2021).

Attia et al., (2021), aplicaram um modelo calibrado para determinar os efeitos de várias estratégias de irrigação com déficit na produção do milho. Conseguiram resultados mostrando que um rendimento razoável e uma melhor eficiência do uso da água podem ser alcançados aplicando um nível de déficit de 40% da ET durante a fase vegetativa e 80% da ET durante a fase reprodutiva.

Comas et al., (2019), investigaram as respostas do rendimento do milho à irrigação por déficit. Tiveram resultados mostrando que o tratamento de irrigação com 65% de  $ET_c$  aplicado no final do período vegetativo e 80% da  $ET_c$  durante o período de enchimento de grãos alcançou rendimentos que não foram significativamente inferiores aos do tratamento de irrigação plena, ao mesmo tempo que economizou 15-17% da  $ET_c$  no ciclo (100–130 mm).

### **3.4 Efeito do polímero hidrogel na retenção hídrica**

Os hidrogéis são formados pela reticulação de polímeros que são de ocorrência natural ou produzidos sinteticamente. Os sintéticos são conhecidos por possuírem alto grau de absorção de água, alta durabilidade e degradação lenta. Os que são à base de polímeros naturais, no entanto, têm uma baixa resistência estrutural e menor grau de absorção. Independente da sua formação, os hidrogéis ajudam na retenção de água e nutrientes no solo, redução de altas taxas

de infiltração e escoamento de pesticidas, e diminuição da evaporação da água em terras irrigadas (PRAKASH et al., 2021).

Jabari et al., (2019), conseguiram resultados demonstrando que a percolação da água é reduzida consideravelmente quando o hidrogel reciclado de fraldas descartáveis é adicionado ao solo, indicando um melhor manejo da irrigação da água. Segundo eles, amostras de solo modificadas contendo 2% e 3% do polímero, diminuem a percolação da água. Os resultados obtidos indicam que a quantidade total de água necessária para a irrigação pode ser reduzida em 15 a 50% quando o solo é modificado com o hidrogel recuperado, dependendo das proporções da mistura.

Saha; Gupta; Sekharan, (2021), observaram que a umidade na capacidade de campo e a água prontamente disponível (APD) aumentaram com a adição do hidrogel superabsorvente (HSA), e o incremento é proporcional às concentrações dele. O aumento na APD foi de 56%, 81% e 125% com concentrações de HSA de 0,1%, 0,2% e 0,4%, respectivamente. Esta observação indica claramente que o hidrogel não só melhora as propriedades de retenção de água do solo, mas também aumenta a disponibilidade de água para as plantas.

A utilização de hidrogéis em áreas sob estresse hídrico, pode ser uma estratégia fundamental na capacidade do solo de armazenar e liberar água proporcionando um aumento no rendimento das plantas. Essa característica permite que a água não seja perdida através da percolação, os grânulos superabsorventes aplicados no solo ao redor da zona radicular, absorvem a água e depois a liberam lentamente através de um mecanismo difusivo à medida em que a planta necessita (SATRIANI; CATALANO; SCALCIONE, 2018).

Singh; Verma; Srivastava, (2018), conduziram um experimento de campo para otimizar a dose do hidrogel na cultura da cana-de-açúcar. A aplicação do hidrogel na dose de 2,5 kg $ha^{-1}$  no sulco na época do plantio da cana-de-açúcar ajudou a melhorar a germinação e vigor da cultura, resultando em maior rendimento da cana, do açúcar comercial e da eficiência do uso da água.

Fernández et al., (2018), estudaram a influência da dose de hidrogel na eficiência de irrigação e produtividade da cultura da pimenta. Os resultados indicaram que a aplicação do hidrogel com dose entre 2 e 2,5 g $planta^{-1}$  resulta na redução da lâmina de aplicação de 388,6 mm para 197,6 e 196 mm respectivamente. A eficiência da água está relacionada ao hidrogel, que produziu 10,1 kg $m^{-3}$ , diferentemente do controle que atingiu 5,1 kg $m^{-3}$ .

Quando se aumenta a disponibilidade de água no solo é possível evitar o estresse hídrico no momento da escassez de umidade, quando esta ocorre por um período mais acentuado. A capacidade do hidrogel em reter e disponibilizar umidade surge dos grupos

funcionais hidrofílicos aderidos à estrutura do polímero, enquanto sua resistência à dissolução é devido a ligações cruzadas entre cadeias de rede (PATRA, et al., 2022).

Albalasmeh et al., (2022), avaliaram o efeito do hidrogel nas propriedades físicas do solo arenoso e no crescimento do milho. Os resultados mostraram que o hidrogel aumentou a eficiência do uso da água e o crescimento do milho, permitindo melhor conservação do solo e da água frente à escassez de água na região. O estudo também mostrou que o hidrogel é mais eficaz em solos de textura com maior porcentagem da fração areia em comparação com solos de textura com maior presença de fração argila.

Segundo Saha; Sekharan; Manna, (2020), a adição de hidrogéis como corretivo do solo pode aumentar a capacidade de retenção e conteúdo de água disponível para as plantas e reduzir a taxa de infiltração, especialmente em solos de textura arenosa. Como resultado, a aplicação de polímeros absorventes pode reduzir a frequência de irrigação e melhorar o crescimento das culturas em condições de baixa umidade.

Kishor et al., (2024), avaliaram os efeitos dos hidrogéis poliméricos na distribuição e produtividade da água e aspectos econômicos relativos ao cultivo de repolho roxo sob diferentes estratégias de irrigação. Concluíram que a utilização do polímero resultou em melhorias notáveis na produtividade da água de irrigação e na lucratividade do repolho roxo sob condições de estresse hídrico.

A eficácia dos hidrogéis pode variar significativamente dependendo do tipo de solo, clima e espécies de cultivo, podendo apresentar bom desempenho em solos arenosos com baixa retenção de água e não serem tão eficazes em solos argilosos, da mesma forma, a força iônica e o pH do solo podem influenciar o comportamento de inchaço e desinchaço dos hidrogéis, afetando sua capacidade de reter e liberar água (AGBNA; ZAIDI, 2025).

Segundo Kaur et al., (2023), a capacidade de absorção de água de um hidrogel no solo depende de fatores como a estrutura e textura do solo, salinidade, temperatura, pH, teor de umidade e presença de microrganismos, bem como ciclos de umedecimento e secagem do solo.

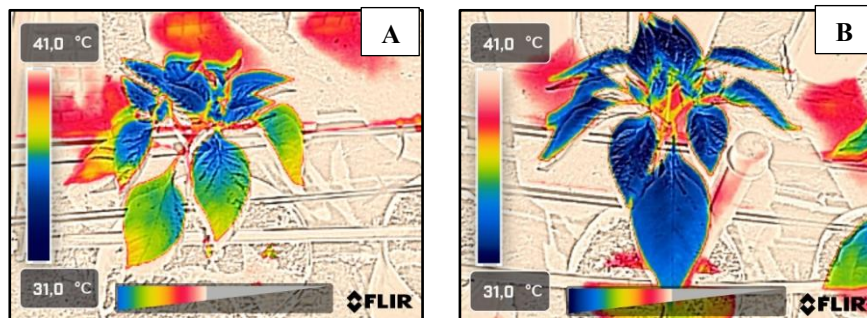
### **3.5 Imagens térmicas e Índices térmicos**

Segundo Khanal; Fulton; Shearer, (2017), as possíveis aplicações das imagens térmicas na agricultura incluem, mas não estão limitadas a detecção do estresse hídrico das culturas, monitoramento de secas, manejo de doenças de plantas, mapeamento de propriedades do solo, mapeamento de cobertura de resíduos e preparo do solo, monitoramento da maturidade de culturas e estimativa de rendimento.

Métodos de monitoramento do estado da água das culturas baseados no dossel das plantas têm sido recomendados nos últimos anos, porque os sinais de estresse nas folhas ocorrem muito mais cedo do que os sinais baseados no solo. O manejo hídrico baseados na planta são classificados em medições de contato e sem contato. Os métodos de contato incluem medições de condutância estomática e potencial hídrico usando câmaras ventiladas e de pressão, já as imagens térmicas é um exemplo de método não invasivo (MWINUKA, et al., 2021).

Entretanto, estas medições de contato do estado da água na planta ficam restritas às atividades de pesquisa, devido à dificuldade de mensuração em campo. Um índice de estresse hídrico da cultura (Crop Water Stress Index - CWSI) baseado na temperatura foliar tem sido utilizado como indicativo do estado hídrico da planta em diversas culturas, e as imagens térmicas podem ser uma ferramenta preciosa para mapear o nível de água nas culturas (COSTA, et al., 2020) (Figura 1).

**Figura 1:** Imagens térmicas do pimentão aos 60 dias após o transplântio, com estresse hídrico (A) e sem estresse hídrico (B).



Fonte: Produzido pelo autor.

Uma forma de se obter facilmente os parâmetros de cálculo do CWSI é mensurar a temperatura normal do dossel medindo diretamente as temperaturas de referência úmida ( $T_{\text{úmido}}$ ) e de referência seca ( $T_{\text{seco}}$ ).  $T_{\text{úmido}}$  são folhas totalmente transpirantes com estômatos abertos obtidos pela pulverização de parte da copa, e  $T_{\text{seco}}$  são folhas não transpirantes com estômatos fechados obtidos pela cobertura das folhas com vaselina (BIAN et al., 2019).

Luan et al., (2021), propondo os valores críticos do CWSI que desencadearam a irrigação em diferentes estádios de crescimento do arroz sob irrigação com déficit. mostraram que intervalos entre CWSI críticos correspondentes a declínios na transpiração e taxa fotossintética líquida foram ideais para maior eficiência no uso da água pelas folhas. Assim, os intervalos ideais do CWSI crítico foram 0,556 – 0,569, 0,481 – 0,486, 0,571 – 0,641 e 0,511– 0,606 em diferentes estádios de crescimento.

A temperatura da planta é uma das variáveis mais precisa no monitoramento do estado hídrico das culturas. A abertura estomática, que é influenciada pelo estado da água da planta e do solo, bem como pelas condições meteorológicas, afeta a temperatura das folhas, pois atua como um mecanismo de resfriamento, controlando a transpiração. Quanto maior o estresse hídrico da cultura, menor será a abertura estomática a fim de minimizar os efeitos negativos do baixo potencial de água na planta, levando ao aumento da temperatura foliar (GALLEGO et al., 2021).

De acordo com Messina & Modica (2020), a utilização de imagens térmicas permite detectar o estado hídrico de uma planta, pois, a nível foliar, o fechamento dos estômatos reduz a transpiração e o resfriamento da folha, acarretando um aumento da temperatura do dossel. Esta variação de temperatura pode ser detectada por sensores térmicos; portanto, imagens térmicas podem fornecer informações precisas e rápidas sobre o estado da água das culturas.

A temperatura da superfície da copa medida com termômetros infravermelhos (IRT) ou outros sensores infravermelhos remotos fornece uma ferramenta importante para detectar o stress hídrico numa cultura, o que tem sido praticado há algumas décadas. O índice de estresse hídrico das culturas (CWSI) é o método mais utilizado para quantificar o estresse hídrico nas plantas com base na temperatura da superfície do dossel para diferentes culturas e condições climáticas (ALGHORY & YAZAR, 2019).

Hong; Bremer; Merwe, (2019) avaliando a capacidade das imagens térmicas infravermelhas por meio de plataformas para detectar o estresse hídrico precocemente no gramado, concluíram que, a temperatura do dossel adquirida pelo sistema de aeronaves não tripulada previu o estresse hídrico antes que os sintomas fossem evidentes na qualidade visual do gramado ou na porcentagem de cobertura verde.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Caracterização do ambiente experimental**

O experimento foi realizado entre outubro de 2024 e março de 2025, em estufa (6 x 12 m) localizada na estação agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará (Figura 2), Fortaleza CE, (3° 44' 43.273" de latitude sul e 38° 34'56.650" de longitude oeste), situada a uma altitude de 20,0 metros acima do nível do mar.

Segundo a classificação de Köeppen, o município de Fortaleza localizado na zona litorânea apresenta clima tipo Aw,' caracterizado como de clima tropical chuvoso, com

precipitações predominantes no verão-outono (KÖPPEN, 1923). Com temperaturas máxima e mínima em torno de 30,3 e 23,3°C, respectivamente (AGUIAR et al 2002).

**Figura 2:** Estufa experimental localizada na estação meteorológica da Universidade do Ceará.



Fonte: Produzido pelo autor.

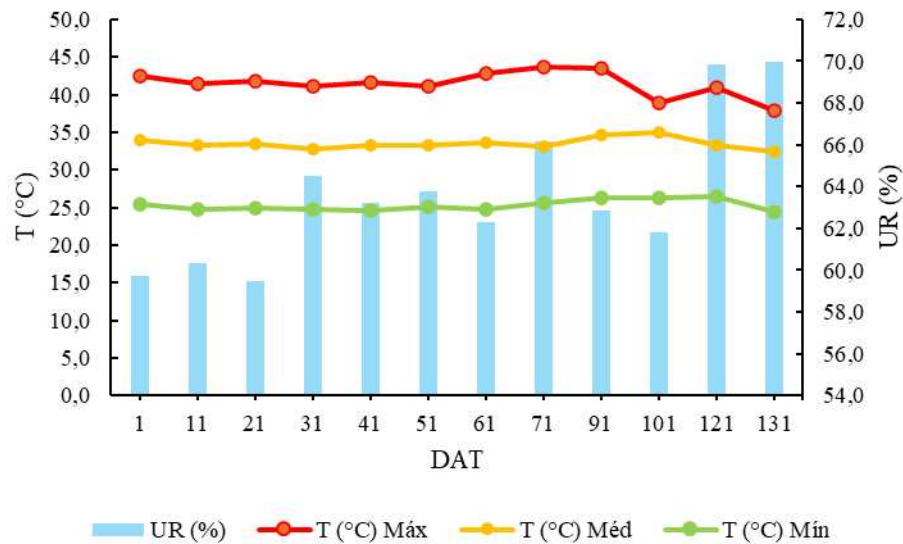
#### 4.2 Variáveis Meteorológicas

Para o monitoramento diário da temperatura (°C) e da umidade relativa do ar (%) foi utilizado um datalogger modelo Termohigrômetro HOBO U12-012, instalado no centro da área experimental. Na Figura 3, encontra-se os valores máximos, mínimos e médios de temperatura (T °C) e a média da umidade relativa do ar (UR %) ao longo do experimento. A temperatura mínima ficou estável durante todo o ciclo de cultivo e a máxima diminuiu no final do ciclo experimental, ficando por volta de 25,3 °C e 41,4 °C, respectivamente. A temperatura e umidade média, ficou na faixa de 33,5°C e 60%, respectivamente. A maior temperatura e umidade média ocorreram entre 91 e 101 DAT e 121 e 131 DAT, respectivamente.

Reddy et al., (2016), relataram que entre os vários estresses abióticos, baixa umidade e alta temperatura são as principais restrições para a produtividade. Segundo Pérez (2010), a faixa de temperatura ideal para o cultivo do pimentão é de 20 a 25 °C. A faixa de

temperatura no presente trabalho ficou muito acima da faixa ideal para o cultivo do pimentão, tendo sido influenciada pelas altas temperaturas da região e o ambiente de estufa.

**Figura 3:** Temperatura (T °C) e Umidade relativa (UR %) média dentro da estufa ao longo do ciclo de cultivo do pimentão.



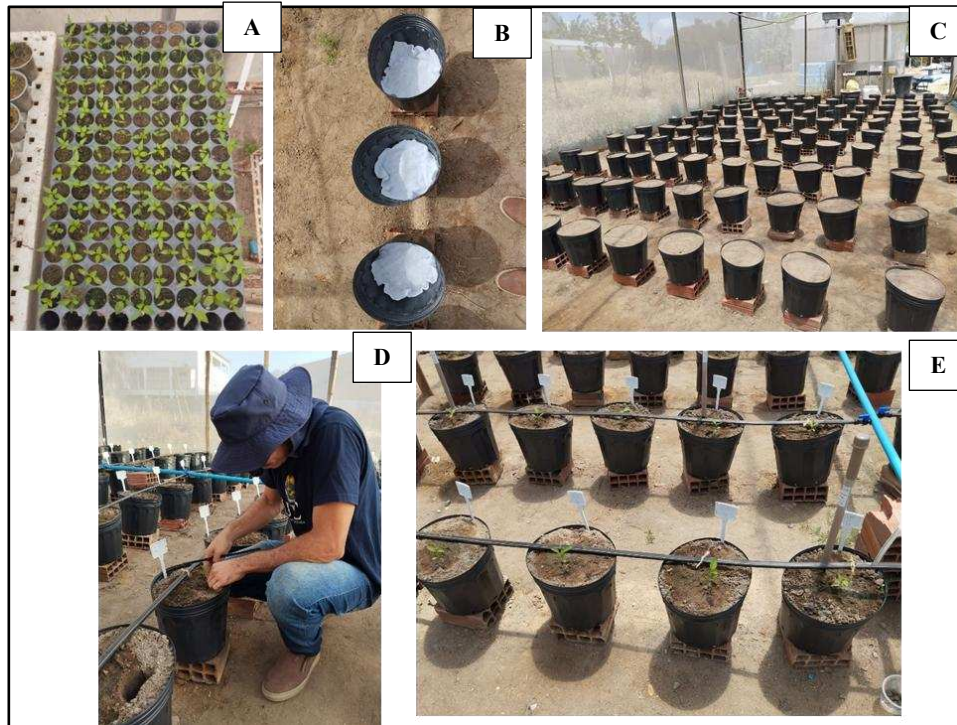
Fonte: Produzido pelo autor.

### 4.3 Produção de mudas, transplântio e tratamentos culturais

A cultura utilizada na pesquisa foi o pimentão verde 'Ikeda casca dura'. As mudas foram produzidas em bandejas de polipropileno com 128 células e preenchidas com substrato composto proporcionalmente em 1:1, húmus de minhoca + areia (Figura 4A). Para o cultivo das plantas, foram utilizados vasos de plástico, com diâmetro de boca (27,5 cm), fundo (21 cm), e altura de 24 cm, com capacidade de 11 L. Inicialmente, foi realizada uma drenagem nos vasos, com perfurações no fundo do vaso, com três furos e posteriormente em seu interior, foi inserida uma camada de brita tipo 1, de 3 cm, e manta do tipo bidim (Figura 4B). Esses recipientes foram preenchidos até sua capacidade total com solo (Figura 4C).

O transplântio foi realizado 25 dias após a sementeira (DAS), com apenas uma planta por vaso (Figura 4D). As mudas foram dispostas nos vasos em um espaçamento de 0,5 m entre plantas e 1,0 m entre fileiras, totalizando um stand de 20.000 plantas ha<sup>-1</sup> (Figura 4E). No início e no fim de cada linha de irrigação, foi colocado estacas de bambu, alinhadas com a fileira de plantas, a fim de segurar os fitilhos de sustentação. Os fitilhos foram colocados na horizontal seguindo as linhas de plantas, conforme o crescimento das mesmas.

**Figura 4:** Produção de mudas de pimentão em bandeja (A). Vasos com o fundo preenchidos co brita e manta bidim (B). Vasos cheios com solo (C). Transplântio de mudas (D) e vasos com mudas espaçadas de 0,5 x 1 m.



Fonte: Produzido pelo autor.

O material de solo utilizado no experimento correspondeu a camada superficial (0,20 m), classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, Eutrófico, textura franco argilo-arenoso. As características físico-químicas do solo eram: pH (5,1), P-Mehlich ( $9,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ), K ( $42,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ), Ca ( $0,92 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ), Mg ( $0,55 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ), areia total ( $755,0 \text{ g kg}^{-1}$ ), silte ( $50 \text{ g kg}^{-1}$ ) e argila ( $195,0 \text{ g kg}^{-1}$ ). De acordo com as recomendações de Rodrigues (2013) (Tabela 1) e análise do solo, foram aplicados  $120 \text{ kg}$  de N,  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de P e  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , distribuídos ao longo do ciclo conforme Braga e Marouelli (2017) (Tabela 2).

**Tabela 1.** Recomendação de adubação para o pimentão.

Época	Orgânico		$\text{P}_2\text{O}_5$			$\text{K}_2\text{O}$		
	Esterco Curtido	N	P no solo $\text{mg/dm}^3$			K no solo $\text{mmolc/dm}^3$		
			0 – 7,1	7,2–14,2	>14,2	0 - 0,8	0,9 – 1,6	>1,7
$\text{Kg ha}^{-1}$			$\text{kg ha}^{-1}$					
Plantio	20	20	150	100	70	40	30	20

Cobertura	80	-	-	-	60	40	30
-----------	----	---	---	---	----	----	----

Fonte: Rodrigues (2013)

**Tabela 2:** Quantidade relativa de nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P) e cálcio (Ca) aplicada ao longo do ciclo de desenvolvimento do pimentão.

Nutriente	Plantio <sup>(2)</sup>	Período relativo ao ciclo da cultura (%) <sup>(1)</sup>								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
		Ciclo (dias)								
		0-10	11-20	21-30	31-40	41-51	52-62	63-72	73-82	83-92
Quantidade relativa de Nutrientes (%) <sup>(3)</sup>										
N	10	5	5	10	15	15	15	15	5	5
K	20	5	5	10	15	15	15	10	5	0
P <sup>(4)</sup>	50	0	5	5	10	10	10	10	0	0
Ca	V = 80% (5)	0	5	15	20	20	20	15	5	0

(1) % do ciclo total da cultura (Ex. 50% equivalem aos 120 dias em um ciclo de 240 dias).

(2) % do total recomendado a ser aplicado de forma convencional em pré-plantio.

(3) % em relação ao total a ser aplicado via fertirrigação.

(4) % aplicar todo o P em pré-plantio caso a análise de solo indicar  $P > 20 \text{ mg/dm}^3$

(5) Aplicar a quantidade necessária para que a saturação de bases atinja 80%

Fonte: Braga e Marouelli (2017).

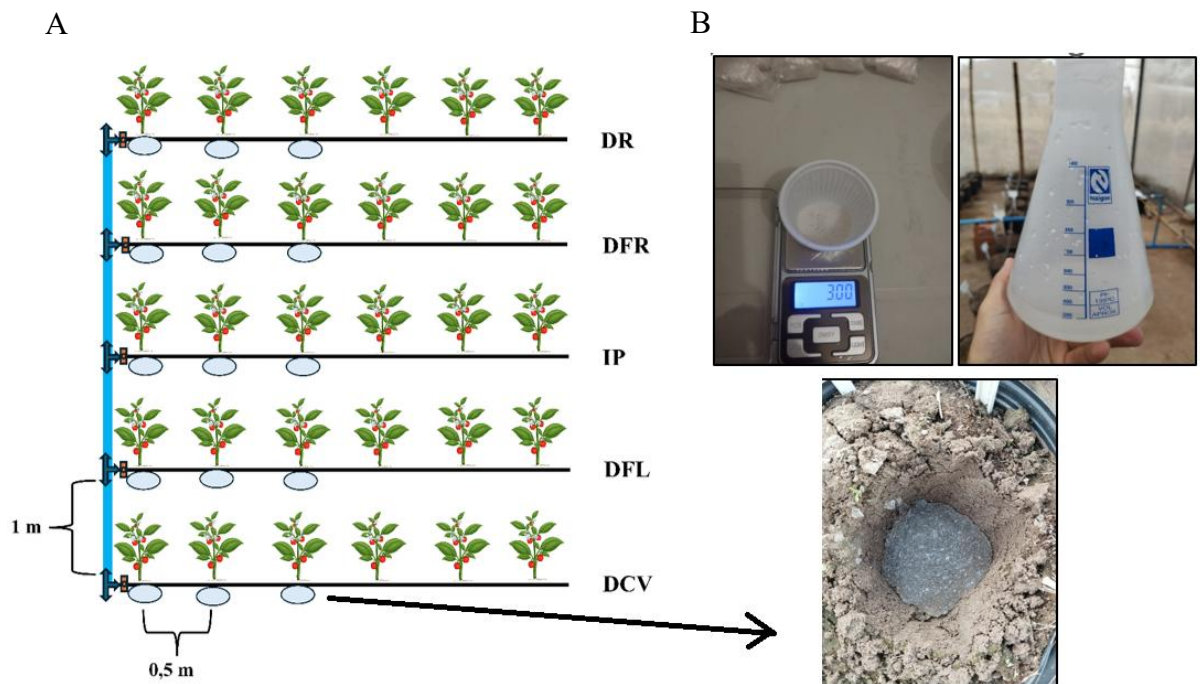
O controle de pragas e doenças foram realizados através de pulverizações semanais do enxofre solúvel dimy, na dosagem de  $3 \text{ gL}^{-1}$ , para combater os ácaros e o fungicida Recop na dosagem de  $2 \text{ gL}^{-1}$  para combater os fungos. Foi feito também o uso de defensivos de origem natural (óleo de nim e extrato a base de alho e álcool), no combate preventivo a mosca branca, lagartas e dentre outras pragas, com o objetivo de reduzir as aplicações dos agrotóxicos. Para evitar o crescimento excessivo de plantas infestantes que surgiram no decorrer do ciclo de condução, foi realizado periodicamente o controle através de capina manual.

#### 4.4 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em um delineamento de blocos completos ao acaso com 4 repetições, no esquema de parcelas subdivididas, com cinco estratégias de irrigação nas parcelas e duas aplicações de hidrorretentor no solo (Figura 5A). As estratégias de irrigação

foram: Irrigação plena – IP: lâminas aplicadas com 100% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) durante todo o ciclo; Irrigação com déficit regular – DR: lâminas aplicadas com 60% da ET<sub>c</sub> durante todo o ciclo da cultura; Irrigação com déficit controlado no estágio vegetativo – DCV: lâminas aplicadas com 60% da ET<sub>c</sub> somente no estágio vegetativo e 100% da ET<sub>c</sub> nos demais períodos do ciclo; Irrigação com déficit regulado no estágio de floração – DFL: lâminas aplicadas com 60% da ET<sub>c</sub> somente no estágio de floração e 100% da ET<sub>c</sub> nos demais períodos do ciclo; e Irrigação com déficit regulado no estágio de frutificação – DFR: lâminas aplicadas com 60% da ET<sub>c</sub> somente no estágio de frutificação e 100% da ET<sub>c</sub> nos demais períodos do ciclo. Nas subparcelas foram utilizados o hidrorretentor no solo do tipo hidrogel (com e sem) (Figura 5B).

**Figura 5:** Visão do Bloco experimental (A). Procedimento para aplicação do hidrogel no vaso (B).



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O polímero foi hidratado em água na proporção de 100 ml.g<sup>-1</sup> de hidrogel, segundo Fernandes e Gallo, (2018), obtendo-se uma pasta viscosa, a qual foi aplicada nas covas de

plântio na profundidade de 10 cm e na quantidade de 3 g de hidrogel por planta, conforme recomendação do fabricante (Quadro 1).

**Quadro 1:** Características físicas e químicas do polímero hidrorretentor aplicado no estudo.

Item	Especificação
Composição:	70% de celulose e 5,1% de hidróxido de potássio
Aspecto (estado físico, forma e cor):	Sólido granular branco/verde
pH:	7,0
Degradabilidade:	3 a 5 anos
Toxicidade aguda:	O polímero não foi classificado como tóxico agudo por via oral e dérmica.

Fonte: Ficha de informações de segurança de produtos químicos. ARAUNAH

Os tratamentos obedeceram a reposição da lâmina de irrigação em função da evapotranspiração da cultura (ETc), utilizando para o cálculo os coeficientes de cultivo (Kc), e a duração de cada fase, conforme o ciclo da cultura observado por Doorenbos e Pruitt (1977); (Tabela 3), com o tratamento controle (IP) representado pela reposição de 100% da ETc.

**Tabela 3:** Coeficientes de cultivo para as diferentes fases fenológicas da cultura do pimentão

Fases Fenológicas		Dias após o plantio	Coeficientes de cultivo
Vegetativo	I – Inicial	0 - 30	0,40
	II – Crescimento	31 - 55	0,70
	III – Floração	56 - 82	1,05
	IV – Frutificação	83 - 103	0,85

Fonte: Doorenbos e Pruitt (1977); Braga e Marouelli (2017)

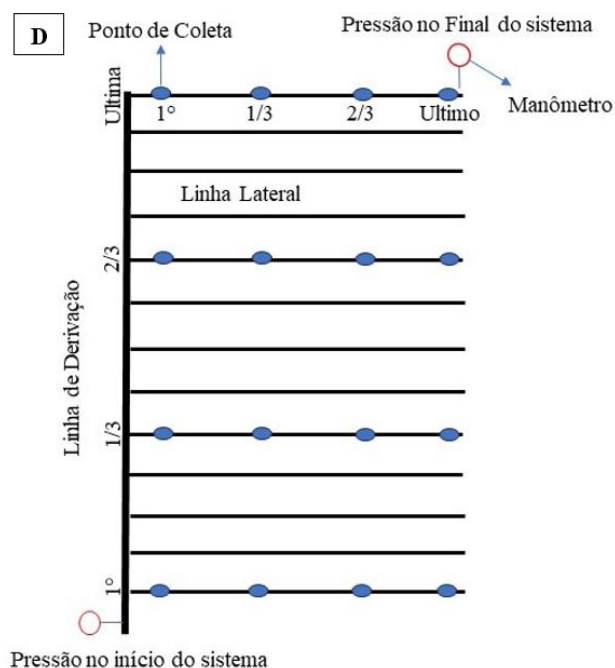
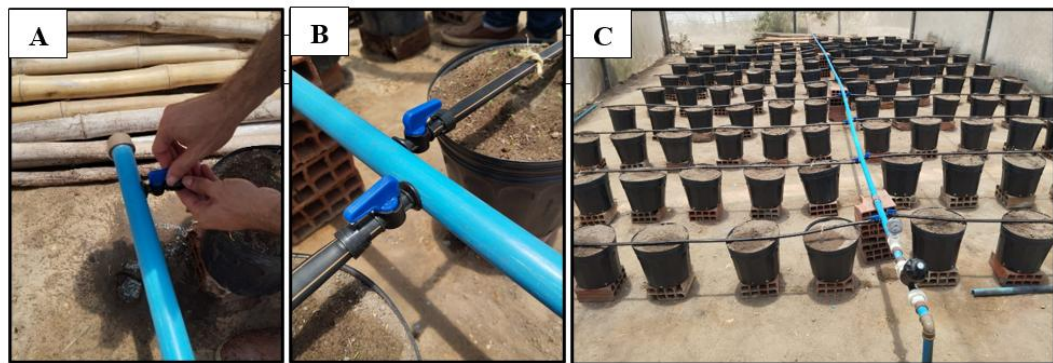
#### 4.5 Sistema de irrigação

O método de irrigação adotado foi o localizado e o sistema do tipo gotejamento, dispondo de um emissor por planta. As linhas laterais, de fita gotejadora com diâmetro de ½” (polegada) e distanciadas em 1,0 m, foram abastecidas por uma principal de PVC e diâmetro comercial de ¾”. Em cada linha lateral foi instalado um registro inicial, para que seja atendido o esquema de distribuição dos tratamentos (Figura 6). O sistema constou ainda com cabeçal de

controle composto por manômetro analógico, equipamento de filtragem e reservatório de fertilizantes para fertirrigação. A motobomba utilizada para pressurização do sistema foi de 1,0 cv.

Após instalado, o sistema foi avaliado pelo coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), através da metodologia proposta por Keller e Karmelli (1975), que consiste na coleta das vazões em quatro emissores ao longo da linha lateral, da seguinte forma: o primeiro gotejador, o segundo situado a  $1/3$ ; o terceiro a  $2/3$  do comprimento da linha; e o último gotejador. Foram escolhidas quatro linhas dentro do setor, resultando assim em 16 valores de vazões (Figura 6D), (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009).

**Figura 6:** Registro inicial para controle dos déficits (A), Linhas laterais de polietileno e Linha principal de PVC (B), Sistema montado (C), Esquema de coleta de vazões para o teste de uniformidade do sistema de irrigação localizada (D).



Fonte: Produzido pelo autor.

#### 4.6 Manejo da irrigação

A quantidade de água a ser aplicada foi mediante a necessidade de reposição de perdas decorrentes da evapotranspiração de cultivo (ET<sub>c</sub>), com a estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) realizada diariamente por meio do método do tanque classe “A”, preconizado por Allen et al. (1998). instalado dentro da estufa de cultivo.

Para a reposição da demanda hídrica da cultura, os valores diários obtidos para a ET<sub>c</sub> foram quantificados em forma de tempo (equação 1).

$$Ti = \frac{60 * ETc * FL * Av}{qgot * Ef} \quad (1)$$

Em que: Ti – tempo de irrigação (min); ET<sub>cLoc</sub> – evapotranspiração localizada de cultivo (mm); FL – fator tratamento de irrigação (decimal); Av – área do vaso (m<sup>2</sup>); q<sub>got</sub> – vazão do gotejador (L h<sup>-1</sup>); Ef – Eficiência do sistema (90%).

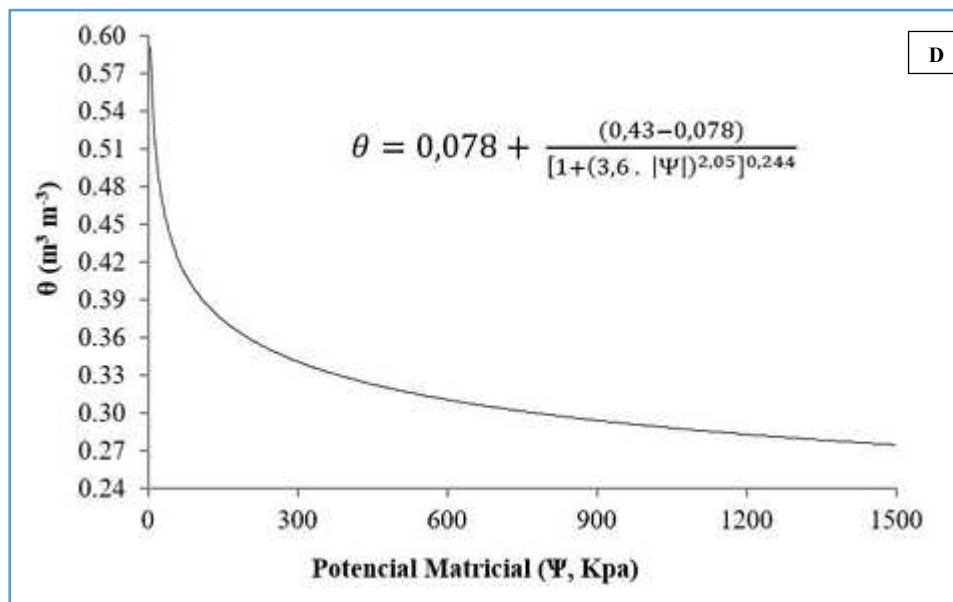
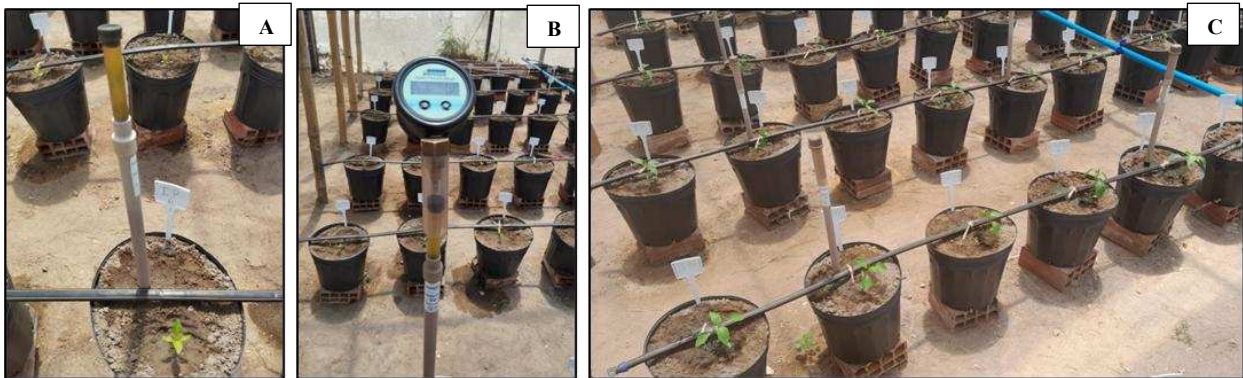
#### 4.7 Curva de retenção de água no solo

No estudo, também foram instalados dez tensiômetros na profundidade de 0,20 m (Figura 7A), para acompanhamento diário da tensão de água no solo através de um tensímetro digital (Figura 7B), a fim de determinar a umidade do solo nos distintos tratamentos aplicados (Figura 7C). Para determinação da curva de retenção do solo (Figura 7D) utilizada para condução do experimento, o procedimento foi realizado no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Ceará, seguindo as seguintes etapas, conforme boletim da Embrapa Meio-Norte (ANDRADE et al., 2007). Após obtenção dos pontos de tensão de água no solo nas pressões de 6, 10, 33, 50, 100 e 1500 kPa. Seguidamente, os pontos de pressão foram ajustados pelo modelo de van Genuchten (1980), utilizando o programa RETC (<https://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?retc-downloads>), conforme equação 2:

$$\theta_{0-20} = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \psi)^n]^m} \quad (2)$$

Onde:  $\theta$ : Umidade, com base em volume (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);  $\theta_r$ : Conteúdo de água residual (%);  $\theta_s$ : Conteúdo de água na saturação (%);  $\Psi$ : Potencial matricial (kPa);  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  são os parâmetros empíricos do modelo.

**Figura 7.** Tensiômetros instalados (A e C); Tensímetro digital (B). Curva de umidade x Tensão do solo experimental (D).



Fonte: Elaborado Pelo autor

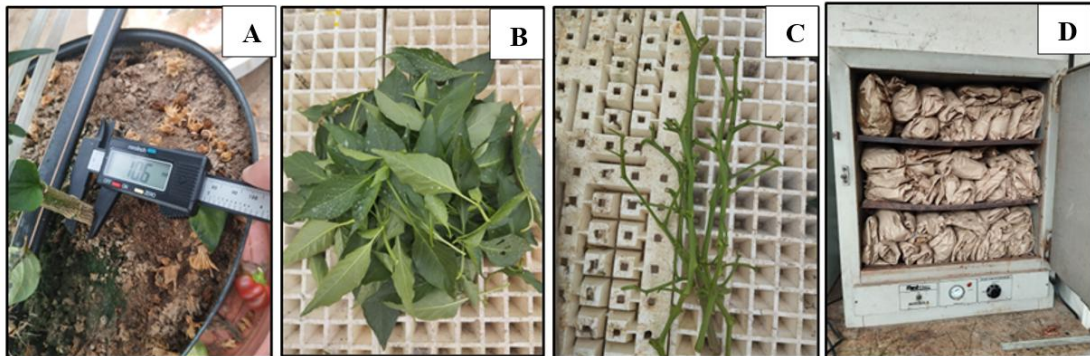
#### 4.8 Variáveis analisadas

A coleta de dados para as variáveis referentes ao crescimento e índices fisiológicos e a determinação do estado hídrico das plantas foram realizadas no final das fases vegetativa, intermediária (floração) e final (frutificação).

##### 4.8.1 Variáveis de crescimento

Foram obtidas as seguintes variáveis de crescimento aos 120 dias após transplante (DAT): altura das plantas (AP, cm) mensurada através de fita métrica, com medições entre a superfície do solo até o ápice da planta; número de folhas (NF), obtido por contagem manual; diâmetro do caule (DC, mm) utilizando um paquímetro digital; massa fresca (MFF, g planta<sup>-1</sup>) e seca da folha (MSF, g planta<sup>-1</sup>) e massa fresca (MFC, g planta<sup>-1</sup>) e seca do caule (MSC g planta<sup>-1</sup>), as folhas foram separadas do caule e ambas as variáveis obtidas através da pesagem em balança digital com precisão de 0,01g (Figura 8).

**Figura 8.** Mensuração do diâmetro caulinar (A), Massa fresca da folha (B) e do Caule (C), Plantas dentro da estufa para obtenção da massa seca (D).



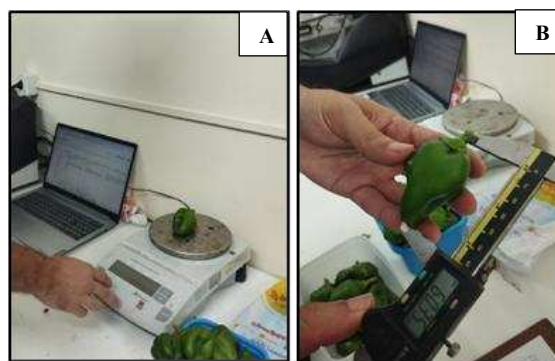
Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.8.2 Variáveis de produção

As variáveis analisadas foram: peso médio fresco (PFR, g) (Figura 9A) e seco dos frutos (PS, mm) diâmetro transversal (DTRA, mm) e longitudinal (DLOG, mm) dos frutos (Figura 9B), número de frutos por planta (NF), e produção (PROD).

Os diâmetros dos frutos foram medidos com um paquímetro digital, em mm; para a determinação do peso dos frutos, foi utilizada uma balança digital com precisão de 0,01 g.

**Figura 9:** Peso médio do fruto em balança de precisão (A), Diâmetro longitudinal do fruto (B).



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.8.3 Estado hídrico da planta

A estimativa do estado hídrico das plantas em função dos tratamentos a serem aplicados será baseado na avaliação das seguintes variáveis:

#### 4.8.4 Índices de estresse hídrico da planta (CWSI) e ( $\Delta T_{canopy-air}$ )

Obtido a partir da metodologia proposta por Idso *et al.*, (1981), utilizando a equação modificada por Garcia-Tejero *et al* (2016) (equação 3 e 4):

$$CWSI = \frac{(T_C - T_{wet})}{(T_{dry} - T_{wet})} \quad (3)$$

$$\Delta T_{canopy-air} = T_C - T_{ar} \quad (4)$$

Em que,  $T_C$  é a temperatura da cobertura vegetal obtida por imagem térmica e  $T_{dry}$  e  $T_{wet}$ , são temperaturas de referência ( $^{\circ}C$ ) da cobertura vegetal quando as plantas se encontram em estresse hídrico e bem irrigadas, respectivamente e  $T_{ar}$  é a temperatura do ar.

Para a captura das imagens térmicas foi utilizada uma câmera termográfica portátil da Teledyne FLIR LLC, modelo FLIR E5xt, com resolução térmica de  $80 \times 60$  pixels, resolução MSX de  $320 \times 240$  pixels, sensibilidade térmica  $< 0,10$   $^{\circ}C$  e ajuste personalizado de emissividade de 0,95. As imagens foram capturadas nos horários das 6:30; 8:30; 10:30; 12:30; 14:30 e 16:30 h, sendo obtidas duas imagens por tratamento. A edição das imagens térmicas foi realizada utilizando o software Flir QuickReport versão 1.2. (Figura 10A e 10B).

**Figura 10:** Imagem térmica (A); Captura da imagem (B); Aplicação da vaselina para aquisição da imagem de referência seca (C).



Fonte: Elaborado pelo autor

As temperaturas de referência foram obtidas seguindo procedimento também realizado por Garcia-Tejero *et al* (2016) os quais, selecionaram folhas saudáveis e aplicaram

vaselina em ambos os lados da folha com 20 minutos de antecedência para a aquisição da  $T_{dry}$ . Para a  $T_{wet}$  foi borrifada água no momento de aquisição da imagem (Figura 10C).

#### 4.8.5 Potencial hídrico foliar ( $\Psi F$ )

O potencial hídrico foliar ( $\Psi F$  Mpa) foi obtido com o auxílio de uma bomba de pressão do tipo Scholander, (Figura 11) conforme método descrito por Scholander *et al.* (1965). Para esta variável, foram selecionadas de forma aleatória folhas saudáveis e totalmente estendidas, com o objetivo de representar melhor o potencial hídrico foliar na planta. As medições foram feitas por volta das 6 horas da manhã.

**Figura 11:** Análise do potencial hídrico foliar com auxílio de uma bomba de pressão do tipo Scholander.



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.8.6 Trocas Gasosas

As medições das trocas gasosas foram realizadas utilizando um analisador portátil de gases no infravermelho (IRGA) (Figura 12). As variáveis de trocas gasosas foram: fotossíntese líquida ( $A$ ); transpiração ( $E$ ); condutância estomática ( $g_s$ ) e concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ).

**Figura 12.** Análise das trocas gasosas com um analisador portátil de gases no infravermelho (IRGA).



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.8.7 Eficiência do uso da água

A eficiência do uso de água (EUA) foi estimada pela razão entre a produtividade dos frutos (PTF) e a quantidade de água aplicada pelos tratamentos durante o ciclo da cultura (L), de acordo com a equação 05:

$$EUA = \frac{\left[ \frac{PFr}{L} \right]}{10} \quad (05)$$

Em que: EUA = Eficiência no uso da água ( $\text{kg m}^{-3}$ ); PFr = Produtividade dos frutos ( $\text{kg ha}^1$ ); L = Lâmina aplicada pela irrigação (mm).

#### 4.9 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Quando significativos, os dados referidos as estratégias de irrigação e uso do hidrogel foram submetidos ao teste de Tukey à 1% ( $P < 0,01$ ) e 5% ( $P < 0,05$ ) de probabilidade, para comparação entre as médias. Foi utilizado o software estatístico SISVAR, para rodar a estatística e o programa Excel® para a organização dos dados e elaboração de gráficos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Umidade do solo

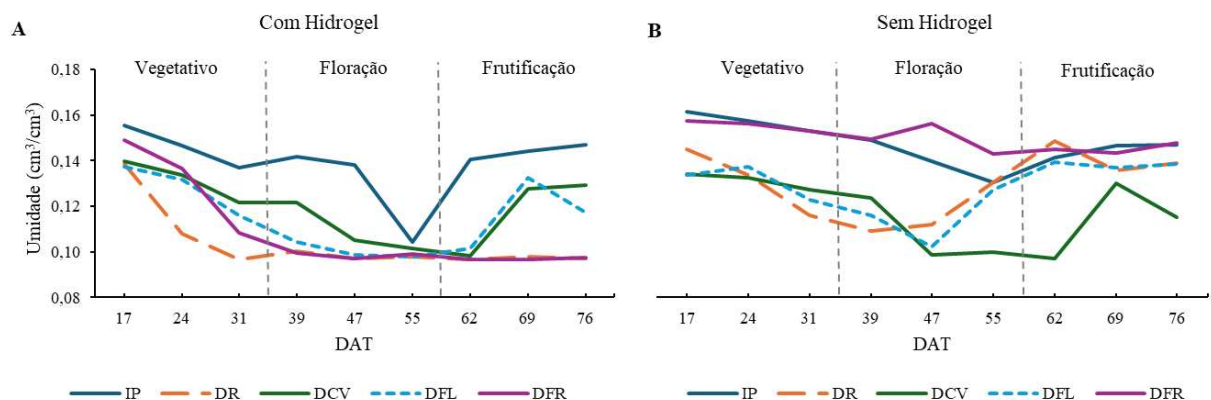
O tratamento com irrigação plena (IP) manteve sua linha de umidade do solo acima das demais estratégias de irrigação, (a não ser no estágio de floração no tratamento sem

hidrogel) tendo um declínio na fase intermediária nos tratamentos com e sem hidrogel (Figura 13A e 13B). A estratégia de irrigação com déficit regular durante todo o ciclo (DR) manteve sua umidade do solo com valores abaixo das demais estratégias de irrigação no tratamento com hidrogel ( $\theta \geq 0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), se igualando a estratégia com déficit regulado na frutificação (DFR) nos estádios de florescimento e frutificação (Figura 13A). As estratégias de irrigação DCV e DFL mostraram similaridade nos valores de umidade observados ( $\theta \geq 0,14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), com declínio a partir dos 24 DAT e aumento a partir dos 62 DAT em solos com hidrogel (Figura 13A), no solo sem hidrogel, essa recuperação da umidade ocorre mais cedo na estratégia DFL (aos 47 DAT) e mais tarde na estratégia DCV (aos 62 DAT) (Figura 13B). Os valores de umidade na estratégia de irrigação DFR foi a que demonstrou uma maior diferença de umidade, maior no solo sem hidrogel (Figura 13 A) e menor no solo com o polímero (Figura 13B).

Segundo Albalasmeh *et al.*, (2022), na agricultura, o hidrogel pode melhorar as propriedades físicas do solo, ao mesmo tempo em que aumenta a eficiência do uso da água e os parâmetros de desenvolvimento das plantas em áreas secas e semiáridas. Porém, no presente estudo, em termos de umidade do solo, o hidrogel não conseguiu amenizar os efeitos do déficit hídrico nas estratégias de irrigação.

Abayomi *et al.*, (2012), tiveram resultados mostrando que os parâmetros de crescimento da pimenta: altura da planta, número e área de folhas por planta e número de flores por planta foram significativamente diminuídos pelo baixo teor de umidade do solo.

**Figura 13.** Umidade do solo em todas as estratégias de irrigação com (A) e sem (B) o uso do polímero hidrogel.



Legenda: IP – Irrigação Plena; DR – Déficit durante todo o ciclo; DCV – Déficit regulado na fase vegetativa; DFL – Déficit regulado na fase de floração; DFR – Déficit regulado na fase de frutificação; DAT – Dias após o transplantio

## 5.2 Variáveis de Crescimento

Na tabela 4 encontra-se o resumo da análise de variância para as variáveis altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), massa fresca e seca da folha (MFF; MSF) e massa fresca e seca do caule (MFC; MSC) das plantas de pimentão. Houve diferença estatística ( $P < 0,01$ ) para o fator estratégias de irrigação nas variáveis (AP, DC, MSF e MSC) e ( $P < 0,05$ ) nas variáveis (NF, MFF e MFC). Já para o hidrogel e a interação Irrigação x Hidrogel, não se observou diferenças estatísticas em nenhuma das variáveis estudadas.

**Tabela 4:** Resumo das análises de variância da altura da planta (AP), diâmetro caulinar (DC), número de folhas (NF), massa fresca da folha e caule (MFF, MFC), massa seca da folha e caule (MSF, MSC).

Variáveis	Fonte de variação (Quadrado Médio)				CV 1 (%)	CV 2 (%)	Média geral
	Bloco	Irrigação (I)	Hidrogel (H)	I x H			
AP	91,57 <sup>ns</sup>	393,24 <sup>*</sup>	45,16 <sup>ns</sup>	127,16 <sup>ns</sup>	16,39	14,64	64,08
DC	2,49 <sup>ns</sup>	7,53 <sup>*</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	13,42	10,12	1,13
NF	195,29 <sup>ns</sup>	7276,04 <sup>**</sup>	1380,6 <sup>ns</sup>	1668,6 <sup>ns</sup>	23,84	28,36	144,43
MFF	1173,6 <sup>ns</sup>	3681,6 <sup>**</sup>	476,86 <sup>ns</sup>	239,3 <sup>ns</sup>	24,76	16,59	105,48
MFC	162,3 <sup>ns</sup>	4621,47 <sup>**</sup>	298,82 <sup>ns</sup>	264,2 <sup>ns</sup>	19,24	17,35	94,04
MSF	27,24 <sup>ns</sup>	101,52 <sup>*</sup>	0,557 <sup>ns</sup>	6,11 <sup>ns</sup>	22,39	15,52	21,25
MSC	7,32 <sup>ns</sup>	149,96 <sup>*</sup>	31,74 <sup>ns</sup>	22,78 <sup>ns</sup>	26,77	26,83	21,45

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

As estratégias de irrigação DCV, DFL e DFR, demonstraram desempenho estatisticamente similar ao tratamento IP nas variáveis respostas altura da planta, número de folhas e diâmetro do caule (Figura 14), indicando, portanto, a possibilidade de uso destas estratégias em uma possível necessidade de redução do uso da água.

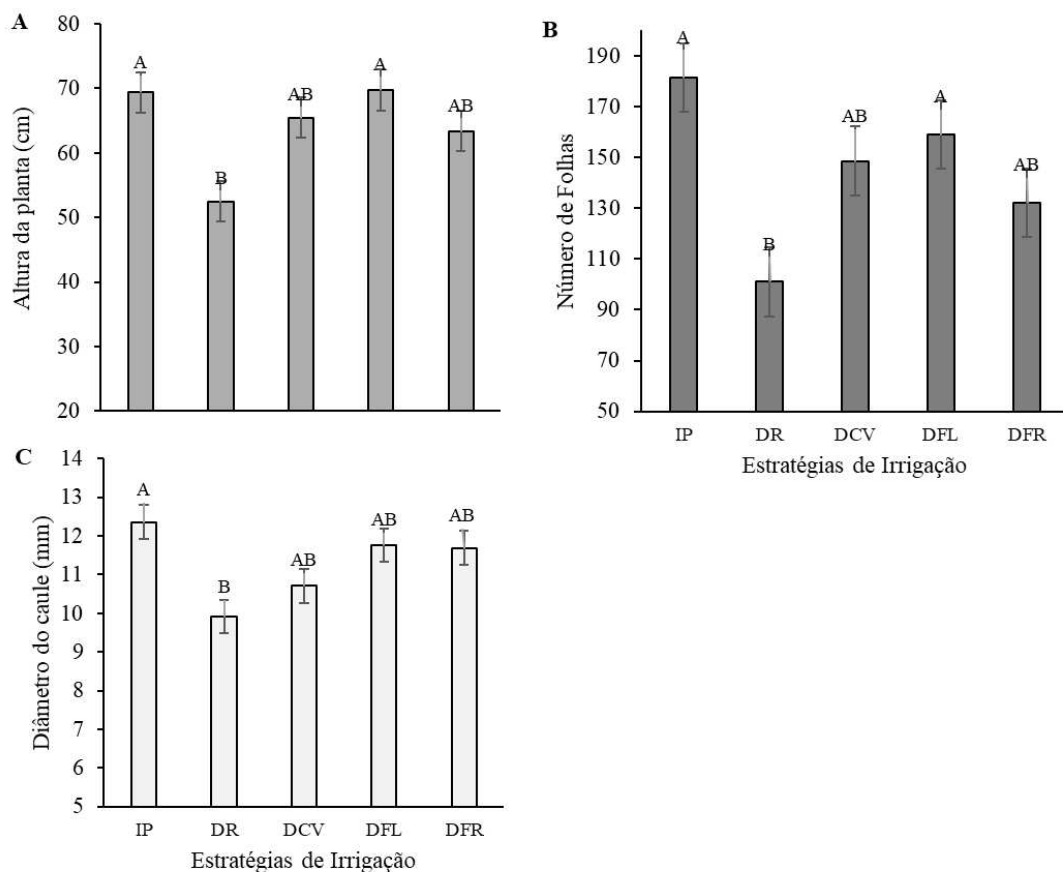
Tais resultados estão condizentes com os de Sousa *et al.* (2023), em estudos com déficit hídrico na cultura do pimentão, no qual observaram maiores crescimentos em plantas com restrição hídrica entre as fases de crescimento e florescimento.

Houve diferença estatística na estratégia de irrigação DR quando comparada as demais, proporcionando menor média para as variáveis altura da planta, número de folhas e diâmetro do caule (Figura 14). Nesse estudo, o pimentão se mostrou bastante sensível ao déficit em todo o ciclo de cultivo.

Kabir *et al.*, (2021) avaliaram a influência do nível de irrigação no crescimento do pimentão relatando que o número de folhas, o peso fresco do caule e o peso seco da parte aérea apresentaram relações lineares positivas com o nível de irrigação, atingindo valores máximos em torno de 100% da ETc.

Cheng *et al.*, (2010), avaliaram os efeitos da irrigação com déficit na produtividade, EUA e no crescimento de pimentas cultivadas em estufa. Mostraram que o crescimento de plantas expostas a regimes hídricos sem estresse foi mais elevado de que plantas expostas a estresse hídrico prolongado (50% da capacidade de campo).

**Figura 14.** Médias obtidas para altura da planta, número de folhas e diâmetro do caule, submetido as estratégias de irrigação.

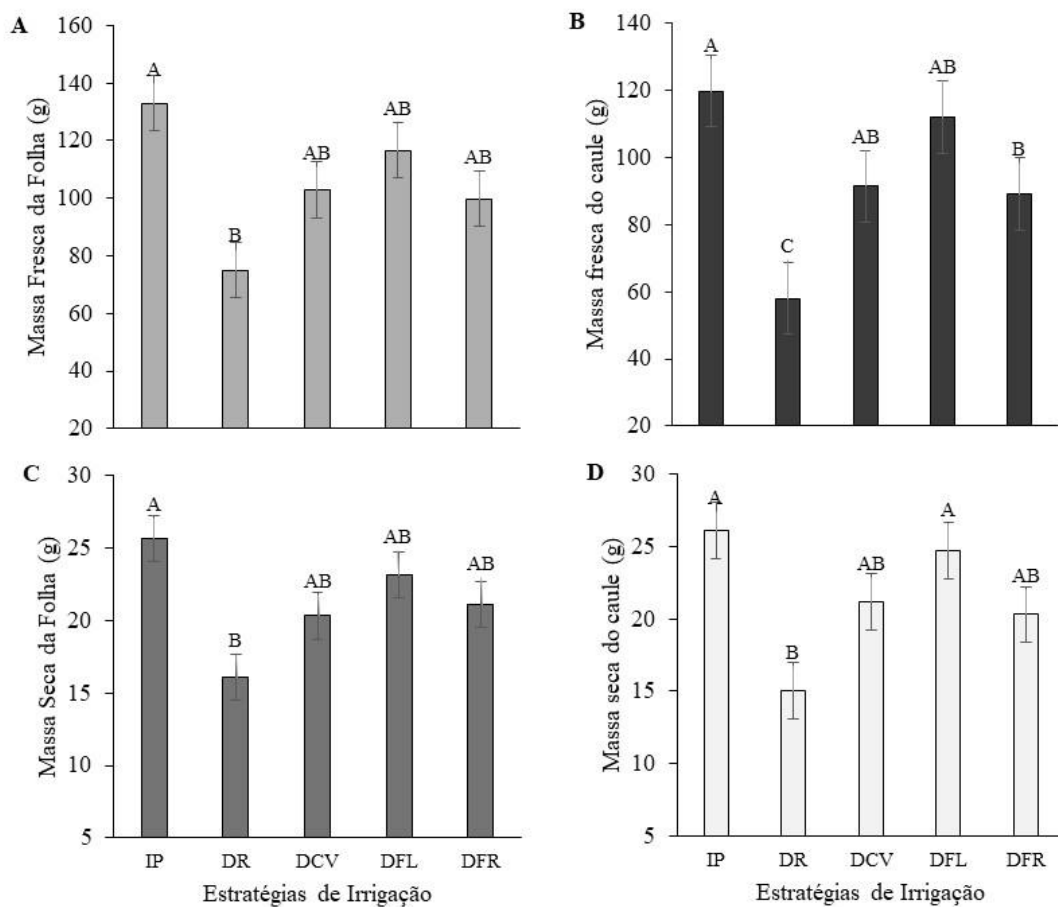


Letras maiúsculas (A, B, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para a estratégia de irrigação. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Legenda: IP – Irrigação Plena; DR – Déficit durante todo o ciclo; DCV – Déficit na fase vegetativa; DFL – Déficit na fase de floração; DFR – Déficit na fase de frutificação.

As estratégias DCV, DFL e DFR foram estatisticamente semelhantes as estratégias IP e DR, sendo que esta última, obteve menores médias para as variáveis MFF e MSF (Figura

15A e 15C). A estratégia DFL foi a que mais se aproximou do controle IP para as variáveis MFC e MSC, seguido pelas estratégias DCV, DFR e por fim o DR com a menor média de MFC e MSC.(Figura 15B e 15D). Possivelmente, por ser um órgão mais susceptível a perda de água, a massa das folhas foi influenciada de maneira negativa ao déficit hídrico, não sendo possível indicar uma estratégia de irrigação mais adequada para evitar tais perdas.

**Figura 15:** Médias obtidas para massa fresca e seca da folha e massa fresca e seca do caule, submetido as estratégias de irrigação.



Letras maiúsculas (A, B, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para a estratégia de irrigação. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Legenda: IP – Irrigação Plena; DR – Déficit durante todo o ciclo; DCV – Déficit na fase vegetativa; DFL – Déficit na fase de floração; DFR – Déficit na fase de frutificação.

Sousa *et al.* (2023) observaram maior eficiência do uso da água na cultura do pimentão nas estratégias de irrigação com déficit hídrico nas fases de crescimento e florescimento, demonstrando similaridade com os resultados do presente experimento.

Ismail, (2012), encontrou resultados semelhantes com o presente trabalho, onde mostrou que o maior peso de matéria seca da pimenta foi obtido no tratamento com irrigação plena, seguido pelo tratamento com déficit de 85% da capacidade de campo e, por fim, pelo tratamento com déficit de 70% da capacidade de campo.

Abdelghafar *et al.*, (2024), estudaram os efeitos do hidrogel nas propriedades hidrofísicas do solo sob irrigação deficitária, tiveram resultados semelhantes para a alface, mostrando que os maiores valores foram alcançados com irrigação plena, em comparação com o déficit de 60% da  $ET_C$  em todo o ciclo da cultura, que apresentou os menores valores de peso fresco.

Resultados observados por Matos; Silva; Bastos, (2020), estão de acordo com o presente estudo, no qual o uso do hidrogel não proporcionou resultados positivos para a cultura do pimentão em diferentes lâminas de irrigação. Neste sentido, faz-se necessário investigações que possam apontar doses ideais para o uso adequado do polímero, potencializando assim a retenção de água no solo.

### 5.3 Variáveis de Produção e EUA

Na tabela 5 se encontra o resumo da análise de variância para as variáveis número de frutos por planta (NF), peso médio, fresco e seco do fruto (PF; PFR; PSF respectivamente), diâmetro longitudinal e transversal do fruto (DLOG; DTRA) e produção por planta (PROD) do pimentão. Houve efeito significativo ( $P < 0,01$ ) das estratégias de irrigação nas variáveis PF e PROD e ( $P < 0,05$ ) nas variáveis NF e PSF. O hidrogel produziu efeito significativo ( $P < 0,05$ ) apenas na variável (DLOG), como também a interação Irrigação x Hidrogel observou-se diferença apenas nas variáveis PFR, PRO e EUA.

**Tabela 5:** Resumo da análise de variância do número de frutos por planta (NF), peso médio do fruto (PF), peso fresco do fruto (PFR), peso seco do fruto (PSF), diâmetro longitudinal e transversal do fruto (DLOG; DTRA) e produção por planta (PROD) do pimentão.

Variáveis	Fonte de variação (Quadrado Médio)				CV 1 (%)	CV 2 (%)	Média geral
	Bloco	Irrigação (I)	Hidrogel (H)	I x H			
NF	9,37 <sup>ns</sup>	16,01 <sup>*</sup>	3,08 <sup>ns</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	27,65	23,65	6,92
PF	10,25 <sup>ns</sup>	224,04 <sup>**</sup>	0,057 <sup>ns</sup>	48,52 <sup>ns</sup>	22,67	21,71	23,42
PFR	29,06 <sup>ns</sup>	171,4 <sup>ns</sup>	4,28 <sup>ns</sup>	84,99 <sup>*</sup>	28,76	19,59	25,58

<b>PSF</b>	0,054 <sup>ns</sup>	0,979 <sup>*</sup>	0,015 <sup>ns</sup>	0,328 <sup>ns</sup>	25,7	23,17	1,90
<b>D. LOG</b>	0,657 <sup>ns</sup>	1,239 <sup>ns</sup>	3,169 <sup>**</sup>	0,465 <sup>ns</sup>	19,41	14,05	4,59
<b>D. TRA</b>	0,354 <sup>ns</sup>	0,849 <sup>ns</sup>	0,295 <sup>ns</sup>	0,450 <sup>ns</sup>	21,91	13,54	4,63
<b>PROD</b>	0,004 <sup>ns</sup>	0,046 <sup>**</sup>	0,008 <sup>ns</sup>	0,015 <sup>*</sup>	35,19	22,57	0,26
<b>EUA</b>	3,29 <sup>ns</sup>	17,81 <sup>ns</sup>	7,38 <sup>ns</sup>	20,18 <sup>**</sup>	37,67	21,64	9,59

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

As estratégias de irrigação DR (4,9) e DCV (8,8) se diferenciaram-se estatisticamente no NF, com menores médias para a estratégia DR (Figura 16A). Na variável NF houve diferença estatística apenas entre a estratégia DCV e DR, não havendo diferença para os demais tratamentos.

Resultados esses que estão de acordo com Yang *et al.*, (2018), que tiveram resultados mostrando que os rendimentos da pimenta abaixo de 25 e 50% de déficit hídrico não diferiram significativamente ( $P > 0,05$ ) daqueles do tratamento controle.

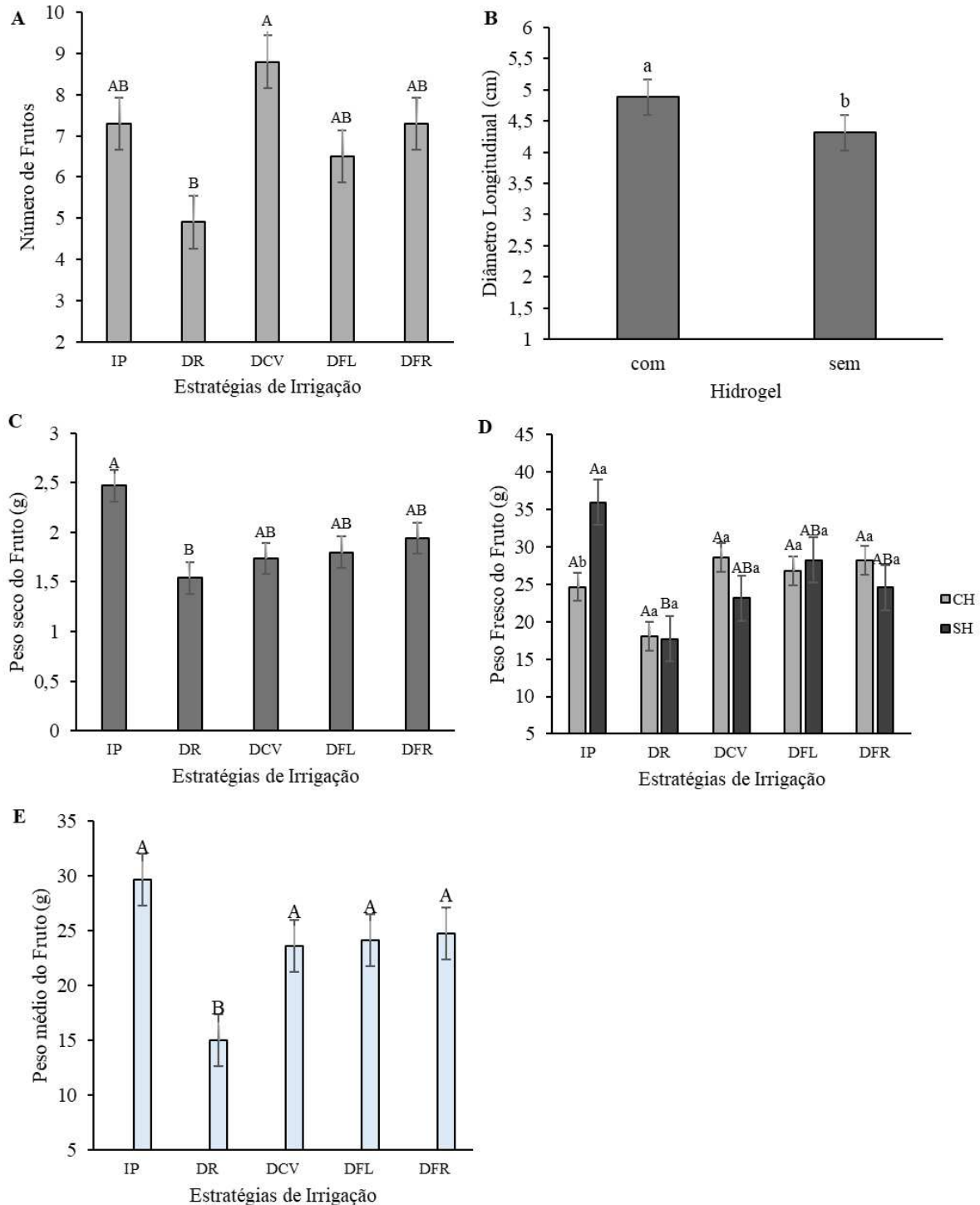
Em relação ao uso do hidrogel, este proporcionou maior diâmetro longitudinal dos frutos, para os tratamentos com (4,88 cm) e sem (4,31 cm) o uso do polímero (Figura 16B). Embora o hidrogel tenha aumentado o diâmetro longitudinal dos frutos, essa característica não afetou o peso e produção final do pimentão.

Houve diferença estatística entre as estratégias de irrigação DR (1,54 g) e IP (2,47 g) na variável PSF (Figura 16C), com a estratégia DR apresentando menores médias, mostrando a inviabilidade do déficit de 60% da ETc em todo o ciclo do pimentão. Entre as demais estratégias não teve diferença estatística. Quando houve interação, o hidrogel diminuiu o peso fresco do fruto no tratamento controle IP, não se diferenciando estatisticamente das demais estratégias de irrigação (Figura 16D).

Dorji *et al.*, (2005), também tiveram resultados que corroboram com o presente estudo. Compararam a irrigação por déficit e secagem parcial da zona radicular, quanto aos seus efeitos no crescimento e na qualidade da pimenta, relataram que a massa fresca e seca média dos frutos na colheita final não foi afetada pelos tratamentos.

As estratégias de irrigação DCV (23,6 g), DFL (24,1 g) e DFR (24,7 g) não se diferenciaram estatisticamente do tratamento controle IP (29,67 g) na variável peso do fruto. Isso mostra que o déficit hídrico de 60% da ETc pode ser aplicado em pelo menos um estágio de desenvolvimento do pimentão sem afetar de forma significativa o peso do fruto. Já a estratégia DR (15,01 g) se diferenciou dos demais tratamentos apresentando menor peso do fruto (Figura 16E).

**Figura 16.** Médias obtidas para o número de frutos (A), diâmetro longitudinal do fruto (B) peso seco e fresco do fruto (C e D) e peso médio do fruto (E), submetido as estratégias de irrigação, com e sem uso do hidrogel (CH; SH).



Letras maiúsculas (A, B, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para a estratégia de irrigação; Letras minúsculas (a, b, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para o hidrogel. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Legenda: IP – Irrigação Plena; DR – Déficit

durante todo o ciclo; DCV – Déficit na fase vegetativa; DFL – Déficit na fase de floração; DFR – Déficit na fase de frutificação.

Sousa *et al.*, (2023), tiveram resultados mostrando que o maior valor médio para o peso dos frutos (51,03 g) do pimentão, foi obtido no tratamento em que as plantas não foram submetidas ao estresse hídrico. O peso médio dos frutos observado neste tratamento foi 158% maior que o do tratamento que apresentou o menor valor médio para esta variável (19,78 g). Já no nosso estudo, a diferença de aumento no peso do fruto entre o tratamento IP e DR ficou na faixa de 98%.

Na Figura 17A, podemos observar que nas plantas com e sem hidrogel, não houve diferença estatística das estratégias de irrigação DCV, DFL e DFR, comparadas ao tratamento controle na variável produção, a estratégia DR entretanto, obteve menor produção nas plantas sem o uso do polímero. Esses resultados mostram que o déficit regulado pode ser aplicado em pelo menos uma fase da cultura do pimentão sem causar prejuízos significativos na sua produção.

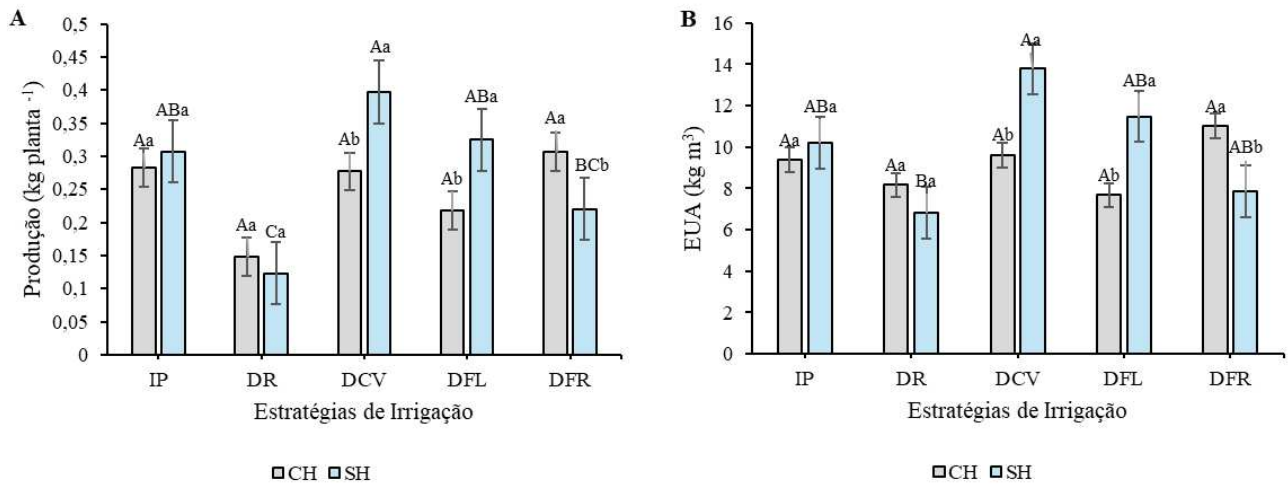
Ihuoma & Madramootoo (2019), investigaram a viabilidade de índices espectrais de vegetação para a detecção de estresse hídrico em pimentão cultivado em estufa, relataram que o maior rendimento comercializável médio foi obtido no tratamento de 100% da água disponível (0,59 kg planta<sup>-1</sup>), enquanto o menor rendimento comercializável foi obtido no tratamento de 40% da água disponível (0,40 kg planta<sup>-1</sup>).

Yang *et al.*, (2018), relataram que os rendimentos abaixo de 25 e 50% de déficit hídrico na frutificação da pimenta não diferiram significativamente ( $P > 0,05$ ) daqueles do controle. A ligeira redução no rendimento causada pelo déficit hídrico durante o estágio tardio é menor do que durante os estádios de desenvolvimento e intermediário.

González, Orgaz & fereres (2007), tiveram resultados que mostrando que o tratamento controle e o déficit no amadurecimento, não diferiram no peso seco do fruto da pimenta, mas ambos tiveram rendimento de frutos significativamente maior que o déficit ao longo de todo o ciclo.

Ismail, (2012), estudou o efeito da irrigação por déficit na eficiência do uso da água e na produção da pimenta. Encontraram resultados mostrando que o maior rendimento individual de frutos foi obtido no tratamento com irrigação plena, seguido pelo tratamento com 85% e, em seguida, pelo tratamento com 70% da capacidade de campo.

**Figura 17:** Produção (A) e eficiência do uso da água de irrigação (B) submetida as estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do polímero hidrogel.



Letras maiúsculas (A, B, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para a estratégia de irrigação; Letras minúsculas (a, b, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para o hidrogel. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Legenda: IP – Irrigação Plena; DR – Déficit durante todo o ciclo; DCV – Déficit na fase vegetativa; DFL – Déficit na fase de floração; DFR – Déficit na fase de frutificação; DAT – Dias após o transplantio.

Em relação ao uso do hidrogel, esse, proporcionou menor produção nas estratégias DCV e DFL, contudo, na estratégia DFR a adição do polímero aumentou a produção. (Figura 17A). Esses resultados, exigem um maior estudo sobre a aplicação e efeito do hidrogel em diferentes estádios de desenvolvimento das culturas.

Singh, Acharya & Chaurasia (2019), encontraram resultados mostrando que o hidrogel aplicado a 15 e 20 kg ha<sup>-1</sup>, resultou em um aumento significativo na produtividade da pimenta-do-reino com redução da necessidade hídrica.

Johnson & Piper (2008), relataram que a qualidade da produção de tomate foi melhorada pela aplicação de hidrogel ao substrato, devido ao menor impacto do estresse hídrico durante o ciclo de crescimento.

A estratégia de irrigação DCV (488,15 mm ciclo<sup>-1</sup>) proporcionou maior EUA em comparação ao DR (306,39 mm ciclo<sup>-1</sup>), embora essa estratégia tenha recebido menos água durante todo o ciclo, ela obteve uma menor produção, diminuindo a EUA. Devido o déficit ter ocorrido apenas em uma fase fenológica da cultura, não houve diferença estatística entre as estratégias DCV, DFL (479,85 mm ciclo<sup>-1</sup>), DFR (473,63 mm ciclo<sup>-1</sup>) e IP (510,54 mm ciclo<sup>-1</sup>), na EUA. (Figura 17B). O uso do hidrogel também contribuiu para uma menor EUA nas estratégias DCV e DFL, porém, ele aumentou a EUA na estratégia DFR (Figura 17B).

Abdelaziz *et al.*, (2021), concluíram que o hidrogel superabsorvente projetado com base em ZnO-NPs e WPW tem a capacidade de controlar a doença da murcha de *Fusarium*, bem como reduzir a água de irrigação da planta de pimenta para um terço.

Shammout *et al.*, (2018), avaliaram o efeito da irrigação deficitária no rendimento e eficiência do uso da água no pimentão. Observaram que os rendimentos em ambas as temporadas foram maiores no tratamento controle (T1), mas não houve diferença na eficiência do uso da água entre a estratégia com 80% da ETc (T2) e a irrigação plena. O rendimento, e a EUA para a estratégia com 60% da ETc foram significativamente menores do que para T1 e T2.

## 5.4 Variáveis Fisiológicas

### 5.4.1 Potencial Hídrico Foliar ( $\Psi F$ )

Na Tabela 6 é visualizado o resumo da análise de variância para o potencial hídrico foliar ( $\Psi F$ ). Na análise feita na fase vegetativa, houve influência significativa ( $p < 0,05$ ) dos fatores irrigação (I), hidrogel (H) e irrigação x hidrogel (I x H) no  $\Psi F$ . Na avaliação feita no estágio de florescimento, não se observou diferença estatística de nenhum dos fatores, já na fase de frutificação, houve diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para a interação (I x H) na variável  $\Psi F$ .

**Tabela 6:** Resumo das análises de variância (F calculado) para o potencial hídrico foliar, em função das estratégias de irrigação e uso do hidrogel, avaliados na fase vegetativa (VG), e nos estádios de florescimento (FL) e de frutificação (FR).

Variável	FASE	Fonte de variação (Quadrado Médio)				CV 1 (%)	CV 2 (%)	Média geral
		Bloco	Irrigação (I)	Hidrogel (H)	I x H			
$\Psi F$	VG	0,194 *	0,172 *	0,392 *	0,164 *	33,65	34,72	0,68
	FL	0,307 ns	0,088 ns	0,207 ns	0,100 ns	28,71	23,31	1,14
	FR	0,198 ns	0,075 ns	0,00006 ns	0,194 *	25,93	19,38	1,28

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

Na Figura 18 pode ser observado o efeito das estratégias de irrigação e o uso do hidrogel no potencial hídrico foliar das plantas de pimentão. Na fase vegetativa, houve

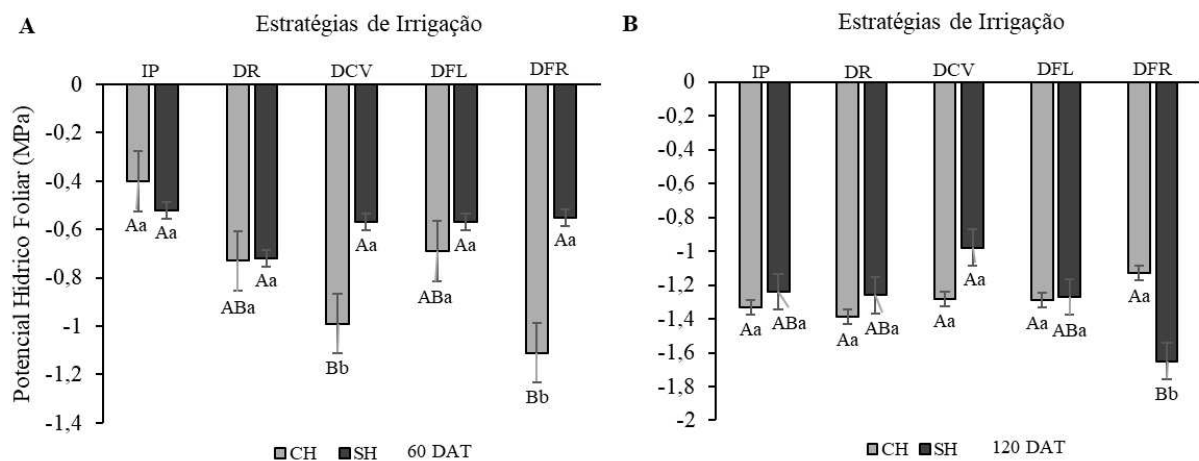
diferença estatística na estratégia de irrigação com déficit controlado no crescimento vegetativo (DCV) em comparação com o tratamento de irrigação plena (IP), apresentando valores do  $\Psi_F$  de  $-0,99$  e  $-0,40$  Mpa respectivamente (Figura 18A).

Menores valores de potencial hídrico no tratamento DCV pode ter sido por conta do baixo volume de água no solo comparado com IP. Sezen, Yazar & Tekin, (2019), analisaram a resposta fisiológica da pimenta vermelha a diferentes níveis de irrigação, tiveram resultados mostrando que o  $\Psi_F$  foi significativamente menor em plantas sob tratamento de estresse hídrico comparado as plantas com irrigação plena ( $-0,65$  MPa e  $0,53$  MPa em 2010 e 2011).

González, Orgaz & fereres (2007), encontraram resultados para a cultura da pimenta, mostrando que a irrigação deficitária ao longo de todo o ciclo, reduziu os valores de  $\Psi_s$  em comparação aos tratamentos com déficit no amadurecimento e irrigação plena uma semana após a água aplicada ter sido reduzida para 75% da  $ET_c$ .

Kabir *et al.*, (2021), avaliaram a influência do nível de irrigação por gotejamento no crescimento da planta, fisiologia, produção e qualidade dos frutos em pimentão. Relataram que o potencial hídrico foliar aumentou linearmente na safra de 2017 e quadraticamente na safra de 2018 com o aumento do nível de irrigação.

**Figura 18:** Médias obtidas para o potencial hídrico foliar na fase vegetativa (Figura 18 A) e estágio de frutificação (Figura 18 B), sob interação das estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel.



Letras maiúsculas (A, B, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para a estratégia de irrigação; Letras minúsculas (a, b, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para o hidrogel. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Legenda: IP – Irrigação Plena; DR – Déficit durante todo o ciclo; DCV – Déficit na fase vegetativa; DFL – Déficit na fase de floração; DFR – Déficit na fase de frutificação; DAT – Dias após o transplantio.

Houve diferença estatística no uso do hidrogel no tratamento DCV, com valores do  $\Psi F$  de  $-0,99$  e  $-0,57$  Mpa, com e sem o uso do polímero respectivamente, o hidrogel também influenciou no tratamento com déficit na frutificação (DFR), com valores do  $\Psi F$  de  $-1,10$  e  $-0,55$  Mpa, com e sem o uso do hidrogel, o tratamento DFR também era considerado controle (Figura 18A).

Menores valores de  $\Psi F$  na fase de crescimento com o uso do hidrogel pode ser explicado devido o sistema radicular do pimentão ainda ser pequeno nessa fase de desenvolvimento, não conseguindo absorver a água que está contida no hidrogel. Agbna & Zaidi (2025), visando fornecer uma análise abrangente do desempenho dos hidrogéis no aumento da resiliência das plantas ao estresse hídrico, mostraram que a eficácia dos hidrogéis pode variar significativamente dependendo do tipo de solo, clima e espécies de cultivo.

No estágio de frutificação, a estratégia de irrigação DFR em comparação com o tratamento DCV, o DFR proporcionou menor valor do potencial hídrico ( $-1,65$  Mpa) entre os tratamentos sem hidrogel. O uso do polímero aumentou o  $\Psi F$  no DFR, ao contrário do observado na fase vegetativa, o hidrogel proporcionou um aumento do potencial hídrico foliar, possivelmente pelo fato da planta já ter um sistema radicular mais desenvolvido, conseguindo assim absorver a umidade retida no polímero (Figura 18B).

Em concordância com os dados apresentados, Menezes *et al.*, (2025), avaliaram as respostas à aplicação de doses de hidrogel e a utilização de diferentes regimes hídricos sobre a produtividade e a eficiência hídrica de plantas de pimentão cultivadas em campo, e observaram que o potencial hídrico na folha do pimentão apresentou tendência de aumento à medida que as lâminas de irrigação aumentavam.

#### 5.4.2 Trocas Gasosas

Na tabela 7 é possível ver o resumo da análise de variância para as variáveis concentração de gás carbônico ( $C_i$ ), taxa de transpiração ( $E$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e fotossíntese líquida ( $A$ ). A análise feita na fase vegetativa mostrou diferença estatística ( $P < 0,01$ ) do hidrogel nas variáveis ( $E$ ;  $g_s$ ;  $A$ ), como também das estratégias de irrigação nas variáveis ( $g_s$ ;  $A$ ). Na fase de floração a interação irrigação x hidrogel influenciou estatisticamente ( $P < 0,01$ ) as variáveis ( $E$ ;  $A$ ), e o efeito isolado do polímero, proporcionou diferença estatística ( $P < 0,01$ ) na variável ( $g_s$ ). Na fase de frutificação, foi observado efeito significativo ( $P < 0,05$ ) do tratamento irrigação na variável ( $E$ ), como também da interação irrigação x hidrogel nas variáveis ( $g_s$ ) ( $P < 0,05$ ) e ( $A$ ) ( $P < 0,01$ ). Não houve diferença estatística para a variável ( $C_i$ ) em nenhuma das três avaliações.

**Tabela 7:** Resumo das análises de variância para as variáveis concentração de gás carbônico (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (gs), fotossíntese líquida (A). Nas fases vegetativa (VG), floração (FL) e frutificação (FR).

Variáveis	FASE	Fonte de variação (Quadrado Médio)				CV 1 (%)	CV 2 (%)	Média geral
		Bloco	Irrigação (I)	Hidrogel (H)	I x H			
<i>Ci</i>	VG	817,76 <sup>ns</sup>	1858,79 <sup>ns</sup>	3940,2 <sup>ns</sup>	2170,8 <sup>ns</sup>	13,05	19,87	230,68
	FL	740,9 <sup>ns</sup>	654,31 <sup>ns</sup>	198,02 <sup>ns</sup>	961,21 <sup>ns</sup>	10,49	11,72	270,9
	FR	1002,2 <sup>ns</sup>	8329,4 <sup>ns</sup>	50,63 <sup>ns</sup>	3764,3 <sup>ns</sup>	25,63	14,28	263,83
<i>E</i>	VG	1,595 <sup>ns</sup>	5,691 <sup>ns</sup>	17,609 <sup>**</sup>	1,708 <sup>ns</sup>	36,06	22,1	4,909
	FL	0,959 <sup>ns</sup>	7,308 <sup>ns</sup>	0,284 <sup>ns</sup>	6,573 <sup>**</sup>	33,15	22,4	5,54
	FR	13,88 <sup>*</sup>	15,659 <sup>*</sup>	0,248 <sup>ns</sup>	2,236 <sup>ns</sup>	37,53	27	4,696
<i>gs</i>	VG	0,012 <sup>ns</sup>	0,089 <sup>**</sup>	0,184 <sup>**</sup>	0,016 <sup>ns</sup>	28,74	48,37	0,217
	FL	0,001 <sup>ns</sup>	0,164 <sup>**</sup>	0,016 <sup>ns</sup>	0,010 <sup>ns</sup>	36,75	18,44	0,350
	FR	0,021 <sup>ns</sup>	0,135 <sup>**</sup>	0,096 <sup>**</sup>	0,036 <sup>*</sup>	38,59	33,76	0,255
<i>A</i>	VG	16,79 <sup>ns</sup>	101,42 <sup>**</sup>	389,88 <sup>**</sup>	39,387 <sup>ns</sup>	25,62	25,89	16,31
	FL	9,686 <sup>ns</sup>	57,289 <sup>*</sup>	14,448 <sup>ns</sup>	95,598 <sup>**</sup>	26,53	20,42	14,818
	FR	13,958 <sup>ns</sup>	120,027 <sup>**</sup>	32,202 <sup>ns</sup>	81,07 <sup>**</sup>	25,95	32,91	11,39

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

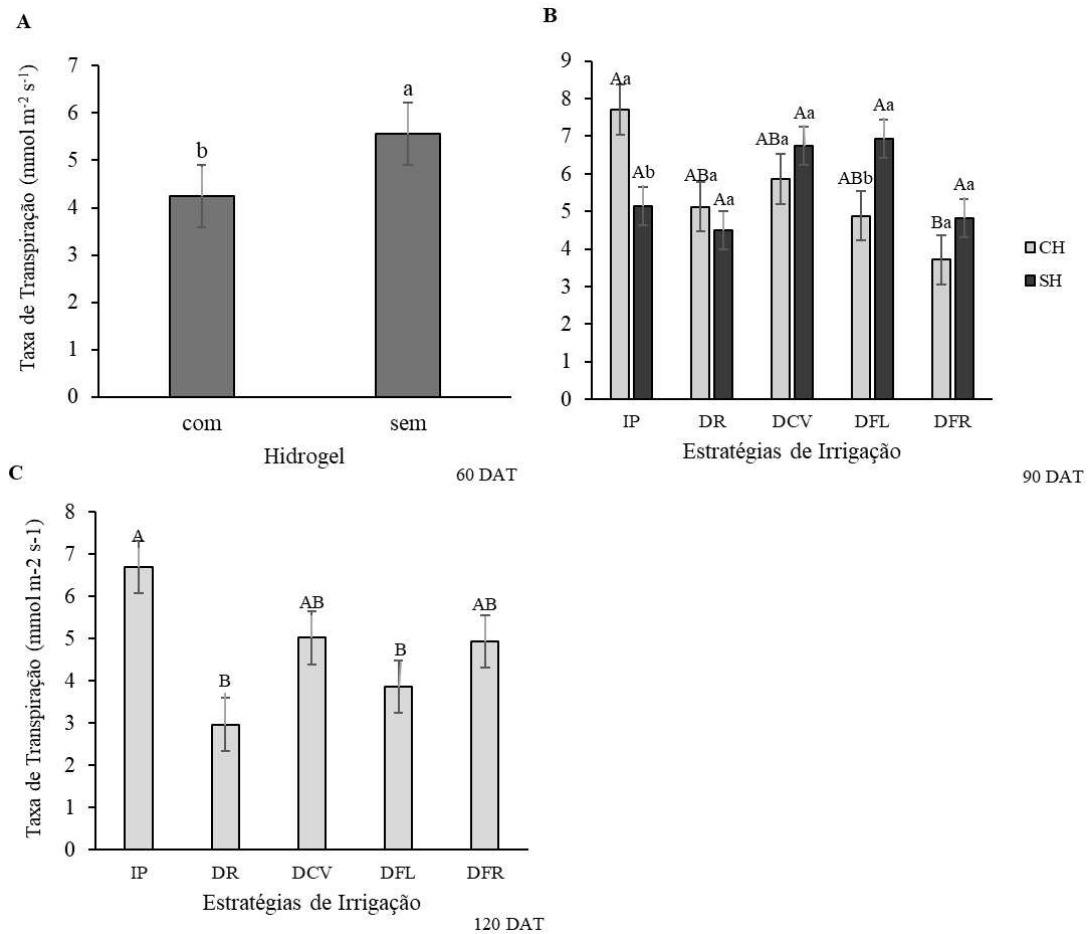
A Figura 19 é exibido o efeito das estratégias de irrigação e o uso do hidrogel na taxa de transpiração das plantas de pimentão. A avaliação feita na fase vegetativa, mostrou que a taxa de transpiração foi menor nas plantas com hidrogel ( $4,25 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) quando comparadas com os tratamentos relacionados a ausência do polímero ( $5,57 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) (Figura 19A), provavelmente o hidrogel estava liberando água em uma taxa menor que a transpiração, evidenciando um maior fechamento estomático e menor disponibilidade de água para as plantas submetidas ao hidrogel.

Sousa *et al.*, (2024), encontraram resultados semelhantes quando avaliando as respostas fisiológicas e o índice térmico de cultivares de morangueiro cultivadas sob doses de hidrogel, concluíram que, a aplicação de  $4 \text{ g. L}^{-1}$  de hidrogel no substrato reduziu a condutância estomática, a taxa de transpiração e a concentração intercelular de  $\text{CO}_2$ .

A interação irrigação x hidrogel teve influência significativa na fase de floração, quando o tratamento DFR obteve menor taxa de transpiração ( $3,71 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) comparado com o tratamento controle IP ( $7,71 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ ), nas plantas que foram submetidas ao hidrogel

(Figura 19B). Ainda nessa fase, na estratégia de déficit na floração (DFL) o uso do hidrogel proporcionou menor taxa de transpiração ( $4,88 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) comparado ao não uso do polímero ( $6,94 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) (Figura 19B), mostrando que o hidrogel além de não atenuar o efeito do déficit na (E), diminuiu a mesma no tratamento DFL.

**Figura 19.** Médias obtidas para a taxa de transpiração na fase vegetativa (A), floração (B) e frutificação (C), submetido as estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel.



Letras maiúsculas (A, B, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para a estratégia de irrigação; Letras minúsculas (a, b, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para o hidrogel. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Legenda: IP – Irrigação Plena; DR – Déficit durante todo o ciclo; DCV – Déficit na fase vegetativa; DFL – Déficit na fase de floração; DFR – Déficit na fase de frutificação; DAT – Dias após o transplantio.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Araújo *et al.*, (2022), quando avaliaram a aplicação de doses de hidrogel e mulching sob os aspectos fisiológicos do cultivo de maracujazeiro-amarelo, mostraram que em solo sem cobertura morta, a taxa de transpiração diminuiu linearmente na proporção de  $1,118 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$  por unidade de incremento do hidrogel.

Na fase de frutificação, houve diferença estatística nas estratégias de irrigação nos tratamentos DFL e DR durante todo o ciclo da cultura onde esses tratamentos proporcionaram menor taxa de transpiração (3,86 e 2,97 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> respectivamente) em comparação com o tratamento controle IP (6,69 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) (Figura 19C). Devido a baixa disponibilidade de água no solo, as plantas submetidas ao déficit, tendem a fechar seus estômatos reduzindo as perdas de água para atmosfera e conseqüentemente reduzindo a taxa de transpiração.

Sousa *et al.*, (2023), tiveram resultados para o pimentão, mostrando que a transpiração e a condutância estomática também foram significativamente influenciadas pelos déficits hídricos aplicados. Aos 28 e 56 DAT, o valor médio máximo para transpiração foi observado no déficit de 75% nos estádios II e IV (6,21 e 6,29 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

Na Figura 20 é visualizado o efeito das estratégias de irrigação e o uso do hidrogel na condutância estomática (*g<sub>s</sub>*) das plantas de pimentão. Na fase vegetativa o tratamento DFR (até então também considerado controle) diferenciou-se estatisticamente das demais estratégias de irrigação, proporcionando maior *g<sub>s</sub>* (0,408 mol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) (Figura 20A). Também na fase vegetativa, as plantas que foi adicionado o hidrogel, tiveram menor condutância estomática (0,154 mol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) comparado as plantas sem o uso do polímero (0,290 mol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) (Figura 20B).

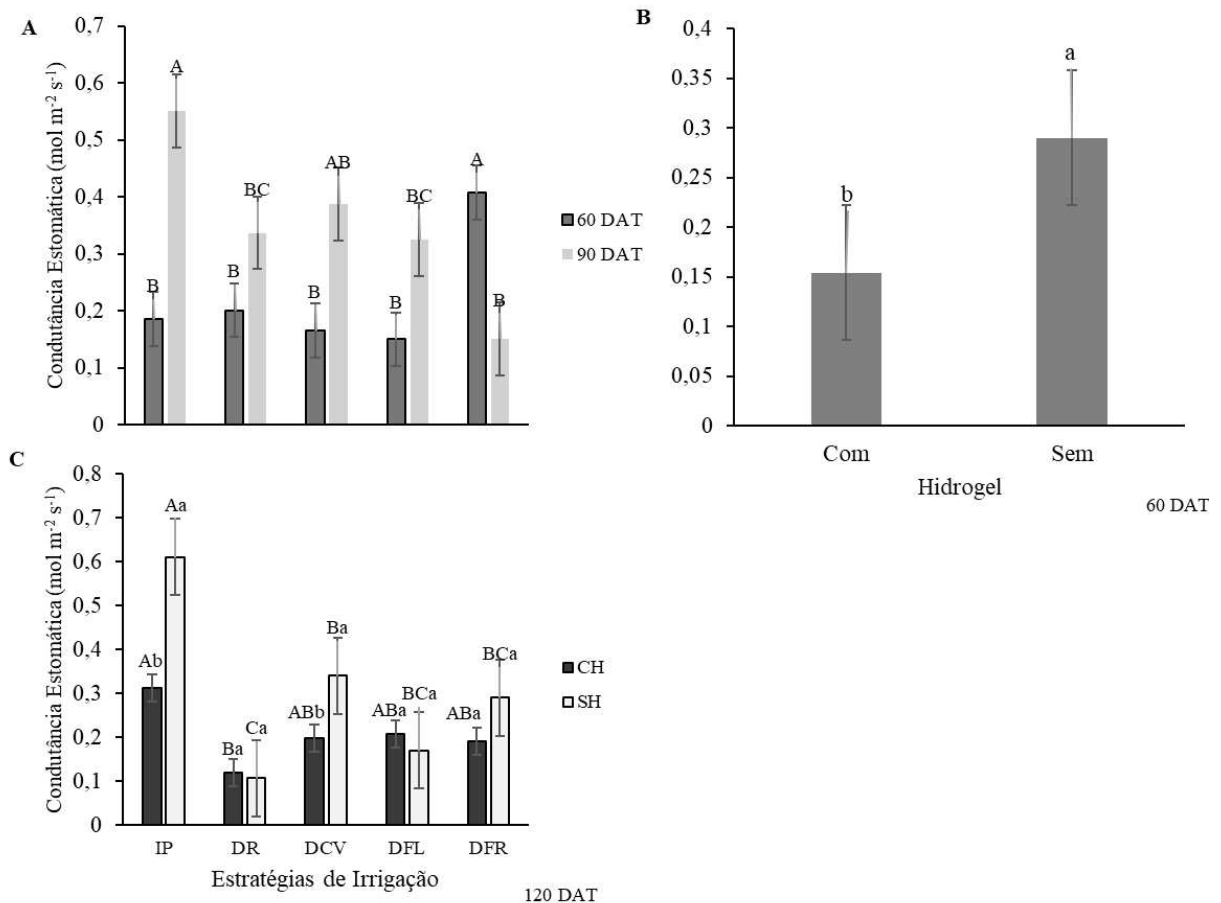
Esses resultados estão de acordo com Ambrozim *et al.*, (2022), que avaliaram as condições fisiológicas em plantas jovens de pimenta submetidas a diferentes níveis de irrigação e. Resultados mostraram que os valores de *g<sub>s</sub>* também foram significativamente influenciados pelos níveis de irrigação aplicados, sendo maiores nas plantas que receberam 100% de irrigação, devido à maior disponibilidade de água no solo e, conseqüentemente, à maior taxa de abertura estomática.

Sousa *et al.*, (2024), discutiram que apesar da disponibilidade potencialmente maior de água no substrato devido ao hidrogel, essa água pode não ser facilmente acessível às plantas, o que pode resultar em diminuições de *g<sub>s</sub>* e *E*. Também relataram que as plantas cultivadas sem hidrogel apresentaram diferença de 21,42% em *g<sub>s</sub>* em relação àquelas cultivadas com a maior dose de hidrogel (4 g L<sup>-1</sup>), em nosso estudo, a diferença de *g<sub>s</sub>* nas plantas sem o polímero foi de 88% maior em comparação com as plantas submetidas ao hidrogel.

Na fase de floração (Figura 20A), a estratégia de irrigação DFR obteve *g<sub>s</sub>* (0,150 mol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) comparado aos tratamentos controle (IP) (0,550 mol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) e DCV (0,388 mol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>), os tratamentos DR e DFL também proporcionaram menor *g<sub>s</sub>* (0,388 e 0,325 mol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> respectivamente) em comparação ao tratamento controle (Figura 20A). O déficit hídrico força as plantas a acharem estratégias de conservação da água, uma dessas é o fechamento parcial ou

total dos estômatos, limitando a entrada de CO<sub>2</sub> na planta, sendo uma forma de minimizar esse estresse hídrico.

**Figura 20:** Médias obtidas para a condutância estomática na fase vegetativa (60 DAT) (A e B), floração (90 DAT) (A) e frutificação (120 DAT) (C) DAT, submetido as estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel.



Letras maiúsculas (A, B, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para a estratégia de irrigação; Letras minúsculas (a, b, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para o hidrogel. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Legenda: IP – Irrigação Plena; DR – Déficit durante todo o ciclo; DCV – Déficit na fase vegetativa; DFL – Déficit na fase de floração; DFR – Déficit na fase de frutificação; DAT – Dias após o transplantio.

Na fase de frutificação (Figura 20C), a estratégia de irrigação DR obteve menor  $g_s$  ( $0,120 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) comparado ao tratamento controle IP ( $0,313 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) para as plantas com hidrogel. Já para as plantas sem hidrogel, todas as estratégias diferiram-se do tratamento controle, sendo que o tratamento DR obteve a menor  $g_s$  ( $0,108 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) (Figura 20C).

Em concordância com os resultados apresentados, Kabir *et al.*, (2021), estudaram a influência das lâminas de irrigação via sistemas por gotejamento na fisiologia dos frutos em

pimentão. Estes autores mostraram em seus resultados que a  $g_s$  apresentou uma relação positiva e quadrática com o nível de irrigação, com valores maiores de  $g_s$  nas irrigações com 100 e 130% da ETc.

Em relação ao hidrogel, esse proporcionou menor  $g_s$  nos tratamentos IP e DCV comparado as plantas sem a adição do polímero (Figura 20C). Esse resultado mostra que o hidrogel não conseguiu diminuir os efeitos do déficit para a variável  $g_s$ , além de proporcionar menor condutância estomática até nos tratamentos com irrigação plena.

Menezes *et al.*, (2025), tiveram resultados diferentes dos apresentados na presente pesquisa, mostrando que a abertura estomática nas plantas de pimentão, aumentou conforme a dose de hidrogel, sendo a dose de 2,4 g planta<sup>-1</sup> proporcionou maior abertura estomática. Essa diferença pode ser devido a dose de hidrogel e o ambiente de cultivo, que no caso de Menezes *et al* (2025) foi 2,4 g planta<sup>-1</sup> e cultivado no campo, enquanto na presente pesquisa foram aplicadas 3 g planta<sup>-1</sup> e cultivado em vaso em ambiente protegido.

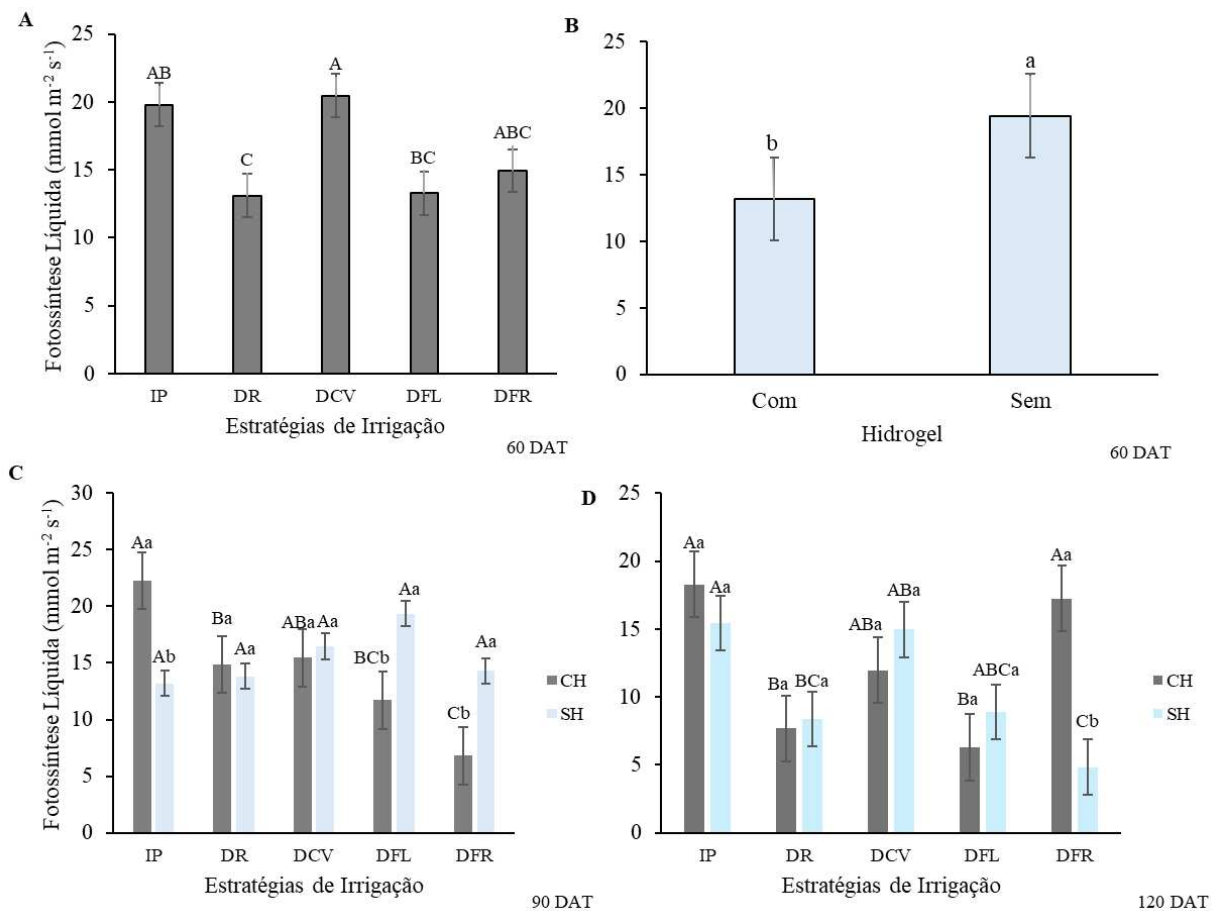
Na Figura 21 pode ser observado o efeito das estratégias de irrigação e o uso do hidrogel na fotossíntese líquida. Na fase vegetativa, o tratamento DR (13,11 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) teve diferença estatística quando comparado ao controle (IP) (19,79 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>), proporcionando menor valor de fotossíntese líquida (Figura 21A). Também na fase vegetativa, as plantas com hidrogel tiveram menor valor de fotossíntese líquida (13,19 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) quando comparado as plantas sem o polímero (19,44 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) (Figura 21B).

Sousa *et al.*, (2023), avaliaram os efeitos de diferentes intensidades de déficit hídrico, que variam entre os estádios fenológicos da cultura do pimentão, aos 28 DAT, a taxa líquida de fotossíntese apresentou o valor médio máximo em T1 (Irrigação plena) (23,49 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), sendo 229% superior ao do tratamento T7 (Déficit de 50% nos estádios II e III, e 25% no estágio IV).

Ren *et al.*, (2024), tiveram resultados diferentes na cultura do milho, onde a taxa fotossintética líquida, a condutância estomática e a taxa de transpiração, aumentaram 111,9%, 141,0% e 132,7%, respectivamente com o uso do hidrogel.

Na fase de floração (Figura 21C), nas plantas com hidrogel, as estratégias de irrigação DR (14,85 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>), DFL (11,71 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) tiveram menor valor de fotossíntese líquida comparado ao tratamento controle IP (22,26 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>), esse, não diferenciou do tratamento DCV, mostrando que as plantas submetidas ao déficit no estágio de crescimento, conseguiram se recuperar, produzindo fotossíntese líquida semelhante as plantas com irrigação plena (Figura 21C).

**Figura 21.** Médias obtidas para a fotossíntese líquida na fase vegetativa (A e B), floração (C) e frutificação (D), submetido as estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel.



Letras maiúsculas (A, B, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para a estratégia de irrigação; Letras minúsculas (a, b, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para o hidrogel. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Legenda: IP – Irrigação Plena; DR – Déficit durante todo o ciclo; DCV – Déficit na fase vegetativa; DFL – Déficit na fase de floração; DFR – Déficit na fase de frutificação; DAT – Dias após o transplantio.

Ainda na fase de floração, nos tratamentos DFL e DFR, as plantas com hidrogel tiveram um menor valor de fotossíntese líquida ( $11,71$  e  $6,81$   $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$  respectivamente) em comparação com as plantas sem o uso do polímero ( $19,33$  e  $14,29$   $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$  respectivamente), ao contrário do tratamento controle, onde as plantas com hidrogel ( $22,26$   $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$ ) tiveram maior valor de fotossíntese líquida do que as sem o uso do polímero ( $13,18$   $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$ ) (Figura 21C).

A avaliação feita na fase de frutificação nas plantas com hidrogel, mostrou que as estratégias de irrigação DR e DFL tiveram menor valor de fotossíntese líquida ( $7,69$  e  $6,28$   $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$  respectivamente), comparado com os tratamentos controle (IP) ( $18,27$   $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$

<sup>1</sup>) e DFR (17,25 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) (Figura 21 D). Esse resultado mostra que as plantas submetidas ao déficit em todo o ciclo e na florarão, não conseguiram se recuperar em termos de fotossíntese líquida, ao contrário dos tratamentos DCV e DFR, que não diferiram do controle.

Zhang *et al.*, (2023), avaliaram os efeitos de estratégias de irrigação e nitrogênio nas características fotossintéticas, acúmulo de matéria seca, rendimento e eficiência do uso de água e nitrogênio na cultura do pimentão, estes autores concluíram em seus resultados que o pimentão doce produz maior taxa fotossintética líquida em condições de déficit hídrico moderado durante a estação de crescimento.

Nas plantas cultivadas sem hidrogel, os tratamentos DR e DFR tiveram menor valor de fotossíntese líquida (8,37 e 4,84 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) comparado ao tratamento controle (IP) (15,43 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>), já os tratamentos DCV (14,95 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) e DFL (8,89 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) não tiveram diferença estatística do controle (Figura 21D). Nessa mesma figura, as plantas com hidrogel na estratégia de irrigação DFR, tiveram maior valor de *A* (17,25 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>), comparada com as plantas sem o uso do polímero (4,84 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) (Figura 21C).

Santos *et al.*, (2025), avaliaram o efeito do hidrogel em mudas de pimenta rosa submetidas ao déficit hídrico, mostrando em seus resultados que as mudas sob déficit sem hidrogel apresentaram menor valor de *A*, enquanto aquelas na mesma condição hídrica, porém com hidrogel mantiveram maior *A*.

## 5.5 Índices Térmicos

Na Tabela 8 se encontra o resumo da análise de variância para os índices térmicos CWSI e  $\Delta T$ . Na avaliação feita na fase vegetativa, houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) das estratégias de irrigação nos índices térmicos nos horários das 8:30h; 10:30h; e 14:30h e do hidrogel ( $p < 0,05$ ) no horário de 6:30h, e ( $P < 0,01$ ) nos demais horários. Não houve influência significativa do fator irrigação nos horários das 6:30h; 12:30h e 16:30h. Na fase de floração, a interação irrigação x hidrogel, proporcionou diferença estatística ( $P < 0,05$ ) nos índices térmicos no horário de 12:30h. O fator hidrogel também influenciou de forma significativa ( $P < 0,05$ ) os índices, no horário de 16:30. Na fase de frutificação, a estratégia de irrigação influenciou significativamente ( $P < 0,01$ ) os índices térmicos no horário de 10:30h, nos demais horários do dia não teve influência significativa. O fator hidrogel e a interação irrigação x hidrogel, não influenciaram significativamente os índices térmicos na fase de frutificação.

**Tabela 8:** Resumo das análises de variância (F calculado) para os índices térmicos CWSI e  $\Delta T$ , em função das estratégias de irrigação e uso do hidrogel, avaliados nas fases vegetativa (VG),

floração (FL) e frutificação (FR), nos horários de 6:30h; 8:30h; 10:30h; 12:30 h; 14:30 h; 16:30 h.

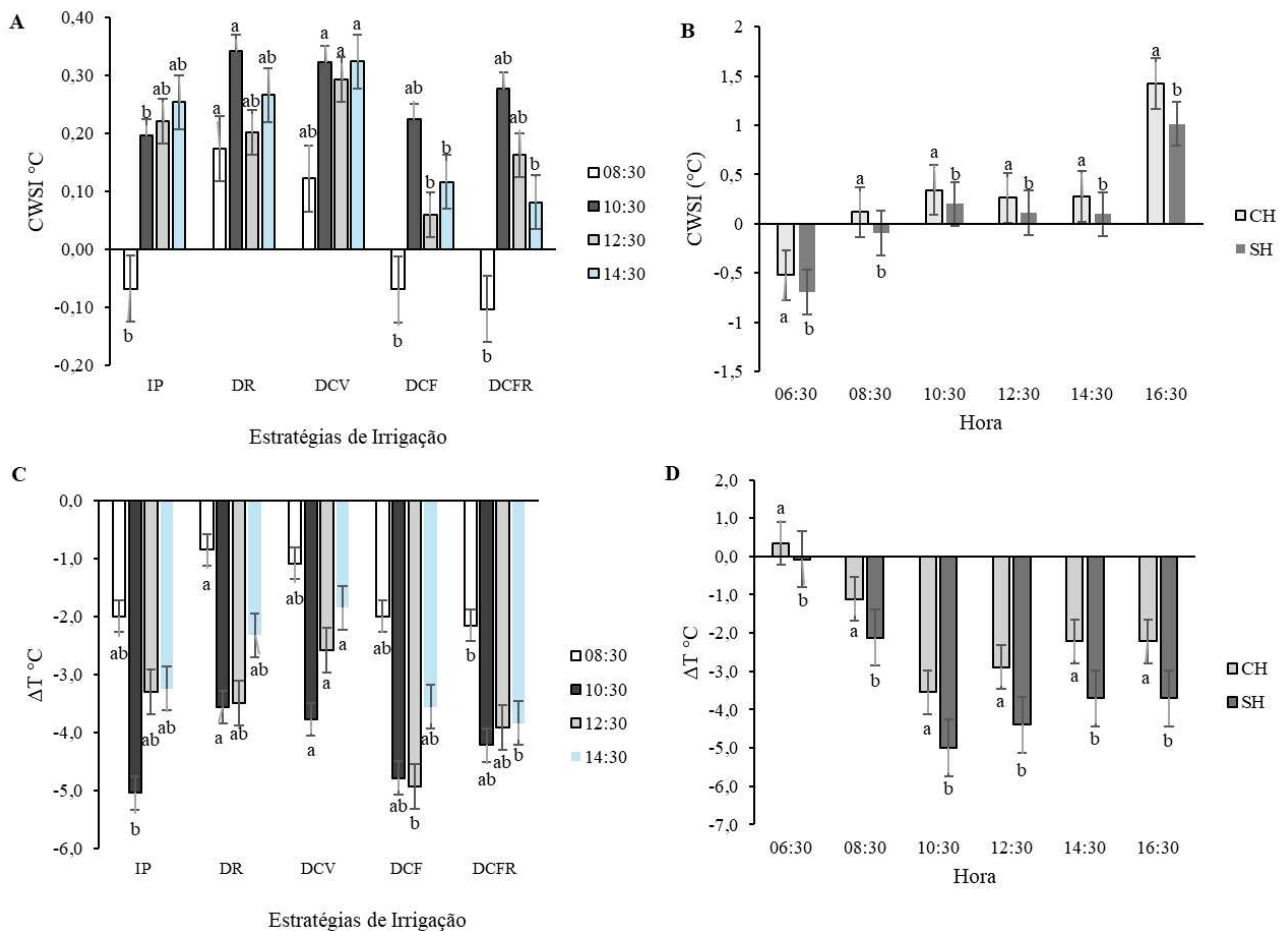
Variáveis	FASE	Hora	Fonte de variação (Quadrado Médio)				CV 1	CV 2
			Bloco	Irrigação	Hidrogel	I x H		
CWSI	VG	6:30	1,512 **	0,172 ns	0,301 *	0,042 ns	3,16	2,21
		8:30	0,195 *	0,129 *	0,462 **	0,006 ns	1,82	1,53
		10:30	0,165 **	0,031 *	0,20 **	0,013 ns	0,74	1,1
		12:30	0,169 **	0,058 ns	0,225 **	0,002 ns	1,36	0,93
		14:30	0,229 **	0,085 *	0,326 **	0,009 ns	1,51	1,41
		16:30	0,776 *	0,276 ns	1,669 **	0,01 ns	3,32	3,05
$\Delta T$	VG	6:30	4,259 **	0,378 ns	1,689 **	0,115 ns	4,56	4,05
		8:30	4,311 *	2,859 *	10,16 **	0,123 ns	10,23	8,56
		10:30	17,47 **	3,212 *	20,99 **	1,325 ns	13,67	20,32
		12:30	17,49 **	5,94 ns	22,76 **	0,209 ns	22,09	15,10
		14:30	15,23 **	5,67 *	21,96 **	0,583 ns	17,78	16,7
		16:30	4,11 *	1,473 ns	8,789 **	0,053 ns	8,74	8,05
CWSI	FL	6:30	0,37 **	0,004 ns	0,021 ns	0,08 ns	2,37	2,18
		8:30	0,29 **	0,074 ns	0,003 ns	0,015 ns	2,05	1,2
		10:30	0,35 **	0,041 ns	0,03 ns	0,034 ns	1,83	1,15
		12:30	0,21 *	0,045 ns	0,018 ns	0,087 *	2,14	1,35
		14:30	0,37 ns	0,237 ns	0,08 ns	0,05 ns	3,6	1,52
		16:30	2,68 **	0,18 ns	0,268 *	0,039 ns	5,07	2,04
$\Delta T$	FL	6:30	1,97 **	0,025 ns	0,112 ns	0,426 ns	4,54	4,17
		8:30	2,68 **	0,658 ns	0,029 ns	0,132 ns	6,04	3,52
		10:30	8,11 **	0,953 ns	0,72 ns	0,78 ns	10,41	6,5
		12:30	2,07 *	0,429 ns	0,172 ns	0,839 *	7,28	4,6
		14:30	1,97 ns	1,25 ns	0,445 ns	0,268 ns	7,96	3,35
		16:30	4,54 **	0,304 ns	0,449 *	0,066 ns	5,95	2,39
CWSI	FR	6:30	0,22 *	0,009 ns	0,007 ns	0,007 ns	2,24	1,25
		8:30	0,19 *	0,018 ns	0,027 ns	0,001 ns	1,87	0,92
		10:30	0,88 **	0,32 **	0,007 ns	0,104 ns	2,14	2,79
		12:30	0,08 ns	0,059 ns	0,024 ns	0,034 ns	2,39	1,47
		14:30	0,356 *	0,16 ns	0,002 ns	0,037 ns	2,86	1,81
		16:30	0,62 **	0,106 ns	0,046 ns	0,011 ns	1,84	2,09
$\Delta T$	FR	6:30	2,09 *	0,09 ns	0,069 ns	0,07 ns	6,11	3,41
		8:30	2,98 *	0,28 ns	0,44 ns	0,02 ns	7,14	3,52
		10:30	9,61 **	3,498 **	0,077 ns	1,13 ns	10,65	13,83
		12:30	2,08 ns	1,488 ns	1,998 ns	0,607 ns	20,42	10,16
		14:30	8,91 *	4,00 ns	0,048 ns	0,908 ns	22,22	14,02
		16:30	5,55	0,956 ns	0,408 ns	0,098 ns	7,17	8,13

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

Na Figura 22 está sendo representado o efeito das estratégias de irrigação e o uso do hidrogel nos índices térmicos CWSI e  $\Delta T$  na fase vegetativa. Foi observado que a estratégia

com déficit durante todo o ciclo (DR) obteve maior valor de CWSI (0,27 e 0,34 °C) comparado com o tratamento com irrigação plena (IP) (-0,07 e 0,2 °C), nos horários de 8:30 e 10:30 respectivamente.

**Figura 22.** Médias obtidas para os índices térmicos CWSI e  $\Delta T$ , na fase vegetativa, submetido as estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel, nos horários de 6:30h; 8:30h; 10:30h; 12:30h; 14:30h; 16:30h do dia.



Letras minúsculas (a, b, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para a estratégia de irrigação e para o hidrogel em cada horário do dia. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Legenda: IP – Irrigação Plena; DR – Déficit durante todo o ciclo; DCV – Déficit na fase vegetativa; DFL – Déficit na fase de floração; DFR – Déficit na fase de frutificação.

O tratamento com déficit no crescimento vegetativo (DCV), também teve maior valor de CWSI (0,32 °C) comparado ao controle IP, no horário de 10:30 e comparado aos tratamentos com déficit na floração (DFL) (as 12:30h e 14:30 h) e na frutificação (DFR) (as 8:30h e 14:30 h), tratamentos esses, que nessa altura eram também considerado controle (Figura

22A). Maiores valores de CWSI e  $\Delta T$ , mostram que as plantas apresentaram maior temperatura foliar, evidenciando o déficit hídrico nessa fase da cultura.

Segundo Aragão *et al.*, (2023), sob condições ideais de umidade do solo, há altas taxas de transpiração em toda a planta, aumentando e reduzindo drasticamente a  $T_c - T_a$ . Em contraste, a baixa umidade do solo não afeta a  $T_c$  e outros parâmetros fisiológicos da planta.

Sezen *et al.*, (2014), avaliaram o CWSI para o pimentão vermelho, com medidas feitas entre 12:00h e 14:00 h, tiveram resultados parecidos aos apresentados no presente estudo, mostrando que os valores médios sazonais de CWSI para os tratamentos DFI (Irrigação total), (75% de DFI) e (50% de DFI) foram 0,25, 0,32 e 0,59 em 2010, respectivamente, e 0,27, 0,36 e 0,54, respectivamente, em 2011.

Camoglu *et al.*, (2021), encontraram valores médios de CWSI para a pimenta entre 0,43 e 0,79 em 2017 e 0,33 e 0,73 em 2018, relataram que todos os tratamentos foram estatisticamente diferentes, mostrando que o CWSI é bem-sucedido em distinguir o estresse hídrico.

Em relação as plantas com o uso do hidrogel, essas, tiveram maior valor do CWSI e  $\Delta T$ , em todos os horários avaliados em comparação com as plantas sem o uso do polímero (Figura 22B e 22D). O que mostra a ineficácia do uso do hidrogel em diminuir a temperatura foliar nesse experimento, uma vez que as plantas submetidas ao polímero apresentaram maior temperatura do dossel.

No índice térmico  $\Delta T$ , foi observado que a estratégia DR obteve maior valor ( -0,71 e -3,57 °C) comparado com o tratamento DFR (-2,15 °C) e controle IP (-5,04 °C), nos horários de 8:30h e 10:30 h, respectivamente. Já o tratamento DCV, teve maior valor de  $\Delta T$  (-3,77; -2,58 e -1,81 °C) comparado ao controle IP (-5,04 °C), DFL (-4,92) e DFR (-3,83 °C), nos horários de 10:30h; 12:30h e 14:30 h respectivamente (Figura 22C). Resultados coerentes com o esperado, tendo em vista que os tratamentos DR e DCV foram submetidos ao déficit nessa fase, mostrando a eficácia da termografia em visualizar o estresse hídrico.

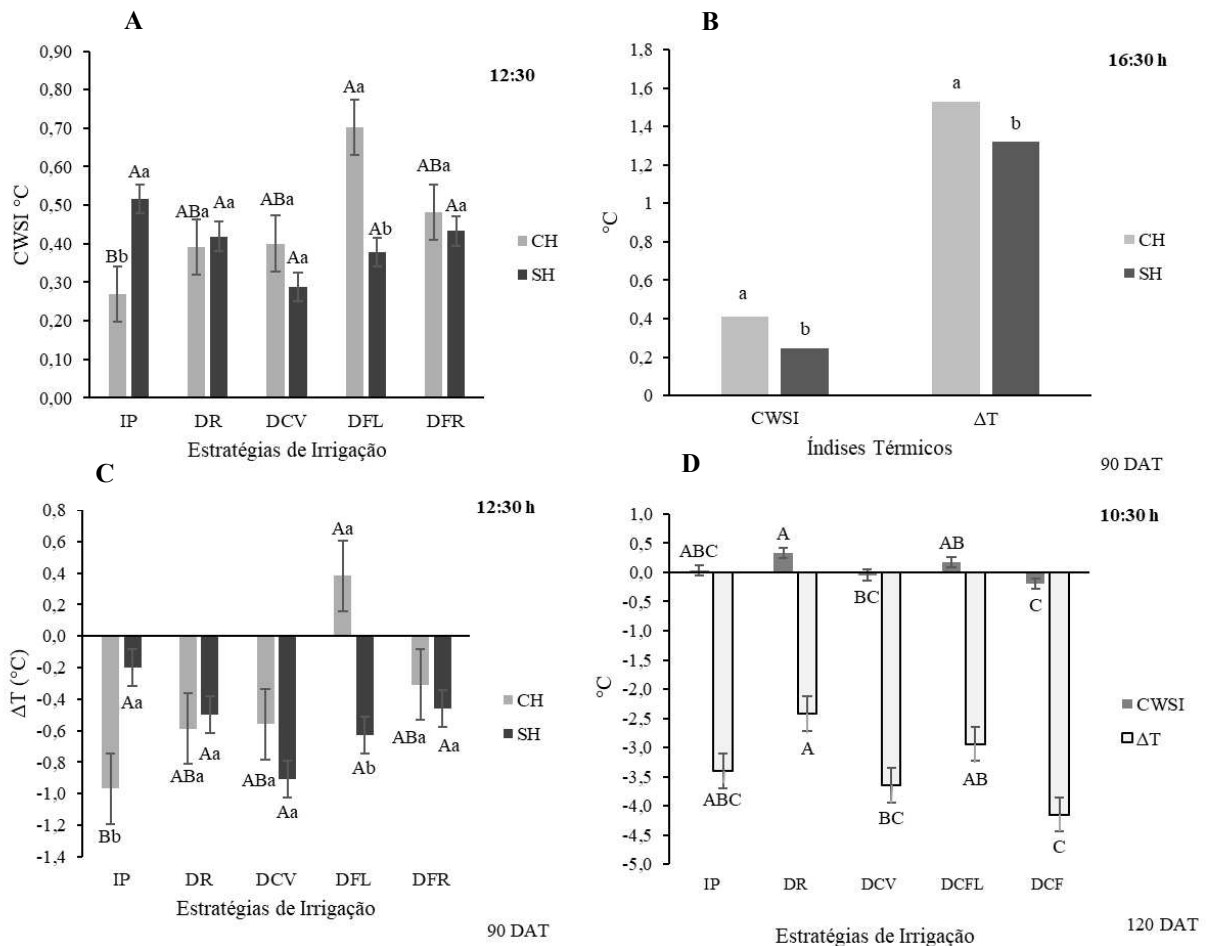
Silva *et al.*, (2025), mostraram que as maiores médias do índice térmico  $\Delta T$ , foram observadas aos 60 e 90 DAT (CH: 0,98 °C, SH: 1,03 °C, aos 60 DAT; SH: -4,79 °C, CH: -4,87 °C, aos 90 DAT) no tratamento com déficit de 60% da  $E_{Tc}$  em todo ciclo, não havendo diferença estatística para o fator hidrogel.

A Figura 23A mostra o efeito das estratégias de irrigação e o uso do hidrogel nos índices térmicos CWSI e  $\Delta T$  nas fases de floração e frutificação. Na fase de floração, nas plantas com hidrogel, no horário de 12:30 h, a estratégia de irrigação DFL obteve maior valor de CWSI

(0,7 °C) e  $\Delta T$  (0,38 °C) em comparação com o controle IP (0,27 e -0,97 °C respectivamente), para as demais estratégias de irrigação não houve diferença estatística (Figura 23A e 23C).

De acordo com Benavides *et al.*, (2020), a estabilidade das condições meteorológicas diárias é fundamental ao estimar o estado da água das plantas através de dados termográficos. A qualidade das estimativas CWSI é mais precisa quando as medições térmicas são feitas sob condições de céu com poucas nuvens e baixa velocidade do vento.

**Figura 23.** Médias obtidas para os índices térmicos CWSI e  $\Delta T$ , nas fases de floração (A, B e C) e frutificação (D), submetido as estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel, nos horários de 6:30h; 8:30h; 10:30h; 12:30h; 14:30h; 16:30h do dia.



Letras maiúsculas (A, B, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para a estratégia de irrigação; Letras minúsculas (a, b, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para o hidrogel. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Legenda: IP – Irrigação Plena; DR – Déficit durante todo o ciclo; DCV – Déficit na fase vegetativa; DFL – Déficit na fase de floração; DFR – Déficit na fase de frutificação; DAT – Dias após o transplantio.

As plantas com hidrogel apresentaram maiores valores de CWSI (0,7 °C) e  $\Delta T$  (0,38 °C) no tratamento DFL, comparado as plantas sem o uso do polímero (0,38 e -0,63 °C respectivamente), já no tratamento IP, as plantas tiveram menores valores de CWSI (0,29 °C) e  $\Delta T$  (-0,97 °C), quando submetidas ao hidrogel em comparação ao não uso do polímero (0,52 e -0,2 respectivamente) (Figuras 23A e 23C). Nesse caso, o hidrogel mostrou uma certa eficiência no tratamento onde a planta não estava sob déficit, porém, não foi eficaz no tratamento sob estresse hídrico DFL, aumentando a temperatura foliar.

Camoglu; Demirel; Genc, (2018), com o objetivo de determinar o estresse hídrico não visível na pimenta, encontraram valores médios de CWSI entre 0,53 e 0,83, dependendo do nível de irrigação aplicado, concluindo que os índices térmicos foram afetados negativamente pelo estresse hídrico.

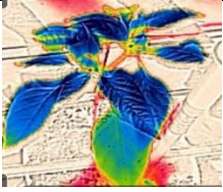
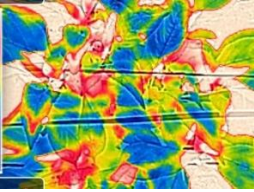
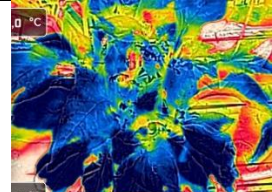


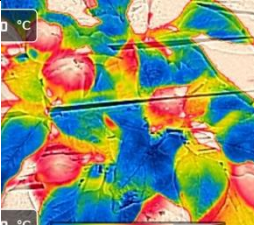
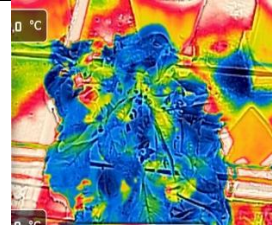
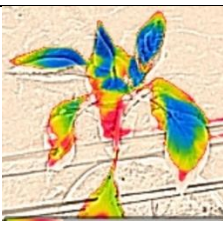

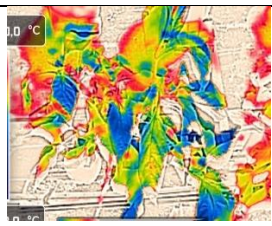
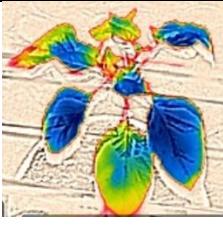
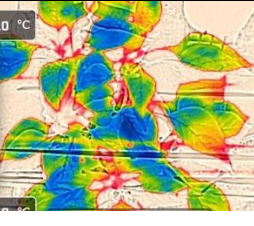
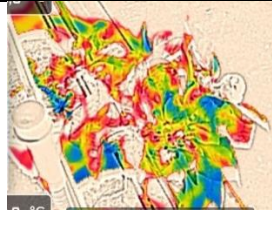

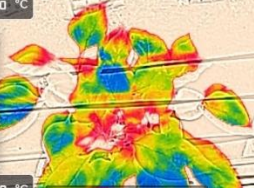
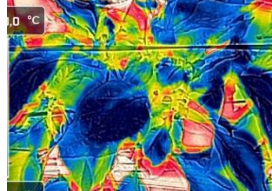
Ainda na fase de floração, no horário das 16:30 h, as plantas com hidrogel tiveram maior valor de CWSI e  $\Delta T$ , comparado as plantas sem o uso do polímero (Figura 23B). Na fase de frutificação, a estratégia de irrigação DFR apresentou menor valor de CWSI e  $\Delta T$ , comparado as estratégias DR e DFL e não se diferenciou do tratamento controle. O que mostra que as plantas não aumentaram sua temperatura quando submetidas ao déficit na frutificação. Os demais tratamentos não diferiram estatisticamente (Figura 23D).

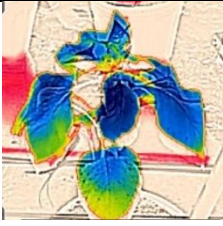
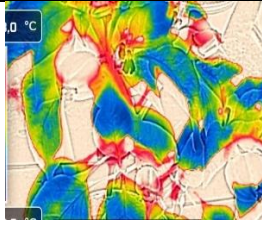
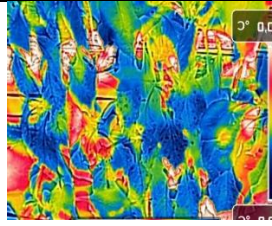
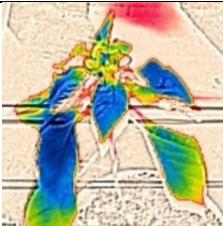
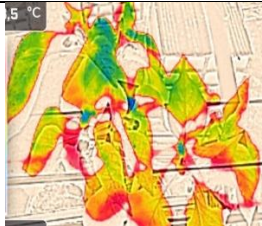
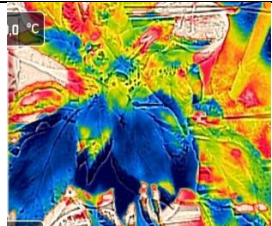
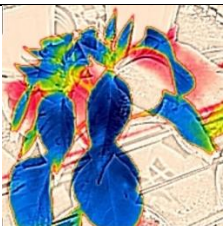
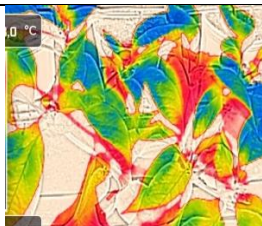
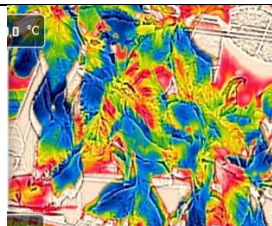
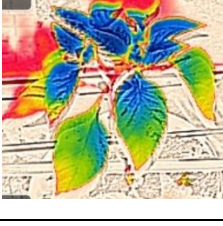
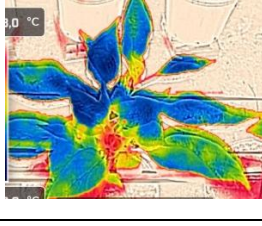
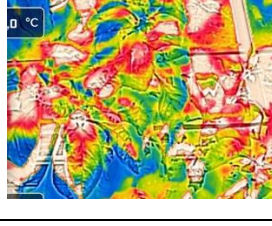


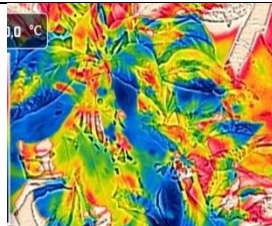
Luan *et al.*, (2021), mostraram que as faixas ótimas do CWSI crítico foram 0,556 a 0,569, 0,481 a 0,486, 0,571 a 0,641 e 0,511 a 0,606 em diferentes estádios de crescimento. Rud *et al.*, (2014), examinaram o potencial dos valores de CWSI com base em imagens térmicas, para servir como indicadores do estado hídrico da batata, concluíram que a termografia é uma ferramenta eficaz para monitorar a resposta da batata à disponibilidade hídrica, como evidenciado pela alta correlação entre os valores de CWSI baseados em imagens de sensoriamento remoto obtidos em três safras.

Na Tabela 9 é possível ver a diferença de tonalidade das imagens térmicas submetidas aos tratamentos com déficits e o uso do hidrogel, quanto mais a imagem se aproxima da tonalidade azul, significa que a planta não está sofrendo restrição hídrica, e quanto mais a imagem se aproxima do vermelho, significa uma planta com maior estresse hídrico.

É possível observar na fase vegetativa que as imagens das plantas dos tratamentos DR e DCV estão com maiores áreas de tons avermelhados que as imagens das plantas que não foram expostas ao déficit, assim como as imagens das plantas que foram adicionadas o hidrogel também apresentam uma tonalidade mais avermelhada. Esse padrão se repete nos déficits aplicados nas fases seguintes (Tabela 9).

**Tabela 9.** Imagens térmicas submetidas as estratégias de déficit e uso do hidrogel nas fases vegetativa, floração e frutificação, nos horários de 14:30h, 12:30h e 10:30h, respectivamente.

	CRESC. VEGET.	FLORAÇÃO	FRUTIFICAÇÃO	Prod. Kg/plant a	Escal a de cores
Trata .	14:30	12:30	10:30		40,0
IP CH				0,29 Aa	
$\Delta T (T_c - T_a)$	-2,38	-0,97	-3,0		
IP SH				0,31 ABa	
$\Delta T (T_c - T_a)$	-4,11	-0,20	-3,79		
DR CH				0,15 Ba	
$\Delta T (T_c - T_a)$	-1,92	-0,59	-2,79		
DR SH				0,12 Ca	
$\Delta T (T_c - T_a)$	-2,73	-0,50	-2,06		
DCV CH				0,28 Ab	
					25,0

$\Delta T (T_c - T_a)$	-0,98	-0,56	-3,54		
DCV SH				0,4 Aa	
$\Delta T (T_c - T_a)$	-2,64	-0,91	-3,76		
DFL CH				0,22 Ab	
$\Delta T (T_c - T_a)$	-3,03	0,38	-3,27		
DFL SH				0,33 ABa	
$\Delta T (T_c - T_a)$	-4,07	-0,63	-2,61		
DFR CH				0,31 Aa	
$\Delta T (T_c - T_a)$	-2,78	-0,31	-3,74		
DFR SH				0,22 BCb	
$\Delta T (T_c - T_a)$	-4,89	-0,46	-4,56		

Letras maiúsculas (A, B, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para a estratégia de irrigação; Letras minúsculas (a, b, ...) diferentes, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para o hidrogel. Legenda: IP – Irrigação Plena; DR – Déficit durante todo o ciclo; DCV – Déficit na fase vegetativa; DFL – Déficit na fase de floração; DFR – Déficit na fase de frutificação; CH – Com hidrogel; SH – Sem hidrogel.

Esses dados demonstram a eficácia da termografia em detectar o estresse hídrico nas plantas de uma forma não invasiva. Kurunc, Tezcan, Bimurzayev (2023) também afirmaram que câmeras térmicas que proporcionam aquisição rápida de dados e sem contato têm potencial para serem utilizadas na detecção de estresse hídrico em culturas de trigo.

Gerhards, *et al.*, (2016) tiveram a mesma conclusão quando afirmaram que medidas pré-visuais de estresse hídrico com base na temperatura da planta, reagem mais rapidamente do que medidas visuais com base na cor das folhas e que índices baseados em temperatura têm um enorme potencial para detecção de estresse hídrico e gestão de irrigação.

## 6 CONCLUSÃO

O déficit hídrico aplicado em pelo menos uma fase fenológica do pimentão afetou o potencial hídrico, as trocas gasosas e os índices térmicos da cultura. Porém, no desenvolvimento e rendimento as estratégias com déficit regulado não se diferenciaram do tratamento controle.

O hidrogel não teve efeito positivo na redução dos efeitos causados pelo déficit nas fases de crescimento e estágio de floração. Entretanto, no estágio de frutificação o polímero mostrou uma resposta positiva reduzindo os efeitos do déficit na fase final da cultura.

A estratégia de irrigação que obteve maiores médias de rendimento e eficiência do uso da água, foi o déficit aplicado na fase de crescimento vegetativo sem o uso do polímero hidrogel.

A irrigação de 60% da ETc pode ser usada pelo menos em um estágio do pimentão (vegetativo, floração ou frutificação), não afetando de forma significativa seu desenvolvimento e rendimento.

O déficit hídrico aplicado durante todo o ciclo do pimentão não demonstrou ser uma boa estratégia de irrigação, pois reduziu de forma significativa o desenvolvimento, rendimento e eficiência do uso da água.

A termografia infravermelha demonstrou boa precisão na detecção do estresse hídrico em plantas de pimentão, podendo ser utilizada como uma alternativa para o monitoramento da irrigação.

## REFERÊNCIAS

- ABAYOMI, Y. A.; ADULOJU, M. O.; EGBEWUNMI, M. A.; SULEIMAN, B. O. Effects of soil moisture contents and rates of NPK fertilizer application on growth and fruit yields of pepper (*Capsicum* spp.) genotypes. **International Journal of AgriScience**, Irã (República Islâmica do Irã), v. 2, n. 7, p. 651-663, 2012. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20123254964>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- ABDELAZIZ, A. M.; DACRORY, S.; HASHEM, A. H.; ATTIA, M. S.; HASANIN, M.; FOUDA, H. M.; KAMEL, S.; ELDAIED, H. Protective role of zinc oxide nanoparticles based hydrogel against wilt disease of pepper plant. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Netherlands, Elsevier, v. 35, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102083>. Disponível em: Protective role of zinc oxide nanoparticles based hydrogel against wilt disease of pepper plant – ScienceDirect. Acesso em: 01 dez. 2025.
- ABDELGHAFAR, R.; ABDELFATTAH, A.; MOSTAFA, H. Effect of super absorbent hydrogel on hydro-physical properties of soil under deficit irrigation. **Scientific Reports**, International, Nature Research, v. 14, n. 7655, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57786-5>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-57786-5#Sec1>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- ABDELKHALIK, A.; PASCUAL, B.; NÁJERA, I.; DOMENE, M. A.; BAIXAULI, C.; PASCUAL, S. N. Effects of deficit irrigation on the yield and irrigation water use efficiency of drip-irrigated sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under Mediterranean conditions. **Irrigation Science**, Germany, Springer Nature, v.38, p. 89–104, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-019-00655-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00271-019-00655-1#citeas>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- AGBNA, G.H.D.; ZAIDI, S.J. Hydrogel Performance in Boosting Plant Resilience to Water Stress—A Review. **Gels**, Basel, Switzerland, MDPI, v. 11, n. 276, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/gels11040276>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2310-2861/11/4/276>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Irrigação**. Brasília: ANA, 2015. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasirrigacao/> Acesso em: 07 out. 2025.
- AGUIAR, M. J. N.; VIANA, T. V. A.; AGUIAR, J. V.; LIMA, J. B.; CRISÓSTOMO, R. R. J.; QUINO, F. C.; BARRETO, J. H. C. J. **Dados climatológicos**. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, 2003. 19 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/425189/1/doc75.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2025.
- ALBALASMEH, A. A.; MOHAWESH, O.; GHARAIBEH, M. A.; ALGHAMDI, A. G.; ALAJLOUNI, M. A.; ALQUDAH, A. M. Effect of hydrogel on corn growth, water use efficiency, and soil properties in a semi-arid region. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, Saudi Arabia, King Saud University. v. 21, n 8, p. 518-524, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.03.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658077X2200025X>. Acesso em: 01 dez. 2025.

ALGHORY, A.; YAZAR, A. Evaluation of crop water stress index and leaf water potential for deficit irrigation management of sprinkler-irrigated wheat. **Irrigation Science**, Germany, Springer Nature, v. 37, p. 61–77, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-018-0603-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00271-018-0603-y>. Acesso em: 01 dez. 2025.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. **FAO – Irrigation and Drainage Paper**, Rome, v. 56, 300 p. Disponível em: [https://www.scsocourt.org/complexcivil/105cv049053/volume3/172618e\\_5xagwax8.pdf](https://www.scsocourt.org/complexcivil/105cv049053/volume3/172618e_5xagwax8.pdf). Acesso em: 17 nov. 2023.

AMBROZIM, C. S.; MEDICI, L. O.; CRUZ, E. S.; ABREU, J. F. G.; CARVALHO, D. F. Physiological response of black pepper (*Piper nigrum* L.) to déficit irrigation. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza CE, v. 53, [s. n.], 20207348, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/vtMZBLmqZSZfVn98Hqmnznty/?format=html&lang=en>. Acesso em: 01 dez. 2025.

ANDRADE, A. S. J.; BASTOS, E. A.; MASCHIO, R.; SILVA, E. M. **Determinação da curva de retenção de água no solo em laboratório**. Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/56415/1/curvaretenciao.pdf>. Acesso em: 04 out. 2025.

ARAGÃO, M. F.; PINHEIRO NETO, L. G.; VIANA, T. V. D. A.; MANZANO-JUAREZ, J.; LACERDA, C. F.; COSTA, J. D. N.; AZEVEDO, B. M. Evaluation of crop water status of melon plants in tropical semi-arid climate using thermal imaging. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande PB, v.27. n. 6, p. 447-456, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n6p447-456>. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/>. Acesso em: 01 dez. 2025.

ARAÚJO, D. L.; SOUTO, A. G. L.; CAVALCANTE, A. G.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; MELO, A. S. Physiological aspects of yellow passion fruit with use of hydrogel and mulching. **Rev. Caatinga**, Mossoró RN, v. 35, n. 2, p. 382-392, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n214rc>. Disponível em: [scielo.br/j/rcaat/a/Tj63Y5CpBc9mMNZBBTj46xk/?format=pdf&lang=en](https://www.scielo.br/j/rcaat/a/Tj63Y5CpBc9mMNZBBTj46xk/?format=pdf&lang=en). Acesso em: 01 dez. 2025.

ATTIA, A.; HENDAWY, S. E.; SUHAIBANI, N. A.; ALOTAIBI, M.; TAHIR, M. U.; KAMAL, K. Y. Evaluating deficit irrigation scheduling strategies to improve yield and water productivity of maize in arid environment using simulation. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 249, 106812, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106812>. Disponível em: Evaluating deficit irrigation scheduling strategies to improve yield and water productivity of maize in arid environment using simulation - ScienceDirect. Acesso em: 01 dez. 2025.

BENAVIDES, M. C.; QUILOBRÁN, JAVIERA. A.; HERNÁNDEZ, A. B.; SÁNCHEZ, C. A.; FARÍAS, S. O.; ESPINOZA, S.; GAJARDO, J.; MORA, M.; FUENTES, S. Performance Assessment of Thermal Infrared Cameras of Different Resolutions to Estimate Tree Water Status from Two Cherry Cultivars: An Alternative to Midday Stem Water Potential and

Stomatal Conductance. **Sensors**, Basel, Switzerland, MDPI, v. 20, n. 12, p. 3596, 2020. DOI:10.3390/s20123596. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/12/3596>. Acesso em: 02 dez. 2025.

BIAN, J.; ZHANG, Z.; CHEN, J.; CHEN, H.; CUI, C.; LI, X.; CHEN, S.; FU, Q. Simplified Evaluation of Cotton Water Stress Using High Resolution Unmanned Aerial Vehicle Thermal Imagery. **Remote Sens**, Basel, Switzerland, MDPI, v. 11, n. 3, p. 267, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11030267>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/3/267>. Acesso em: 02 dez. 2025.

BLANCO, V.; DOMINGO, R.; PASTOR, A. P.; ROS, P. J. B.; SÁNCHEZ, R. T. Soil, and plant water indicators for deficit irrigation management of field-grown sweet cherry trees. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 208, [s. n.], p. 83-94, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.05.021>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418306826?casa\\_token=g5FLsGt18RwAAAAA:3zITbLqpg-RrzYFY0jfpsMG1e4YBcwJLoSfoQQY4o4P6UwpLyHFdJVPr842fuLfi7um0a6kK](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418306826?casa_token=g5FLsGt18RwAAAAA:3zITbLqpg-RrzYFY0jfpsMG1e4YBcwJLoSfoQQY4o4P6UwpLyHFdJVPr842fuLfi7um0a6kK). Acesso em: 02 dez. 2025.

BRAGA, M. B.; MAROUELLI, A. W. **Produção integrada de pimentão – PIP: irrigação e fertirrigação na cultura do pimentão**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2017. 33 p. Disponível em: [https://r.search.yahoo.com/\\_ylt=AwrNZrEMV15lqb0a8BDz6Qt.;\\_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1700710029/RO=10/RU=https%3a%2f%2fwww.embrapa.br%2fbusca-de-publicacoes%2f-%2fpublicacao%2f1084474%2fproducao-integrada-de-pimentao---pip-irrigacao-e-fertirrigacao-na-cultura-do-pimentao/RK=2/RS=NVM3wsWY52TGIH35lwV8aB1AM.4-](https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrNZrEMV15lqb0a8BDz6Qt.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1700710029/RO=10/RU=https%3a%2f%2fwww.embrapa.br%2fbusca-de-publicacoes%2f-%2fpublicacao%2f1084474%2fproducao-integrada-de-pimentao---pip-irrigacao-e-fertirrigacao-na-cultura-do-pimentao/RK=2/RS=NVM3wsWY52TGIH35lwV8aB1AM.4-.). Acesso em: 13 nov. 2023.

BWAMBALE, E.; ABAGALE, F. K.; ANORNU, G. K.; Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 260, [s. n.], 107324, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107324>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377421006016?casa\\_token=vJ1ilccLvuwAAAAA:hHwADjRvjHqqTiDa9x6ORWnFP4-4HBfxg6AG\\_W9eHocMIv0Y-Qe7ij1Kj9qnMCcNHV5ptMXq](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377421006016?casa_token=vJ1ilccLvuwAAAAA:hHwADjRvjHqqTiDa9x6ORWnFP4-4HBfxg6AG_W9eHocMIv0Y-Qe7ij1Kj9qnMCcNHV5ptMXq). Acesso em: 02 dez. 2025.

CAMOGLU, G.; DEMIREL, K.; GENÇ, L. Use of infrared thermography and hyperspectral data to detect effects of water stress on pepper. **Quantitative InfraRed Thermography Journal**, United Kingdom, Taylor & Francis, v. 15, n. 1, p. 81–94, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/17686733.2017.1331008>. Disponível em: [https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17686733.2017.1331008?casa\\_token=eQOPex6CnqYAAAAA%3AkKwN8H2D\\_B5qaLEZEhntFYvDCuVaKZ6OuKntRs5noz6Hua-TJgI67X1imP1kEpu5Ib5yPiXe68xqiA](https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17686733.2017.1331008?casa_token=eQOPex6CnqYAAAAA%3AkKwN8H2D_B5qaLEZEhntFYvDCuVaKZ6OuKntRs5noz6Hua-TJgI67X1imP1kEpu5Ib5yPiXe68xqiA). Acesso em: 02 dez. 2025.

CAMOGLU, G.; DEMIREL, K.; KAHRIMAN, F.; AKCAL, A.; NAR, H.; BORAN, A.; EROGLU, I.; GENÇ, E. Discrimination of water stress in pepper using thermography and leaf turgor pressure probe techniques. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 254, 106942, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106942>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377421002079?casa\\_token=XdDxaZELBp4AAAAA:JlxYgfhCjllullZLko4rDaGtvZ-xqEzYozLXW1SaQYz\\_vN9-xGllgQ61s-sS31mvHNRDrtn7](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377421002079?casa_token=XdDxaZELBp4AAAAA:JlxYgfhCjllullZLko4rDaGtvZ-xqEzYozLXW1SaQYz_vN9-xGllgQ61s-sS31mvHNRDrtn7). Acesso em: 02 dez. 2025.

- CARRACELAS, G.; HORNBUCKLE, J.; ROSAS, J.; ROEL, A. Irrigation management strategies to increase water productivity in *Oryza sativa* (rice) in Uruguay. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 222, p. 161-172, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.049>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377419306134?casa\\_token=UQtaQh nKZsoAAAAA:0Uk-LU9JS-h4pMzm1YK5hvdj-0UJ6TPM8ZMAiYIWD b0pSkZ\\_iBZg3S9dDz8Oa4xPbRtnDx5C](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377419306134?casa_token=UQtaQh nKZsoAAAAA:0Uk-LU9JS-h4pMzm1YK5hvdj-0UJ6TPM8ZMAiYIWD b0pSkZ_iBZg3S9dDz8Oa4xPbRtnDx5C). Acesso em: 02 dez. 2025.
- CARVALHO, J. A.; REZENDE, F. C.; OLIVEIRA, E. C.; AQUINO, R. F. Pimentão cultivado em ambiente protegido sob diferentes tensões de água no solo. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, MG, v. 23 n. 3, p. 236-245, 2016. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v24i3.670>. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/611c/e833f78a1a8228bbf3cd4ec0f4d26264d869.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2025.
- CHENG, M.; WANG, H.; FAN, J.; ZANG, S.; WANG, Y.; LI, Y.; SUN, X.; YANG, L.; ZHANG, F. Water productivity and seed cotton yield in response to deficit irrigation: A global meta-analysis. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 255, 107027, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107027>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377421002924?casa\\_token=rERCVN 2S91QAAAAA:8KBJa9P8wgXE8n1LOkGS97Gru6vvk5nlGblVBkndEywl3xT8h6k7UcWk6 0Edbd83Tm6blrcD](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377421002924?casa_token=rERCVN 2S91QAAAAA:8KBJa9P8wgXE8n1LOkGS97Gru6vvk5nlGblVBkndEywl3xT8h6k7UcWk6 0Edbd83Tm6blrcD). Acesso em: 02 dez. 2025.
- CHENG, S. G.; NA, L.; YU, Z. Z.; SHUANG, Y. E.; CHANG, C. R. Growth, yield and water use efficiency response of greenhouse-grown hot pepper under Time-Space deficit irrigation. **Scientia Horticulturae**, Netherlands, Elsevier, v. 126, n. 2, p. 172-179, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.003>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423810003043?casa\\_token=dByuBL ncvE8AAAAA:tTkdlAS9OJQtFhO76m18\\_jtwEnHKnqMYiu9yRHQSexWR8IJDxhDPiVLL Hx1JRbyG\\_aGSOVWp](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423810003043?casa_token=dByuBL ncvE8AAAAA:tTkdlAS9OJQtFhO76m18_jtwEnHKnqMYiu9yRHQSexWR8IJDxhDPiVLL Hx1JRbyG_aGSOVWp). Acesso em: 02 dez. 2025.
- COLAK, Y. B. Leaf water potential for surface and subsurface drip irrigated bell pepper under various deficit irrigation strategies. **Chilean journal of agricultural research**, Chile, v. 81 n. 4, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392021000400491>. Disponível em: [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-58392021000400491&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-58392021000400491&script=sci_arttext). Acesso em: 02 dez. 2025.
- COMAS, L. H.; TROUT, T. J.; DEJONGE, K. C.; ZHANG, H.; GLEASON, S. M. Water productivity under strategic growth stage-based deficit irrigation in maize. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 212, p. 433-440, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.015>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418310540?casa\\_token=5ibqiIRX Fh0AAAAA:pDRMSsaTl3Y4r0gzN03577c4EObIn242esgCqhV4nI2sLU2L7x-KV6D4\\_hEUO-INQldb6Mv0](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418310540?casa_token=5ibqiIRX Fh0AAAAA:pDRMSsaTl3Y4r0gzN03577c4EObIn242esgCqhV4nI2sLU2L7x-KV6D4_hEUO-INQldb6Mv0). Acesso em: 02 dez. 2025.
- COSTA, J. O.; COELHO, R. D.; BARROS, T. H. S.; FRAGA, E. F. J.; FERNANDES, A. L. T. Canopy thermal response to water deficit of coffee plants under drip irrigation. **Irrigation and Drainage**, United Kingdom, Wiley, v. 69, n. 3, p. 472-482, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2429>. Disponível em: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ird.2429?casa\\_token=49Om27B18g4AAAAA](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ird.2429?casa_token=49Om27B18g4AAAAA)

%3Ag3WAOyToGwF3MlO9Aa7Uua9NUDFPVZA5b8HZyyzPSIJC33jDN2PuWM3HVmULp7UgzIEDR92nCDIG4g. Acesso em: 02 dez. 2025.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. Disponível em: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571135650552819456>. Acesso em: 24 nov. 2023.

DORJI, K.; BEHBOUDIAN, M. H.; DOMÍNGUEZ, J. A. Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. **Scientia Horticulturae**, Netherlands, Elsevier, v. 104, n. 2, p. 137-149, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.08.015>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423804001943?casa\\_token=zmr2\\_enhYQkAAAAA:a5ZxzMaI\\_jGj9xX7l-RDBGA6romm9eHO3vz6YPCivvrbb1zI\\_VfsRhNajZTE5sp5Shq5N11E](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423804001943?casa_token=zmr2_enhYQkAAAAA:a5ZxzMaI_jGj9xX7l-RDBGA6romm9eHO3vz6YPCivvrbb1zI_VfsRhNajZTE5sp5Shq5N11E). Acesso em: 02 dez. 2025.

FERNÁNDEZ, R. D. R.; GALLO, F. M.; Absorción de água de hidrogel de uso agrícola y su humedecimiento de tres tipos de suelo. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo**, Argentina, v. 50 n. 2, p. 15-21, 2018. Disponível em: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652018000200002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652018000200002&script=sci_arttext). Acesso em: 27 nov. 2023.

FERNÁNDEZ, R. D. R.; JARAMA, F. R.; GALLO, F. M.; INTRIAGO, D. A. M. Hydrogel for improving water use efficiency of Capsicum annum crops in Fluvisol soil. **Revista FCA UNCUYO**, Mendonça, Argentina v. 50, n. 2, p. 23-31, 2018. Disponível em: <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/2915>. Acesso em: 02 dez. 2025.

GALLEGO, J. G.; TERUEL, J. D. G.; VALLES, F. S.; BUENDÍA, M. J.; HELLÍN, H. N.; SÁNCHEZ, R. T. Intelligent thermal image-based sensor for affordable measurement of crop canopy temperature. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdã, Netherlands, Elsevier, v. 188, 106319. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106319>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169921003367>. Acesso em: 02 dez. 2025.

GARCIA – TEJERO, I. F.; RUBIO, A. E.; VIÑUELA, I.; HERNÁNDEZ, A.; GUTIÉRREZ – GORDILLO, S. A.; RODRÍGUEZ – PLEGUEZUELO, 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**, Netherlands, Elsevier, v. 208, p. 176-186, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.002>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418307169?casa\\_token=zb17ZQxM4jgAAAAA:vmQKZNZrgwXc91J0HubKuUCqMytGfAfFUNuo2xtknP1kL4muU\\_EGYf1k pZQzYCK-hRAnRr3R](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418307169?casa_token=zb17ZQxM4jgAAAAA:vmQKZNZrgwXc91J0HubKuUCqMytGfAfFUNuo2xtknP1kL4muU_EGYf1k pZQzYCK-hRAnRr3R). Acesso em: 02 dez. 2025.

GARCIA-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**, Netherlands, Elsevier, v. 176, p. 80 – 90, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377416301706>. Acesso em: 17 nov. 2023.

GERHARDS, M.; ROCK, G.; SCHLERF, M.; UDELHOVEN, T. Water stress detection in potato plants using leaf temperature, emissivity, and reflectance. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Netherlands, Elsevier, v. 53, p. 27-39, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.08.004>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243416301349?casa\\_token=Cw7s-LUZvjcAAAAA:ghs11Ifk23OWKJFzL6\\_9\\_biIGID8GyWYToek0b2F0tI3CXWEZG9-UGXGf9SbJanTOd4mjdRQ](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243416301349?casa_token=Cw7s-LUZvjcAAAAA:ghs11Ifk23OWKJFzL6_9_biIGID8GyWYToek0b2F0tI3CXWEZG9-UGXGf9SbJanTOd4mjdRQ). Acesso em: 02 dez. 2025.

GHEYSARI, M.; SADEGHI, S. H.; LOESCHER, H. W.; AMIRI, S.; ZAREIAN, M. J.; MAJIDI, M. M.; ASGARINIA, P.; PAYERO, J. O. Comparison of deficit irrigation management strategies on root, plant growth and biomass productivity of silage maize. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 182, p. 126-138, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.014>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377416305121?casa\\_token=0OteRp\\_dt5wAAAAA:jomPU4Jzz04FxdLNaCfk0VRNCRmYVqSAC4aVfC0s2UBBd2EW2U0TO0tEMGBsvxH8cQ1Jq8f](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377416305121?casa_token=0OteRp_dt5wAAAAA:jomPU4Jzz04FxdLNaCfk0VRNCRmYVqSAC4aVfC0s2UBBd2EW2U0TO0tEMGBsvxH8cQ1Jq8f). Acesso em: 02 dez. 2025.

GONZÁLEZ, V. D.; ORGAZ, F.; FERERES, E. Responses of pepper to deficit irrigation for paprika production. **Scientia Horticulturae**, Netherlands, Elsevier, v. 114, n. 2, p. 77-82, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.05.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030442380700204X>. Acesso em: 02 dez. 2025.

HONG, M.; BREMER, D. J.; MERWE, D. V. Thermal Imaging Detects Early Drought Stress in Turfgrass Utilizing Small Unmanned Aircraft Systems. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, United States, Wiley, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/age2019.04.0028>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/age2019.04.0028>. Acesso em: 02 dez. 2025.

IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; PINTER JUNIOR, P. J.; REGINATO, R. J.; HATFIELD, J. L. Normalizing the stress degree day for environmental variability. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, NL, v. 24, p. 45-55, 1981. DOI: [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(81\)90032-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(81)90032-7). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0002157181900327>. Acesso em: 20 nov. 2023.

IHUOMA, S. O.; MADRAMOOTOO, C. A. Crop reflectance indices for mapping water stress in greenhouse grown bell pepper. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 219, p. 49-58, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418319061>. Acesso em: 02 dez. 2025.

ISMAIL, S. M.; Water Use Efficiency and Bird Pepper Production as Affected by Deficit Irrigation Practice. **International Journal of Agriculture and Forestry**, United States, v. 2, n.5, p. 262-267, 2012. DOI: [10.5923/j.ijaf.20120205.10](https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20120205.10). Disponível em: <https://www.academia.edu/download/78672975/10.5923.j.ijaf.20120205.10.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2025.

JABARI, M. A.; GHYADAH, R. A.; ALOKELY, R. Recovery of hydrogel from baby diaper wastes and its application for enhancing soil irrigation management. **Journal of**

**Environmental Management**, London, Elsevier, v. 239, p. 255-261, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.087>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719303901>. Acesso em: 03 dez. 2025.

JOHNSON, W. S.; PIPER, C. D. Cross-linked, Water-Storing Polymers as Aids to Drought Tolerance of Tomatoes in Growing Media. **Journal of Agronomy and Crop Science, International**, Wiley, v. 178, n. 1 p. 23-27, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1997.tb00347.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1439-037X.1997.tb00347.x>. Acesso em: 03 dez. 2025.

KABIR, M. Y.; NAMBEESAN, S. U.; BATISTA, J.; PÉREZ, J. C. D. Effect of irrigation level on plant growth, physiology and fruit yield and quality in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). **Scientia Horticulturae**, Netherlands, Elsevier, v. 281, [s. n.], 109902, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109902>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423821000091>. Acesso em: 03 dez. 2025.

KAUR, P.; AGRAWAL, R.; PFEFFER, F. M.; WILLIAMS, R.; BOHIDAR, H. B. Hydrogels in Agriculture: Prospects and Challenges. **Journal of Polymers and the Environment, International**, Springer Science, v. 31, p. 3701–3718, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-023-02859-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-023-02859-1>. Acesso em: 03 dez. 2025.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation. 1975. 133 p. Disponível em: [https://books.google.com.br/books/about/Trickle\\_Irrigation\\_Design.html?id=oJTZNQAACA-AJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/Trickle_Irrigation_Design.html?id=oJTZNQAACA-AJ&redir_esc=y). Acesso em: 05 dez. 2025.

KHANAL, S.; FULTON, J.; SHEARER, S. An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, Netherlands, v. 139, p. 22-32, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169916310225>. Acesso em: 03 dez. 2025.

KISHOR, N.; KHANNA, M.; RAJANNA, G. A.; SINGH, M.; SINGH, A.; SING, S.; BANERJEE, T.; PATANJALI, N.; RAJPUT, J.; KIRUTHIGA, B. Soil water distribution and water productivity in red cabbage crop using superabsorbent polymeric hydrogels under different drip irrigation regimes. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 295, 108759, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.108759>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377424000945>. Acesso em: 03 dez. 2025.

KNOX, J. W.; KAY, M. G.; WEATHERHEAD, E. K. Water regulation, crop production, and agricultural water management—Understanding farmer perspectives on irrigation efficiency. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 108, p. 3-8, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.06.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377411001405>. Acesso em: 03 dez. 2025.

KÖPPEN, W. **Grundriss der klimakunde**. Berlin, 1931. 388 p. Disponível em: [https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=tYUHAQAIAAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Grundriss+der+klimakunde.+In:+Grundri%C3%9F+der+Klimakunde.+Walter+de+Gruyter&ots=Q7q10oDosV&sig=G1H3eG0KJg\\_-fnW\\_aCOdMZL88XY](https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=tYUHAQAIAAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Grundriss+der+klimakunde.+In:+Grundri%C3%9F+der+Klimakunde.+Walter+de+Gruyter&ots=Q7q10oDosV&sig=G1H3eG0KJg_-fnW_aCOdMZL88XY). Acesso em: 05 dez. 2025.

KURUNC, A.; TEZCAN, N. Y.; BIMURZAYEV, N. Determination of Water Stress in Wheat Crops by Thermal Images Under Mediterranean Conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, International, Taylor & Francis, v. 54, n. 12, p. 1713–1726, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2211089>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103624.2023.2211089>. Acesso em: 03 dez. 2025.

LI, Y. Y.; FÃ, H.; SU, J.; FEI, C.; WANG, K.; TIAN, X.; MA, F. Regulated Deficit Irrigation at Special Development Stages Increases Sugar Beet Yield. **Agronomy Journal**, United States, Wiley, v. 111, n. 3, p. 1293-1303, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.05.0318>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2018.05.0318>. Acesso em: 03 dez. 2025.

LIMA, R. S. N.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; MARTINS, A. O.; SILVA, B. C. D.; FERRAZ, T. M.; GOMES, M. M. A.; SOUSA, E. F.; GLENN, D. M.; CAMPOSTRINI, E. Partial rootzone drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) effects on stomatal conductance, growth, photosynthetic capacity, and water-use efficiency of papaya. **Scientia Horticulturae**, Netherlands, Elsevier, v. 183, p. 13-22, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423814006785>. Acesso em: 03 dez. 2025.

LUAN, Y.; XU, J.; LV, Y.; WANG, H.; LIU, S.; Improving the performance in crop water deficit diagnosis with canopy temperature spatial distribution information measured by thermal Imaging. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 246, 106699, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106699>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420322435>. Acesso em: 03 dez. 2025.

MANCOSU, N.; SNYDER, R.; KYRIAKAKIS, G.; SPANO, D. Water Scarcity and Future Challenges for Food Production. **Water**, Poland, MDPI, v. 7, n. 3, p. 975-992, 2015; DOI: <https://doi.org/10.3390/w7030975>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/7/3/975>. Acesso em: 03 dez. 2025.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 355p.

MATOS, H. A. F.; SILVA, C. A.; BASTOS, A. V. S. Níveis de irrigação associados a doses de hidrogel na cultura do pimentão. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, V. 14, n. 2, p. 3906-3918, 2020. DOI:10.7127/rbai.v14n101096. Disponível em: <https://www.proquest.com/docview/2422934217?fromopenview=true&pq-origsite=gscholar&sourcetype=Scholarly%20Journals>. Acesso em: 03 dez. 2025.

MENEZES, A.S.; PINHEIRO NETO, L.G.; BASTOS, E.A.; RAMOS, D.E. de O.; VIANA, T.V. de A.; SOUSA, C.H.C. de; FAÇANHA, R.V.; LOPES, F.G.N. Water regimes and hydrogel applied on bell pepper grown in a protected environment. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 59, n. 03566, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2024.v59.03566>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/QT7qjVtmRcccgRpGtLz54Wk/?lang=en>. Acesso em: 03 dez. 2025.

MENMON, S. A.; SHEIKH, I. A.; TALPUR, M. A.; MANGRIO, M. A. Impact of deficit irrigation strategies on winter wheat in semi-arid climate of sindh. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 243, 106389, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106389>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420303735?casa\\_token=Bvy4U6bJzmYAAAAA:BAiKlshXYKeMKLNb373qk6ZKrZSDuMFx-dbCWL9lusZOxTOCQTc6ecuqxNycfliebZwGbuzK](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420303735?casa_token=Bvy4U6bJzmYAAAAA:BAiKlshXYKeMKLNb373qk6ZKrZSDuMFx-dbCWL9lusZOxTOCQTc6ecuqxNycfliebZwGbuzK). Acesso em: 03 dez. 2025.

MESSINA, G.; MODICA, G. Applications of UAV Thermal Imagery in Precision Agriculture: State of the Art and Future Research Outlook. **Remote Sensing**, Basel, Switzerland, MDPI, v. 12, n. 9, 1491, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12091491>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/9/1491>. Acesso em: 03 dez. 2025.

MWINUKA, P. R.; MBILINYI, B. P.; MBUNGU, W. B.; MOURICE, S. K.; MAHOO, H. F.; SCHMITTER, P. The feasibility of hand-held thermal and UAV-based multispectral imaging for canopy water status assessment and yield prediction of irrigated African eggplant (*Solanum aethopicum* L). **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 245, 106584, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106584>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420321314>. Acesso em: 03 dez. 2025.

NASCIMENTO, I. B.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, S. S. V.; LIMA, B. L. C.; SILVA, J. L. A. Desenvolvimento inicial da cultura do pimentão influenciado pela salinidade da água de irrigação em dois tipos de solos. **Agropecuária científica no semiárido**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 37-43, 2015. DOI: <https://doi.org/10.30969/acsa.v11i1.594>. Disponível em: <https://acsa.revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/594>. Acesso em: 03 dez. 2025.

NEETHU, T. M.; DUBEY, P. K.; KASWALA, A. R. Prospects and Applications of Hydrogel Technology in Agriculture. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Kanchipuram, India, n. 7, n. 5, p. 3155-3162, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.369>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Pramod-Dubey-2/publication/326460970\\_Organic\\_farming\\_for\\_climate\\_smart\\_horticulture/links/5b4ee02da6fdcc8dae27be06/Organic-farming-for-climate-smart-horticulture.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Pramod-Dubey-2/publication/326460970_Organic_farming_for_climate_smart_horticulture/links/5b4ee02da6fdcc8dae27be06/Organic-farming-for-climate-smart-horticulture.pdf). Acesso em: 03 dez. 2025.

NIKOLAOU, G.; NEOCLEOUS, D.; CHRISTOU, A.; KITTA, E.; KATSOULAS, N. Implementing Sustainable Irrigation in Water-Scarce Regions under the Impact of Climate Change. **Agronomy**, Basel, Switzerland, MDPI, v. 10, n. 8, 1120, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10081120>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/8/1120>. Acesso em: 03 dez. 2025.

- PADRÓN, R. A. R.; RAMÍREZ, L. R.; CERQUERA, R. R.; NOGUEIRA, H. M. C. M.; MUJICA, J. U. Desenvolvimento vegetativo de pimentão cultivado com lâminas e frequências de irrigação. **Tecnologia e Ciência. Agropecuária**, João Pessoa, v.9, n.2, p.49-55, 2015. Disponível em: [https://www.academia.edu/download/39810724/Vegetative\\_development\\_of\\_culture\\_bell\\_p20151108-7881-any7ko.pdf](https://www.academia.edu/download/39810724/Vegetative_development_of_culture_bell_p20151108-7881-any7ko.pdf). Acesso em: 03 dez. 2025.
- PATRA, S. K.; PODDAR, R.; BRESTIC, M.; ACHARJEE, P. U.; BHATTACHARYA, P.; SENGUPTA, S.; PAL, P.; BAM, N.; BISWAS, B.; BAREK, V.; ONDRISIK, P.; SKALICKY, M. Prospects of Hydrogels in Agriculture for Enhancing Crop and Water Productivity under Water Deficit Condition. **International Journal of Polymer Science, International**, Wiley, v. 2022, 2022. ID 4914836. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/4914836>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2022/4914836>. Acesso em: 03 dez. 2025.
- PÉREZ, J. C. D. Bell Pepper (*Capsicum annum* L.) Grown on Plastic Film Mulches: Effects on Crop Microenvironment, Physiological Attributes, and Fruit Yield. **Hortscience**, United States, ASHS, v. 45, n. 8, p. 1196–1204, 2010. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.8.1196>. Disponível em: <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/45/8/article-p1196.xml>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- PRADAWET, C.; KHONGDEE, N.; PANSAK, W.; SPREER, W.; HILGER, T.; CADISCH, G. Thermal imaging for assessment of maize water stress and yield prediction under drought conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Intenational, Wiley, v. 209, n. 1, p. 56-70, 2022. <https://doi.org/10.1111/jac.12582>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jac.12582>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- PRAKASH, S.; VASUDEVAN, S.; BANERJEE, A.; JOE, A. C.; GEETHA, K. N.; MANI, S. K. Sustainable Irrigation through Application of Hydrogel: A Review. **Alinteri Journal of Agriculture Sciences**, Turkiye, v. 36, n. 2, p. 38-52, 2021. DOI:10.47059/alinteri/V36I2/AJAS21113. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/68211259/AJAS21113.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- REDDY, K. M.; SHIVASHANKARA, K. S.; GEETHA, G. A.; PAVITHRA, K. C. *Capsicum* (Hot Pepper and Bell Pepper). Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops. **Chapter First Online**, p. 151–166, 2016. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2725-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2725-0_9). Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-2725-0\\_9#citeas](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-2725-0_9#citeas). Acesso em: 05 dez, 2025.
- REN, Y.; LI, X.; CHENG, B.; YUE, L.; CAO, X.; WANG, C.; WANGZ. Carbon dot-embedded hydrogels promote maize germination and growth under drought stress. **Environmental Science: Nano, International**, RSC, v. 5, 2024. DOI: 10.1039/d4en00070f. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/en/d4en00070f>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- RODRIGUES, L. G. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do ceará**. 2013. Disponível em: <https://document.onl/documents/sugestoes-de-adubacao-e-calagem-no-estado-do-eara-leoncio.html?page=1>. Acesso em: 13 nov. 2023.

- ROSA, L. Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: biophysical potentials and feedbacks. **Environmental Research Letters**, United Kingdom, IOP Publishing, v. 17, n. 6, 2022. DOI 10.1088/1748-9326/ac7408. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac7408/meta>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- RUD, R.; COHEN, Y.; ALCHANATIS, V.; LEVI, A.; BRIKMAN, R.; SHENDEREY, C.; HEUER, B.; MARKOVITCH, T.; DAR, Z.; ROSEN, C.; MULLA, D.; NIGON, T. Crop water stress index derived from multi-year ground and aerial thermal images as an indicator of potato water status. **Precision Agriculture**, International, Springer, v. 15, p. 273–289, 2014. DOI 10.1007/s11119-014-9351-z. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-014-9351-z>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- SAHA, A.; GUPT, C. B.; SEKHARAN, S.; Recycling Natural Fibre to Superabsorbent Hydrogel Composite for Conservation of Irrigation Water in Semi-arid Regions. **Waste and Biomass Valorization**, France, Springer, v. 12, p. 6433–6448, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01489-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-021-01489-9>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- SAHA, A.; SEKHARAN, S.; MANNA, U. Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. **Soil and Tillage Research**, International, Elsevier, v. 204, 104736, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104736>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198720305183?casa\\_token=iJd5stVyyowAAAAA:ycO-GXCGSW3YOJiPcregmCbfMPEybtmtd-DAMf-4pf8IUVTtdrQCUGtxo7mZ2W5zoOvdbAaB](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198720305183?casa_token=iJd5stVyyowAAAAA:ycO-GXCGSW3YOJiPcregmCbfMPEybtmtd-DAMf-4pf8IUVTtdrQCUGtxo7mZ2W5zoOvdbAaB). Acesso em: 04 dez. 2025.
- SALIH, A. A.; SABRI, M. H. B.; AMER, H. J. Effect of Smart Agriculture Practices on Yield and Crop Water Productivity of Sweet Pepper. **International Journal of Environmental Sciences**, International, ASPD, v. 11, n. 8, p. 548-558, 2025. <https://doi.org/10.64252/r7kx4231>. Disponível em: <https://theaspd.com/index.php/ijes/article/view/957>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- SANTOS, C.C.; BELTRAMIN, F. A.; SILVA, W. C.; SILVÉRIO, J. M.; SCALON, S. P. Q.; SOUZA, F. H.; HOLSBAQUE, V. G.; JANSE, R. A. L. Hydrogel alleviates the stressful effect drought in *Schinus terebinthifolia* and helps with post-stress recovery. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, SP, n. 85, n. 289691, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.289691>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/DTNjmsB6vQrnWNN8Vh5VzYm/?format=html&lang=en>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- SATRIANI, A.; CATALANO, M.; SCALCIONE, E. The role of superabsorbent hydrogel in bean crop cultivation under deficit irrigation conditions: A case-study in Southern Italy. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 195, p. 114-119, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.008>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037837741730327X?casa\\_token=F98WXrD8KXQAAAAA:SN8sK85w7zXSrRPPvwfegGlrRazJ8LcVVR8yi1aJ4UxpFBKjo9GCF71-1gfDkGQHoJqi\\_68](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037837741730327X?casa_token=F98WXrD8KXQAAAAA:SN8sK85w7zXSrRPPvwfegGlrRazJ8LcVVR8yi1aJ4UxpFBKjo9GCF71-1gfDkGQHoJqi_68). Acesso em: 04 dez. 2025.
- SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, USA, University of California Losangeles, V. 148, n.

3668, p. 339-346, 1965. Disponível em:

<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.148.3668.339>. Acesso em: 17 nov. 2023.

SEZEN, S. M.; YAZAR, A.; DASGAN, 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**, Netherlands, Elsevier, v. 143, [s. n.], p. 59-70, 2014. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.06.008>. Disponível em:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037837741400184X?casa\\_token=Rv9mFrDmm3IAAAAA:KRTp6nZcUoa0IqDFgBQysVdMVovyMWa2NFyYMWMxhbZD-UBR-TKknz\\_-n18pmsNO5KWKd8Rz](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037837741400184X?casa_token=Rv9mFrDmm3IAAAAA:KRTp6nZcUoa0IqDFgBQysVdMVovyMWa2NFyYMWMxhbZD-UBR-TKknz_-n18pmsNO5KWKd8Rz). Acesso em: 04 dez. 2025.

SEZEN, S. M.; YAZAR, A.; TEKIN, S. Physiological response of red pepper to different irrigation regimes under drip irrigation in the Mediterranean region of Turkey. **Scientia Horticulturae**, Netherlands, Elsevier, v. 245, p. 280-288, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.037>. Disponível em:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423818307404?casa\\_token=7VW5IxmvpzUAAAAA:GwEq-zQQOayzv61xcgALOfWfbedMKg019Xra6i41iEdvtWZs3wFzO4Ti7Zi96kLiU5vJxVLZ](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423818307404?casa_token=7VW5IxmvpzUAAAAA:GwEq-zQQOayzv61xcgALOfWfbedMKg019Xra6i41iEdvtWZs3wFzO4Ti7Zi96kLiU5vJxVLZ). Acesso em: 04 dez, 2025.

SHAMMOUT, M. W.; QTAISHAT, T.; RAWABDEH, H.; SHATANAWI, M. Improving Water Use Efficiency under Deficit Irrigation in the Jordan Valley. **Sustainability**, Basel, Switzerland, MDPI, v. 10, n. 11, 4317, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10114317>.

Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/11/4317>. Acesso em: 04 dez. 2025.

SILVA, D. A.; ARRUDA, R. S.; QUEIROZ, D. S.; MOURA, M. M.; SILVA, A. O.; COSTA, R. N. T.; BEZERRA, M. A. Irrigation strategies and soil conditioning on thermal index and yield of cherry tomato. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, Campina Grande, PB, v. 29, n.6, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v29n6e280430>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/6kgHfLFPK9TgZvbgnsDDsDQ/?format=html&lang=en>.

Acesso em: 04 dez, 2025.

SILVA, T. B.; VILAR, F. C. R.; COSTA, B. S.; PEREIRA, M. C.; GUEDES, A. L. V.; LIMA, G. A. B.; SOUZA, E. E. M.; EZEQUIEL, M. J.; SANTANA, A. C. Emergência de sementes de pimentão em função de diferentes substratos no Nordeste brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.2, p. 12999-13007, 2022. DOI:10.34117/bjdv8n2-300. Disponível em:

<https://scholar.archive.org/work/kqdnjotmhbb05emicfhdtfk7om/access/wayback/https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/download/44315/pdf>. Acesso em: 04 dez. 2025.

SING, M.; SAINI, R. K.; SINGH, S.; SHARMA, S. P. Potential of Integrating Biochar and Deficit Irrigation Strategies for Sustaining Vegetable Production in Water-limited Regions: A Review. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, Virginia, United States, v. 54, n. 11, p. 1872–1878, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14271-19>.

Disponível em: <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/54/11/article-p1872.xml>.

Acesso em: 04 dez. 2025.

SINGH, I.; VERMA, R. R.; SRIVASTAVA, T. K. Growth, Yield, Irrigation Water Use Efficiency, Juice Quality and Economics of Sugarcane in Pusa Hydrogel Application Under

Different Irrigation Scheduling. **Sugar Tech**, International, Springer Nature, v. 20, p. 29–35, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-017-0515-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-017-0515-9>. Acesso em: 04 dez. 2025.

SINGH, R. K.; ACHARYA, S.; CHAURASIA, O. P. Hydrogel applications for yield improvement of capsicum with deficit irrigation at cold desert Ladakh region. **Journal of Environmental Biology**, Lucknow, Índia, Triveni Enterprises, v. 40, n. 6, p. 1227-1233, 2019. DOI: 10.22438/jeb/40/6/MRN-958. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/3f29a2b4d1455dc8faee7482f363f407/1?cbl=636374&pq-origsite=gscholar>. Acesso em: 04 dez. 2025.

SOUSA, A. M.; AZEVEDO, B. M.; VASCONCELOS, D. V.; DANTAS, M. S. M.; VIANA, T. V. A. Management of water deficit in the irrigated production of the green pepper. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 54, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230055>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/DDkrLdkp4g5Vw5rxmgM5PSk/?format=html&lang=en>. Acesso em: 04 dez. 2025.

SOUSA, J. T. M.; SOUSA, A. B. O.; ROSAL, G. B.; LIMA, J. C. J.; LACERDA, C. F.; OLIVEIRA, A. M. S. Gas exchanges and thermal index of strawberry cultivars grown under hydrogel doses. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, Campina Grande, PB, v. 28, n.10, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n10e280160>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/hWHnHhtCCN3GTJkzr7M5HNL/?format=html&lang=en>. Acesso em: 04 dez. 2025.

SZIDERICS, A. H.; OUFIR, M.; TROGNITZ, F.; KOPECKY, D.; MATUSIKOVÁ, I.; HAUSMAN, J. F.; WILHELM, E. Organ-specific defence strategies of pepper (*Capsicum annuum* L.) during early phase of water deficit. **Plant Cell Reports**, Global, Springer, v. 29, p. 295–305, 2010. DOI: 10.1007/s00299-010-0822-z. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00299-010-0822-z>. Acesso em: 04 dez. 2025.

TARI, A. F. The effects of different deficit irrigation strategies on yield, quality, and water-use efficiencies of wheat under semi-arid conditions. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 139, p. 22-32, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.001>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377415301943?casa\\_token=0C66ObtZWQgAAAAA:YSSnfUxcdOsJedPdU63iy0FJThiLPLXk7Qjiu\\_7-gY6CobqZulEoVI3AMVxvhsgPtShjS4w6](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377415301943?casa_token=0C66ObtZWQgAAAAA:YSSnfUxcdOsJedPdU63iy0FJThiLPLXk7Qjiu_7-gY6CobqZulEoVI3AMVxvhsgPtShjS4w6). Acesso em: 05 dez. 2025.

TIAMIYU, Q. O.; ADEBAYO, S. E.; IBRAHIM, N. Recent advances on postharvest technologies of bell pepper: A review. **Heliyon**, Cambridge, MA, EUA, Cell Press/Elsevier, v. 9, n. 4, e15302, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15302>. Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)02509-4](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)02509-4). Acesso em: 05 dez. 2025.

WANG, F.; MENG, H.; XIE, R.; WANG, K.; MING, B.; HOU, P.; XUE, J.; LI, S. Optimizing deficit irrigation and regulated deficit irrigation methods increases water productivity in maize. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 280, 108205, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108205>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377423000707>. Acesso em: 05 dez. 2025.

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**, Germany, Springer Nature, v. 36, p. 61–74, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0566-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00271-017-0566-4>. Acesso em: 05 dez. 2025.

YUFENG, Z.; SADDIQUE, Q.; AJAZ, A.; JIATUN, X.; KHAN, M. I.; UM, Q.; AZMAT, M.; CAI, H.; SIDDIQUE, K. H. M. Deficit irrigation improves maize yield and water use efficiency in a semi-arid environment. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 243, 106483, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106483>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420310593?casa\\_token=34b\\_k6WATFAAAAAA:7T1OBpTAEfbSL0Tc9LR\\_0hY82N\\_7Yr5I2UjY5InIE8de3riKUMI85ELzSE1brHquv1j93tUz](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420310593?casa_token=34b_k6WATFAAAAAA:7T1OBpTAEfbSL0Tc9LR_0hY82N_7Yr5I2UjY5InIE8de3riKUMI85ELzSE1brHquv1j93tUz). Acesso em: 05 dez. 2025.

ZHANG, H.; WANG, Y.; YU, S.; ZHOU, C.; LI, F.; CHEN, C.; LIU, L.; WANG, Y. Plant Photosynthesis and Dry Matter Accumulation Response of Sweet Pepper to Water–Nitrogen Coupling in Cold and Arid Environment. **Water**, Basel, Switzerland, v. 15, n. 11, 2134, 2023; DOI: <https://doi.org/10.3390/w15112134>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/11/2134>. Acesso em: 05 dez. 2025.

ZHOU, Z.; MAJEED, Y.; NARANJO, G. D.; GAMBACORTA, E. M. T. Assessment for crop water stress with infrared thermal imagery in precision agriculture: A review and future prospects for deep learning applications. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdã, Elsevier, v. 182, 106019, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106019>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169921000375?casa\\_token=kTWNFwJ7M78AAAAA:iKQ7HmJVHbRIyDXaI1Zf-O-RZaaz1xpq-zJHpolyKwZ88mGL-RIKeKNvGuzCPVsq81fuU6bm](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169921000375?casa_token=kTWNFwJ7M78AAAAA:iKQ7HmJVHbRIyDXaI1Zf-O-RZaaz1xpq-zJHpolyKwZ88mGL-RIKeKNvGuzCPVsq81fuU6bm). Acesso em: 05 dez. 2025.

ZINKERNAGEL, J.; VALERO, J. F. M.; SERESTI, S. Y.; INTRIGLIOLO, D. S. New technologies and practical approaches to improve irrigation management of open field vegetable crops. **Agricultural Water Management**, Netherlands, Elsevier, v. 242, 106404, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106404>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420302316?casa\\_token=YaouIYS6yxwAAAAA:8MUYr8NS3XAN1rR-hmFD6nv01G5KbpBrQdhHAOkpKB3CpMHliFTnq66m-c6Ll372ZjRu5vEN](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420302316?casa_token=YaouIYS6yxwAAAAA:8MUYr8NS3XAN1rR-hmFD6nv01G5KbpBrQdhHAOkpKB3CpMHliFTnq66m-c6Ll372ZjRu5vEN). Acesso em: 05 dez. 2025.