

EFEITO DAS ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT ASSOCIADO AO HIDROGEL NOS ÍNDICES FISIOLÓGICOS DO PIMENTÃO

Francisco Fábio Lima Gomes¹, Rafaela da Silva Arruda², Jamili Nobre Fiusa Pimentel³, Daniela Andreska da Silva³, Luis Gonzaga Pinheiro Neto⁴, Alexsandro Oliveira da Silva⁵

RESUMO: O objetivo desse trabalho foi analisar os indicadores fisiológicos na 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 (ET_c) durante todo o ciclo (IP); 60% da ET_c durante todo o ciclo da cultura (DR); 60% da ET_c na fase vegetativa (DCV); 60% da ET_c na fase intermediária (DFL) e 60% da ET_c na fase final (DFR)) e nas subparcelas (com e sem) o uso do hidrogel. O hidrogel não se mostrou eficiente na redução do estresse hídrico, proporcionando perdas significativas na maioria das variáveis analisadas. Dentre as estratégias de irrigação, a que menos se diferenciou-se do controle IP, foi o DCV, nesse tratamento, as plantas demonstraram boa recuperação nas fases seguintes ao estresse, proporcionando redução no consumo hídrico e poucas perdas significativas nos índices fisiológicos da cultura do pimentão.

PALAVRAS-CHAVE:

EFFECT OF IRRIGATION STRATEGIES WITH DEFICIT ASSOCIATED WITH HYDROGEL ON THE PHYSIOLOGICAL INDEXES OF PEPPER

ABSTRACT: The objective of this study was to analyze the physiological indicators of bell pepper crops subjected to regulated water deficit associated with the use of hydrogel. The experiment was conducted in a randomized complete block design with four replications, in a

¹ Mestrando em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici – Bloco 804, CEP 60440-554 – Fortaleza, CE. Fone (85) 994460474. e-mail: francisofabiolima657@gmail.com

² Doutora, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, Ceará.

³ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, Ceará.

⁴ Prof. Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE/ Campus Sobral, Sobral CE

⁵ Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, Ceará.

split-plot arrangement, with five irrigation treatments (100% of crop evapotranspiration (ET_c) throughout the cycle (IP); 60% of ET_c throughout the crop cycle (DR); 60% of ET_c only in the vegetative phase (DCV); 60% of ET_c only in the intermediate phase (DFL); and 60% of ET_c only in the final phase (DFR)) and in subplots (with and without) the use of hydrogel. The hydrogel was not efficient in reducing water stress, causing significant losses in most of the analyzed variables. Among the irrigation strategies, the one that differed least from the IP control was DCV. In this treatment, the plants demonstrated good recovery in the phases following stress, providing a reduction in water consumption and few significant losses in the physiological indices of the pepper crop.

KEYWORDS:

INTRODUÇÃO

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma importante cultura comercial, cultivada para consumo in natura, especiarias e produtos processados com alto valor agregado. Sua produção e consumo estão aumentando em todo o mundo. O manejo hídrico no pimentão é crucial, visto que o pimentão é uma das culturas mais sensíveis ao estresse hídrico devido ao seu sistema radicular raso e à sensibilidade das características das folhas do pimentão (COLAK et al., 2023).

A agricultura tem sido considerada um dos setores que mais utiliza de forma significativa a água, uma vez que capta 70% dos recursos mundiais de água doce para irrigar 25% das áreas agrícolas do mundo (BWAMBALE; ABAGALE; ANORNU, 2022). Diante disso, 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).

Uma outra solução que pode maximizar o uso da água é a utilização de polímeros hidrorrentores 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 tem a capacidade de manter um alto volume de água e liberação de umidade sob condições de déficit hídrico (PATRA et al., 2022).

Os hidrogéis reduzem a frequência de irrigação, diminuem a compactação e aumentam a aeração e a atividade microbiana do solo. Ele atua como um reservatório cuja água é liberada mediante demanda da raiz através da diferença de pressão osmótica. Em regiões áridas e

semiáridas, o uso de polímeros superabsorventes, tem sido um dos meio mais significativos para melhorar a qualidade e produtividade das plantas. (NEETHU; DUBEY; KASWALA, 2018).

O reconhecimento de indicadores para tolerância à seca, desempenha um papel importante em vários estádios do desenvolvimento da planta. Pesquisas anteriores identificaram vários indicadores de tolerância à seca em culturas, dentre esses, incluem: potencial hídrico foliar, fotossíntese líquida, transpiração, condutância estomática, concentração de CO₂, eficiência do uso da água, conteúdo de prolina, clorofila, entre outros (LI et al., 2023).

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi analisar os indicadores fisiológicos na cultura do pimentão quando submetida ao déficit hídrico regulado associado ao uso do hidrogel.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação (6 x 12 m), localizada na estação agrometeorológica da Universidade federal do Ceará, Fortaleza CE, (3° 44' 43.27" de latitude sul e 38° 34'56.65" de longitude oeste). O trabalho foi realizado entre outubro de 2024 e março de 2025.

A cultura utilizada na pesquisa, foi o pimentão verde Ykeda casca dura. As mudas foram produzidas em bandejas de polipropileno com 128 células e preenchidas com substrato composto proporcionalmente em 1:1 humus de minhoca + areia. Para o cultivo das plantas, foram utilizados vasos de plástico com capacidade de 11 L. Inicialmente foi colocada uma camada de brita de 3 cm, objetivando evitar o fechamento dos drenos dos vasos. Esses recipientes foram cheios até sua capacidade total com solo, sendo utilizada uma planta de pimentão por vaso.

O transplântio foi realizado 25 dias após semeadura (DAS). 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⁻¹. 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 elas foram crescendo foi aumentado o número de fitilhos para melhorar a sustentação.

O solo utilizado no experimento foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, Eutrófico, textura franco argilo-arenoso. As características físico-químicas do solo eram: pH (5,1), P-Mehlich (9,0 mg dm⁻³), K (42,0 mg dm⁻³), Ca (0,92 cmolc dm⁻³), Mg (0,55 cmolc dm⁻³)

³), areia total (755,0 g kg⁻¹), silte (50 g kg⁻¹) e argila (195,0 g kg⁻¹). De acordo com as recomendações de Fernandes (2013) foi realizada a adubação da cultura, sendo aplicados 120 kg de N, 100 kg ha⁻¹ de P e 100 kg ha⁻¹ de K₂O.

Quando houve incidência de pragas e doenças, o controle fitossanitário foi realizado através de pulverizações de defensivos agrícolas devidamente certificados pelo Ministério da Agricultura (MAPA) e específicos para o agente causador e para a cultura, fazendo uso também de defensivos de origem natural (extratos vegetais), preferencialmente. 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.

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 (ET_c) durante todo o ciclo (IP); 60% da ET_c durante todo o ciclo da cultura (DR); 60% da ET_c na fase vegetativa (DCV); 60% da ET_c na fase intermediária (DFL) e 60% da ET_c na fase final (DFR)) e nas subparcelas (com e sem) o uso do hidrogel. O polímero foi hidratado em água na proporção de 100 ml g⁻¹ de hidrogel, segundo Fernandes e Gallo, (2018), obtendo-se uma pasta viscosa, a qual foi aplicada nas covas de plantio na profundidade de 10 cm e na quantidade de 3 g de hidrogel por planta conforme recomendação do fabricante.

O método de irrigação adotado foi o localizado e o sistema do tipo gotejamento, dispondo de um emissor por planta. As linhas laterais foram 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. O sistema constou ainda com cabeçal de controle composto por manômetro analógico, equipamento de filtragem e aplicador de fertilizantes. A motobomba utilizada para pressurização do sistema foi de 1,0 cv.

A quantidade de água aplicada foi mediante a necessidade de reposição de perdas decorrentes da evapotranspiração de cultivo (ET_c), com a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) realizada diariamente por meio do método do tanque classe “A”, que foi instalado dentro da estufa.

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

Potencial hídrico foliar (Ψ_f)

Foi obtido com o auxílio de uma bomba de pressão do tipo Scholander. 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 6:00 horas da manhã.

Trocas Gasosas

As medições das trocas gasosas foram realizadas utilizando um analisador portátil de gases no infravermelho (IRGA), modelo LCI – sd, ADC, BioScientific, Hoddesdon, UK. E. As variáveis de trocas gasosas foram: fotossíntese líquida (A); transpiração (E); condutância estomática (gs) e concentração interna de CO₂ (Ci).

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 para comparação entre as médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O potencial hídrico foliar (Ψ_F) na análise feita aos 60 dias após o transplante (DAT), teve influência significativa ($p < 0,05$) simples e interação dos tratamentos irrigação e hidrogel no Ψ_F . Na avaliação feita aos 90 DAT não teve diferença estatística de nenhum dos fatores. Já aos 120 DAT teve significância ($p < 0,05$) para a interação irrigação x hidrogel no potencial hídrico foliar.

Na figura 1 pode ser observado o efeito das estratégias de irrigação e o uso do hidrogel no potencial hídrico foliar das plantas de pimentão. Aos 60 DAT, 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 Ψ_F de $-0,99$ e $-0,4$ Mpa respectivamente (Figura 1 A). Menores valores de potencial hídrico no tratamento DCV pode ter sido por conta do baixo volume de água no solo comparado com a irrigação plena.

Sezen, Yazar & Tekin, (2019), analisaram a resposta fisiológica da pimenta vermelha a diferentes níveis de irrigação, tiveram resultados mostrando que o Ψ_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).

Houve diferença estatística no uso do hidrogel no tratamento DCV, com valores do Ψ_F de $-0,99$ e $-0,57$ Mpa, com e sem o uso do polímero respectivamente, o hidrogel também influenciou no tratamento DFR, com valores do Ψ_F de $-1,1$ e $-0,55$ Mpa, com e sem o uso do hidrogel, nessa fase do experimento o tratamento DFR também era considerado controle (Figura 1 A).

Menores valores de Ψ_F 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.

Aos 120 DAT, a estratégia de irrigação DFR em comparação com o tratamento DCV, proporcionou menor valor do potencial hídrico (-1,65 Mpa) entre os tratamentos sem hidrogel, e o uso do polímero aumentou o Ψ_F no DFR, ao contrário do observado aos 60 DAT o hidrogel proporcionou um aumento do potencial hídrico foliar, possivelmente devido a planta já está com um sistema radicular mais desenvolvido, conseguindo assim absorver a umidade retida no polímero (Figura 1B).

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, observaram que o potencial hídrico na folha do pimentão apresentou tendência de aumento à medida que as lâminas de irrigação aumentavam até atingir 571,7 mm em até 2,4 g de hidrogel por planta, com valor máximo de -0,0042 Mpa.

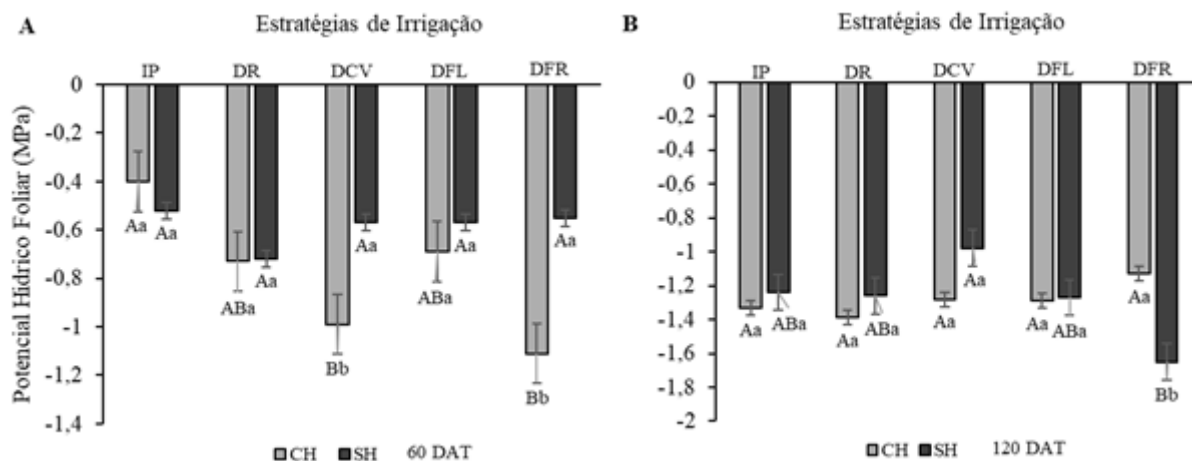


Figura 1. Médias obtidas para o potencial hídrico foliar aos 60 (Figura 1 A) e 120 DAT (Figura 1 B), sob interação das estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel.

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.

Aos 90 DAT a interação irrigação x hidrogel influenciou estatisticamente ($p < 0,01$) as variáveis (E; A). Aos 120 DAT foi observado efeito significativo ($p < 0,05$) da interação irrigação x hidrogel na variável (gs). Não houve diferença estatística para a variável (Ci) em nenhuma das três avaliações.

Nas plantas com hidrogel, as estratégias de irrigação DR ($14,85 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$), DFL ($11,71 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$) tiveram menor valor de fotossíntese líquida comparado ao tratamento controle IP ($22,26 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$), 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 2A). 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 2A).

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 do pimentão, concluíram em seus resultados que o pimentão doce produz maior taxa fotossintética líquida em condições de déficit hídrico moderado durante a estação de crescimento.

A interação irrigação x hidrogel teve influência significativa aos 90 DAT, 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 2C). Ainda aos 90 DAT na estratégia de déficit na floração 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 2C), mostrando que o hidrogel além de não atenuar o efeito do déficit na (E), diminuiu a mesma no tratamento DFL.

Araújo et al., (2022), 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.

A estratégia de irrigação DR obteve menor condutância estomática ($0,120 \text{ mol m}^2 \text{ s}^{-1}$) 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 condutância estomática ($0,108 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Em relação ao hidrogel, esse proporcionou menor condutância estomática nos tratamentos IP e DCV comparado as plantas sem a adição do polímero (Figura 2B). Esse resultado mostra que o hidrogel não conseguiu diminuir os efeitos do déficit para a variável (gs), além de proporcionar menor condutância estomática até nos tratamentos com irrigação plena.

Menezes et al., (2025), tiveram resultados contrários mostrando que a abertura estomática nas plantas de pimentão, aumentou conforme a dose de hidrogel foi aumentada, sendo que a dose de $2,4 \text{ g pl}^{-1}$ proporcionou maior abertura estomática.

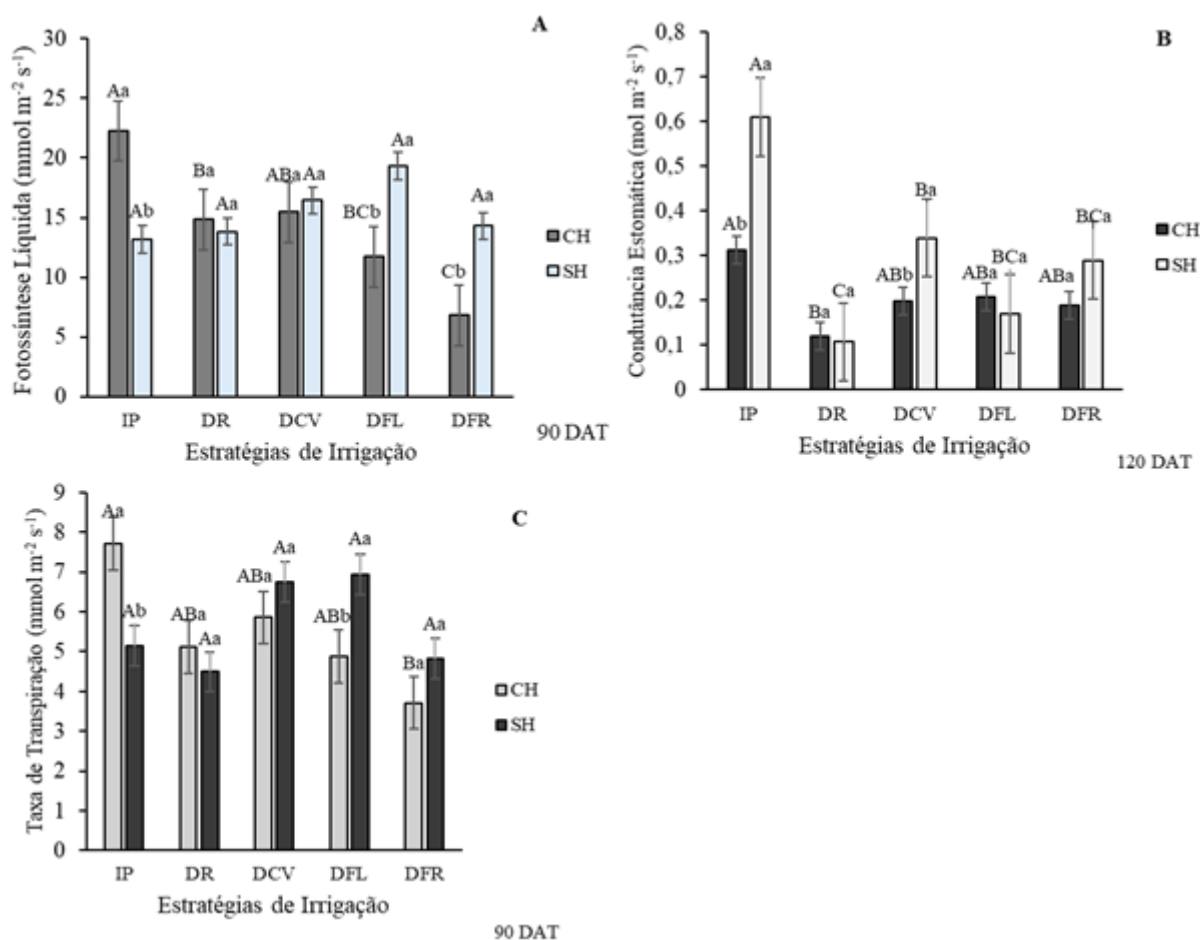


Figura 2. Médias obtidas para a fotossíntese líquida, taxa de transpiração aos 90 DAT e condutância estomática aos 120 DAT, sob interação das estratégias de irrigação com (CH) e sem (SH) o uso do hidrogel.

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.

CONCLUSÕES

O uso do polímero diminuiu a condutância estomática no IP e DCV aos 120 DAT, reduziu a fotossíntese líquida no DFL e DFR aos 90 DAT e diminuiu a taxa de transpiração no DFL aos 90 DAT.

As estratégias de irrigação DR, DFL e DFR, tiveram menor valor de fotossíntese líquida nas plantas com hidrogel aos 90 DAT. A estratégia DCV não se diferenciou do tratamento controle para essa variável.

O tratamento DFR obteve menor taxa de transpiração comparado as demais estratégias de irrigação nas plantas com hidrogel aos 90 DAT, as demais estratégias não se diferenciaram do controle.

Todos os tratamentos de irrigação tiveram menor condutância estomática comparados ao tratamento controle nas plantas sem hidrogel aos 120 DAT.

O hidrogel não se mostrou eficiente na redução do estresse hídrico, proporcionando perdas significativas na maioria das variáveis analisadas.

Dentre as estratégias de irrigação, a que menos se diferenciou-se do controle IP, foi o DCV, nesse tratamento, as plantas demonstraram boa recuperação nas fases seguintes ao estresse, proporcionando redução no consumo hídrico e poucas perdas significativas nos índices fisiológicos da cultura do pimentão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGBNA, G.H.D.; ZAIDI, S.J. Hydrogel Performance in Boosting Plant Resilience to Water Stress—A Review. **Gels** 2025, 11, 276. <https://doi.org/10.3390/gels11040276>.

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** 35 (02), Apr-Jun 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n214rc>

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 Volume** 260, 1 February 2022, 107324. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107324>.

COLAK, Y. B.; YAZAR, A.; YILDIZ, M.; TEKIN, S.; GONEN, E.; ALGHAWRY, A. Assessment of crop water stress index and net benefit for surface- and subsurface-drip irrigated bell pepper to various deficit irrigation strategies. **The Journal of Agricultural Science**, Volume 161, Issue 2, April 2023, pp. 254 – 271. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859623000205>

LI, J.; ABBAS, K.; WANG, L.; GONG, B.; HOU, S.; WANG, W.; DAI, B.; XIA, H.; WU, X.; LU, G.; GAO, H. Drought resistance index screening and evaluation of lettuce under water deficit conditions on the basis of morphological and physiological differences. *Front. Plant Sci.*, 14 September 2023 **Sec. Plant Abiotic Stress**. Volume 14 - 2023. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1228084>

MENEZES, A. S.; BASTOS, E. A.; PINHEIRO, L. G. N.; VIANA, T. V. A.; BEZERRA, M. A.; FAÇANHA, R. V. Responses of hybrid bell pepper in the open field with the use of hydrogel and different water regimes. **Scientia Plena** 21, 020201 (2025). DOI: 10.14808/sci.plena.2025.020201

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** ISSN: 2319-7706 Volume 7 Number 05 (2018). <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.369>.

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.; HOSSAIN, A. Prospects of Hydrogels in Agriculture for Enhancing Crop and Water Productivity under Water Deficit Condition. **International Journal of Polymer Science** Volume 2022, Article ID 4914836, 15 pages <https://doi.org/10.1155/2022/4914836>.

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**. Volume 245, 9 February 2019, Pages 280-288. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.037>

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** 2023, 15(11), 2134; DOI: <https://doi.org/10.3390/w15112134>