

## COEFICIENTE DE RESPOSTA DA CENOURA EM SISTEMA ORGÂNICO COM DEFICIT HÍDRICO APLICADO POR ETAPAS

Daniel Fonseca de Carvalho<sup>1</sup>, Wendell Luccas Sousa<sup>2</sup>, Bruno Antonio Augusto Faria Conforto<sup>3</sup>

**RESUMO:** A gestão eficiente dos recursos hídricos é fundamental para a produtividade e a qualidade da colheita. Assim, compreender os efeitos do manejo hídrico é essencial para otimizar a produção agrícola. O estudo objetivou avaliar a sensibilidade da cenoura (cv Brasília) ao déficit hídrico em diferentes fases de desenvolvimento por meio do coeficiente de resposta (ky). O experimento foi conduzido em Seropédica-RJ no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), em blocos casualizados, com 6 estratégias de irrigação e 4 repetições. Os tratamentos foram definidos pelo déficit hídrico de 30% da evapotranspiração da cultura (ETc) e caracterizados como T1 (sem déficit), T2 (déficit nas fases II, III e IV), T3 (déficit na fase II), T4 (déficit na fase III), T5 (déficit na fase IV) e T6 (déficit nas fases III e IV). Os tratamentos T1 e T5 proporcionaram as maiores médias de produtividade (63,56 Mg ha<sup>-1</sup>), diferindo estatisticamente dos demais (média de 55,04 Mg ha<sup>-1</sup>). A fase IV é considerada a menos sensível, ao contrário da fase II que apresentou o maior coeficiente de resposta ao déficit hídrico (Ky) (0,873). O conhecimento da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico constitui uma importante estratégia de manejo visando a otimização da água em sistemas irrigados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Coeficiente de resposta ao déficit hídrico; Ky; *Daucus carota* L.; manejo da irrigação.

## CARROT RESPONSE COEFFICIENT IN ORGANIC SYSTEM WITH WATER DEFICIT APPLIED BY DEVELOPMENT PHASES

**ABSTRACT:** Efficient management of water resources is essential for crop productivity and quality. Thus, understanding the effects of water management is essential to optimize agricultural production. The study aimed to evaluate the sensitivity of carrots (cv Brasília) to

<sup>1</sup> Professor Titular. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica-RJ. E-mail: carvalho@ufrj.br

<sup>2</sup> Mestre em Fitotecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

<sup>3</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola e Ambiental. UFRRJ. Seropédica-RJ.

water deficit at different developmental stages using the yield response factor ( $K_y$ ). The experiment was conducted in Seropédica-RJ, at the Integrated Agroecological Production System (SIPA), using a randomized block design with 6 irrigation strategies and 4 replications. The treatments were defined by a 30% water deficit of the crop evapotranspiration ( $ET_c$ ) and characterized as T1 (no deficit), T2 (deficit in stages II, III, and IV), T3 (deficit in stage II), T4 (deficit in stage III), T5 (deficit in stage IV), and T6 (deficit in stages III and IV). Treatments T1 and T5 provided the highest average productivity ( $63.56 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), differing statistically from the others (average of  $55.04 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Phase IV is considered the least sensitive, unlike phase II, which presented the highest coefficient of response to water deficit ( $K_y$ ) (0.873). Knowledge of crop's sensitivity to water deficit constitutes an important management strategy for optimizing water use in irrigated systems.

**KEYWORDS:** Response coefficient to water deficit;  $K_y$ ; *Daucus carota* L.; irrigation management.

## INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada abrange cerca de 25% das áreas cultivadas globalmente, possibilitando a produção em regiões com precipitação insuficiente ou irregular (Rosa, 2022). Dentre as estratégias de manejo da irrigação, a utilização de déficit hídrico controlado vem se destacando pois proporciona aumento da eficiência de aplicação, reduzindo custos com energia, mão de obra e os impactos ambientais associados ao uso excessivo da água (Siakou et al., 2021). No entanto, para que a técnica seja aplicada com sucesso é necessário se ter conhecimento a respeito da sensibilidade da cultura à disponibilidade de água no solo em suas diferentes fases de desenvolvimento.

Originária da Ásia central, a cenoura (*Daucus carota* L.) é uma cultura de ciclo curto difundida globalmente, exigindo controle hídrico e nutricional adequado para a obtenção de altos níveis de produtividade (Paparella et al., 2024). É um dos vegetais mais consumidos globalmente e uma das melhores fontes de betacaroteno (Maugeais & Lassalle, 2025). No Brasil, a produção anual se destaca com mais de 700.000 toneladas (Silva et al., 2024), sendo a raiz vegetal de maior valor econômico e um dos cinco vegetais mais cultivados e comercializados nacionalmente (Coelho et al., 2024; Souza et al., 2025).

Dentre os sistemas de produção, destaca-se a agricultura orgânica, que visa a sustentabilidade da produtividade agrícola, mantendo as características naturais do solo e do

ecossistema por meio da transmissão de processos ecológicos, biodiversidade e ciclos naturais (Anand et al., 2019). Os adubos orgânicos podem ser basicamente de origem vegetal ou animal, como esterco, farinhas, bagaços, cascas e restos vegetais, decompostos ou em estágio de decomposição (Rocha et al., 2019). O fertilizante Bokashi vem ganhando espaço na agricultura orgânica e se caracteriza como um composto orgânico fermentado que enriquece o solo com nutrientes e microrganismos benéficos, melhorando suas propriedades e promovendo o crescimento saudável da cultura (Quiroz & Céspedes, 2019).

Considerando que a necessidade hídrica varia entre as espécies e as fases de desenvolvimento, conhecer as respostas das plantas ao déficit hídrico é fundamental para a elaboração de estratégias de manejo da irrigação (Léllis et al., 2017). Embora alguns estudos tenham investigado a resposta da cenoura a diferentes manejos de irrigação (Monte et al., 2013; Carvalho et al., 2016; Junaid et al., 2023; Elshamly & Nassar, 2023), os efeitos do estresse hídrico nessa cultura ainda são pouco documentados cientificamente (Paparella et al., 2024).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de déficit hídrico na produtividade da cenoura (cv. Brasília), aplicado em diferentes fases do desenvolvimento e definir a sensibilidade da cultura à disponibilidade de água no solo por meio do coeficiente de resposta (Ky).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA) (Fazendinha Agroecológica do Km 47), em Seropédica – RJ (22°45' S, 43°41' W e altitude de 33 m), no período de 30/07 a 28/10/2019. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, contendo 8% de silte, 70% de areia e 22% de argila nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m (Carvalho et al., 2014).

A semeadura da cenoura, cv. Brasília, foi realizada manualmente de forma contínua em linhas de cultivo com espaçamento de 0,25 m, totalizando 4 linhas por parcela. Foram realizados desbastes a fim de assegurar um estande final de 20 plantas por metro até os 30 dias após semeadura. Aplicou-se uma dose de fertilizante orgânico fermentado (bokashi) de 1,32 kg m<sup>-2</sup>, equivalendo a, aproximadamente, 570 kg de N ha<sup>-1</sup>. Foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados, com 6 níveis de suprimento hídrico e 4 repetições.

Durante a condução do experimento foram realizadas capinas manuais e monitoramento de pragas e doenças. Os tratamentos foram caracterizados pelo déficit hídrico de 30% da

evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), em diferentes etapas de desenvolvimento da cultura a partir dos valores de graus-dias acumulados (GDA), além do tratamento com 100% de reposição hídrica. A soma térmica diária foi calculada utilizando o método proposto por Sevacherian et al. (1977), também conhecido como método da dupla triangulação. De acordo com Carvalho et al. (2014), foram utilizados valores de 6 °C e 30 °C para temperatura basal inferior e superior, respectivamente. As fases foram caracterizadas como: Fase I (321,7 GDA), Fase II (463,5 GDA), Fase III (500,6 GDA) e Fase IV (288,5 GDA).

Os tratamentos com déficits foram caracterizados como T1 (sem déficit), T2 (déficit nas fases II, III e IV), T3 (déficit na fase II), T4 (déficit na fase III), T5 (déficit na fase IV) e T6 (déficit nas fases III e IV). A partir de dados coletados em uma estação meteorológica instalada próxima à área experimental, a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) foi estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO56 e a precipitação efetiva, conforme a metodologia do Número da Curva (CN – USDA).

O manejo da irrigação foi realizado a partir da  $ET_c$ , estimada pelo produto da  $ET_o$  pelos coeficientes de cultivo ( $K_c$ ), estabelecidos para a cultura nas condições edafoclimáticas de Seropédica (Carvalho et al., 2014). Durante a fase de estabelecimento da cultura (fase I), o experimento foi irrigado diariamente por aspersão convencional, não sendo aplicado déficit hídrico em nenhum dos tratamentos experimentais. Após esta fase, as lâminas de irrigação passaram a ser aplicadas a cada 2 dias utilizando fitas gotejadoras de 13 mm e 250 micra de espessura (mod. Manari - Petroísa), com emissores de vazões nominais de 1,5 e 2,1 L h<sup>-1</sup>, espaçados de 0,15 m. Foi utilizada uma linha de irrigação para duas linhas de cultivo. A aplicação dos déficits hídricos foi realizada substituindo as fitas nas parcelas de acordo com os tratamentos, e nas respectivas fases de desenvolvimento.

As plantas foram colhidas quando o diâmetro de 75% das raízes do tratamento T1 atingiram de 2,5 a 3,0 cm. Para análise de produtividade foram consideradas somente as duas linhas centrais de cada parcela, selecionando as 14 plantas que apresentavam características visuais medianas em relação às demais plantas.

A sensibilidade da cultura ao déficit hídrico foi avaliada pelo coeficiente  $K_y$ , conforme proposto por Stewart et al. (1977) (Eq. 1). Para cada tratamento foram utilizados os rendimentos da cultura ( $Y_a$  e  $Y_m$ ) e os respectivos valores de  $ET_a$  e  $ET_m$ , que corresponderam às lâminas aplicadas em cada fase de desenvolvimento.

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad (1)$$

Em que,

$Y_a$  - rendimento real,  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$Y_m$  - rendimento máximo ou potencial,  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$K_y$  - fator de resposta da produção, adimensional;

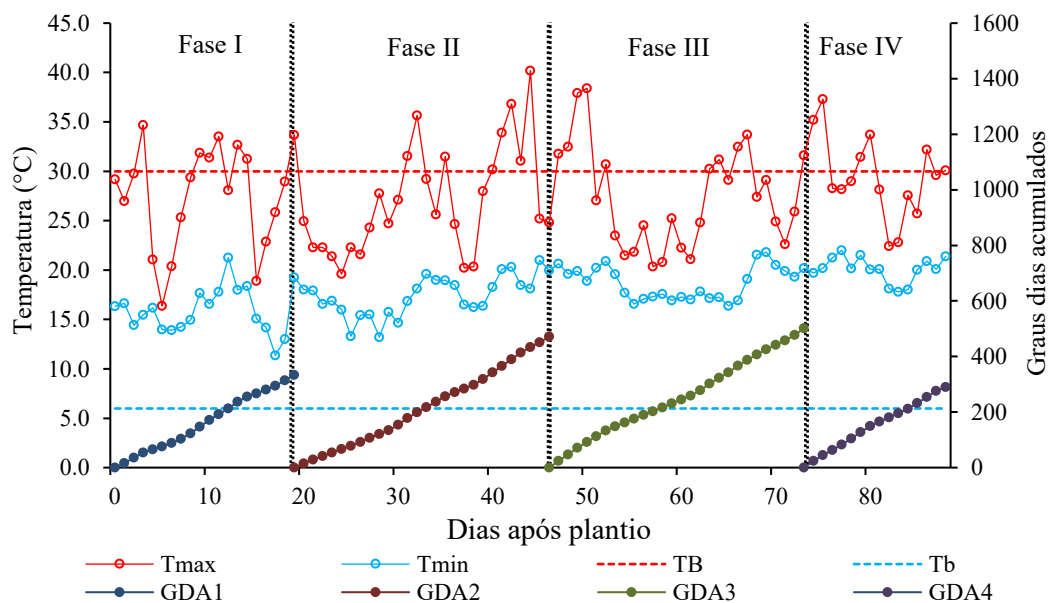
$ET_a$  - evapotranspiração real da cultura, mm; e

$ET_m$  - evapotranspiração máxima da cultura, mm.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e o teste post hoc aplicado foi o de Scott-Knott, com auxílio do programa estatístico Sisvar 5.6. A lâmina total aplicada em cada tratamento foi considerada um fator qualitativo, por ser resultante da definição de aplicação do déficit em diferentes fases de desenvolvimento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acompanhamento das fases fenológicas a partir do uso dos GDA foi eficaz (Figura 1), permitindo a execução das atividades e dos tratos culturais dentro das fases indicadas, como o manejo da irrigação, raleio e colheita.



**Figura 1.** Temperaturas máxima (Tmax) e mínima (Tmin) diárias, temperaturas basais superior (TB) e inferior (Tb) e graus dias acumulados (GDA) de acordo com as fases de desenvolvimento de cultivo.

Os valores de GDA totalizaram 333,84; 471,44; 501,83 e 290,62 oC, totalizando 1597,73 oC, os quais definiram as fases fenológicas que apresentaram durações de 20, 27, 27 e 16 dias, respectivamente.

Houve distribuição uniforme da precipitação ao longo do ciclo de cultivo, totalizando 217,2 mm, com uma precipitação efetiva de 169,1 mm. A ETo totalizou 315,3 mm, com 114,3 mm apenas na fase III. Quanto ao manejo hídrico, foram realizadas 43 irrigações que totalizaram 155,4 mm para o tratamento com ausência de déficit hídrico (T1). No tratamento com maior déficit hídrico (T2), a lâmina aplicada foi de 117,45 mm, correspondendo a 75,6% de T1. No tratamento T6, onde o déficit hídrico ocorreu nas fases intermediária e final, a lâmina foi de 127,61 mm (82,1% de T1). Considerando-se a precipitação efetiva e a irrigação, a lâmina total aplicada nos demais tratamentos correspondeu a 88,3% (T2), 96,9% (T3), 95,6% (T4), 95,9% (T5) e 91,4% (T6) da lâmina total de T1.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios de massa fresca de raiz, produtividade e Ky para os tratamentos. Apesar da restrição hídrica, as produtividades obtidas neste experimento são semelhantes aos obtidos nas áreas de maior produção no país (55,2 t ha<sup>-1</sup>) (CEPEA, 2020), e indicam que é possível otimizar o uso da água de irrigação sem afetar de forma expressiva a produtividade da cultura. A partir das produtividades e lâminas aplicadas, os valores obtidos de Ky para os estádios II, III e IV foram de 0,873; 0,706 e 0,220, e corroboram com os simulados por Carvalho et al. (2014) utilizando o MOPECO (Model for the Economic Optimization of Irrigation Water Use at Farm Level) (0,70; 0,45 e 0,20). De acordo com Doorenbos & Kassam (1979), valores de Ky inferiores a 0,85 indicam baixa sensibilidade da cultura ao déficit hídrico. Nesse sentido, a estratégia de irrigação com déficit hídrico aplicado na fase IV (T5), resultou na menor queda relativa de produtividade, indicando ser a fase menos sensível ao desenvolvimento da cultura.

**Tabela 1.** Valores médios de massa fresca de raiz, produtividade e fator Ky para os diferentes tratamentos avaliados

Tratamentos*	Massa Raiz (g)	Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )	Fator Ky
T1	81,15 a	64,92 a	---
T2	66,98 b	53,58 b	0,859
T3	70,62 b	56,50 b	0,873
T4	71,71 b	57,37 b	0,706
T5	76,99 a	61,60 a	0,220
T6	70,03 b	56,02 b	0,643

T1 – sem déficit hídrico; T2 – déficit aplicado nas fases II, III e IV; T3 – déficit aplicado na fase II; T4 – déficit aplicado na fase III; T5 – déficit aplicado na fase VI; T6 – déficit aplicado nas fases III e IV; Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 10% de probabilidade pelo teste de Skott -Knott.

## CONCLUSÕES

Mesmo com a precipitação ocorrida ao longo do ciclo de cultivo, o déficit hídrico aplicado nas fases afetou o desenvolvimento da cultura, reduzindo, em média, 7,4 Mg ha<sup>-1</sup> na produtividade da cenoura. A fase de crescimento rápido (Fase II) é a mais sensível à restrição hídrica, apresentando Ky médio de 0,873. Em contrapartida, o déficit na Fase IV foi o que menos impactou a produtividade. Desse modo, estratégias de irrigação com déficit hídrico controlado para otimização do uso da água na cultura da cenoura são viáveis, sem perdas significativas de rendimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anand, M. R.; Shiva Kumar, M. R.; Kommireddy, P.; Kalyana Murthy, K. N. Secondary and Micronutrient Management Practices in Organic Farming- An Overview. *Current Agriculture Research Journal*, v. 17, p. 04-18. 2019.

Carvalho D. F.; Domínguez, A.; Oliveira Neto, D. H.; Tarjuelo, J. M.; Marínez-Romero, A. Combination of date with déficit irrigation for improving the profitability of carrot in a tropical environment (Brasil). *Scientia Horticulturae*, v. 179, p. 112-121, 2014.

Carvalho, D. F.; Oliveira Neto, D. H.; Felix, L. F.; Guerra, J. G. M.; Salvador, C. A. Yield, water use efficiency, and yield response factor in carrot crop under different irrigation depths. *Ciência Rural*, 46(7), 1145–1150. 2016. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150363>.

CEPEA. Cenoura, 2020. Disponível em <<https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/retrospectiva-2020-perspectivas-2021.aspx>>, acesso em Abril de 2021.

Coelho, F.G.T.; Maciel, G.M.; Siquieroli, A.C.S.; de Oliveira, C.S.; Parrella, N.N.L.D.; da Silva, A.F.; Luz, J.M.Q.; Nogueira, A.P.O. Analysis of Combining Ability to Obtain Tropical Carrot Hybrids for Production Traits. *Horticulturae*, 2024, 10, 442. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050442>.

Doorenbos, J.; Kassam, A. H. Yield response to water. FAO, Irrigation and Drainage Paper, n.33, p. 193, 1979.

Elshamly, A.M.S., Nassar, S.M.A. Stimulating growth, root quality, and yield of carrots cultivated under full and limited irrigation levels by humic and potassium applications. **Sci Rep** 13, 14260 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41488-5>.

Junaid, M.D., Öztürk, Z.N. & Gökçe, A.F. Exploitation of tolerance to drought stress in carrot (*Daucus carota* L.): an overview. **Stress Biology** 3, 55 (2023). <https://doi.org/10.1007/s44154-023-00130-0>.

Léllis, B.C., Carvalho, D.F., Martinez-Romero, A., Tarjuelo, J.M., Dominguez, A. Effective management of irrigation water for carrot under constant and optimized regulated deficit irrigation in Brazil. **Agriculture Water Management**, v. 192, p. 294–305, 2017.

Maugeais, N.; Lassalle, G. Predicting cadmium accumulation in carrot (*Daucus carota* L.) using reflectance spectroscopy and machine learning. **Food Control**, v. 173, p. 111226, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111226>.

Monte, J. A.; Carvalho, D. F. ; Medici, L.O ; Silva, L. D. B.; Pimentel, C. Growth analysis and yield of tomato crop under different irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)**, v. 17, p. 926-931, 2013.

Paparella, A., Kongala, P. R., Serio, A., Rossi, C., Shaltiel-Harpaza, L., Husaini, A. M., & Ibdah, M. (2024). Challenges and Opportunities in the Sustainable Improvement of Carrot Production. **Plants** (Basel, Switzerland), 13(15), 2092. <https://doi.org/10.3390/plants13152092>.

Quiroz, M., Céspedes, C. Bokashi as an Amendment and Source of Nitrogen in Sustainable Agricultural Systems: a Review. **Journal Soil Science and Plant Nutrition** 19, 237–248 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42729-019-0009-9>.

Rocha, A. A; Araujo, E.S.; Santos, S.S.; Goulart, J.M.; Espindola, J. A. A.; Guerra, J. G. M.; Alves. B. J. R.; Rouws, J. R.C. Ammonia volatilization from soil-applied organic fertilizers. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 43, 2019.

Rosa, L. Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: biophysical potentials and feedbacks. **Environmental Research Letters**, 17. 2022. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac7408>.

Sevacherian, V.; Stern, V.M.; Mueller, A.J. Heat accumulation for timing Lygus control pressures in a safflower–cotton complex. **Journal of Economic Entomology**, v.70, p. 399–402, 1977.

Siakou, M., Bruggeman, A., Eliades, M., Zoumides, C., Djuma, H., Kyriacou, M.C., Emmanouilidou, M.G., Spyros Manolopoulou, A.E., Moriana, A., 2021. Effects of déficit on 'Koroneiki' olive tree growth, physiology and olive oil quality at different harvest dates. **Agriculture Water Management**. 258, 107200.

Silva, T. de O., Santos, C. H. S., Menezes Filho, A. C. P. de, Sharma, P., Melo, A. F., & Ventura, M. V. A. (2024). Effect of biostimulants and bioactivators on reproductive parameters of *Daucus carota* (L.). Cerrado: **Agricultural and Biological Research**, 1(2), 8–14. <https://doi.org/10.14295/cerrado.v1i2.584>.

Souza, L. G. de S. e, Félix Ferreira, R. L., Elviro de Araújo Neto, S., Lemos Uchôa, T., Mendes da Silva, N., Penha Pinto, G., de Moura Francisco, W., & Bezerra da Silva, S. (2025). Weed interference on organic carrot yield under different sowing methods. **Comunicata Scientiae**, 16, e4288. <https://doi.org/10.14295/cs.v16.4288>.

Stewart, J. I.; Hagan, R. M.; Pruitt, W. O.; Kanks, R. J.; Riley, J. P.; Danilson, R. E.; Franklin, W. T.; Jackson, E. B. Optimizing crop production though control of water and salinity levels. **Utah Water Research Laboratory PWRG**, 1977.