

PRODUTIVIDADE E ANÁLISE FINANCEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL INTERMITENTE E CONTÍNUO

Filippo Giordano Bruno Pimentel¹, Renato Santos Marques¹, Madson Rafael Barbalho da Silva², Manassés Mesquita da Silva³, Gerônimo Ferreira da Silva³, José Amilton Santos Júnior³

RESUMO: A produção sustentável de cana-de-açúcar é vital para o setor agrícola global, fornecendo matéria-prima essencial para a indústria de açúcar e biocombustíveis. O presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de avaliar como o gotejamento intermitente, combinado com diferentes lâminas de reposição de água, afeta a produtividade e o retorno financeiro da cana-de-açúcar. O experimento foi realizado na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina, Carpina-PE. Foi adotado um delineamento experimental em blocos casualizados em arranjo fatorial 2 x 5, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas. Foram testados dois tipos de aplicação de água: gotejamento subsuperficial intermitente (IP) e contínuo (IC), combinados com cinco lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (ETc): 40%, 60%, 80%, 100% e 120% da ETc. Na irrigação intermitente, foram aplicados quatro pulsos com intervalos de 40 minutos de repouso. A dotação hídrica foi calculada com base no balanço hídrico diário via clima. Observou-se que a irrigação por gotejamento intermitente proporcionou maior produtividade de cana-de-açúcar. A lâmina de reposição de 103% da evapotranspiração da cultura (ETc) resulta na máxima produtividade de colmos, com 154,9 Mg ha⁻¹. A reposição da lâmina equivalente a 80% da ETc proporciona a máxima receita líquida, desde que seja aplicada por gotejamento intermitente.

PALAVRAS-CHAVE: Gotejamento por pulsos, Saccharum, Receita líquida.

¹ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFRPE, Recife-PE, renato.smarques@ufrpe.br

² Mestre em Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE, madsonbarbalhoagronomo@gmail.com

³ Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE, manasses.mesquita@ufrpe.br; geronimo.silva@ufrpe.br; joseamilton@ufrpe.br

PRODUCTIVITY AND FINANCIAL ANALYSIS OF SUGARCANE UNDER SUBSURFACE INTERMITTENT AND CONTINUOUS DRIP IRRIGATION

ABSTRACT: Sustainable sugarcane production is vital for the global agricultural sector, providing essential raw material for the sugar and biofuel industries. This study evaluates how intermittent drip irrigation, combined with different water replacement depths, affects sugarcane productivity and financial returns. The experiment was conducted at the Sugarcane Experimental Station of Carpina (EECAC), using a randomized block design in a 2×5 factorial arrangement (two irrigation types \times five water replacement levels: 40%, 60%, 80%, 100%, and 120% of ETC), with four replicates totaling 40 plots. Two water application methods were tested: subsurface pulse drip irrigation (IP) and continuous drip irrigation (IC). The pulse irrigation system applied water in four pulses with 40-minute rest intervals, while water depth was calculated based on daily water balance. Results showed that intermittent drip irrigation provided higher sugarcane productivity. The 103% ETC replacement depth yielded maximum stalk productivity (154.9 Mg/ha), while 80% ETC generated the highest net revenue for both irrigation methods. However, the net revenue for intermittent irrigation was significantly superior compared to continuous irrigation.

KEYWORDS: Pulse irrigation, Saccharum, Net income.

INTRODUÇÃO

Tradicional de climas tropicais e subtropicais, a cana-de-açúcar está presente na vida do brasileiro desde o século XVI no período colonial. Destaque para região nordeste do Brasil, onde se concentravam maioria dos engenhos. A Cultura é de grande importância econômica para o país e umas das principais fontes do agronegócio nacional com produtividade em alta escala direcionada ao mercado externo, tanto que, o país destaca-se como o maior exportador de açúcar do mundo. O gotejamento subsuperficial é um sistema de irrigação potencialmente mais eficiente em relação aos demais, no entanto, a busca por melhorias é imprescindível para o aproveitamento racional dos recursos hídricos. Assim, o gotejamento subsuperficial intermitente ou por pulsos, tem sido empregado em vários cultivos no Brasil e no mundo (Abdelraouf et al., 2012; Zamora et al., 2021; Cruz et al., 2021; Silva et al., 2022; Menezes et al., 2024). A técnica tem se mostrado promissora, com ganhos expressivos em produtividade e eficiência de uso da água e nutrientes (Souza et al., 2024; Silva, 2023). No entanto, para cana-

de-açúcar ainda são escassas as informações de produtividade e desenvolvimento da cultura sob gotejamento intermitente, tal escassez é maior ainda quanto à disponibilidade de informações sobre análise financeira. Diante do exposto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de entender como o gotejamento intermitente (por pulsos) sob lâminas deficitárias afeta a produtividade e a rentabilidade financeira do cultivo da cana-de-açúcar, visando contribuir com estratégias sustentáveis para o setor sucroenergético.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina (EECAC) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no município de Carpina – Pernambuco, localizada na latitude de 7°51'24,31" S, longitude de 35°14'16,97" W e altitude de 184 m. O clima predominante na área, de acordo com a classificação de Köppen (1948) é, As – tropical chuvoso com verão seco, apresentando temperatura média anual de 24°C e precipitação média anual de 1.400 mm. O solo da área experimental foi classificado como argissolo amarelo distrófico abrupto (Santos et al., 2018). O cultivar estudado foi o clone RB 041443, desenvolvido pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana de Açúcar da Universidade Federal Rural de Pernambuco, o qual é integrante da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA). O delineamento experimental foi em blocos casualizados em arranjo fatorial 2 x 5, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. O primeiro fator foi constituído por dois tipos de aplicação (TA) da água de irrigação, gotejamento subsuperficial intermitente ou por pulsos (IP) e o gotejamento contínuo (IC). Para o segundo fator foram aplicadas cinco lâminas de reposição (L): (L1) 40% ETc, (L2) 60% ETc, (L3) 80% Etc, (L4) 100% ETc e (L5) 120% ETc. Na irrigação intermitente as lâminas foram aplicadas em 4 pulsos com intervalos de 40 minutos de repouso entre aplicações. A cana-de-açúcar foi implantada em espaçamento duplo combinado de 1,4 x 0,6 x 1,4 m entre as fileiras. A área útil das parcelas corresponde aos dois sulcos combinados centrais (quatro fileiras), descartando-se um metro em cada extremidade, respeitando a bordadura. Na Tabela 1 e nas Figuras 1 e 2, observa-se o esquema da distribuição dos tratamentos, das plantas e dos tubos gotejadores nas parcelas experimentais.

IP L1	IP L4	IC L3	IP L2	IC L4	IC L2	IP L5	IC L5	IC L1	IP L3
IP L5	IC L2	IC L4	IP L3	IC L1	IP L2	IC L5	IP L4	IP L1	IC L3
IC L1	IP L2	IC L5	IC L3	IP L1	IP L4	IP L5	IP L3	IC L2	IC L4
IP L2	IC L4	IC L2	IP L5	IC L3	IP L3	IC L1	IP L1	IC L5	IP L4

Figura 1. Localização dos tratamentos e blocos na área experimental. IP irrigação intermitente (por pulsos) e IC irrigação contínua.

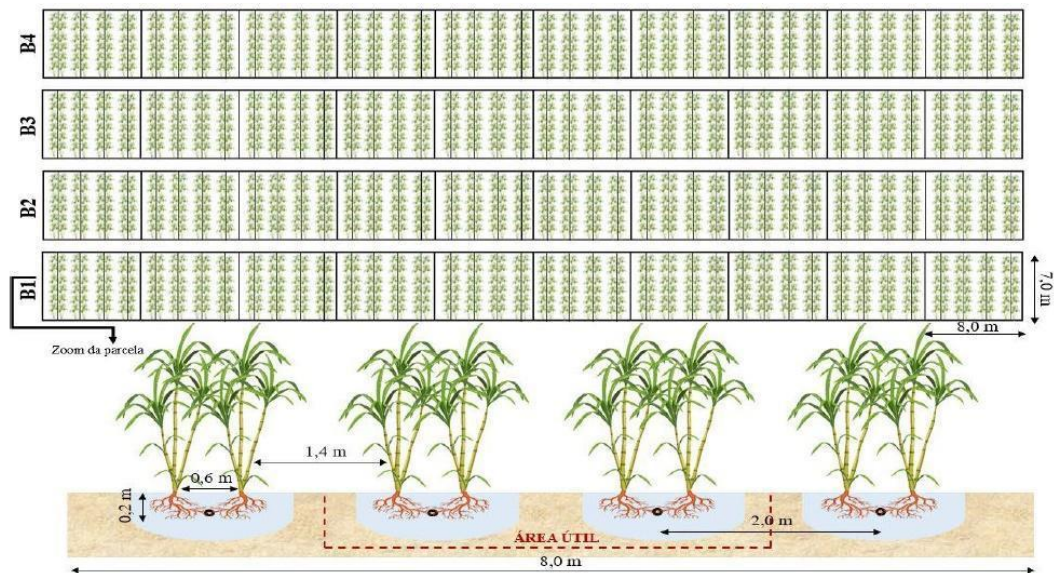


Figura 2. Vista Superior e Frontal da Área Experimental. Carpina-PE.

O sistema de irrigação operou diariamente, com gotejadores instalados na subsuperfície do solo, utilizando-se tubos gotejadores (16 mm de diâmetro nominal) com gotejadores autocompensados e anti-sifão (PC/AS), com vazão nominal de $1,0 \text{ L h}^{-1}$, espaçados de 0,5 m. Sistema de irrigação dotado de filtros de areia seguido de um filtro de tela, injetor de fertilizantes tipo venturi 3/4" e sistema de bombeamento com potência instalada de 5,0 cv. A lâmina bruta (Lb) de irrigação obtida pela relação entre a fração da evapotranspiração da cultura (ETc), descontada a precipitação efetiva (Pe) e considerando a eficiência média do sistema (Ei) de irrigação, ou seja: $Lb = (ETc - Pe)/Ei$, em que: Lb = Lâmina Bruta (mm); ETc = Evapotranspiração do cultivo (mm) (Allen et al., 1998); Pe = Precipitação Efetiva (mm) e Ei = Eficiência do Sistema de irrigação. O tempo de irrigação (Ti) de cada tratamento mensurado de

acordo com a razão entre a Lb, a taxa de aplicação (Ia), $T_i = L_b/I_a$, em que: T_i = Tempo de Irrigação (h); Lb = Lâmina Bruta (mm) e Ia = taxa de aplicação (mm h^{-1}). A produtividade da cana-de-açúcar (TCH, Mg ha^{-1}) foi apurada por tratamento e aferida por meio da pesagem total dos colmos da área útil no momento da colheita, com um dinamômetro com capacidade de pesagem de até 1000 kg. A análise financeira foi realizada para cada tratamento, calculando-se o indicador a receita líquida (RL, $\text{R\$/ha/ano}$). A receita líquida (RL) foi determinada por meio da diferença entre a receita bruta (RB, $\text{R\$/ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e os custos totais para cada tratamento (Ct, $\text{R\$/ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). A receita bruta (RB) foi obtida por meio do produto entre o preço ($\text{R\$/ton}^{-1}$) de mercado da cana e sua respectiva produtividade (Mg ha^{-1}). Os custos totais (Ct) foram estimados considerando a aquisição e implantação do equipamento de irrigação, energia elétrica consumida, preparo do solo, manutenção e mão de obra para condução e colheita do canavial irrigado. Para a análise estatística dos dados, foi utilizado o software de licença livre SISVAR (Ferreira, 2011). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade. Para o fator Lâminas de irrigação realizou-se o desdobramento por meio de análise de regressão. Já para os tipos de aplicação, gotejamento intermitente e contínuo foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade, para comparação entre as médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3, observa-se o efeito das lâminas de irrigação na produtividade da cultura. Para lâmina de 103% da ET_c (827,4 mm) obteve-se a máxima produtividade da cana-de-açúcar com média de $154,9 \text{ Mg ha}^{-1}$. Entretanto, observa-se que houve uma leve redução do rendimento produtivo da lavoura a medida que se aplicou uma lâmina de 120% (964,0 mm), para tanto, obteve-se uma produtividade média de $151,9 \text{ Mg ha}^{-1}$. Para cana submetida a lâmina de 40% da ET_c (321,3 mm) obteve-se o menor rendimento produtivo de $113,50 \text{ Mg ha}^{-1}$. Segundo Gava et al. (2011), o crescimento e o desenvolvimento das plantas são afetados tanto pela falta quanto pelo excesso do suprimento de água. Esse fato certamente explica valores decrescentes na medida que há uma aplicação de uma lâmina superior ao padrão que seria o suprimento integral da evapotranspiração da cultura.

A produtividade das plantas submetidas a irrigação com aplicação intermitente ou pulsada foi superior à daquelas submetidas a irrigação contínua, incrementando cerca de 9,18% de produtividade na cana-de-açúcar (Figura 3). Esses resultados podem estar atrelados a melhor eficiência do uso de água, onde segundo Seron et al. (2015), a técnica do gotejamento

intermitente permite minimizar os efeitos nocivos do déficit hídrico, e ainda incrementa a produtividade mantendo-se a irrigação real necessária, e inclusive permitindo a redução no requerimento de água.

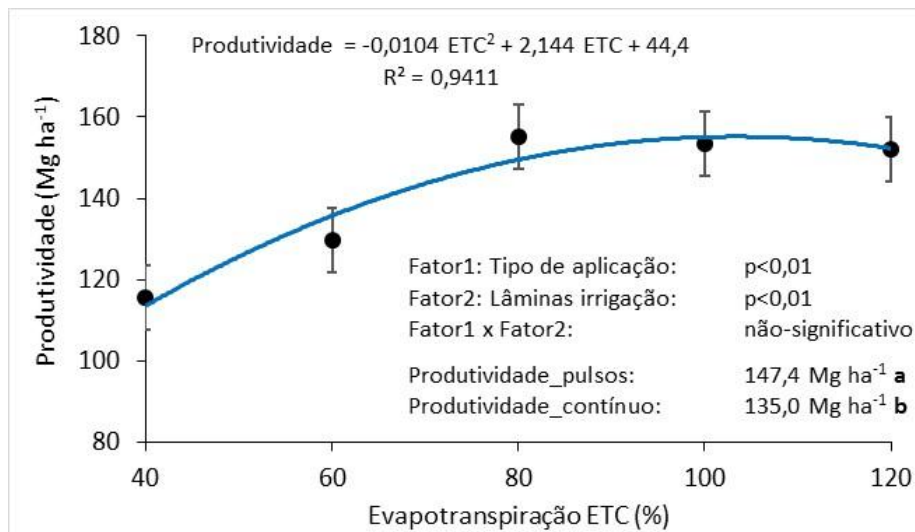


Figura 3. Análise de Regressão para Produtividade da Cana-de-açúcar. Carpina-PE. As barras verticais em cada ponto representam o erro padrão. As letras diferentes para as médias indicam diferença significativa pelo teste de Tukey.

Os ganhos produtivos observados principalmente em situação de irrigação com lâminas inferiores a 100% da Etc, indicam que a adoção do gotejamento intermitente melhora a manutenção da umidade no sistema radicular, aumentando a uniformidade e potencializando a absorção e eficiência de água e nutrientes (Cote et al., 2003; Elmaloglou e Diamantopoulos, 2007). O aumento da frequência de irrigação, acompanha um ganho positivo na absorção de água pela planta, evidenciando-se no incremento da densidade e espessura da raiz, isto implica diretamente no rendimento produtivo (Assouline et al., 2012). Em vista disto, podemos tecer os seguintes comentários: (a) o aumento da frequência de irrigação proveniente do gotejo intermitente gerou um acréscimo de 9,0% na produtividade em relação ao gotejo contínuo; (b) a reposição de 103% da ETC via gotejo intermitente proporciona a maior produtividade das plantas.

Na tabela 4, apresentam-se os custos de produção, bem como a receita líquida (RL) para cada tratamento. Observa-se que para as plantas submetidas ao gotejamento subsuperficial intermitente ou pulsado houve viabilidade financeira nos tratamentos com aplicação de lâminas correspondentes a 80%, 100% e 120% da evapotranspiração da cultura (ETc). Nesses tratamentos, a receita líquida foi positiva, indicando a eficácia econômica da irrigação intermitente para os níveis aplicados.

Tabela 4. Receita Líquida calculada para cana-de-açúcar sob gotejamento subsuperficial contínuo e intermitente.

ETc (%)	Tempo de irrigação (h)	Custo de Energia* (R\$ ha ⁻¹)	Demais Custos** (R\$ ha ⁻¹)	RB (R\$ ton ⁻¹)	RL*** (R\$ ha ⁻¹)
Irrigação intermitente					
40	321,3	308,5	30.700,0	26.460,2	- 4.548,2
60	481,9	462,7	30.700,0	30.787,3	- 375,4
80	642,6	616,9	30.700,0	38.915,4	7.598,5
100	803,3	771,2	30.700,0	37.072,2	5.601,1
120	963,9	925,4	30.700,0	34.231,6	2.606,2
Irrigação contínua					
40	321,3	308,5	30.700,0	22.240,6	- 8.767,9
60	481,9	462,7	30.700,0	25.380,1	- 5.782,6
80	642,6	616,9	30.700,0	31.412,0	95,0
100	803,3	771,2	30.700,0	29.401,9	- 2.069,3
120	963,9	925,4	30.700,0	27.892,4	- 3.733,0

*Potência instalada de 0,8 KW ha⁻¹, Tarifa de energia de R\$ 1,20 KWh⁻¹; **Implantação e manutenção do sistema de irrigação, preparo do solo, plantio, adubação, tratos culturais e colheita; *** Valor da RB subtraído do custo de Energia e demais custos.

O maior valor da receita líquida de R\$ 7.598,5 ha⁻¹ e foi obtido para lâmina de reposição equivalente a 80% da ETc. De outra maneira, quando as plantas foram submetidas ao gotejamento subsuperficial contínuo, os valores de receita líquida foram negativos para os tratamentos aplicados, a menos daquele em que a lâmina aplicada foi de 80% da ETc. É importante destacar, no entanto, que o valor da Receita líquida, neste caso, foi de apenas R\$ 95,0 ha⁻¹, ou seja, um valor 80 vezes menor que a receita líquida para mesma lâmina aplicada por gotejo intermitente.

CONCLUSÕES

O uso do gotejamento subsuperficial intermitente resulta em maior produtividade de colmos de cana-de-açúcar em comparação com o gotejamento contínuo. A lâmina de reposição de 103% da evapotranspiração da cultura (ETc) proporciona a máxima produtividade física de colmos com 154,9 Mg ha⁻¹. Considerando a máxima rentabilidade do cultivo da cana-de-açúcar, recomenda-se a lâmina de 80% da ETc aplicada de maneira intermitente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola-PGEA/UFRPE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELRAOUF, R.E.; ABOU-HUSSEIN, S.D.; REFAIE K.M.; EL-METWALLY, I.M. Effect of pulse irrigation on clogging emitters, application efficiency and water productivity of potato crop under organic agriculture conditions. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 6(3), 807-816, 2012.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 300p. (FAO. **Irrigation and drainage paper**, 56).

ASSOULINE, S.; MOLLER, M.; FURMAN, A.; NARKIS, K.; SILBER, A. **Impact of water regime and growing conditions on soil-plant interactions: from single plant to field scale**. *Vadose Zone J.*, 11, 3-14, 2012.

COTE, C.; BRISTOW, K.; CHARLESWORTH, P.; COOK, F.; THORBUM, P. Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation. **Irrigation Science**, 22(1), 143-156, 2003.

CRUZ, R.I.F.; SILVA, G.F, SILVA, M.M.; SILVA, A.H.S.; SANTOS JUNIOR, J.A.; SILVA, E.F.F. Productivity of irrigated peanut plants under pulse and continuous dripping irrigation with brackish water. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.34, n.1, p.208-218, 2021.

ELMALOGLU, S.; DIAMANTOPOULOS, E. Wetting front advance patterns and water losses by deep percolation under the root zone as influenced by pulsed drip irrigation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 90, n. 1, p. 160–163, 2007.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), 35(6), 1039-1042, 2011.

GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C.; GERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KOLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejo de sequeiro e irrigado por

gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.15, n.3, p. 250-255, 2011. DOI: 10.1590/S1415-43662011000300005.

MENEZES, S.M.; SILVA, G.F.; SILVA, M.M.; OLIVEIRA FILHO, R.A.; JARDIM, A.M. R.F.; SILVA, J.R.I.; SILVA, E. F.F.; SILVA, J.V.; SANTOS, M.A.L. Pulse Drip Irrigation Improves Yield, Physiological Responses, and Water-Use Efficiency of Sugarcane. **Water Conservation Science And Engineering**, v. 9, p. 1-14, 2024.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018.

SERON, C. C.; LORENZONI, M. Z.; SOUZA, A. H. C.; MALLER, A.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A. Crescimento da cultura do pepino irrigado por pulsos. In: **IX EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica**. UniCesumar, Maringá, n. 9, p. 4-8, 2015.

SILVA, A.H.S.; SANTOS JUNIOR, J.A.; SILVA, M.M.; SILVA, G.F.; CRUZ, R.I.F.; MEDEIROS, S.S.; FREIRE, M.M. Production and water relations of peanut irrigated with brackish water under pulse and continuous drip. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, v.26, n.11, p.789-796, 2022.

SILVA, K.E. **Gotejamento pulsado e contínuo com doses de nitrogênio na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar**. 2023. 54p. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) – Pós-Grauação em Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, 2023.

SOUZA, C.S.; SILVA, G.F.; COSTA, M.V.G.; SILVA, M.M.; SILVA, J.V.B.; MENEZES, S.M.; COSTA, A.F.; DINIZ, A.A. Continuous and pulse fertigation on the accumulation and export of nutrients by cowpea. **Revista Caatinga**, v. 37, p. 1-12, 2024.

ZAMORA, V.R.O.; SILVA, M.M.; SANTOS JÚNIOR, J.A.; SILVA, G.F.; MENEZES, D.; ALMEIDA, C.D.G.C. Assessing the productivity of coriander under different irrigation depths and fertilizers applied with continuous and pulsed drip systems. **Water Science and Technology-Water Supply**, v. 21, p. 1-10, 2021.