

BULBOCALC PARA DETERMINAÇÃO DO NÚMERO E ESPAÇAMENTO ENTRE EMISSORES PARA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA POR GOTEJAMENTO EM CULTURAS PERENES

JOÃO DE JESUS GUIMARÃES¹; MARA LÚCIA CRUZ DE SOUZA GUIMARÃES² E RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ-ROMÁN³

¹ Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), Av. Universitária, 3780, Altos do Paraíso, 18610-034, Botucatu, São Paulo, Brasil, joaodejesus.guimaraes@gmail.com.

² Departamento de Ciências Químicas e Biológicas, Instituto de Biociências (IBB/UNESP), Rua Prof. Dr. Antônio Celso Wagner Zanin, 250, Distrito de Rubião Junior, 18618-689, Botucatu, São Paulo, Brasil, mara.cruzguimaraes@gmail.com.

³ Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), Av. Universitária, 3780, Altos do Paraíso, 18610-034, Botucatu, São Paulo, Brasil, rodrigo.roman@unesp.br.

1 RESUMO

O dimensionamento de sistemas de irrigação localizada por gotejamento requer o conhecimento da geometria do bulbo molhado, o qual permite determinar a área molhada pelo emissor e atender o pressuposto da área mínima molhada e da sobreposição necessária. Este trabalho tem como objetivo determinar o número e o espaçamento entre emissores para irrigação localizada por gotejamento em culturas perenes por meio de uma planilha eletrônica simplificada. A planilha eletrônica BULBOCALC foi elaborada no software Microsoft Excel ® utilizando a linguagem de programação – *Visual Basic for Applications* (VBA). Para validação adotou-se dois estudos de caso, sendo um por meio de método empírico e outro pelo método de campo. De forma simples, a BULBOCALC se mostrou uma ferramenta eficaz para determinar o número e espaçamento entre emissores, sendo ainda, possível visualizar graficamente a geometria do bulbo molhado para testes de campo.

Palavras-chave: agricultura irrigada, sistemas de irrigação, microirrigação, emissores.

**GUIMARÃES, J. J.; GUIMARÃES, M. L. C. S.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M
BULBOCALC FOR DETERMINING THE NUMBER AND SPACING BETWEEN
EMITTERS FOR LOCALIZED DRIP IRRIGATION IN PERENNIAL CROPS**

2 ABSTRACT

The design of localized drip irrigation systems requires knowledge of the geometry of the wet bulb, which allows for determining the area wetted by the emitter and meeting the assumption of the minimum wetted area and the necessary overlap. This work aims to determine the number and spacing between emitters for localized drip irrigation in perennial crops via a simplified electronic spreadsheet. The BULBOCALC spreadsheet was created in Microsoft Excel® software via the following programming language: Visual Basic Applications (VBAs). For validation, two case studies were adopted, one using an empirical method and the other using the field method. Simply put, BULBOCALC proved to be an effective tool for determining the

number and spacing between emitters, and it is also possible to graphically visualize the geometry of the wet bulb for field tests.

Keywords: irrigated agriculture, irrigation systems, micro-irrigation, emitters.

3 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma técnica que consiste na aplicação de água através de equipamentos ou métodos, a fim de atender a demanda hídrica, total ou parcial das plantas para atingir níveis desejáveis de produção e/ou estética exigidos pelo usuário. Esta técnica quando utilizada com critério, respeito aos princípios hidráulicos e ambientais, gera benefícios econômicos e sociais e contribui significativamente para o aumento da produção agrícola e segurança alimentar.

Na irrigação, a água é aplicada por meio de quatro principais métodos, os quais são classificados quanto a forma de aplicação da água por: irrigação por superfície, subterrânea, aspersão e localizada (Bernardo *et al.*, 2019). Dentre esses métodos, o mais eficiente no uso da água é a irrigação localizada, a qual utiliza o sistema de irrigação por gotejamento e microaspersão (Frizzone, 2012; Hasan *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2024).

A irrigação localizada apresenta como principais características: alta frequência e baixa intensidade de aplicação de água. Além disso, esse método aplica água diretamente na região do sistema radicular, reduz perdas por evaporação e percolação profunda e apresenta alta uniformidade de aplicação (Guo; Li, 2024). Outra característica importante é a área úmida formada pelo emissor, denominada de bulbo molhado, o qual dependendo de alguns fatores, como vazão e espaçamento entre emissores, pode-se formar uma faixa molhada (Bernardo *et al.*, 2019).

O bulbo molhado é formado devido aos emissores liberarem uma pequena vazão, em um determinado local, deste modo,

quando a água flui do emissor para o solo, ela atinge uma área pequena da superfície do solo, cujo raio aumenta à medida que a irrigação continua (Pizarro, 1996; Vishwakarma *et al.*, 2023). A formação do bulbo molhado no solo é influenciada pela estrutura, textura e umidade inicial do solo, pela vazão do emissor, pela frequência e duração da irrigação, pelo movimento capilar da água e pela capacidade de retenção de água do solo (Levien *et al.*, 2010; Ortiz-Samprón *et al.*, 2024).

Determinar a geometria do bulbo molhado é crucial para o planejamento e manejo eficiente da irrigação localizada, especialmente no que diz respeito à estimativa do volume de solo molhado (Martí *et al.*, 2024). Ademais, o conhecimento do diâmetro máximo do bulbo molhado permite determinar o número de emissores por planta necessário para se atingir a porcentagem de área a ser molhada por planta, o que influencia diretamente no dimensionamento hidráulico e no manejo da irrigação (Frizzone, 2012; Vishwakarma *et al.*, 2023).

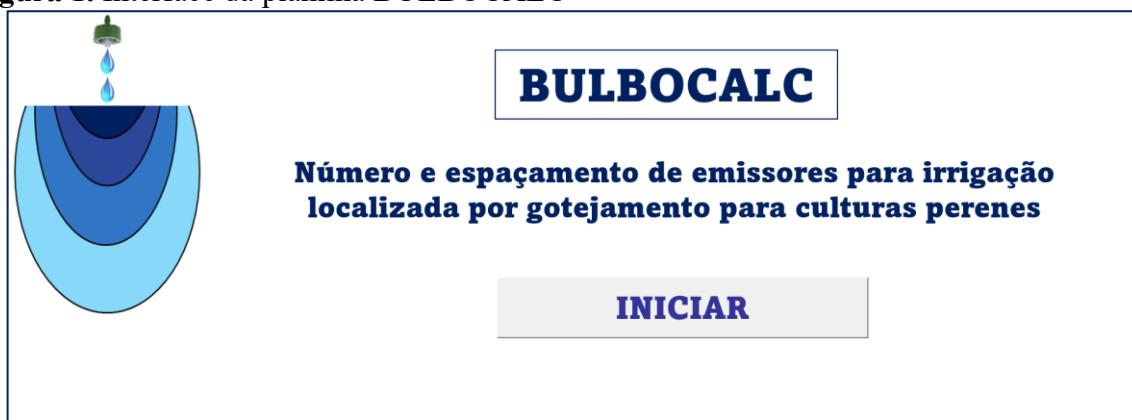
A geometria do bulbo molhado pode ser determinada ou estimada por meio de métodos analíticos, numéricos ou empíricos, além da realização de ensaios de campo. Os métodos empíricos oferecem uma maneira aproximada de estimar as dimensões do bulbo molhado, fazendo uso de informações relacionadas ao sistema de irrigação e dados do solo, como a vazão do gotejador e a condutividade hidráulica do solo (Maia; Levien, 2010). Keller (1984) elaborou um método para a estimativa do diâmetro máximo do bulbo molhado em função da textura, do grau de estratificação do solo e da profundidade das raízes considerando um gotejador com vazão de $4,0 \text{ L h}^{-1}$.

Cada método requer a coleta de dados e uma resolução com diferentes níveis de complexidade (Vishwakarma *et al.*, 2023). Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo determinar o número e o espaçamento entre emissores para irrigação localizada por gotejamento em culturas perenes por meio de uma planilha eletrônica simplificada.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para facilitar e automatizar os cálculos para determinação do número e espaçamento entre emissores em irrigação localizada por gotejamento, elaborou-se uma planilha habilitada para macros do Microsoft Excel (.xlsm). A planilha denominada BULBOCALC (Figura 1) foi desenvolvida por meio do software Microsoft Excel®, utilizando a linguagem de programação do *Visual Basic For Applications* (VBA).

Figura 1. Interface da planilha BULBOCALC



A BULBOCALC permite que o usuário escolha duas formas para o cálculo do número de emissores por planta (NE) e o espaçamento entre emissores (Se). Para isso, basta clicar na opção “SIM” se realizou o teste de bulbo em campo ou “NÃO” se foi obtido o valor do diâmetro do bulbo (Dw) por algum método empírico, como por exemplo, o proposto por Keller (1984) (Figura 2A).

Para a opção “SIM” o usuário deverá preencher algumas informações, tais como: clima da região, espaçamento entre plantas e entre linhas, sobreposição desejada, número de medições do diâmetro do bulbo e profundidade de medição do bulbo (Figura 2B). Já para a opção “NÃO”, deverá informar o diâmetro máximo do bulbo molhado (Dw), clima da região, espaçamento entre plantas e entre linhas e a sobreposição desejada (Figura 2C).

Figura 2. Seleção do método e preenchimento das informações para realização dos cálculos

O bulbo molhado (D_w) e a sua geometria podem ser determinados por métodos empíricos e diretos. O método empírico desenvolvido por Keller (1984) para determinar o bulbo molhado (D_w)

considera a textura do solo, profundidade do sistema radicular e o grau de estratificação do solo para gotejador com vazão de $4,0 \text{ Lh}^{-1}$ (Tabela 1).

Tabela 1. Método indireto para estimar o diâmetro do bulbo molhado (D_w) para diferentes texturas do solo, profundidade do sistema radicular (Z) e grau de estratificação do solo.

z (m)	Textura	Grau de estratificação do solo		
		1	2	3
0,75	Grossa	0,50	0,80	1,10
	Média	0,90	1,20	1,50
	Fina	1,10	1,50	1,80
1,50	Grossa	0,80	1,40	1,80
	Média	1,20	2,10	2,70
	Fina	1,50	2,00	2,40

Sendo: Z – profundidade do sistema radicular em m, 1 – homogêneo, 2 – pouco estratificado e 3 – muito estratificado.

Fonte: Keller (1984).

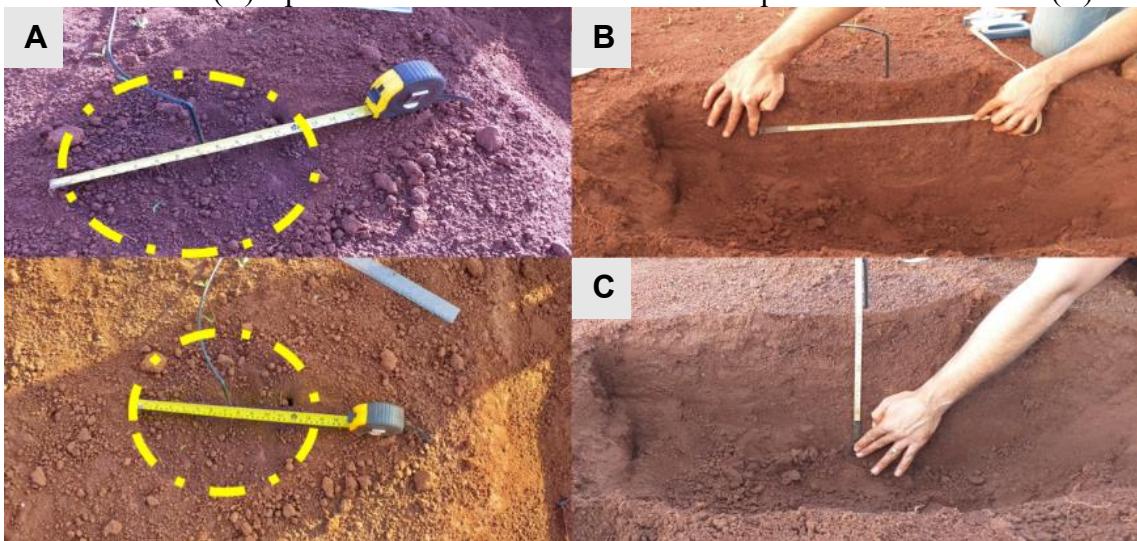
O método direto, como por exemplo, da trincheira (Battam; Sutton; Boughton, 2003; Maia *et al.*, 2010) pode ser utilizado para determinar a geometria do bulbo molhado. O respectivo método consiste na abertura de uma trincheira no centro do bulbo molhado, abaixo do gotejador após o

cessamento da irrigação. A profundidade da trincheira pode variar quanto ao tipo de solo.

Dentre os parâmetros para quantificar a geometria do bulbo molhado destacam-se o diâmetro superficial (Figura 3A), o diâmetro em diferentes profundidades, o diâmetro máximo (Figura 3B), a profundidade do diâmetro máximo e

profundidade máxima (Figura 3C), os quais são mensurados após abertura da trincheira.

Figura 3. Diâmetro superficial (A), diâmetro molhado em diferentes profundidades e diâmetro máximo (B) e profundidade do diâmetro máximo e profundidade máxima (C).



Para validação da planilha eletrônica BULBOCALC foi aplicado dois estudos de caso, os quais estão apresentados a seguir.

Estudo de caso 1: Considerou-se uma cultura hipotética com a profundidade do sistema radicular (z) de 0,75 m, espaçamento entre plantas 1,00 m e entre linhas de 1,50 m, clima da região foi o árido e um solo com textura média e homogêneo. Sendo assim, o diâmetro do bulbo molhado (D_w) obtido empiricamente pelo método de Keller (1984) foi de 0,90.

Estudo de caso 2: Realizou-se o teste de bulbo molhado através do método da trincheira (direto) em área experimental do Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia (DERS) da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), campus Botucatu, São Paulo, Brasil, no ano de 2021, cujo solo foi um Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa. O espaçamento entre plantas de 1,75 m e entre linhas de 1,20 m. O emissor utilizado foi do Tipo botão modelo ClickTif HD autocompensante e antidrenante com vazão de 2 L h^{-1} e pressão de serviço de 10 a 40 mca. O tempo de irrigação estabelecido foi de 45 minutos e após uma hora do

cessamento da irrigação foram abertas três trincheiras com o auxílio de um enxadão em três pontos da área experimental. Cada trincheira apresentou 1,20 m de comprimento e 1,0 m de profundidade.

Para quantificar a geometria do bulbo molhado analisou-se os seguintes parâmetros: diâmetro superficial (DS), diâmetro a cada 0,05 m de profundidade (DM) e diâmetro máximo ($D_{w\max}$), profundidade do diâmetro máximo ($Z_{D\max}$) e profundidade máxima (Z_{\max}) do bulbo molhado. Os respectivos parâmetros foram medidos com o auxílio de uma trena metálica e de uma fita métrica, ambas graduadas em centímetros (cm). Para efeito de cálculo da AM_{\min} adotou-se a P adotada 20%, visto que a região de Botucatu apresenta verão quente e úmido e inverno frio e seco (Franco *et al.*, 2023).

O número de emissores por planta (NEP) foi determinado a partir do cálculo da área molhada mínima (AM_{\min}) e da área molhada determinada em campo (AM) pelo teste de bulbo. Isto significa que a AM deve ser maior ou igual a AM_{\min} para que o NEP seja escolhido corretamente.

A área molhada mínima (AM_{min}) estimada pela Equação 1 considera a área ocupada pela planta ($Sp \times Sl$) e a percentagem da área molhada (P). Segundo Bernardo *et al.* (2019), a P deve ser superior a 33% em regiões de clima árido e 20% em regiões de clima úmido.

$$AM_{min} = Sp \times Sl \times P \quad (1)$$

Onde: AM_{min} é a área molhada mínima (m^2), Sp é o espaçamento entre plantas (m), Sl é o espaçamento entre linhas de plantio (m) e P é a percentagem de área molhada (decimal).

A área molhada determinada em campo (AM) foi dada pela Equação 2 e o número de emissores por planta (NEP) pela Equação 3.

$$AM = \frac{\pi \times D_{max.}^2}{4} \quad (2)$$

Onde: AM é a área molhada determinada em campo (m^2), $D_{max.}$ é o diâmetro máximo médio na horizontal do bulbo molhado (m) obtido no teste de geometria.

$$NEP = AM \times NE \quad (3)$$

Onde: NEP é número de emissores por planta, AM é a área molhada determinada

em campo (m^2) e NE é o número de emissores utilizados no teste de geometria do bulbo.

Para a determinação do espaçamento entre emissores (Se) foi utilizado a Equação 4, a qual considera raio molhado ($\frac{D_{max.}}{2}$) que pode ser obtido método empírico proposto por Keller (1984) ou método da trincheira (Battam; Sutton; Boughton, 2003; Maia *et al.*, 2010) e a sobreposição desejada dos bulbos (a). A sobreposição deve estar entre 15 e 30%, pois valores abaixo de 15% podem formar barreiras de solo seco e causar acúmulo de sais.

$$Se = r \times (2 - a) \quad (4)$$

Onde: Se é espaçamento entre emissores (m), r é o raio molhado (m) e a é a sobreposição desejada (decimal).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o estudo de caso 1, de acordo com os resultados obtidos por meio da BULBOCALC (Figura 4) são necessários dois emissores por planta espaçados a 81 cm (0,81 m) para que a sobreposição definida seja atendida, utilizando o método empírico.

Figura 4. Resultados para o estudo de caso 1 – método empírico

RESULTADOS	
Área molhada por um emissor (m^2)	0,64
Número de emissores por planta	2,00
Área molhada com 2 emissores (m^2)	1,27
Espaçamento entre emissores (cm)	81,00

Analizando o estudo de caso 2, em que se utilizou o método de campo (trincheira), observou-se que os valores médios para o diâmetro superficial (DS) foi

de 0,33 m, diâmetro máximo do bulbo molhado ($D_{max.}$) foi de 0,39 m, profundidade máxima 0,31 m e profundidade do diâmetro máximo de 0,10 m (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados da geometria do bulbo molhado em Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa utilizando o método da trincheira

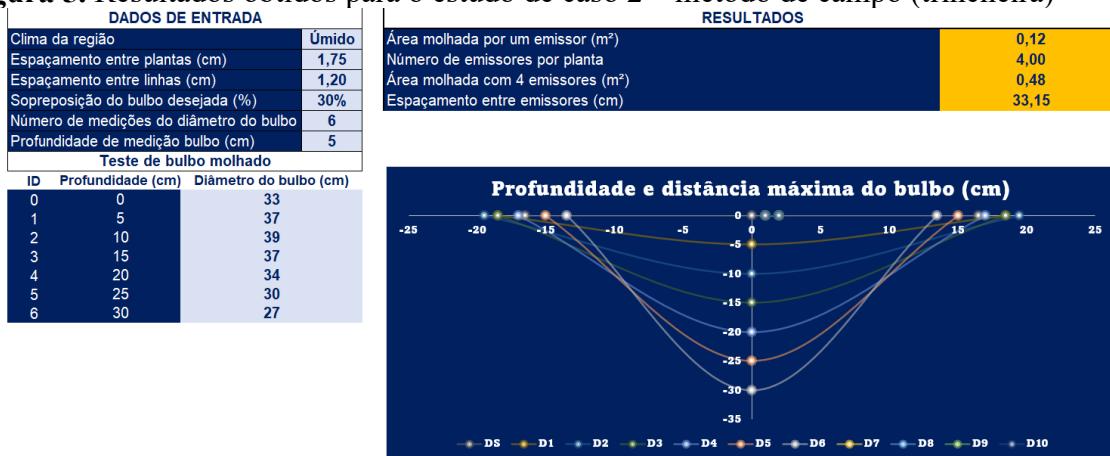
Trincheira 1		Trincheira 2		Trincheira 3		Média	
Z (m)	DM (m)						
5	0,34	5	0,40	5	0,37	5	0,37
10	0,40	10	0,36	10	0,42	10	0,39
15	0,39	15	0,33	15	0,39	15	0,37
20	0,37	20	0,30	20	0,35	20	0,34
25	0,34	25	0,25	25	0,33	25	0,30
30	0,32	30	0,22	30	0,29	30	0,27
DS	0,33	DS	0,33	DS	0,34	DS	0,33
Dw _{máx.}	0,40	Dw _{máx.}	0,40	Dw _{máx.}	0,42	Dw _{máx.}	0,41
Z _{máx.}	0,30	Z _{máx.}	0,29	Z _{máx.}	0,33	Z _{máx.}	0,31
ZD _{máx.}	0,10						

Em que: Z – profundidade; DM – diâmetro do bulbo molhado a cada 0,05 m de profundidade; DS – diâmetro superficial do bulbo; Dw_{máx.} diâmetro máximo do bulbo; Z_{máx.} – profundidade máxima; ZD_{máx.} – profundidade do diâmetro máximo.

Na Figura 5 estão apresentados os resultados, bem como, o gráfico da profundidade e distância máxima do bulbo molhado, sendo possível observar que são necessários quatro emissores por planta

(NEP), e estes devem estar espaçados (se) a 33,15 cm (0,33 m) para atender a sobreposição de 30%. Ademais, o Dw_{máx.} para o solo estudado situa-se na profundidade de 10 cm (0,10 m).

Figura 5. Resultados obtidos para o estudo de caso 2 – método de campo (trincheira)



A textura do solo é um dos fatores que influencia a geometria do bulbo molhado. Solos com textura argilosa apresentam grande quantidade de microporos e uma menor taxa de infiltração básica da água (TIB), sendo assim, a formação do bulbo molhado se dá principalmente na horizontal, corroborando com os resultados obtido no teste de campo. Além disso, quando a vazão do emissor é

constante, a variação do bulbo não é significativa no tempo, mas quando o tempo de irrigação é muito grande o bulbo tende a se desenvolver em profundidade resultando na percolação da água, ou seja, perdas de água e/ou nutrientes (Pizarro, 1996).

O conhecimento da geometria do bulbo molhado por meio da BULBOCALC permite conhecer as dimensões e o volume de solo molhado. Além disso, torna-se uma

ferramenta para otimização do uso da água (redução da percolação profunda da água), determinação do número de emissores por planta, projeto hidráulico do sistema e manejo da água de irrigação.

6 CONCLUSÕES

A planilha eletrônica BULBOCALC é uma ferramenta prática que possibilita ao usuário realizar cálculos fundamentais para o dimensionamento de sistema de irrigação localizada por gotejamento em culturas perenes. Além disso, apresenta graficamente os parâmetros da geometria do bulbo molhado, possibilitando determinar o número e o espaçamento entre emissores para irrigação localizada por gotejamento.

7 REFERÊNCIAS

- BATTAM, M. A.; SUTTON, B. G.; BOUGHTON, D. G. Soil pits as a simple design aid for subsurface drip irrigation systems. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 22, p. 135-141, 2003.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 9. ed. atual. ampl. Viçosa, MG: UFV, 2019.
- FRIZZONE, J. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. Piracicaba: Esalq/USP, 2012.
- FRANCO, J. R.; DAL PAI, E.; CALÇA, M. V. C.; RANIERO, M. R.; DAL PAI, A.; SARNIGHAUSE, V. C. R.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. Atualização da normal climatológica e classificação climática de Köppen para o município de Botucatu-SP. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 77-92, 2023.
- GUO, H.; LI, S. A review of drip irrigation's effect on water, carbon fluxes,
- and crop growth in farmland. **Water**, Balmain, v. 16, n. 15, p. 2206-2224, 2024.
- HASAN, N.; PUSHPALATHA, R.; MANIVASAGAM, V. S.; ARLIKATTI, S.; CIBIN, R. Global sustainable water management: a systematic qualitative review. **Water Resources Management**, Dordrecht, v. 37, p. 5255-5272, 2023.
- KELLER, J. **Sprinkler irrigation**. Logan: Utah State University, 1984.
- LEVIEN, S. L. A.; SILVA C. A.; MAIA, C. E.; MEDEIROS, J. F. Estimativa de largura e profundidade de bulbo molhado em solos de textura média sob irrigação por gotejamento superficial. **Encyclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-10, 2010.
- LIU, X.; LIU, J.; HUANG, C.; LIU, H.; MENG, Y.; CHEN, H.; MA, S.; LIU, Z. The impacts of irrigation methods and regimes on the water and nitrogen utilization efficiency in subsoiling wheat fields. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v. 295, article 108765, p. 1-13, 2024.
- MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A. Estimativa de dimensões de bulbo molhado em irrigação por gotejamento superficial aplicando modelo de superfície de resposta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1302-1308, 2010.
- MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A.; MEDEIROS, J. F.; DANTAS NETO, J. Dimensões de bulbo molhado na irrigação por gotejamento superficial. **Revista Ciência Agronômica**, Santa Maria, v. 41, n. 1, p. 149-158, 2010.
- MARTÍ, P.; GONZÁLEZ-ALTOZANO, P.; GASQUE, M.; TURÉGANO, J. V.; ROYUELA, A. Geometric overlapping coefficients for calculating the required emitters per plant in drip irrigation.

Irrigation Science, Heidelberg, v. 42, p. 657-676, 2024.

ORTÍZ-SAMPRÓN, E. J.; CASTAÑEDA-VELÁZQUEZ, D.; VARGAS-RODRÍGUEZ, P.; MÉNDEZ-JOCIK, A.; DORTA-ARMAIGNAC, A.; QUIALA-ORTÍZ, E. Influence of the effective wet bulb on the design of drip irrigation systems. **Revista Ciências Técnicas Agropecuarias**, San Jose de las Lajas, v. 33, n. 3, p. 1-9, 2024.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia:** goteo, microaspersión e exudación. 3. ed. rev. ampl. Madrid: Mundi-Prensa, 1996.

VISHWAKARMA, D. K.; KUMAR, R.; TOMAR, A. S.; KURIKI, A. Eco-hydrological modeling of soil wetting pattern dimensions under drip irrigation systems. **Heliyon**, Londres, v. 9, n. 7, article e18078, p. 1-19, 2023.