

DETERMINAÇÃO DO BULBO MOLHADO EM GOTEJAMENTO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL PARA CACHOEIRA DO SUL-RS

HENRIQUE SLAIFFER¹ E EZEQUIEL SARETTA²

¹Graduando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul (Rodovia Taufik Germano, 3013, 96503-205, Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil). E-mail: henriqueslaiffer@hotmail.com.

²Professor da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul (Rodovia Taufik Germano, 3013, 96503-205, Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil). E-mail: ezequiel.saretta@ufsm.br.

1 RESUMO

O entendimento da dinâmica do bulbo formado por emissores de gotejamento em uma aplicação pontual é importante para o dimensionamento de projetos. Com o aumento da instalação de sistemas de gotejamento subsuperficial, a quantificação do bulbo nessa condição também é fundamental para o sucesso do empreendimento. Por isso, este trabalho buscou avaliar as dimensões do bulbo e da área molhada em função da vazão, tanto para a aplicação em superfície quanto em subsuperfície, em Argissolo no município de Cachoeira do Sul, RS. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente aleatorizado, em esquema fatorial duplo, composto por cinco vazões (1 a 5 L/h) para duas posições de emissão (superfície e 0,1 m de profundidade), medindo-se o bulbo em profundidade, além da área horizontal e profundidade alcançada. Não houve interação entre os fatores de teste, logo, o projetista necessita apenas uma condição (superficial e subsuperficial) para o dimensionamento do sistema de irrigação. O diâmetro superficial do bulbo molhado, diâmetro máximo e profundidade se relacionaram com a vazão por meio de uma equação potencial, enquanto a área se ajustou ao modelo linear. O diâmetro máximo do bulbo molhado tende a ser obtido em superfície, sendo esse suficiente para a caracterização da área molhada, mesmo para a aplicação em sistema de irrigação subsuperficial.

Palavras – Chave: dinâmica do bulbo, projeto de irrigação, irrigação localizada, Argissolo.

SLAIFFER, H.; SARETTA, E.

WET BULB DETERMINATION FROM SURFACE AND SUBSURFACE DRIP IRRIGATION IN CACHOEIRA DO SUL-RS

2 ABSTRACT

The dynamics of the bulb formed by emitters in a source-point application are important for the sizing of projects. Because of the increasing of the installation of subsurface drip irrigation, quantification of the bulb at this condition is fundamental for the success of the irrigation enterprises. Therefore, this work aimed to evaluate bulb dimensions and wetted area as a function of flow, both on the surface and in subsurface application, at Argisil in the municipality of Cachoeira do Sul, RS. Experimental design was completely randomized in double factorial, composed of five emitter flows (1 to 5 L/h) and two emitter positions (surface and 0.1 m of depth), measuring the bulb at various depths, besides the

horizontal area and the depth reached. There was no interaction between factors, hence the designers need one condition (surface or subsurface) for sizing the irrigation system. The surface wet bulb diameter, maximum diameter, and depth related to flow by a potential equation, while the area adjusted to the linear model. The maximum wet bulb diameter tends to be obtained on the surface, and it is sufficient for the characterization of the wetted area, even for a subsurface irrigation application.

Keywords: bulb dynamics, project of irrigation, localized irrigation, Argisoil.

3 INTRODUÇÃO

A área molhada pelos gotejadores é uma informação básica para projetos de microirrigação. Atualmente para regiões úmidas, recomenda-se que no mínimo 20% da área disponível para a planta seja irrigada, 33% para regiões áridas e 40% para regiões semiáridas (BARROS et al., 2019). Nos primórdios da utilização de sistemas de microirrigação, a fração molhada era superior a 50%, e por vezes alcançava 90%. Contudo, com o desenvolvimento da tecnologia e outras necessidades, a tendência é haver redução. Por outro lado, há tempos se sabe que valores menores de fração molhada tendem a restringir o desenvolvimento radicular, o qual propende a se concentrar próximo ao ponto de emissão, logo a planta pode ficar suscetível ao estresse hídrico e diminuir sua produtividade (BUCKS; DAVIS, 1986).

Também é comum, a instalação de linhas de gotejamento na subsuperfície do solo, evitando-se danos às tubulações nas operações agrícolas (THORBURN; COOK; BRISTOW, 2003), além da busca por maior eficiência na aplicação. Essa estratégia possivelmente leva a uma diferente área molhada do gotejador, com diferentes dimensões para o bulbo. Em solos argilosos, por exemplo, devido a sua menor taxa de infiltração, o diâmetro abrigado pelo bulbo tende a ser maior. Já em solos arenosos, onde a água tende a percolar com maior facilidade, espera-se maior profundidade do bulbo (MAIA; LEVIEN, 2010).

Modelos analíticos e numéricos (KILIC, 2020), regressões não lineares e redes neurais (KARIMI et al., 2020) são opções que vêm sendo avaliadas na predição do bulbo molhado em diferentes condições de solo e posição do emissor. Entretanto, são ajustes até então conduzidos em laboratório a partir de modelos reduzidos, com possível limitação em reproduzir a estrutura indeformada do solo. Com o tempo, tais metodologias serão amplamente empregadas em todas as etapas de um projeto de irrigação, porém dificilmente dispensarão experimentos *in situ* com geração de fonte de dados para o dimensionamento do projeto (THORBURN; COOK; BRISTOW, 2003).

Nesse sentido, o conhecimento sobre o percentual irrigado do solo é relevante e o dimensionamento da área molhada deve estar associado ao uso eficiente da água. Por este motivo, surge a necessidade de condução de experimentos com essa finalidade, especialmente, para culturas longevas como pomares, situação em que o sistema de irrigação será fixo permanentemente. Para que isso aconteça, é necessário o dimensionamento do bulbo molhado do gotejamento, que pode ser expresso por relação matemática com a vazão do emissor e o tempo de aplicação (MAIA; LEVIEN; MEDEIROS, 2010; BEZERRA, 2015). A partir disso, assume-se que a área molhada horizontal se aproxima a um círculo, estimando-a a partir de medições de diâmetro. Mesmo assim, as medições de área não devem ser dispensadas a fim de obter-se estimativas precisas da fração das

raízes que se desenvolve em região seca/úmida (KARIMI et al., 2020).

Pressupondo-se que as dimensões e área molhada do bulbo aumentam conforme a vazão de emissão, objetivou-se neste trabalho avaliar essas variáveis para condições de gotejamento em superfície e subsuperfície do solo, em Cachoeira do Sul, para fornecer informações básicas de dimensionamento aos projetistas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em área experimental da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul (RS). O local é caracterizado por áreas de coxilhas (sequeiro), com altitude média de 60 m, em que o solo predominante é o Argissolo vermelho amarelo, campo nativo em pousio. A região tem expandido as culturas nessas áreas, tanto culturas anuais quanto perenes, requerendo informações acerca de condições para irrigação. A média anual de precipitação é de aproximadamente 1.500 mm, de acordo com as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e dados da estação meteorológica do campus (a partir de 2019).

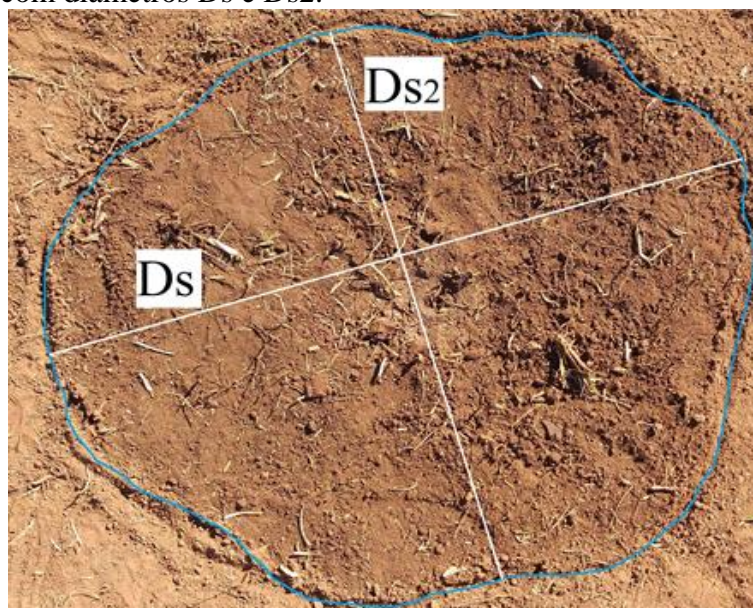
Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente aleatorizado, em

esquema fatorial duplo: cinco vazões (1, 2, 3, 4 e 5 L/h) e duas posições de emissão (superfície e 0,1 m de profundidade), totalizando 10 tratamentos, com duas repetições. Para todos os tratamentos, o tempo de aplicação foi de 2 h, uma vez que sob mesma vazão, o tempo não propicia aumento significativo no movimento horizontal do bulbo (COOK et al., 2006; OULD MOHAMED EL-HAFEDH; DAGHARI; MAALEJ, 2001; WARRICK, 1986).

Para a aplicação de vazões desejadas, utilizou-se um reservatório com mecanismo de boia para manutenção de carga constante, no qual se conectaram microtubos de 4 mm de diâmetro. Válvulas individuais nos microtubos permitiam o ajuste das vazões a serem aplicadas, as quais foram aferidas tanto no início quanto no final dos testes para garantir a estabilidade. Aguardou-se por uma hora após o fim do teste para o início das medições para que cessasse o movimento de água no perfil do solo.

As variáveis analisadas foram: diâmetro superficial (D_s); diâmetro máximo do bulbo (D_m) ao longo de todo o perfil de profundidade; profundidade máxima (P_m) alcançada pelo bulbo em todo perfil; e área do bulbo na superfície do solo, obtida por meio de imagem (Figura 1).

Figura 1. Área do bulbo abrigada em superfície, considerando-se o círculo de diâmetro D_s , ou elipse com diâmetros D_s e D_{s2} .



D_s : Diâmetro na superfície (maior diâmetro da elipse)

D_{s2} : Menor diâmetro da elipse

Com auxílio de uma trena métrica com divisões de 1 mm, mediram-se o D_s e os diâmetros horizontais a cada 5 cm de profundidade, até se atingir o D_m , semelhante ao utilizado por Bezerra (2015) e Maia, Levien e Medeiros (2010). Abriram-se trincheiras em cada ponto de aplicação, nivelando-se o perfil para as medições. Posteriormente, escavou-se verticalmente até atingir a P_m do bulbo.

Para a medição da área, capturaram-se fotografias dos bulbos na superfície do solo, nas quais também havia medição de referência de comprimento (trena métrica). Cada imagem foi importada no software de processamento de imagem ImageJ (pertencente ao National Institutes of Health), ajustando-se sua escala a partir da referência. Também se estimaram as áreas de superfície a partir da medição de D_s , assumindo geometria circular, e da medição do diâmetro menor (D_{s2}) e maior (D_s), assumindo geometria elíptica (Figura 1).

Todas as variáveis mensuradas foram submetidas ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ao nível de 5% de probabilidade. Posteriormente, realizou-se

análise de variância com mesmo nível de significância, desdobrando-se os graus de liberdade da interação quando essa foi significativa. Quando houve efeitos significativos para o fator posição do gotejador, identificou-se o tratamento com maior valor médio. Também, o teste t foi aplicado para avaliar a tendência de aproximação de D_m e D_s .

Para a vazão, por ser fator quantitativo, quando essa apresentou diferença estatística na análise de variância, utilizou-se análise de regressão, avaliando-se os modelos que apresentaram coeficientes significativos. Todas as variáveis medidas foram analisadas para modelo linear, quadrático e potencial (Equação 1), sendo esse último preferido quando houve significância pela extensa utilização na bibliografia. Remover da tabela

$$y = aq^b \quad (1)$$

Em que:

y é a variável medida;

q é a vazão do gotejador, L/h; e

a, b são os coeficientes de ajuste.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de variância não se obteve interação significativa entre a vazão e a posição do gotejador para nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 1). Nem a posição do gotejador teve efeito significativo entre superfície e subsuperfície nas análises.

Essa constatação indica que procedimentos futuros de avaliação ou dimensionamento não necessitam controlar (separar) os efeitos da posição do gotejador, simplificando a execução dos testes e a análise dos resultados em projetos de irrigação subsuperficial nos quais a profundidade de instalação seja até 10 cm.

Tabela 1. Resumo dos resultados da análise de variância para o diâmetro superficial (Ds), diâmetro máximo (Dm) e profundidade máxima do bulbo (Pm).

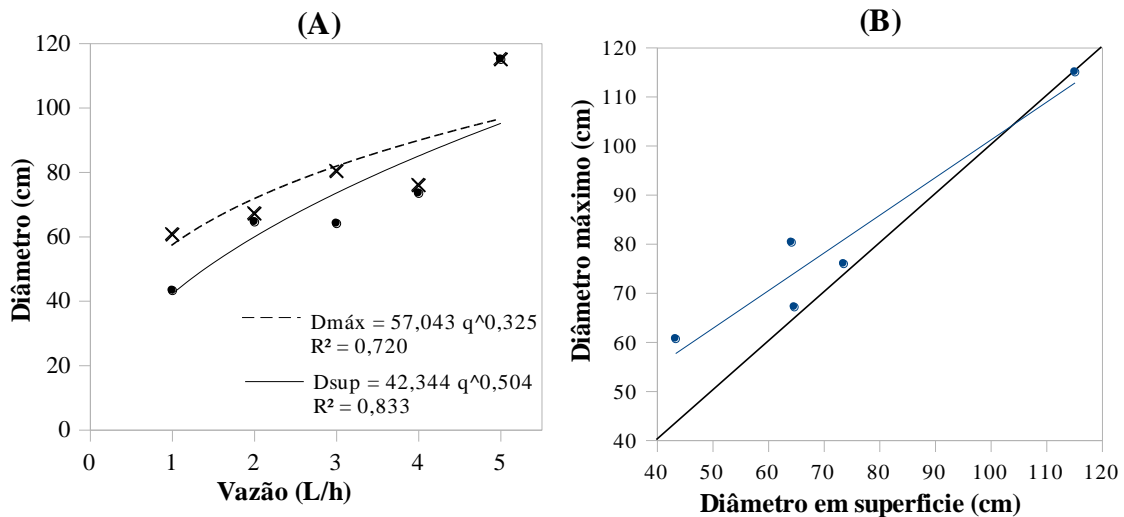
Fator de variação	Ds	Dm	Pm	Área-imagem		
				Área-elipse	Área-círculo	Valor Pr>Fc
Vazão	0,001	0,001	0,002	0,002	0,009	0,001
Posição	0,113	0,966	0,895	0,925	0,583	0,253
Vazão*Posição	0,121	0,856	0,616	0,375	0,451	0,830

Pr = probabilidade, Fc = valor calculado de F – Fisher-Snedecor.

Por outro lado, a vazão apresentou diferença estatística em todas as variáveis analisadas (Tabela 1). Na Figura 2A está a representação da relação entre a vazão e o tamanho do bulbo na superfície, sendo o modelo potencial aquele que apresentou ajuste estatístico pela análise de regressão.

Para vazão de 1 L/h, o valor estimado de diâmetro na superfície foi de 42 cm, alcançando 95 cm com o aumento da vazão até 5 L/h. Como o expoente foi de aproximadamente 0,5, o aumento da vazão não corresponde ao mesmo aumento em tamanho de bulbo na superfície.

Figura 2. Dimensões obtidas em função da vazão e do diâmetro do bulbo (A). Análise de convergência para as dimensões do bulbo (B).



A aplicação de água em subsuperfície, foi capaz de umedecer a superfície do solo em igual proporção à aplicação em superfície. Em um solo com

características semelhantes ao avaliado, Cook et al. (2006) obtiveram resultados próximos ao deste trabalho para emissores em superfície e subsuperfície, tanto para 1 h

quanto para 4 h de aplicação de água, com vazão de 1,65 L/h. De acordo com Thorburn, Cook e Bristow (2003), que avaliaram 29 solos distintos, é esperado que o diâmetro e a profundidade sejam maiores para emissores em superfície em relação aos localizados em subsuperfície, pois parte da água dos emissores enterrados, movimentava-se para cima, reduzindo o volume movimentado nas direções horizontais e verticais.

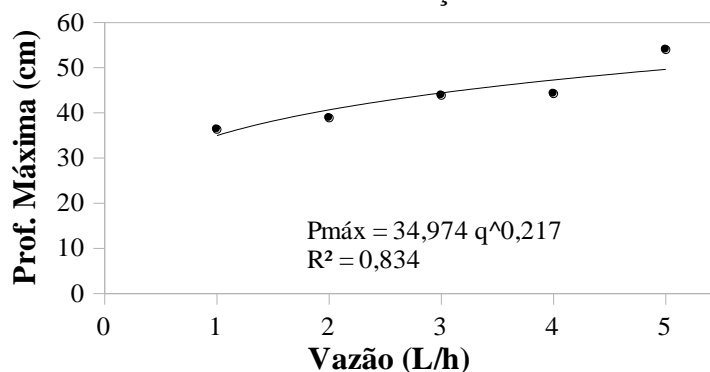
Por outro lado, em testes específicos realizados em um Nitossolo Vermelho, resultados diferentes ao do presente trabalho foram verificados por Barros et al. (2009), concordando com as considerações de Marques, Frizzone e Teixeira (2006) que o gotejamento subsuperficial não proporciona umedecimento satisfatório da superfície do solo.

Esperava-se que a aplicação de água em subsuperfície proporcionasse aumento horizontal do bulbo em profundidade, logo haveria um diâmetro máximo de bulbo e o diâmetro superficial. Contudo, dentro dos

limites de ajuste, as equações apresentaram convergência entre diâmetro máximo e superficial (Figura 2A). Assim, o diâmetro máximo tendeu ao valor de diâmetro superficial, não havendo diferença significativa entre os mesmos (teste t). Observando a Figura 2B, constatou-se que houve convergência dos diâmetros do bulbo em avaliações de bulbo molhado nesse solo e, destacando, portanto, que as medições em superfície são suficientes para a análise.

A profundidade de alcance do bulbo também apresentou ajuste potencial em relação à vazão (Figura 3), semelhante ao observado por Bezerra (2015). Mesmo para a menor vazão, o bulbo chegou à profundidade estimada de 35 cm, aumentando para 50 cm quando a vazão foi de 5 L/h. O projetista deve ter atenção quanto a esse aumento da profundidade, limitando a vazão de acordo com a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura a fim de evitar a percolação da água (SOUZA; MATSURA, 2004).

Figura 3. Profundidade de alcance do bulbo em função da vazão.



Considerando a profundidade efetiva de absorção da maioria das culturas como 40 cm, valor comumente encontrado segundo Pires et al., (2001), verifica-se que vazões acima de 2 L/h foram excessivas para sistemas de gotejamento no solo avaliado, da mesma forma que o resultado obtido para tomate cultivado em solo argiloso por Ould Mohamed El-Hafedh, Daghari e Maalej (2001). Para tubos com gotejador integrado

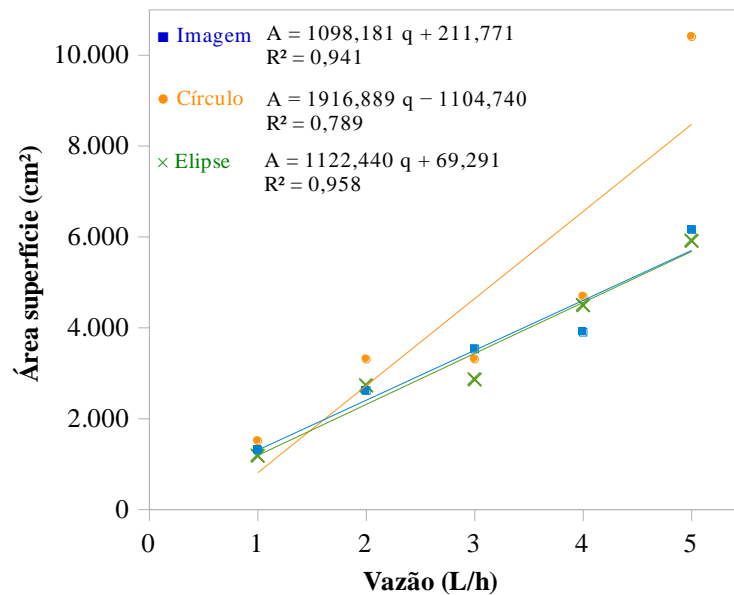
– tipo pastilha, os valores de vazão comumente encontrados comercialmente na região de estudo variam entre 0,5 e 1,5 L/h, adequados aos resultados obtidos neste estudo.

É possível perceber que o aumento do tamanho horizontal do bulbo (Figura 2A) foi mais sensível ao aumento da vazão em relação à profundidade do bulbo (Figura 3). Para a vazão inicial de 1 L/h, o diâmetro

máximo foi de 60,7 cm, aumentando para 115,1 cm quando a vazão aumentou para 5 L/h; e a profundidade aumentou de 36,4 cm para 54 cm. Essa maior evolução do movimento da água no sentido horizontal pelo aumento da vazão em relação à profundidade também foi constatada nas avaliações de Souza e Matsura (2004).

Como houve aumento das dimensões do bulbo (Figura 2), houve também aumento da área medida por imagem, conforme a Figura 4. Porém, diferentemente das variáveis anteriores, apenas o modelo linear foi significativo.

Figura 4. Área horizontal do bulbo na superfície, obtida pela observação de imagem e por geometria (cálculo de área).



Os valores de área superficial obtidos nos testes (Figura 4) foram cerca de 1,5 vezes superiores aos reportados por Ould Mohamed El-Hafedh, Daghari e Maalej (2001) para um solo franco argiloso siltoso, essa divergência ocorreu devido a diferenças naturais entre os solos estudados. Os mesmos autores também observaram comportamento linear entre a vazão e a área molhada, obtendo área molhada de 1,60; 2,70 e 4,80 cm² para as vazões iguais a 2; 4 e 8 L/h, respectivamente.

Normalmente, o tamanho horizontal do bulbo em superfície é considerado como diâmetro, assumindo-se que a aplicação de água possua formato circular. Entretanto, isso deve ser avaliado para cada condição de solo estudada, pois destaca-se como exemplo, a situação constatada por Rosa et al. (2004) para um Latossolo na região

Noroeste do Paraná, para o qual, os autores observaram um avanço horizontal assimétrico no movimento da água ao longo do perfil do solo, que possivelmente variou ao longo do tempo.

Além da relação de área obtida por imagem, na Figura 4 são exibidos os resultados para a área estimada, assumindo-se os formatos circular e elíptico. Para a geometria circular, a medição do tamanho do bulbo foi considerada como diâmetro da figura. Para elipse, considerou-se a medição do tamanho do bulbo como maior diâmetro; e uma medida adicional perpendicular como sendo referente ao menor diâmetro.

Quando admitida como elíptica, a área superficial apresentou resultados semelhantes à imagem e à elipse para todas as vazões. O formato circular teve comportamento semelhante às anteriores até

a vazão 4 L/h, mas superestimou a área quando a vazão foi igual a 5 L/h. Portanto, para vazões até 4 L/h, não há necessidade da consideração do bulbo como elíptico, bastando apenas a realização de uma medição como diâmetro, admitindo-se o bulbo molhado como simétrico para essa região, diferentemente do que foi proposto por Rosa et al. (2004) na região Noroeste do Paraná. Também não há necessidade de imageamento da superfície horizontal para obtenção da área, o que simplifica o processo de estimativa da mesma área.

A partir dos resultados obtidos, tanto de dimensões quanto de área do bulbo, investigações futuras em outros solos da região podem explorar outros parâmetros, como fração molhada ideal para cultivos, gotejamento em condições de *mulching* e declividade da superfície. Ajustes de modelos por meio de redes neurais têm se mostrado eficientes na estimativa dos bulbos, com possibilidade também de aplicação em estudos de irrigação em subsuperfície, conforme explorado por Karimi et al. (2020). Porém, tais investigações ainda são realizadas em laboratório, com solo acomodado em caixas transparentes, visando assim facilitar as medições, porém a estrutura do solo impacta significativamente no padrão de molhamento (THORBURN; COOK; BRISTOW, 2003). Portanto, pesquisas futuras podem incluir novas características que permitam expandir a aplicabilidade dos resultados, facilitando o dimensionamento de sistemas de irrigação.

6 CONCLUSÕES

O diâmetro superficial do bulbo molhado, diâmetro máximo e a profundidade aumentaram com o aumento

da vazão do gotejador (emissor), obedecendo uma relação potencial.

Nas mesmas condições do presente estudo, o diâmetro máximo do bulbo molhado em um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial tende a ser o mesmo que o de superfície, sendo este último suficiente para a caracterização do molhamento.

Vazões superiores a 2 L/h em um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial e superficial na região do presente estudo possivelmente ocasionarão perda de água por percolação, devendo o projetista responsável pelo dimensionamento ter cuidado na seleção do valor da mesma.

A área de superfície do bulbo molhado aumentou linearmente com a vazão, apresentando o mesmo comportamento para os resultados obtidos via imageamento e por meio de formas geométricas circular e elíptica, podendo-se escolher entre essas opções durante a caracterização desta variável em projetos desenvolvidos na região do presente estudo.

A instalação de um sistema de irrigação por gotejamento com emissores localizados tanto em superfície quanto em subsuperfície apresentaram, nas condições do presente estudo, os mesmos resultados, viabilizando que as medições quanto ao bulbo molhado, sejam feitas apenas em uma dessas localizações (superfície ou subsuperfície).

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o auxílio financeiro recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através do projeto 439123/2018-6.

8 REFERÊNCIAS

- BARROS, A. C.; FOLEGATTI, M. V.; SOUSA, C. F.; SANTORO, B. L. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Agriambi**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 700-707, 2009.
- BARROS, A. C.; SILVA, F. F.; ARAÚJO, P. H. V.; VELLAME, L. M.; PINHEIRO, T. S.; NETO, A. L. S. Efeito da fração de área molhada por gotejamento na cultura da melancia. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 25-30, 2019.
- BEZERRA, A. B. **Dinâmica do bulbo molhado no solo por meio da irrigação por gotejamento em perímetros irrigados do vale do submédio São Francisco**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2015.
- BUCKS, D. A.; DAVIS, S. Historical development. *In*: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production: Design, Operation and Management**. Amsterdam: Elsevier Science Publisher, 1986. cap. 1, p. 1-26.
- COOK, F. J.; FITCH, P.; THORBURN, P. J.; CHARLESWORTH, P. B.; BRISTOW, K. L. Modelling trickle irrigation: Comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time. **Environmental Modelling & Software**, Oxford, v. 21, n. 9, p. 1353-1359, 2006.
- KARIMI, B.; MOHAMMADIB, P.; SANIKHANIA, H.; SALIHC, S. Q.; YASEEN, Z. M. Modeling wetted areas of moisture bulb for drip irrigation systems: an enhanced empirical model and artificial neural network. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 178, p. 105767, 2020.
- KILIC, M. A new analytical method for estimating the 3D volumetric wetting pattern under drip irrigation system. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 228, p. 105898, 2020.
- MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A.; MEDEIROS, J. F. Dimensões de bulbo molhado na irrigação por gotejamento superficial. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 149-158, 2010.
- 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.
- MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A.; TEIXEIRA, M. B. O estado da arte da irrigação por gotejamento superficial. **Colloquium Agrarie**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p. 17-31, 2006.
- OULD MOHAMED EL-HAFEDH, A. V.; DAGHARI, H.; MAALEJ, M. Analysis of several discharge rate-spacing-duration combinations in drip irrigation system. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 52, n. 1, p. 33-52, 2001.

PIRES, R. C. M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; FOLEGATTI, M. V. Necessidades hídricas das culturas e manejo de irrigação. *In*: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. (ed.). **Irrigação**. v. 1. Jaboticabal: SBEA, 2001. p. 121-194.

ROSA, C. I. L. F.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; BERTONHA, A.; TRINTINALHA, M. A. Dimensões de bulbo molhado no solo, a partir da fonte pontual de água, para manejo de água na cultura da Pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 169-174, 2004.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E. Distribuição da água no solo para o dimensionamento da irrigação por gotejamento. **Agriambi**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 7-15, 2004.

THORBURN, P. J.; COOK, F. J.; BRISTOW, K. L. Soil-dependent wetting from trickle emitters: implications for system design and management. **Irrigation Science**, New York, v. 22, n. 3-4, p. 121-127, 2003.

WARRICK, A.W. Soil water distribution. *In*: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production: Design, Operation and Management**. Amsterdam: Elsevier Science Publisher, 1986. p. 27-141.