

MÉTODO PARA PROJETAR LINHAS LATERAIS PAREADAS DE MICROIRRIGAÇÃO COM VARIAÇÃO DE DIÂMETROS COMERCIAIS

JOÃO AUDIFAX CÉZAR DE ALBUQUERQUE FILHO¹; JOSÉ LUCAS PEREIRA DA SILVA²; CERES DUARTE GUEDES CABRAL DE ALMEIDA³; MANASSÉS MESQUITA DA SILVA⁴; JOSÉ AMILTON SANTOS JÚNIOR⁵ E ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA⁶

¹ Prof. Doutor, Depto de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife – PE, Brasil. E-mail: joao.albuquerque@ufrpe.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-5064-3237>).

² Doutorando do programa de Engenharia Agrícola, UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife – PE, Brasil. E-mail: jose.lucaspereira@ufrpe.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-5566-4144>).

³ Prof(a). Doutora, Colégio Agrícola Dom Agostinho Ikas (CODAI) da UFRPE, Av. Dr. Francisco Correia, 643 - Centro, São Lourenço da Mata - PE, Brasil. E-mail: ceres.cabral@ufrpe.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-6073-3853>).

⁴ Prof. Doutor, Depto de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife – PE, Brasil. E-mail: manasses.mesquita@ufrpe.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-3892-3076>).

⁵ Prof. Doutor, Depto de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife – PE, Brasil. E-mail: joseamilton@ufrpe.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-1656-7103>).

⁶ Prof. Doutor, Depto de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife – PE, Brasil. E-mail: alexsandro.osilva@ufrpe.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-5528-9874>).

1 RESUMO

Este estudo tem como objetivo avaliar um método mais abrangente, simples e muito preciso para projetar linhas laterais pareadas de microirrigação com diâmetro constante ou misto em terrenos com inclinação uniforme. Com base em um novo princípio de se igualar as diferenças de pressão nas laterais de cada lado, a equação final do método apresentada num formato padrão e adimensional também facilitou o processamento de outros métodos já consagrados na literatura, bastando substituir a constante que caracteriza cada método. Um teste comparativo foi realizado com outros dois modelos com princípios de que se igualem as pressões mínimas ou pressões médias das laterais pareadas. A aplicação em um exemplo de projeto cobrindo várias condições indicaram resultados mais precisos para as linhas laterais pareadas, com menor diferença de desempenho entre os trechos em alicive e declive.

Palavras-Chave: Taxa de pressão, uniformidade de distribuição, linha do gradiente de energia.

ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; SILVA, J. L. P.; ALMEIDA, C. D. G. C.; SILVA, M. M.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; SILVA, A. O.
METHOD FOR DESIGNING PAIRED MICROIRRIGATION LATERALS WITH VARIABLE COMMERCIAL DIAMETERS

2 ABSTRACT

This study aims to evaluate a more comprehensive, simple, and highly accurate method for designing paired microirrigation sides with constant or mixed diameters on uniformly sloped terrains. On the basis of a new principle of equalizing pressure differences between the sides on each side, the final equation of the method, which is presented in a standard and dimensionless format, also facilitates the processing of other well-established methods in the literature by simply replacing the constant that characterizes each comparative method. tests were performed with two other models based on the principles of equalizing either the minimum or average pressures of the paired sides. Application to a design example covering various conditions indicated more accurate results for paired sides, with reduced performance differences between upslope and downslope segments.

Keywords: Pressure rate, distribution uniformity, energy gradient line.

3 INTRODUÇÃO

A maioria das linhas laterais de microirrigação está pareada para equilibrar as diferenças em elevações e as perdas de pressão nos trechos em aclive e em declive (Keller; Bliesner, 1990). Um componente importante para projetar laterais pareadas é determinar a melhor posição da linha de derivação, em inglês *Best Submain Position* (BSP). Desse modo com base em diferentes definições vários métodos se propõem para projetar laterais pareadas (Keller e Bliesner, 1990; Jiang; Kang, 2010; Ju *et al.*, 2015). Essas metodologias já consagradas na literatura que utilizam a abordagem da linha do gradiente de energia (Wu; Gitlin, 1975), as definições de BSP de que se igualem as pressões mínimas ou pressões médias provavelmente não possibilitam um melhor equilíbrio das diferenças em elevações e as perdas de pressão ao longo do comprimento máximo nos trechos em aclive e em declive. Diante as circunstâncias apresentadas, considerando ainda que os coeficientes que descrevem a adequação da distribuição de água são afetados pela distribuição de pressão que ocorre ao longo do comprimento máximo das laterais de cada lado, Albuquerque Filho *et al.* (2025) idealizaram um novo princípio na definição de BSP de que se igualem as diferenças de pressão nos

trechos em aclive e declive. Para tal definição de BSP, com base na abordagem da linha do gradiente de energia (Wu; Gitlin, 1975), o presente estudo tem como objetivo avaliar uma solução simples, precisa e mais abrangente para melhor localização de BSP, considerando também duas alternativas de diâmetros comerciais único ou misto, indicados para os trechos em aclive e declive.

4 MATERIAL E MÉTODOS

De acordo com Albuquerque Filho *et al.* (2025), o presente estudo foi desenvolvido assumindo-se as seguintes suposições: a linha lateral tem um número infinito de emissores (N) igualmente espaçados, com descarga e características hidráulicas (fator de atrito e diâmetro da lateral) constantes ao longo de todo o comprimento das laterais pareadas, o escoamento é turbulento hidraulicamente liso, a energia de velocidade ao longo da lateral pode ser desprezada, a inclinação (s) do terreno é uniforme, o coeficiente de variação de fabricação do emissor foi considerado menor ou igual a 5%.

Para simplificar o procedimento de dimensionamento das laterais, a *BSP* foi expressa, segundo Ju *et al.* (2015), pela

razão entre o comprimento da lateral em aclave (L_a) e o comprimento total (L) das laterais pareadas únicas, conforme equação (1):

$$BSP = \frac{L_a}{L} \cong \frac{N_a}{N} \quad (1)$$

Em que,
 N_a = número de emissores em aclave; N = número inteiro total de emissores.

De acordo com Monserrat, Barragan e Cots (2018), o cálculo do comprimento máximo de uma lateral pareada envolve um elevado grau de complexidade matemática e, por esse motivo, só foi abordado recentemente (Baiamonte; Provenzano; Rallo, 2015; Ju *et al.*, 2015). Baiamonte, Provenzano e Rallo (2015) concluíram que o comprimento total das laterais pareadas é bastante semelhante, independentemente da inclinação do terreno. Portanto, é possível realizar o cálculo simples do comprimento máximo da lateral única, na metade do comprimento máximo do par de linhas laterais (L), assumindo o terreno plano, de forma que, a perda de carga total ($h'_{f(L)}$) é igual à variação da carga de pressão (ΔH). O número inteiro total de emissores (N) na lateral única com diâmetro e declividade constantes e BSP variável pode ser observado na equação (2).

$$N = Int \left(\frac{2^{2,75}}{k_1} \cdot q_{vh} \cdot \frac{PS}{x \cdot s^{2,75}} \right)^{\frac{1}{2,75}} + 1 \quad (2)$$

Sendo o comprimento total (L) das laterais pareadas estimado conforme equação (3).

$$L = N \cdot s \quad (3)$$

Em que,
 $Int(\cdot)$ representa a função parte inteira; q_{vh} – variação de vazão admissível do emissor; PS – pressão de serviço do emissor de projeto;

x – expoente de descarga da equação vazão-pressão do emissor; s – espaçamento uniforme entre emissores; k_1 – constante da equação de perda de carga total (Melo *et al.*, 2019).

Para os trechos em aclave (a) e declive (d), o número total de emissores (N) e os comprimentos máximos (L) estão em conformidade com as respectivas equações (4), (5), (6) e (7).

$$N_a = Int(BSP \cdot N) \quad (4)$$

$$L_a = (N_a + u) \cdot s \quad (5)$$

$$N_d = N - N_a \quad (6)$$

$$L_d = (N_d - u) \cdot s \quad (7)$$

Em que,
 N_a = número de emissores em aclave; L_a = comprimento máximo em aclave (m); u = razão do segmento inicial em relação ao espaçamento uniforme (0,5 de s); N_d = número de emissores em declive; L_d = comprimento máximo em declive (m);

A viscosidade cinemática da água de irrigação (ν ; $m^2 \cdot s^{-1}$), função da temperatura (T ; $^{\circ}C$) foi calculada com a equação (8) de acordo com Rodríguez-Sinobas, Juana e Losada (1999), utilizando a relação potencial simples ajustada com um coeficiente de determinação $R^2=0,99$.

$$\nu = 0,000006177 \cdot T^{-0,603} \quad (8)$$

Tendo em vista que um sistema de distribuição de água por microirrigação é uma estrutura hidráulica limitada pela uniformidade de irrigação e, conseqüentemente, pelas perdas de carga, para tanto o conhecimento da hidráulica da linha lateral e características do emissor são

fundamentais. Geralmente, os emissores são idênticos e instalados em um espaçamento uniforme na linha lateral, cujas características de fluxo são normalmente descritas pela função matemática a seguir (Keller; Karmeli, 1974).

$$q_n = K \cdot H_n^x \quad (9)$$

Em que:

q_n é a descarga do emissor ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); H_n é a carga de pressão na entrada do emissor (m); K é o coeficiente de descarga do emissor; x é o expoente de descarga que caracteriza o regime de fluxo e tipo do emissor.

Assumindo o espaçamento uniforme entre emissores (s), o diâmetro interno da linha lateral (D) e a descarga dos emissores (q) constantes, Wu e Gitlin (1975) propuseram a equação final simplificada para perda de carga total da lateral única ($h'_{f(L)}$), com o mesmo comprimento total (L) das laterais pareadas, podendo ser reescrita na forma da equação (10) e da equação (11) para estimar a perda de carga unitária (j'), adimensional:

$$h'_f = k_1 \cdot L^{(3-b)} \quad (10)$$

$$j' = k_1 \cdot L^{(2-b)} \quad (11)$$

Sendo: k_1 uma constante originalmente apresentada por Melo *et al.* (2019), de acordo com a equação (12):

$$k_1 = 2,8311 \cdot 10^{-2} \frac{a \cdot \nu^{0,25} \cdot \lambda \cdot q^{1,75}}{s^{1,75} \cdot D^{4,75}} \quad (12)$$

Em que:

a é a constante de ajuste do método de Blasius para $b=0,25$; ν é a viscosidade cinemática da água de irrigação ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$) em função da temperatura da água ($^\circ\text{C}$); λ é o fator de acréscimo da perda de carga localizada, que ocorre no ponto de inserção

do emissor, com base no método dos comprimentos equivalentes (l_e) (m); q é a descarga média do emissor ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) e D é o diâmetro comercial interno da linha lateral pareada única, (m).

Para estimar a perda de carga localizada que ocorre nos pontos de inserção das conexões dos emissores, tendo como base o método dos comprimentos equivalentes, Juana *et al.* (2004) indicaram a equação (13), que representa um fator de acréscimo do comprimento real máximo das laterais pareadas.

$$\lambda = 1 + \frac{l_e}{s} \quad (13)$$

De acordo com Ju *et al.* (2015) a taxa de perda de pressão (J) da equação (14), representa a relação entre dois adimensionais, o gradiente de declive uniforme (s_0) e a perda de carga unitária (j'), sendo o método válido para taxa de perda de pressão no intervalo $0 < J < 1$. Conforme Melo *et al.* (2019), este intervalo caracteriza um perfil de pressão do tipo (IIa), ou seja, a pressão mínima deve ocorrer na segunda metade do comprimento máximo da linha lateral em declive.

$$J = \frac{s_0}{j'} \quad (14)$$

Segundo Albuquerque Filho *et al.* (2025), o novo método apresentado pela equação (15) teve como base um novo princípio de se igualar as diferenças de pressão nas laterais de cada lado $\Delta H_a = \Delta H_d$. Assim sendo, para resolver a incógnita implícita BSP dessa equação, os dados foram processados no ambiente computacional MATLAB[®] seguindo etapas iterativas indicadas por Jiang e Kang (2010), para aumentar a velocidade de convergência da solução mais aproximada de $BSP_{(i)}$, considerando também um erro relativo

tolerável de 10^{-5} e um valor inicial mais adequado de $BSP_{(1)} = 0,50$.

$$BSP_{(i+1)} = 1 - \left[\left(CM + BSP_{(i)}^{2,75} \right) / K_D \right]^{\frac{1}{2,75}} \quad (15)$$

Sendo CM a constante de cada método, e K_D uma constante que relaciona o diâmetro comercial menor indicado para o trecho em declive (D_d) e o diâmetro comercial maior para o trecho em aclave (D_a), elevado ao expoente do diâmetro da equação de perda de carga total (-4,75), de acordo com a equação (16).

$$K_D = \left(\frac{D_d}{D_a} \right)^{-4,75} \quad (16)$$

Para avaliar o desempenho dos métodos estudados, os autores verificaram qual resultado da relação entre as diferenças de pressão dos trechos do aclave e do declive mais se aproximava de 1, ou seja, o método que deveria representar menor diferença na variação de fluxo do emissor nas laterais de cada lado. Para o método de Albuquerque Filho *et al.* (2025), a constante (CM_{AF}) adimensional da equação (15) deve ser estimada pela equação (17). Para os métodos de Keller e Bliesner (1990) e o método de Ju *et al.* (2015) as constantes ($CM_{K\&B}$ e CM_{Ju}) deve ser considerado as respectivas equações (18) e (19).

$$CM_{AF} = J \quad (17)$$

$$CM_{K\&B} = J - 0,36 \cdot J^{1,57} \quad (18)$$

$$CM_{Ju} = \frac{J}{1,466} \quad (19)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os métodos foram validados com base em alguns parâmetros de referência considerados no estudo de Carrión *et al.* (2013), para dimensionamento de uma subunidade de microirrigação, considerando uma linha lateral de polietileno com diâmetro comercial único de $D = 13,6$ mm; espaçamento entre emissores, $s = 1,25$ m; descarga média do emissor, $q_a = 4,0$ L h⁻¹; pressão média correspondente, $H_a = 10$ m; expoente de descarga do emissor, $x = 0,5$; gradiente de declive, $s_0 = \pm 1\%$ (no sentido de fluxo: (-) para aclave e (+) para declive); comprimento equivalente do conector do emissor, $l_e = 0,5$ m; temperatura da água de irrigação, considerada padrão, $T = 20^\circ$ C, para ajuste da viscosidade cinemática, ν (m² s⁻¹); e as constantes de ajuste da equação de Blasius (regime de escoamento hidraulicamente liso), indicadas para tubos de polietileno $a = 0,302$ e $b = 0,25$.

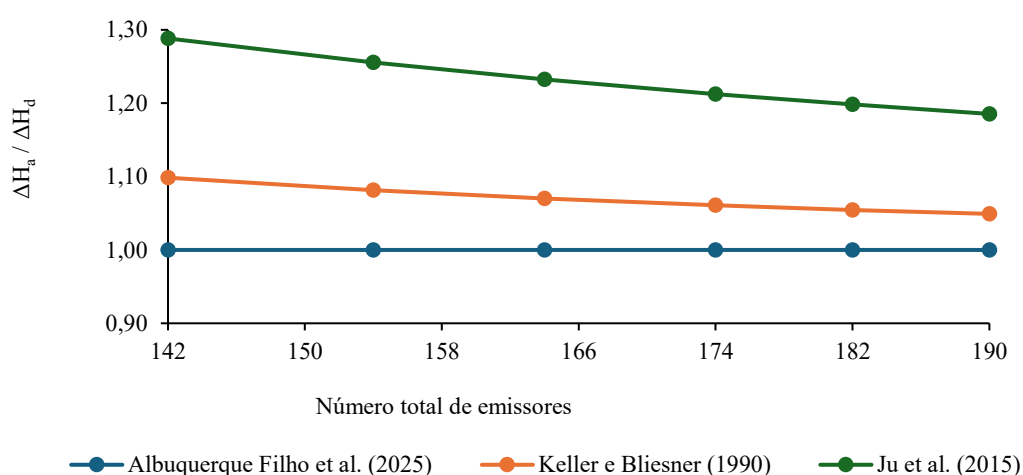
Para efeito de comparação das metodologias apresentadas, os dados de entrada foram também processados para os métodos de Keller e Bliesner (1990) e de Ju *et al.* (2015), abrangendo seis níveis de variação de fluxo do emissor, por variação hidráulica, ou seja, 0,08; 0,10; 0,12; 0,14; 0,16 e 0,18 para extensão do número total de emissores das laterais pareadas, estimados pela equação (2) e correspondentes a 141; 153; 164; 173; 182 e 190.

Inicialmente, considerando diâmetro constante das laterais pareadas, para avaliar os métodos estudados abrangendo seis níveis de variação de fluxo do emissor, por variação hidráulica, de (8 a 18%), a Figura 1 ilustra a relação do número total de emissores (N) com a razão da diferença de pressão ao longo dos trechos do aclave e declive, sob desnível uniforme fixo em 1% de acordo com o método de Albuquerque Filho *et al.* (2025), método de Keller e Bliesner (1990) e método de Ju *et al.* (2015), considerando diâmetro comercial único de 13,6 mm dos trechos em aclave e declive.

Nesta Figura, observa-se um desempenho semelhante das laterais pareadas para o novo método citado, sendo a relação da diferença de pressão nas laterais

do aclave e declive mais próximos de 1, seguido dos métodos de Keller e Bliesner (1990) e de Ju *et al.* (2015).

Figura 1. Relação do número total de emissores com a razão da diferença de pressão ao longo dos trechos do aclave e declive, sob desnível uniforme fixo em 1%, de acordo com o método de Albuquerque Filho *et al.* (2025), método de Keller e Bliesner (1990) e método de Ju *et al.* (2015), considerando diâmetro constante de 13,6 mm dos trechos em aclave e declive.



Fonte: Os autores (2025).

Para caracterizar a variação de diâmetros comerciais e abrangência do método de Albuquerque Filho *et al.* (2025), a validação dos métodos estudados estão indicados na Tabela 1, tendo como base os resultados do dimensionamento de uma linha lateral pareada sob efeito de dois níveis de diâmetro comercial misto, correspondentes a 13,6 e 12,0 mm, e a 13,0 e 10,0 mm, sendo o maior selecionado para linha lateral do aclave e o menor na linha lateral do declive, além de dois níveis de declividade uniforme (1 e 2%) com base na metodologia apresentada nas equações (1 - 19). Em seguida, para testar a abrangência e acurácia do novo método na solução de *BSP*, a Tabela 2 também apresenta resultados do procedimento de cálculo iterativo da equação (15), sendo a constante ($K_D = 1$) para lateral pareada sob efeito de dois níveis

de diâmetro comercial único, 13,6 mm e 13 mm, e dois níveis de declividade uniforme (1 e 2%).

Para avaliar o desempenho do método de Albuquerque Filho *et al.* (2025) e dos outros dois métodos estudados, as Tabelas 1 e 2 apresentam valores médios da melhor posição da linha de derivação *BSP*, calculados para seis níveis de variação de fluxo do emissor, por variação hidráulica (8 a 18%) e respectivos coeficientes de variação da relação entre as diferenças de pressão média dos trechos em aclave e declive. Entretanto, conforme já era previsto, de acordo com o novo princípio na definição de *BSP* e valores médios apresentados nas Tabelas 1 e 2, observa-se para as duas alternativas de diâmetros comerciais estudadas, ou seja, diâmetro comercial único e diâmetro comercial misto

e considerando também as fontes de variação avaliadas, o novo método indicou resultados da relação entre a diferença de pressão da lateral do aclave e declive bem

mais próximos de 1, em relação aos outros dois métodos, bem como menor variabilidade relativa nos resultados do coeficiente de variação.

Tabela 1. Valores médios da solução de *BSP* estimado para lateral pareada sob efeito de dois níveis de diâmetro comercial misto, correspondentes a 13,6 e 12,0 mm, e a 13,0 e 10,0 mm, dois níveis de declividades (1 e 2%), e coeficientes de variação entre as diferenças de pressão média dos trechos em aclave e declive, de acordo com o método de Albuquerque Filho *et al.* (2025), Keller e Bliesner (1990) e Ju *et al.* (2015).

Métodos	Diâmetro (mm)	Declive (%)	ΔH_a	ΔH_d	R_H	CV	BSP
Albuquerque Filho <i>et al.</i> (2025)	13,6 e 12	1	3,64	3,74	0,97	0,003	0,496
		2	3,87	3,80	1,02	0,016	0,442
	13 e 10	1	4,99	5,02	0,99	0,019	0,573
		2	5,37	5,45	0,98	0,025	0,537
Keller e Bliesner (1990)	13,6 e 12	1	3,77	3,55	1,08	0,073	0,503
		2	4,10	3,44	1,22	0,092	0,460
	13 e 10	1	5,04	4,94	1,03	0,043	0,577
		2	5,60	5,02	1,15	0,127	0,548
Ju <i>et al.</i> (2015)	13,6 e 12	1	3,97	3,28	1,24	0,121	0,514
		2	4,41	3,01	1,52	0,199	0,476
	13 e 10	1	5,25	4,58	1,15	0,013	0,585
		2	5,81	4,65	1,28	0,105	0,559

ΔH_a = diferença de pressão na lateral do aclave (m); ΔH_d = diferença de pressão na lateral do declive (m); R_H = Relação entre a diferença de pressão na lateral do aclave e declive; CV = coeficiente de variação de R_H ; BSP = melhor posição da linha de derivação.

Fonte: Os autores (2025).

Tabela 2. Valores médios da solução de *BSP* estimado para lateral pareada sob efeito de dois níveis de diâmetro comercial único, 13,6 mm e 13 mm, dois níveis de declividades (1 e 2%), e os respectivos coeficientes de variação entre as diferenças de pressão média dos trechos em aclive e declive, de acordo com o método de Albuquerque Filho *et al.* (2025), Keller e Bliesner (1990) e método de Ju *et al.* (2015).

Métodos	Diâmetro (mm)	Declive (%)	ΔH_a	ΔH_d	R_H	CV	BSP
Albuquerque Filho <i>et al.</i> (2025)	13,6	1	2,59	2,62	0,99	0,009	0,421
		2	2,53	2,53	1,01	0,029	0,345
	13	1	2,62	2,61	1,00	0,009	0,427
		2	2,55	2,57	1,01	0,047	0,357
Keller e Bliesner (1990)	13,6	1	2,69	2,49	1,11	0,093	0,430
		2	2,80	2,14	1,43	0,341	0,370
	13	1	2,74	2,48	1,13	0,079	0,435
		2	2,82	2,20	1,37	0,260	0,379
Ju <i>et al.</i> (2015)	13,6	1	2,90	2,25	1,32	0,100	0,466
		2	3,09	1,80	1,92	0,547	0,393
	13	1	2,91	2,29	1,32	0,140	0,450
		2	3,08	1,90	1,81	0,499	0,401

ΔH_a = diferença de pressão na lateral do aclive (m); ΔH_d = diferença de pressão na lateral do declive (m); R_H = Relação entre a diferença de pressão na lateral do aclive e declive; CV = coeficiente de variação de R_H ; BSP = melhor posição da linha de derivação.

Fonte: Os autores (2025).

Desta forma, observa-se que as estimativas da melhor posição da linha de derivação (*BSP*) indicaram melhor acurácia e possivelmente maior confiabilidade no emprego do método de Albuquerque Filho *et al.* (2025), seguido do método de Keller e Bliesner (1990) e método de Ju *et al.* (2015).

que melhor dimensionou as linhas laterais pareadas, com menor diferença de desempenho entre os trechos em aclive e declive e pode ser aplicado para fins práticos sem esforço de cálculo excessivo, seguido pelo método de Keller e Bliesner (1990) e o método de Ju *et al.* (2015).

6 CONCLUSÃO

O método de Albuquerque Filho *et al.* (2025) é abrangente e muito preciso quando comparado com os demais métodos citados neste estudo, sendo considerado o

7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; ALMEIDA, C. D. G. C.; SILVA, M. M.; FRIZZONE, J. A.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; SILVA, A. O. An alternative analytical

- approach to designing paired lateral lines for microirrigation on slopes. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 151, n. 4, p. 04025013-1-04025013-13, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1061/JIEDH.IRENG-10483>. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JIEDH.IRENG-10483>. Acesso em: 15 out. 2025.
- BAIAMONTE, G.; PROVENZANO, G.; RALLO, G. Analytical approach determining the optimal length of paired drip laterals in uniformly sloped fields. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 141, n. 1, p. 04014042-1-04014042-8, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000768](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000768). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29IR.1943-4774.0000768>. Acesso em: 11 out. 2025.
- CARRIÓN, F.; TARJUELO, J. M.; HERNÁNDEZ, D.; MORENO, M. A. Design of microirrigation subunit of minimum cost with proper operation. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 31, p. 1199-1211, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-013-0399-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00271-013-0399-8>. Acesso em: 11 out. 2025.
- JIANG, S.; KANG, Y. Simple method for the design of micro-irrigation paired laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 136, n. 4, p. 271-275, 2010. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000178](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000178). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29IR.1943-4774.0000178>. Acesso em: 22 out. 2025.
- JUANA, L.; LOSADA, A.; RODRIGUEZ-SINOBAS, L.; SANCHEZ, R. Analytical relationships for designing rectangular drip irrigation units. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 130, n. 1, p. 47-59, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2004\)130:1\(47\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2004)130:1(47)). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9437%282004%29130%3A1%2847%29>. Acesso em: 15 out. 2025.
- JU, X. L.; WECKLER, P. R.; WU, P. T.; ZHU, D. L.; WANG, X. K.; LI, Z. New simplified approach for hydraulics design of micro-irrigation paired laterals. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 50, n. 6, p. 1521-1534, 2015. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.58.11092>. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=46554>. Acesso em: 09 out. 2025.
- MONSERRAT, J.; BARRAGAN, J.; COTS, L. Design of paired laterals on uniformly sloping fields. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 144, n. 6, p. 04018008-1-04018008-6, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001308](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001308). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29IR.1943-4774.0001308>. Acesso em: 15 out. 2025.
- RODRÍGUEZ-SINOBAS, L.; JUANA, L.; LOSADA, A. Effects of temperature changes on emitter discharge. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 125, n. 2, p. 64-73, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1999\)125:2\(64\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1999)125:2(64)). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9437%281999%29125%3A2%2864%29>. Acesso em: 22 out. 2025.
- WU, I. P.; GITLIN, H. M. Energy gradient line for drip irrigation laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**,

Reston, v. 101, n. 4, p. 323-326, 1975. DOI: <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001075>. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JRCEA4.0001075>. Acesso em: 15 out. 2025.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 678-684, 1974. DOI:

<https://doi.org/10.13031/2013.36936>.

Disponível em:

<https://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=36936&CID=t1974&v=17&i=4&T=1>. Acesso em: 17 out. 2025.

MELO, L. L. de; MELO, V. G. M. L. de; FRIZZONE, J. A.; CAMARGO, A. P. de. Método para projetar linhas laterais de irrigação por gotejamento pareadas em terrenos com inclinação uniforme. *In*: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 5., 2019, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: INOVAGRI, 2019. p. 1-11.