

## SOFTWARE SLIDE PARA DIMENSIONAMENTO DE LINHAS LATERAIS EM IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

MARCELO ANDRINI<sup>1</sup>; CAMILA APARECIDA NUNES DE SOUZA<sup>2</sup> E JOÃO CARLOS CURY SAAD<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mestrando no Programa de Pós-graduação em Agronomia, Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP, Av. Universitária, 3780, Jardim Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, [marcelo.andrini@gmail.com](mailto:marcelo.andrini@gmail.com)

<sup>2</sup>Mestranda no Programa de Pós-graduação em Agronomia – Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP, Av. Universitária, 3780, Jardim Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, [nunesc@live.com](mailto:nunesc@live.com).

<sup>3</sup>Eng. Agrônomo, Professor Titular, Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP, Av. Universitária, 3780, Jardim Paraíso, CEP 18610-034, Botucatu, SP, Brasil, [joao.saad@unesp.br](mailto:joao.saad@unesp.br).

### 1 RESUMO

O dimensionamento de linhas laterais de aspersão convencional em declive requer criteriosa análise, uma vez que o perfil de distribuição de pressão ao longo da linha pode assumir distintas configurações dependendo da declividade do terreno. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um software, denominado SLIDE, que permita de forma interativa, dimensionar as linhas laterais em qualquer condição de declividade, inclusive em declive. O programa computacional foi desenvolvido no Microsoft Excel – 2016, tem interface intuitiva, com dados de saída na forma de tabela contendo o desempenho hidráulico da linha lateral e gráfico de fácil interpretação, que se ajusta de modo dinâmico em função do tipo de perfil. Para ilustrar sua aplicabilidade, três estudos de caso foram apresentados e solucionados. De modo simples e interativo, o software SLIDE possibilitou o adequado dimensionamento de linhas laterais de sistemas de irrigação por aspersão convencional, especialmente na condição em declive.

**Palavras-chave:** hidráulica, variação de vazão, aspersores.

ANDRINI, M.; SOUZA, C. A. N.; SAAD, J. C. C.  
SOFTWARE “SLIDE” FOR SPRINKLE IRRIGATION LATERAL LINE DESIGN

### 2 ABSTRACT

Sizing conventional downhill sprinkler lateral lines requires careful consideration, as the pressure distribution profile along the line can take different configurations depending on the slope of the terrain. The objective of this work was to develop a software, called SLIDE, that allows to interactively design of the lateral lines in any slope condition, including downhill. The computer program was developed in Microsoft Excel - 2016, has an intuitive interface, with tablet-shaped output data containing the hydraulic performance of the lateral line and easy-to-interpret graph, which dynamically adjusts according to the type of profile. Three case studies were presented and solved. Interactively, SLIDE software has made it possible to design lateral lines of conventional sprinkler irrigation systems properly, especially in the sloping condition.

**Keywords:** hydraulic, discharge variation, sprinkler.

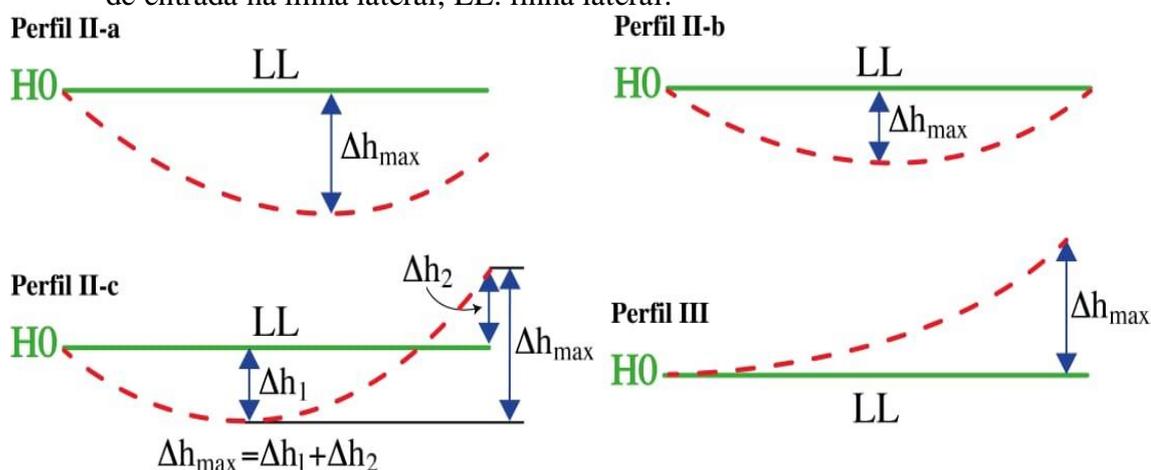
### 3 INTRODUÇÃO

Um dos critérios mais recomendados de dimensionamento de linhas laterais de aspersão convencional é aquele que estipula uma variação máxima de vazão ( $\Delta q$ ) de 10%. Em linhas em nível e em aclive, a maior vazão está no início da linha lateral e a mínima no final. No entanto, na condição em declive, há quatro possíveis perfis de distribuição de carga de pressão (WU et. al, 1983) e, conseqüentemente, de distribuição de vazão. Em algumas destas situações, a pressão mínima não está na extremidade da linha lateral, dificultando o correto cálculo da variação de vazão e o próprio dimensionamento.

Para caracterizar os perfis de distribuição de carga de pressão em

condição de declive (Figura 1), Wu & Gitlin (1981) consideraram o desnível até o final da linha ( $\Delta H'$ ) e a perda de carga em todo o comprimento da tubulação ( $\Delta H$ ), de tal forma que: perfil II-a, ocorre quando a relação entre  $\Delta H'/\Delta H$  é maior do que 0 e menor do que 1; perfil II-b, quando a relação entre  $\Delta H'/\Delta H$  é igual a 1; II-c, quando a relação entre  $\Delta H'/\Delta H$  é maior do que 1 e menor do que 2,85; perfil III, quando  $\Delta H'/\Delta H$  é maior ou igual a 2,85. Estes limites foram propostos para irrigação localizada, sendo que para linhas laterais de aspersão, o valor 2,85 deve ser substituído por 3, que é oriundo de  $(m+1)$ , sendo  $m$  o expoente da velocidade na equação de perda de carga ( $m=2$  para a equação de Darcy-Weisbach).

**Figura 1.** Perfis de distribuição de carga de pressão (adaptado de Wu et al., 1983). H0: pressão de entrada na linha lateral; LL: linha lateral.



A variação máxima de vazão ( $\Delta q$ ) de 10% corresponde a uma variação de pressão de 20%, aproximadamente, e é estabelecida entre os pontos de maior e de menor vazão (ou pressão). No entanto, em linhas em declive estes pontos assumem diferentes localizações conforme o perfil de distribuição de pressão, o que implica em

erro de dimensionamento caso se adote sempre que esta diferença ocorra entre o início e o final da tubulação. Nos perfis II-a, II-b e II-c a pressão mínima não está em uma das extremidades e a determinação analítica de sua localização requer o uso de equações implícitas.

Um software interativo que permitisse calcular adequadamente a variação de vazão em linhas laterais de aspersão convencional, especialmente em declive, seria muito oportuno e útil. No entanto, as metodologias e programas computacionais desenvolvidos foram basicamente para linhas laterais de gotejamento ou microaspersão (WU et al., 1983; KANG et al., 1996; JIANG e KANG, 2010; BAIAMONTE et al., 2015) ou então para unidades operacionais de irrigação localizada, envolvendo linhas de derivação com linhas laterais de um dos lados ou de ambos (JUANA et al., 2004; WU et al., 2010; KESHTGAR et al., 2013; FERNÁNDEZ GARCÍA et al., 2016). Baiamonte (2018) apresentou o software IRRILAB que dimensiona de forma otimizada unidades operacionais retangulares de irrigação localizada com declividade uniforme a partir de relações analíticas explícitas.

Desta forma, com este trabalho objetivou-se desenvolver um software interativo para auxiliar no dimensionamento de linhas laterais de aspersão em nível, em aclive e, especialmente, em declive, considerando o perfil de distribuição de pressão e a máxima variação de vazão admissível.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Para facilitar o dimensionamento de linhas laterais de aspersão em qualquer condição de declividade, especialmente em declive, foi desenvolvido o software SLIDE (Simulação de Linhas de Irrigação em Declive). Ele caracteriza o perfil de distribuição de pressão em nível, em aclive e em declive, segundo as possibilidades descritas por Wu et al. (1983), além de fornecer o valor e a localização das pressões máxima, mínima e média. Por meio de um procedimento interativo, permite ao projetista definir o dimensionamento da

linha lateral, calculando adequadamente a variação de vazão em qualquer um dos possíveis perfis de pressão que possa ocorrer.

Os dados de entrada requeridos são: declividade; comprimento da linha lateral; diâmetro interno e rugosidade absoluta da tubulação; vazão, altura da haste, pressão de serviço e espaçamento entre aspersores na linha lateral e entre linhas laterais.

O software foi desenvolvido no Microsoft Excel – 2016. O frontend possui interface intuitiva, apresentando os dados de saída e gráfico de fácil interpretação, que se ajusta de modo dinâmico em função do tipo de perfil. O backend foi programado utilizando as seguintes fórmulas: equação geral de perda de carga de Darcy-Weisbach (eq. 1), que pode ser utilizada com qualquer líquido e regime de escoamento; fator de atrito –  $f$  de Swamee e Jain (1976) (eq. 2), indicado para o regime de escoamento turbulento, com número de Reynolds maior do que 4000 e menor do que  $10^8$ ; e fator de correção de Scaloppi (1988) (eq.3), que é utilizado para linhas laterais com múltiplas saídas, para qualquer distância entre a derivação e a primeira saída.

$$hf = \frac{8.f.L.Q^2}{\pi.D^5.g} \quad (1)$$

Em que,

$f$ - fator de atrito, adimensional;

$L$ - comprimento da tubulação, em

m;

$Q$ - vazão total em  $m^3 s^{-1}$ ;

$D$ - diâmetro do tubo, em m;

$g$ - aceleração da gravidade = 9,81

$m s^{-2}$ ;

$hf$ - perda de carga na tubulação; em

mca.

$$f = 1,325. \left[ \ln \left( \frac{\varepsilon}{3,7.D} \right) + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right]^{-2} \quad (2)$$

Em que,

$f$ - fator de atrito, adimensional;

$\varepsilon$ - rugosidade absoluta do tubo, em m;  
Re- número de Reynolds (>4000).

$$Fa = \frac{N.F+x-1}{N+x-1} \quad (3)$$

Em que,  
N- número de saídas;  
x- relação entre o espaçamento do primeiro aspersor e o espaçamento regular entre os demais;  
F- coeficiente de Christiansen (1942).

A carga de pressão no início da linha lateral foi calculada levando em conta a declividade do terreno (eq. 4). As pressões máxima e mínima foram calculadas pelo método trecho a trecho.

$$H_0 = H_{med} + (0,75 \cdot hf_L) + \left(\frac{S_o \cdot L}{2}\right) \quad (4)$$

Em que,  
H<sub>0</sub>- pressão de início da linha lateral, em mca;  
H<sub>med</sub>- pressão de serviço do aspersor; em mca;  
hf<sub>L</sub>- perda de carga na linha lateral com múltiplas saídas, em mca;  
S<sub>o</sub>- declividade do terreno (m/m), positivo para aclive e negativo para declive;  
L- comprimento da linha lateral, em m.

O software desenvolvido foi aplicado em 3 estudos de caso, a saber:

1) Determinar o comprimento máximo da linha lateral de aspersores em

declive, conhecendo-se: diâmetro interno da tubulação de aço zincado de 48mm; declividade de 3%; pressão de serviço de 30mca; vazão do aspersor de 1,58 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>; espaçamento 18m x 18m e altura da haste de 1m.

2) Determinar o diâmetro da linha lateral de aspersores em declive, em aço zincado, conhecendo-se: comprimento da linha lateral de 297m; declividade de 4%; pressão de serviço de 30mca; vazão do aspersor de 1,7 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>; espaçamento 18m x 18m e altura da haste de 1m.

3) Determinar o erro quando se considera que as pressões máxima e mínima estão nas extremidades da linha lateral em declive com perfil II-a: comprimento da linha lateral de 138m, declividade de 6%; aspersor de vazão 1,4 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> na pressão de 30 mca; espaçamento de 12m x 12m; altura da haste de 1m; diâmetro interno de 48mm (aço zincado).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo de caso 1, o objetivo era encontrar o máximo comprimento da linha lateral em declive que resultasse em variação de vazão de, no máximo, 10%. Considerando que o primeiro aspersor está a 9 m, ou seja, a metade do espaçamento regular entre aspersores, iniciou-se testando o comprimento de 135 m, correspondente a 8 aspersores, que gerou  $\Delta q$  de 4,1% (Tabela 1). Testou-se então o comprimento imediatamente superior, 153 m, que ainda ficou abaixo de 10%. Finalmente, com 171 m de comprimento encontrou-se  $\Delta q$  de 9,7%, muito próximo do limite de 10%, sendo esta a solução final.

**Tabela 1.** Variação de vazão (%) e de pressão (%) para o estudo de caso 1

<b>Comprimento da linha lateral (m)</b>	<b>Variação de vazão (%)</b>	<b>Variação de pressão (%)</b>
135	4,1	8,0
153	6,6	12,7
171	9,7	18,4

Utilizando os dados de entrada da situação 2, o primeiro diâmetro interno avaliado foi de 48mm, que resultou em uma variação de vazão extremamente alta (46,1%), indicando que se deveria testar um diâmetro superior (Tabela 2). Testando D = 63 mm, obteve-se  $\Delta q$  de 9,4% que está

muito próximo de 10%, sendo esta a solução adequada. Para ilustrar, testou-se ainda o diâmetro de 77 mm, que gerou  $\Delta q$  de 10,3% e que está muito próximo do recomendado, porém não é a melhor solução por apresentar maior custo.

**Tabela 2.** Variação de vazão (%) e pressão (%) para o Estudo de Caso 2.

<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Variação de vazão (%)</b>	<b>Variação de pressão (%)</b>
48	46,1	70,9
63	9,4	17,9
77	10,3	19,4

No estudo de caso 3, tem-se o perfil de pressão tipo II-a conforme Wu et al. (1983), ou seja, a pressão máxima está no início da linha lateral (33,94 mca), a pressão mínima (29,87 mca) em um ponto entre as extremidades (Figura 2) e na extremidade final tem-se 31,07 mca. Caso a variação de pressão fosse erroneamente calculada com os pontos extremos (33,94 mca e 31,07 mca), como realmente deve ser em linhas em nível e em aclive, a variação de pressão

seria de 8,5% e o  $\Delta q$  nesta linha lateral em declive seria de 3,8%. Estes valores são menores que o real, correspondente a 12% de variação de pressão e  $\Delta q$  de 6,2%. Isto indica que caso se dimensione uma linha lateral em declive que tenha o Perfil II-a considerando variação de vazão de 10% entre o início e o final da linha lateral, ter-se-á na realidade uma variação superior, pois a pressão mínima, na realidade, ocorre entre os extremos (Figura 2).

**Figura 2.** Frontend do SLIDE com os dados de entrada da situação 3.

## 6 CONCLUSÕES

De forma interativa e simples, o software SLIDE possibilita o dimensionamento de linhas laterais de sistemas de irrigação por aspersão convencional, especialmente na condição

em declive, auxiliando na determinação do comprimento máximo ou do diâmetro requerido, respeitando os limites de vazão e de pressão desejados, além de apresentar graficamente o perfil de distribuição de carga de pressão ao longo da tubulação.

## 7 REFERÊNCIAS

- BAIAMONTE, G., PROVENZADO, G., RALLO, G. Analytical approach determining the optimal length of paired drip laterals in uniformly sloped fields. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 141, n.1, 2015.
- BAIAMONTE, G. Explicit relationships for optimal designing rectangular microirrigation units on uniform slopes: The IRRILAB software application. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.153, p.151-168. 2018.
- CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by sprinkling. University of California. **Bulletin 670**, 1942. 65 p.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, I., MONTESINOS, P., CAMACHO POYATO, E., RODRÍGUEZ, DÍAZ, J.A. Energy cost optimization in pressurized irrigation networks. **Irrigation Science**, v. 34, p.1-13, 2016.
- JIANG, S., KANG, Y. Simple method for the design of microirrigation paired laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 136, n. 4, p. 271–275. 2010.

JUANA, L., LOSADA, A., RODRIGUES-SINOBAS, L., SANCHEZ, R. Analytical relationships for designing rectangular drip irrigation units. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. ASCE, v. 130, n. 1, p. 47–59. 2004.

KANG, Y., NISHIYAMA, S., Analysis and design of microirrigation laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, v. 122, n. 2, p.75–82. 1996.

KESHTGAR, A., BHUIYAN, M.A., JAYASURIYA, N. Design of drip irrigation system using microtubes for full emission uniformity. **Irrigation Science**, v. 62, n. 5, p.613–623, 2013.

SCALOPPI, E.J. Adjusted F factor for multiple-outlet pipes. **Journal of irrigation and drainage engineering**. ASCE, v. 114, n. 1, 1988, New York. p. 169-174.

SWAMEE, P. K., JAIN, A. K. Explicit equation for pipe flow problems. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 102, n. 5, p. 657-664, may, 1976.

WU, I. P.; GITLIN, H. M. Preliminary concept of a drip irrigation network design. **American Society of Agricultural Engineers**, p. 330-334, 1981.

WU, I. P.; SARUWATARI, C. A.; GITLIN, H. M. Design of drip irrigation lateral length on uniform slopes. **Irrigation Science**, Berlin, v. 4, n. 2, p. 117-135, 1983.

WU, P.T., ZHU, D.L., WANG, J. Gravity-fed drip irrigation design procedure for a single-manifold subunit. **Irrigation Science**, v. 28, n. 4, p.359–369. 2010.