

## OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE UMA SUBUNIDADE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

FERNANDA OLIVEIRA DA SILVA<sup>1</sup> E JOÃO BATISTA TOLENTINO JÚNIOR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluna de Pós-Graduação do Programa de Pós-Graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais, Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Ulysses Gaboardi, Km 3, Caixa postal 101, CEP 89520-000, Curitiba, SC, Brasil. E-mail: fernanda.oliveira.silva@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Adjunto, Departamento de Agricultura, Biodiversidade e Florestas, Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Ulysses Gaboardi, Km 3, Caixa postal 101, CEP 89520-000, Curitiba, SC, Brasil. E-mail: joao.tolentino@ufsc.br

### 1 RESUMO

O dimensionamento do sistema de irrigação é limitado pela uniformidade, e consequentemente, pela perda de carga e topografia da área. Uma das principais tarefas do dimensionamento hidráulico de um sistema de irrigação por gotejamento é determinar as características geométricas de diâmetro da tubulação, a pressão no sistema e a uniformidade em fase de projeto. Neste trabalho, utilizou-se o método do *backstep* para determinar a vazão, perda de carga e pressão no sistema. O modelo foi desenvolvido para atender condições sem declividade, em aclave e em declive. Aplicou-se o método da bisseção para otimizar o dimensionamento hidráulico para uma única linha lateral ou para uma subunidade de irrigação por gotejamento. Determinou-se o diâmetro interno da linha lateral e de derivação para atender a uma uniformidade de distribuição de água acima de 90%. Definiu-se a pressão no final da linha lateral e de derivação para atender a condição de vazão média requerida nos emissores. Com o avanço da tecnologia, consegue-se implementar em linguagem computacional equações complexas e chegar a um ótimo dimensionamento hidráulico. As equações foram implementadas em linguagem R, no formato de função, e mostraram ser uma ferramenta rápida e simples para o dimensionamento hidráulico de sistemas de irrigação.

**Palavras-chave:** *backstep*, bisseção, modelagem hidráulica.

SILVA, F. O. E TOLENTINO JÚNIOR, J. B.  
OPTIMIZATION OF HYDRAULIC DESIGN OF A MICROIRRIGATION SYSTEM

### 2 ABSTRACT

The design of the irrigation system is limited by the uniformity and, consequently, by the head loss and topography of the area. One of the main tasks of the hydraulic design of a microirrigation system is to determine the geometric characteristics of pipe diameter, the pressure in the system and uniformity in the design phase. In this work, the backstep method was used to determine the flow rate, head loss and pressure in the system. The model was developed to meet conditions without slope, uphill and downhill. The bisection method was used to optimize the hydraulic design for a single lateral line or to a microirrigation subunit. The inner diameter of the lateral line and the manifold was determined to meet a water distribution uniformity over 90%. The pressure was defined at the end of the lateral line

and manifold to meet the mean flow rate condition required in the emitters. With the advancement of technology, it is possible to implement computational language complex equations and reach a great hydraulic design. The equations were implemented in the R language, in function format, and proved to be a fast and simple tool for the system hydraulic dimensioning of irrigation.

**Keywords:** backstep, dissection, hydraulic modeling.

### 3 INTRODUÇÃO

O sistema hidráulico de um subunidade de irrigação é composto pela linha de derivação e pelas linhas laterais, onde ficam os emissores, responsáveis por disponibilizar a água para as plantas (MONSERRAT; BARRAGAN; COTS, 2018). O ótimo desempenho de um sistema de irrigação depende de um dimensionamento apropriado, o qual pode ser alcançado mediante uma análise hidráulica apropriada (SADEGHI; PETERS, 2013).

Uma das principais tarefas do dimensionamento hidráulico de um sistema de irrigação por gotejamento é determinar o diâmetro da tubulação e a pressão no sistema para atender uma determinada uniformidade (BAIAMONTE; PROVENZANO; RALLO, 2015; KALE; SINGH; MAHAR, 2008; KHEMAIES et al., 2013; YILDIRIM, 2009). A uniformidade é a capacidade de um sistema de irrigação fornecer a mesma quantidade de água ao longo de uma área irrigada (MILLION; YEAGER, 2018). Uma forma simples de determinar a uniformidade é pela variação de vazão do emissor (WU; BARRAGAN, 2000).

De acordo com Ağirlioğlu e Yildirim (2002) o dimensionamento do sistema de irrigação localizada é limitado pela variação de vazão dos emissores, que é proporcional à pressão do sistema. A variação de pressão nas linhas é influenciada pela perda de carga e pelo ganho ou perda de energia devido à topografia. A disponibilidade de recursos

computacionais aprimorados permitiu o desenvolvimento de procedimentos numéricos mais precisos e versáteis para simulação hidráulica (ZERIHUN; SANCHEZ, 2017).

O presente estudo teve como objetivo desenvolver um modelo para dimensionar uma subunidade de irrigação atendendo os critérios estabelecidos de uniformidade e vazão média dos emissores.

### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Para determinar o perfil de pressão, vazão e perda de carga foi realizado o cálculo trecho-a-trecho pelo método do *backstep* (JAIN; SINGH; SINGH, 2002).

$$H_i = H_{i-1} + (Z_{i-1} - Z_i) + f_{i-1} \frac{8 \cdot S_e + Q_{i-1}^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5} \quad (1)$$

Em que:

$H_i$  - pressão no  $i$ -ésimo emissor, m

$H_{i-1}$  - pressão no  $(i-1)$ -ésimo emissor, m

$Z_i$  - cota no  $i$ -ésimo emissor, m

$Z_{i-1}$  - cota no  $(i-1)$ -ésimo emissor, m

$f_{i-1}$  - fator de atrito no  $(i-1)$ -ésimo elemento, adimensional

$S_e$  - espaçamento entre emissores, m

$Q_{i-1}$  - vazão do  $(i-1)$ -ésimo elemento,  $m^3 \cdot s^{-1}$

$g$  - aceleração da gravidade,  $m \cdot s^{-2}$

$D$  - diâmetro interno da tubulação, m

Com a finalidade de propor um melhor dimensionamento para a linha lateral e de derivação, foi utilizado o método da bissecção para determinar o diâmetro interno da tubulação e a pressão no início da linha que atendam às restrições

do projeto: variação de vazão e vazão média dos emissores. As equações propostas foram implementadas em um algoritmo na linguagem de programação R.

Com intuito de determinar o diâmetro da linha lateral ou diâmetro da linha de derivação, colocou-se como restrição uma variação de vazão menor ou igual a 10%, como demonstrado na Equação 2.

$$f(D) = \Delta q - \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_{\max}} \quad (2)$$

Em que,

$f(D)$  - função de diâmetro

$\Delta q$  - variação da vazão

$q_{\max}$  - máxima vazão,  $m^3 \cdot s^{-1}$

$q_{\min}$  - mínima vazão,  $m^3 \cdot s^{-1}$

A determinação da pressão no início da linha lateral ou da linha de derivação foi em função de uma determinada vazão média requerida no sistema. Neste contexto, a função da pressão no final da linha lateral ou no final da linha de derivação está demonstrada na Equação 3, que relaciona a vazão que o usuário deseja no sistema de irrigação com a média da vazão no sistema.

$$f(H) = q_{req} - q_{média} \quad (3)$$

Em que:

$f(H)$  – função da pressão

$q_{req}$  – vazão requerida nos emissores,  $m^3 \cdot s^{-1}$

$q_{média}$  – vazão média dos emissores,  $m^3 \cdot s^{-1}$

As duas funções descritas anteriormente (Equação 2 e 3) foram combinadas para definir o diâmetro e a pressão no sistema que atendam aos critérios de variação de vazão e vazão média no sistema. Foram propostos diversos estudo de caso para a definição de pressão e/ou diâmetro para uma subunidade de irrigação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diâmetro das tubulações pode influenciar na dinâmica da variação da vazão. Neste contexto, se torna de suma importância, ainda em fase de projeto, escolher um diâmetro que resulte em uma baixa variação da vazão. Considerando a situação sem declividade, aclive de 1% e declive de 1%, foram determinados os diâmetros internos conforme o Quadro 1.

**Quadro 1.** Determinação do diâmetro interno da tubulação para atender ao critério de variação da vazão (a) sem declividade. (b) aclave de 1%. (c) declive de 1%.

> lld( (a)	> lld( (b)	> lld( (c)
Hfim = 10,	Hfim = 10,	Hfim = 10,
K = 1.053e-6,	K = 1.053e-6,	K = 1.053e-6,
x = 0.5,	x = 0.5,	x = 0.5,
Se = 1,	Se = 1,	Se = 1,
ne = 100,	ne = 100,	ne = 100,
dec = 0.0,	dec = 0.01,	dec = -0.01,
qvr = 10,	qvr = 10,	qvr = 10,
imax = 100,	imax = 100,	imax = 100,
toler = 1e-6,	toler = 1e-6,	toler = 1e-6,
DLLa = 1,	DLLa = 1,	DLLa = 1,
DLLb = 0)	DLLb = 0)	DLLb = 0)
\$D	\$D	\$D
[1] 0.02159837	[1] 0.02419033	[1] 0.02034233
\$qv	\$qv	\$qv
[1] 10	[1] 10	[1] 10
\$iter	\$iter	\$iter
[1] 30	[1] 28	[1] 29
\$tempo	\$tempo	\$tempo
elapsed	elapsed	elapsed
0.11	0.11	0.11

Já a função para determinação da pressão no final da linha lateral que resulte em uma vazão média requerida, foi

utilizada para situações sem declividade e com aclave de 4% e declive de 4%. Os resultados estão no Quadro 2.

**Quadro 2.** Determinação da pressão no final da linha lateral para atender ao critério de vazão média dos emissores. (a) sem declividade. (b) aclave de 4%. (c) declive de 4%.

> llh( (a)	> llh( (b)	> llh( (c)
D = 0.045,	D = 0.025,	D = 0.025,
K = 1.053e-6,	K = 1.053e-6,	K = 1.053e-6,
x = 0.5,	x = 0.5,	x = 0.5,
Se = 1,	Se = 1,	Se = 1,
ne = 100,	ne = 100,	ne = 100,
dec = 0.00,	dec = 0.04,	dec = -0.04,
qreq = 3.333333e-6,	qreq = 3.333333e-6,	qreq = 3.333333e-6,
imax = 100,	imax = 100,	imax = 100,
toler = 1e-10,	toler = 1e-10,	toler = 1e-10,
Hfima = 30,	Hfima = 30,	Hfima = 30,
Hfimb = 0)	Hfimb = 0)	Hfimb = 0)
\$Hfim	\$Hfim	\$Hfim
[1] 10.00488	[1] 7.826843	[1] 11.71143
\$qsistema	\$qsistema	\$qsistema
[1] 3.333417e-06	[1] 3.333327e-06	[1] 3.333277e-06
\$iter	\$iter	iter
[1] 11	[1] 15	[1] 12
\$tempo	\$tempo	\$tempo
elapsed	elapsed	elapsed
0.05	0.06	0.04

Para o dimensionamento de uma subunidade de irrigação, composta por uma linha de derivação e várias linhas laterais, as simulações foram realizadas

considerando uma situação sem declividade, declive de 1% e aclive de 1% (Quadro 3).

**Quadro 3.** Determinação do diâmetro e da pressão no final da linha de derivação para atender aos critérios de variação da vazão e de vazão média requerida nos emissores. (a) sem declividade. (b) aclive de 1%. (c) declive de 1%.

(a)	(b)	(c)
<pre>&gt; subunihd(   DLL = 0.025,   K = 1.053e-6,   x = 0.5,   DLD = 0.040,   SeLL = 1,   SeLD = 4,   nLL = 15,   ne = 60,   dec = 0.00,   qreq = 3.33333e-6,   imax = 100,   toler = 1e-6,   qvr = 10)  \$D [1] 0.03347707 \$Hfim [1] 9.480286 \$iter [1] 174 \$tempo elapsed   32.8</pre>	<pre>&gt; subunihd(   DLL = 0.025,   K = 1.053e-6,   x = 0.5,   DLD = 0.040,   SeLL = 1,   SeLD = 4,   nLL = 15,   ne = 60,   dec = 0.01,   qreq = 3.33333e-6,   imax = 100,   toler = 1e-6,   qvr = 10)  \$D [1] 0.03592057 \$Hfim [1] 9.732056 \$iter [1] 216 \$tempo elapsed   44.44</pre>	<pre>&gt; subunihd(   DLL = 0.025,   K = 1.053e-6,   x = 0.5,   DLD = 0.040,   SeLL = 1,   SeLD = 4,   nLL = 15,   ne = 60,   dec = -0.01,   qreq = 3.33333e-6,   imax = 100,   toler = 1e-6,   qvr = 10)  \$D [1] 0.03519846 \$Hfim [1] 9.47876 \$iter [1] 177 \$tempo elapsed   12.28</pre>

O dimensionamento correto para a linha lateral e de derivação de um sistema de irrigação localizada afeta diretamente a uniformidade do sistema. Neste contexto, o algoritmo apresentado presume a uniformidade do sistema em fase de projeto por meio de simulações e determina o diâmetro interno que satisfaça a uniformidade desejada. Da mesma forma, é possível determinar a pressão no final da linha lateral ou de derivação que atenda a uma vazão média requerida no sistema.

Zella, Kettab e Chasseriaux (2006) chegaram a resultados semelhantes utilizando o método do *backstep* para determinar a velocidade e a pressão em um projeto, com uma abordagem econômica para a distribuição uniforme da água.

Wu (1997) comenta que determinar a pressão é relevante para não comprometer o sistema de irrigação, uma vez que altas pressões podem resultar em falhas de aplicação da água, resultando como consequências no desenvolvimento e crescimento da cultura, ou ainda resultar em lesões nas tubulações de irrigação. O correto dimensionamento hidráulico de um sistema de irrigação localizada garante a menor variação de vazão entre os emissores, sendo assim, garantindo uma aplicação uniforme da água (CLARK et al., 2007).

O projeto do sistema de irrigação inclui uma análise de energia para o dimensionamento adequado de todos os componentes, para garantir uma vazão

desejada. O objetivo do projeto hidráulico é desenvolver um sistema confiável, uniforme e econômico

programação R se apresentaram como uma ferramenta rápida e simples para determinar o dimensionamento hidráulico para uma única linha lateral ou para uma subunidade de irrigação. Apesar do sistema hidráulico ter sido estudados por diversos autores ao longo dos anos, com o avanço da tecnologia consegue-se abordar esse tema de formas diferentes.

## 6 CONCLUSÕES

Os algoritmos desenvolvidos em forma de funções na linguagem de

## 7 REFERÊNCIAS

AĞIRALIOĞLU, N.; YILDIRIM, G. Determining water requirements for landscape irrigation in Istanbul Region. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER RESOURCES MANAGEMENT IN ARID REGIONS, 2002, Kuwait. Proceedings [...].* Kuwait: Institute for Scientific Research Kuwait, 2002. p. 359-368.

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. 2002, p. 1-8, 2015.

CLARK, G. A.; HAMAN, D. Z.; PROCHASKA, J. F.; YITAYEW, M. General system design principles. *In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. Microirrigation for crop production.* Amsterdam: Elsevier, 2007. cap. 5.

JAIN, S. K.; SINGH, K. K.; SINGH, R. P. Microirrigation Lateral Design using Lateral Discharge Equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 128, n. 2, p. 125-128, 2002.

KALE, R. V.; SINGH, R. P.; MAHAR, P. S. Optimal Design of Pressurized Irrigation Subunit. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 134, n. 2, p. 137-146, 2008.

KHEMAIES, Z.; MONCEF, H.; AWS, A.; ADARRAZAK, S. Design of Nonzero Uniformly Sloping Laterals in Trickle Irrigation Systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 139, n. 5, p. 419-425, 2013.

MILLION, J.; YEAGER, T. **Measuring the Irrigation Requirement of Container- Grown Nursery Plants 1.** Gainesville: IFAS Extension, 2018.

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, 2018.

SADEGHI, S. H.; PETERS, T. Adjusted friction correction factors for center-pivots with an end-gun. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 31, n. 3, p. 351-358, 2013.

WU, I.-P. An assessment of hydraulic design of micro-irrigation systems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 32, n. 3, p. 275-284, 1997.

WU, I. P.; BARRAGAN, J. Design criteria for microirrigation systems. **American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 43, n. 5, p. 1145-1154, 2000.

YILDIRIM, G. Simplified procedure for hydraulic desing of small-diameter plastic pipes. **Irrigation and Drainage**, Garsington Rd, v. 58, n. 1, p. 209-233, 2009.

ZELLA, L.; KETTAB, A.; CHASSERIAUX, G. Design of a micro-irrigation system based on the control volume method. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**, Gembloux, v. 10, n. 3, p. 163-171, 2006.

ZERIHUN, D.; SANCHEZ, C. A. Irrigation Lateral Hydraulics with the Gradient Method. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 143, n. 8, p. 04017023, 2017.