

## INFLUÊNCIA DO CANHÃO FINAL NA DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO E VAZÃO DA LINHA LATERAL DE UM PIVÔ CENTRAL

Victor Bueno da Silva Baptista<sup>1</sup>, Alberto Colombo<sup>2</sup>, Thiago Henrique Burgarelli Teixeira<sup>3</sup>,  
Pietros André Balbino Santos<sup>4</sup>, Adriano Valentim Diotto<sup>5</sup>, Lessandro Coll Faria<sup>6</sup>

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi analisar a influência de um canhão final, na distribuição de pressão e vazão da linha lateral de um sistema de irrigação por pivô central, utilizando o simulador hidráulico EPANET. Foram realizadas simulações de uma linha lateral do pivô central, localizado em Lavras/MG, com a inserção de um canhão final fictício de altas vazões. Houve também a diminuição do diâmetro da linha lateral, visando provocar maior perda de carga. Os resultados obtidos pelo EPANET foram comparados com resultados determinados a partir de um método analítico proposto. Dessa forma, este estudo demonstrou a influência do acréscimo de vazão na distribuição de pressão da linha lateral do pivô central, devido à presença do canhão final. Os resultados também demonstraram a qualidade da simulação hidráulica do EPANET, que apresentou desvio relativo máximo de 1% em relação ao método analítico.

**PALAVRAS-CHAVE:** simulação hidráulica, distribuição de pressão, EPANET, modelagem

## INFLUENCE OF END GUN IN THE PRESSURE AND FLOW RATE DISTRIBUTION OF A CENTER PIVOT LATERAL LINE

**ABSTRACT:** The aim of this work was to analyze the influence at end gun on pressure and flow distribution of a center pivot irrigation system lateral line was using the EPANET hydraulic simulator. Simulations were performed on center pivot lateral line located in Lavras/MG. In the simulations was inserted a end gun operating under high flow. There was

<sup>1</sup> Professor Assistente, Departamento de Engenharia, UFLA, Caixa Postal 3034, CEP 37200-000, Lavras, MG. Fone (35) 38291485. Email: victor.buonosb@ufla.br

<sup>2</sup> Professor Titular, Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento, UFLA, Lavras, MG.

<sup>3</sup> Doutorando, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA, Lavras, MG.

<sup>4</sup> Doutorando, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA, Lavras, MG.

<sup>5</sup> Professor Adjunto, Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento, UFLA, Lavras, MG.

<sup>6</sup> Professor Associado, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, UFPel, Pelotas, RS.

also decrease lateral line diameter aiming to cause greater head loss. The results obtained were compared with the use of EPANET parameters and with a proposed analytical method. Thus, this study showed the influence from flow increase in the pressure distribution of the pivot lateral line, since there was a end gun in the end of the lateral. The results also demonstrated a satisfied estimative of EPANET's hydraulic theory.

**KEYWORDS:** hydraulic simulation, pressure distribution, EPANET, modeling

## INTRODUÇÃO

O pivô central é um dos sistemas de irrigação que vem tendo maior aumento significativo no Brasil, com 23 mil equipamentos e área irrigada com cerca de 1,5 milhões de hectares, apresentando o estado de Minas Gerais com o maior número de unidades e, portanto, maior área irrigada (ANA, 2016). Devido à natureza rotativa da linha lateral do pivô, uma quantidade significativa de uma área quadrada (21,5%) não é irrigada (Solomon & Kodoma, 1978). Uma estratégia adotada para aumentar a proporção de área irrigada tem sido a utilização de grandes aspersores na extremidade da linha lateral (Von Bernuth, 1983). Este aspersor, comumente chamado de canhão final, ao ser acionado durante todo o giro da lateral, permite um aumento do raio irrigado. E pode ser utilizado para irrigar uma área quadrada, ao se acionar o canhão final somente quando a linha lateral está alinhada aos cantos da área irrigada, dessa forma há um acréscimo de área (Von Bernuth, 1983). No entanto, características hidráulicas exclusivas de sistemas de pivô central, com canhão final, introduzem implicações práticas significativas em seu dimensionamento, desempenho e uso de energia (Scaloppi & Allen, 1993). Von Bernuth (1983) demonstrou que com um canhão final na extremidade do pivô, a distribuição de pressão ao longo da linha lateral diminui a uma taxa maior, devido a uma maior porcentagem de vazão que chega até o final da tubulação. Isso pode causar um desvio na distribuição de vazão do projeto, o que pode afetar a uniformidade da descarga e a economia do sistema. De acordo com Sadeghi e Peters (2013), para computar a perda de carga em uma lateral, é necessária uma análise passo a passo a partir da saída a jusante, movendo-se a montante e calculando a perda de carga em cada segmento. Neste sentido, a utilização do EPANET (Rossman, 2000) como um simulador hidráulico pode facilitar a análise desses sistemas de irrigação. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência do canhão final na distribuição de pressão e vazão da linha lateral de um sistema de irrigação do tipo pivô central utilizando o simulador hidráulico EPANET.

## MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo, foram utilizados dados de um pivô central localizado na Universidade Federal de Lavras (Lavras/MG).

O pivô, atualmente desativado, foi simulado para uma vazão fictícia do círculo básico ( $Q_b$ ) de  $13,08 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , e possui as seguintes características: dois vãos de 34 m e um balanço de 5 m (totalizando um raio irrigado de 73 m); altura de torres igual a 3 m; altura máxima do arqueamento de 0,7 m e equipado com 34 saídas de água. Estas saídas são dotadas de pendural com diâmetro interno de 19,05mm, emissores Nelson 3000 serie 3TN e válvulas reguladoras de pressão de 10 psi (69 kPa). O ponto do pivô está localizado numa cota de 102 m, e a linha lateral foi considerada em nível. O conjunto motobomba e a tubulação de adução foram substituídos por um reservatório com altura fixa de 130 m.

A linha lateral do pivô central foi caracterizada conforme proposto por Baptista et al., (2017) e simulada hidraulicamente no software EPANET (Rossman, 2000).

Para a simulação hidráulica foi inserido um canhão final fictício com altas vazões e válvula reguladora de pressão de 20 psi (138 kPa), permitindo uma análise do comportamento da perda de carga ao longo da linha lateral. As vazões adotadas do canhão final foram de valores extrapolados de 5,61, 13,08 e  $30,52 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , resultando nas razões  $gr=0,3$ ,  $gr=0,5$  e  $gr=0,7$ . Sendo esta razão igual a um coeficiente entre a vazão do canhão final e a vazão total do sistema de irrigação ( $gr = Q_c/Q_t$ ). A vazão total é a soma da vazão do círculo básico e da vazão do canhão final ( $Q_t = Q_b + Q_c$ ). Para determinar a vazão de cada emissor e canhão final, foi informado ao EPANET o valor do coeficiente de descarga ( $k$ ), que representa a relação entre a vazão do emissor ( $q_i$ ) e a raiz quadrada da carga de pressão regulada pela válvula ( $\sqrt{H_{vfp}}$ ) (Frizzone et. al., 2018). Para que a perda de carga na linha lateral fosse substancial, foi adotado o valor do diâmetro interno da linha lateral de 75 mm. Nas simulações hidráulicas foi utilizada a equação de perda de carga de Hazen-Williams, com valores do coeficiente de rugosidade ( $C_{HW}$ ) igual a 140 para os pendurais e 135 para a linha lateral.

Os valores da perda de carga ao longo da linha lateral, obtidos no EPANET, entre o ponto pivô e a última saída de água, foram comparados com valores obtidos através do método analítico proposto por Tabuada (2011) (Eq. 1); onde, a função hipergeométrica (Chandrupatla & Osler, 2010) foi utilizada para resolução da integral numérica que calcula o fator de correção da perda de carga.

$$hf = \left[ K_{HW} \times \left( \frac{Qt}{C_{HW}} \right)^{ev} \times \frac{Lt}{D^{ed}} \right] \times \left[ \frac{x}{Lt} \right] F_{hipergeométrica} \left[ 0,5; -ev; 1,5; (1-gr) \left( \frac{x}{Lt} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Em que,

hf – perda de carga na linha lateral até o ponto x (m);

$K_{HW} - 10,67 \text{ s}^{1,852} \text{ m}^{-0,685}$ ;

Qt – Vazão total do sistema de irrigação ( $Qt=Qb+Qc$ ) ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ );

$C_{HW}$  – coeficiente de rugosidade do material da tubulação (adimensional);

Lt – comprimento total da linha lateral (m);

D – diâmetro interno da linha lateral (m);

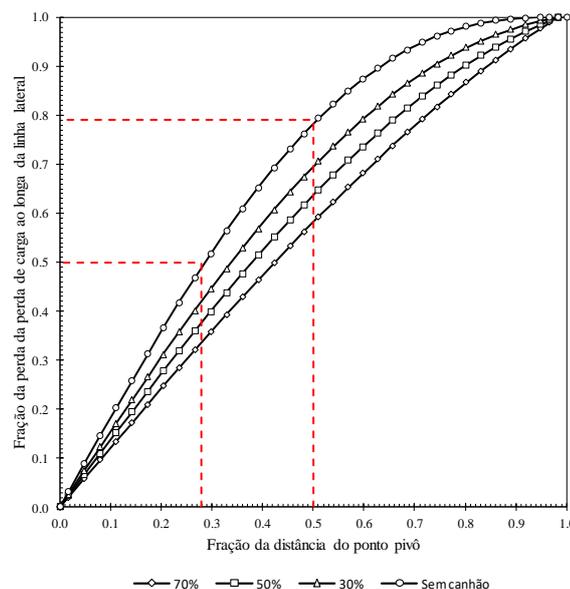
ev, ed – expoentes da vazão (1,852) e do diâmetro (4,87), respectivamente;

gr – razão entre vazão do canhão e vazão total;

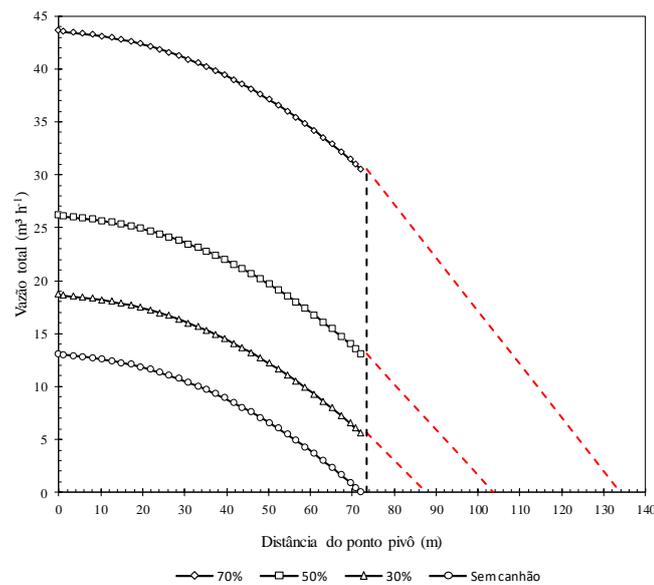
x – ponto qualquer ao longo da linha lateral ( $0 \leq x \leq Lt$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à distribuição de pressão ao longo da linha lateral do pivô central em estudo, é possível observar na Figura 1 o comportamento para as configurações sem canhão final, e com o canhão operando a 30, 50 e 70% da vazão total. Na Figura 2 é apresentada a distribuição de vazão para essas configurações.



**Figura1.** Distribuição da perda de carga ao longo da linha lateral do pivô central para diferentes vazões do canhão final.



**Figura 2.** Distribuição da vazão ao longo da linha lateral do pivô central para diferentes vazões do canhão final.

Na Figura 1 é possível observar, para a configuração sem canhão final, que 50% da perda de carga ocorrem em 28% do raio irrigado, e que 79% da perda de carga ocorre em 50% do raio irrigado. Esse mesmo resultado foi apresentado por Allen et al., (2011), em estudo sobre o comportamento da perda de carga em linhas laterais de pivô central. Além disso, com o aumento da razão entre a vazão do canhão final e a vazão total do sistema ( $gr$ ), a curva da distribuição da perda de carga ao longo da linha lateral do pivô central tende a linearidade, confirmando o estudo de Von Bernuth (1983). Este último afirma que a distribuição de pressão ao longo de uma lateral diminui a uma taxa maior devido a uma maior porcentagem de vazão que chega na extremidade da linha lateral.

Na Figura 2, é possível observar que para a configuração sem canhão final, a vazão zero é localizada exatamente na extremidade da linha lateral ( $L_t$ ), ou seja, a vazão de entrada no pivô central é a vazão do círculo básico ( $Q_b$ ).

Para as configurações em que há a presença de canhão final, a vazão zero é localizada em  $L_{h30}=87,7m$ ,  $L_{h50}=103,8m$  e  $L_{h70}=134 m$  do ponto pivô para  $gr=0,3$ ,  $gr=0,5$  e  $gr=0,7$ , respectivamente. Esses comprimentos são chamados de comprimento hidráulico ( $L_h=L/\sqrt{1-gr}$ ), que são figuras matemáticas determinadas quando há presença de canhão final na linha lateral. De acordo com Colombo (2003), para um pivô central sem um canhão final ( $Q_c=0$ ), o comprimento hidráulico equivalente ( $L_h$ ) é igual ao comprimento da lateral móvel do pivô ( $L_t$ ); e para o caso de um pivô com canhão final, o comprimento hidráulico equivalente ( $L_h$ ) é maior que comprimento da lateral móvel. Dessa forma, a vazão de entrada nestas

configurações é a soma da vazão do círculo básico ( $Q_b$ , fixo) e as vazões do canhão final ( $Q_c$ ).

Na Tabela 1, são apresentados os desvios relativos entre os valores de perda de carga obtidos no EPANET e através do método analítico proposto por Tabuada (2011).

**Tabela 1.** Valores de perda de carga obtidos no EPANET e pelo método analítico para diferentes valores de  $gr$

<b>gr</b>	<b>hf Tabuada (2011) (m)</b>	<b>hf EPANET (m)</b>	<b>DR (%)</b>
0	0,43641	0,43200	-1,021
0,3	0,99858	0,99560	-0,299
0,5	2,10283	2,10240	-0,020
0,7	6,13833	6,14690	0,139

Na Tabela 1, é possível observar que os valores de perda de carga obtidos nas simulações hidráulicas no EPANET são muito próximos aos obtidos através do método analítico proposto por Tabuada (2011), apresentando desvio relativo máximo de aproximadamente 1% para  $gr=0$ . Sendo assim, os resultados demonstram que o EPANET é uma excelente ferramenta para simulação hidráulica de sistemas de irrigação do tipo pivô central com a presença de canhão final.

## CONCLUSÕES

Os resultados apresentados demonstram que a presença do canhão final na linha lateral de um pivô central influencia consideravelmente na distribuição de vazão e pressão. A partir disso, deve-se adotar estratégias para otimizar a uniformidade de aplicação e uso de energia nesses cenários. Sendo assim, o software se EPANET se mostrou uma alternativa excelente de auxílio para esses cenários.

## AGRADECIMENTOS

A CAPES pela bolsa de estudos PDSE processo n° 88881.190146/2018-01. Ao CNPq e FAPEMIG pelas bolsas concedidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil – 2014: Relatório Síntese**. Brasília: ANA, 2016, 33p.
- ALLEN, R. G.; KELLER, J.; MARTIN, D. **Irrigation association: center pivot design**. 2. ed. Saint Joseph: ASAE, 2011. 304 p.
- BAPTISTA, V. B. S.; COLOMBO, A.; BARBOSA, B. D. S.; ALVARENGA, L. A.; FARIA, L. C.; ARAÚJO, D. S. A. Uso do EPANET 2.0 na determinação da distribuição espacial de pressão em um sistema de irrigação do tipo pivô central. **IV Inovagri Internacional Meeting**, 2017.
- CHANDRUPATLA, R. T.; OSLER, J. T. The perimeter of an ellipse. **Math Scientist**, Oxford, v. 35, p. 122-131, 2010.
- COLOMBO, A. Pivô Central. In: MIRANDA, J. H. de; PIRES, R. C. de M. (Org.). **Irrigação: volume 2**. Piracicaba: Funep, 2003. p. 209-258.
- FRIZZONE, J.A., REZENDE, R., CAMARGO, A.P., COLOMBO, A. **Irrigação por aspersão: sistema pivô central**, 1a. ed. Editora UEM, Maringá, 2018.
- ROSSMAN, L. A. EPANET 2: User Manual. **Cincinnati US Environmental Protection Agency National Risk Management Research Laboratory**, n. September, p. 104, 2000.
- SADEGHI, S. H., AND PETERS, T. (2013). "Adjusted friction correction factors for center-pivots with an end-gun." **Irrigation Science**, 31(3), 351–358.
- SCALOPPI, E. J.; ALLEN, R. G. Hydraulics of Center Pivot Laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 119, n. 3, p. 554–567, 1993.
- SOLOMON, K., AND KODOMA, M. (1978). "Center pivot end sprinkler pattern analysis and selection." **Trans. Amer. Soc. Agric. Engrs.**, 21(4), 706-712.
- TABUADA, M. A. Hydraulics of center-pivot laterals: a complete analysis of friction head loss. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Elmsford, v. 137, n. 8, p. 513- 523, Aug. 2011.

Victor Buono da Silva Baptista et al.

VON BERNUTH R. D. (1983) Nozzling consideration for center pivots with end guns. **Trans Am Soc Agric Eng** 26(2):419–422