

## MODELAGEM DA REDUÇÃO DE VAZÃO EM PARCELAS DE IRRIGAÇÃO DEVIDO AO INCREMENTO DA PERDA DE CARGA DO SISTEMA DE FILTRAGEM

MARINALDO FERREIRA PINTO<sup>1</sup>; DINARA GRASIELA ALVES<sup>1</sup>; EZEQUIEL SARETTA<sup>2</sup> E TARLEI ARRIEL BOTREL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia, Instituto de Tecnologia, UFRRJ, Rodovia BR 465, km 7, 23890-000, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil, e-mail: [marinaldo@ufrj.br](mailto:marinaldo@ufrj.br), [dinara\\_alves@hotmail.com](mailto:dinara_alves@hotmail.com)

<sup>2</sup>Coordenadoria Acadêmica do Campus Cachoeira do Sul da UFSM, CEP 96506-322, Cachoeira do Sul, RS. E-mail: [ezequiel.saretta@ufsm.br](mailto:ezequiel.saretta@ufsm.br)

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil, e-mail: [tabotrel@usp.br](mailto:tabotrel@usp.br)

### 1 RESUMO

A perda de carga nos filtros pode alterar a altura manométrica total de um sistema de bombeamento e conseqüentemente a pressão na entrada das parcelas de irrigação, podendo comprometer a uniformidade de aplicação e lâmina de irrigação. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo para simulação do efeito do incremento da perda de carga no sistema de filtragem na vazão de uma parcela de irrigação. Foram consideradas duas situações: a) o sistema de bombeamento apresenta um dispositivo para regulação da altura manométrica total; e b) o sistema de bombeamento não dispõe de tal recurso. Analisou-se diferentes valores de expoente de vazão dos emissores, diâmetros e/ou comprimentos de adutoras, pressão de trabalho e incremento da perda de carga no sistema de filtragem. Foram considerados uma motobomba com vazão nominal de  $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e um sistema de filtragem com vazão nominal de  $2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . A partir das simulações foi possível se determinar o limite de incremento da perda de carga que proporciona uma redução de vazão máxima admitida para cada cenário avaliado. Esses valores foram comparados com a perda de carga máxima admitida, sendo adotado o menor valor de perda de carga, entre esses dois critérios.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelo hidráulico; simulação; microirrigação

**PINTO, M. F.; ALVES, D. G.; SARETTA, E.; BOTREL, T. A.**  
**AN APPROACH FOR FLOW REDUCTION OF IRRIGATION BLOCKS DUE TO INCREASING HEAD LOSS OF THE FILTERING SYSTEM**

### 2 ABSTRACT

The head loss in filters can change the total head of the pump system and consequently the pressure on the irrigation block inlet. It may compromise the uniformity of application and the irrigation depth. The aim of this study was to develop a model to simulate the effect of head loss increasing of filtering system on the flow of an irrigation block. It considered two situations: a) pumping system with a device for regulating the total head; and, b) pumping without system for regulating the total head. We analyzed different values of exponent flow

emitters, diameters and/or lengths of main line, pressure and head loss increasing in the filtering system. It considered a pump with nominal flow rate of  $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  and a filtering system with nominal flow rate of  $2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . From the simulations, it was possible to determine the limit of head loss increasing that provides a range of maximum flow allowed for each scenario. These values were compared with the maximum permissible head loss, and adopted the lower value of head loss, between these two criteria.

**Keywords:** hydraulics model; simulation; microirrigation

### 3 INTRODUÇÃO

Os principais filtros utilizados no processo de remoção de partículas presentes na água para fins de microirrigação são os de areia, de tela e de disco. Os filtros de areia são recomendados para remoção de contaminantes orgânicos e de algas (TESTEZLAF, 2008). Os filtros de tela ou disco são eficientes na retenção de partículas sólidas de pequenos diâmetros, porém quando submetidos a águas de baixa qualidade, com grande quantidade de impurezas, como algas ou matéria orgânica, são muito suscetíveis à obstrução, necessitando de limpezas frequentes. Além disso, quando o elemento filtrante obstruído é a tela, é possível ocorrer seu rompimento, caso não sejam realizados procedimentos de limpeza do mesmo (PIZARRO CABELLO, 1996).

A variável hidráulica sensível ao acúmulo de partículas nos filtros é a perda de carga, que para os filtros limpos normalmente varia de 9,8 a 29,4 kPa. Esta é usada como um dos critérios para se proceder a limpeza dos filtros. Esta limpeza, denominada de retrolavagem, é realizada mediante a mudança de sentido de fluxo no interior do filtro, podendo ser feita de forma manual ou automática (TESTEZLAF, 2008).

A limpeza dos filtros de tela e/ou disco pode ser efetuada diretamente pelo usuário, bastando retirar o elemento filtrante do corpo do filtro, visto que este é de pequeno porte, o que facilita este tipo de operação.

Apesar de existir alguns critérios para definição do momento da retrolavagem, Nakayama (1986) afirma que não existe uma regra universal para prever com precisão o momento exato da limpeza do filtro. A maioria dos filtros são retrolavados manualmente, com intervalos de tempo predefinidos, ou se utilizando sistemas automáticos baseados em valores de perda de pressão, ocasionada pelo entupimento da camada filtrante. De modo geral, o critério prático indicado para se proceder a retrolavagem é quando a perda de carga atinge 58,9 kPa (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006; PIZARRO CABELLO, 1996). Outro critério é a redução da vazão proveniente do aumento da perda de carga, sendo este o critério menos utilizado (MEDINA SAN JUAN, 2000). Já Silva, Mantovani e Ramos (2003) recomendam que a retrolavagem deve ser realizada a cada aumento de 10 a 20% da perda de carga em relação ao filtro limpo, entretanto, este critério provavelmente proporciona maior número de retrolavagens comparado com o critério anterior, recomendado pela maioria dos autores. Keller e Bliesner (1990) recomendam que a limpeza deve ser realizada quando a perda de carga aumentar em 35 kPa e, Zeier e Hills (1987) recomendam uma perda de carga máxima de 39 kPa.

A variação de vazão em uma subunidade de irrigação é um critério de dimensionamento de sistemas de irrigação (PRADO et al., 2014) e está relacionado com a uniformidade de aplicação de água. A uniformidade da irrigação pode ser afetada por outros fatores como obstrução dos emissores, velocidade do vento (no caso da aspersão) e distribuição de pressão dentro da subunidade (CAPRA; SCICOLONE, 1998; TARJUELO; MONTERO; CARRION,

1999). Segundo Camargo et al. (2013) alterações na vazão de uma linha lateral afeta o seu perfil de pressão, afetando a uniformidade de aplicação. Além disso, caso a vazão seja reduzida, a lâmina aplicada também é reduzida o que pode proporcionar déficit hídrico a cultura. A vazão pode ser reduzida tanto por problemas de obstrução dos emissores (RESENDE et al., 2000) como pela redução da pressão de entrada dos emissores.

As alterações do desempenho dos sistemas de irrigação ocorrem em consequência da altura manométrica da instalação de bombeamento (MESQUITA et al., 2012), podendo ser influenciada pela variação da perda de carga no sistema de filtragem. Entretanto, a literatura não aborda a influência do aumento da perda de carga nos filtros na redução da vazão do sistema de irrigação, de modo que possibilite a adoção de critérios que leve em consideração fatores limitantes tanto estruturais como operacionais, bem como a influência hidráulica sobre o sistema de irrigação.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo para simulação do efeito do incremento da perda de carga devido ao acúmulo de partículas, sob a vazão e pressão de uma parcela de irrigação, e avaliar as condições mais limitantes entre os critérios de variação de vazão e de perda de carga para a limpeza dos filtros.

#### 4 MATERIAL MÉTODOS

Para uma dada vazão, o acúmulo de partículas sólidas na tela de um filtro provoca um incremento da perda de carga, uma vez que ocorre a obstrução dos poros da tela. Segundo Adin e Alon (1986) a relação entre a perda de carga e o volume de água filtrada, considerando-se vazão e concentração de sólidos constante, tem um comportamento exponencial (lei de Boucher), expressa pela Equação 1. Ou seja, pode-se inferir que a relação entre massa de partículas retidas no filtro e a perda de carga também tem uma relação exponencial.

$$h_f' = h_f e^{IV} \quad (1)$$

em que:

$h_f'$  - perda de carga para uma vazão  $Q$ , depois de filtrado um volume de água  $V(L)$ ,  $m$

$h_f$  - perda de carga para uma vazão  $Q$ , quando o filtro está limpo,  $m$

$e$  - número de Neper, adimensional

$I$  - índice de filtrabilidade, que é função da concentração de sólidos em suspensão, adimensional

Para um dado instante, cujo volume filtrado é  $V$ , tem-se que o termo exponencial é uma constante ( $\epsilon$ ), que multiplica a perda de carga na condição inicial, em que o sistema de filtragem estaria limpo (Equação 2).

$$h_f' = \epsilon h_f \quad (2)$$

Ou, da mesma forma, pode-se representar o incremento relativo da perda de carga, conforme a Equação (3), denominado neste trabalho de fator de perda de carga.

$$\lambda = \epsilon - 1 \quad (3)$$

Segundo Alves, Oliveira e Oliveira (2002) a curva vazão versus pressão de uma bomba centrífuga pode ser descrita por um polinômio de segundo grau (Equação 4).

$$H = aQ^2 + bQ + c \quad (4)$$

em que:

H - altura manométrica total, m

Q - vazão do sistema, m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>

a, b e c - parâmetros de ajuste da equação, adimensional

Supondo que a altura manométrica total é diferenciada unicamente pela mudança da perda de carga dos filtros, que é alterada com o incremento da retenção de partículas. O equacionamento deste comportamento pode ser expresso de acordo com as Equações 5 e 6.

$$H_0 = H_G + KQ_0^m + h_f + P \quad (5)$$

$$H = H_G + KQ^m + h_f' + P \quad (6)$$

em que:

Q<sub>0</sub> - vazão do sistema de filtragem para uma perda de carga inicial, m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>

H<sub>0</sub> - altura manométrica total para uma vazão Q<sub>0</sub>, m

H<sub>G</sub> - altura geométrica, m

P - pressão média na unidade de irrigação, m

K - constante que caracteriza os componentes hidráulicos do sistema de recalque de água, adimensional

m - expoente da vazão da equação de perda de carga, adimensional

A equação de vazão em função da pressão de entrada de um emissor pode ser definida de acordo com a Equação 7 (PRADO et al., 2014).

$$q = wP^x \quad (7)$$

em que:

q - vazão média dos emissores, m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>

P - pressão de serviço dos emissores, m

w e x - parâmetros de ajuste da equação, adimensional

Considerando um sistema com n emissores, tem-se que a vazão total é dada pela Equação 8.

$$Q = nq \quad (8)$$

Aplicando-se a Equação 8 na Equação 7, resulta na Equação 9.

$$P = \left(\frac{Q}{nw}\right)^{\frac{1}{x}} \quad (9)$$

Aplicando-se a Equação 9 na 6, resulta na Equação 10.

$$H = H_G + KQ^m + h_f' + \left(\frac{Q}{nw}\right)^{\frac{1}{x}} \quad (10)$$

Neste caso, têm-se duas situações: I) não há mecanismo de regulação de pressão (Figura 1A); e II) dispõe-se de mecanismo para a regulação da pressão na saída do conjunto motobomba, fazendo com que a altura manométrica total se mantenha constante (Figura 1B).

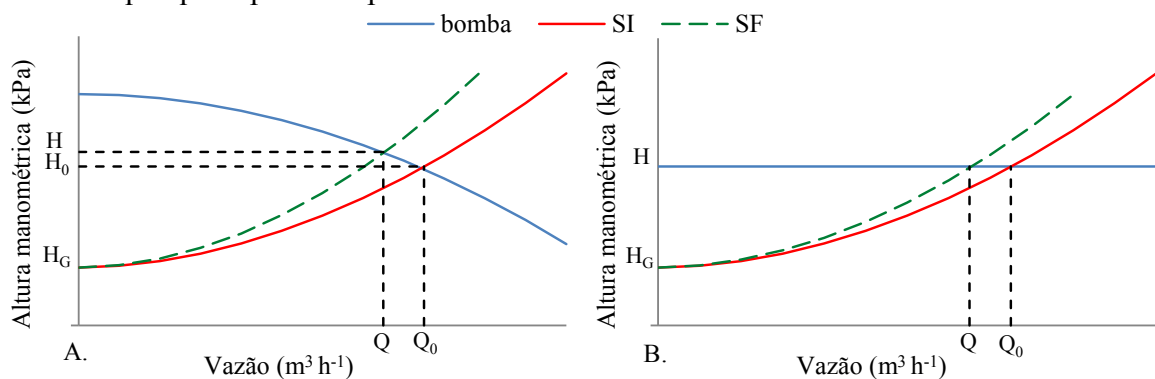
#### 4.1. Caso I

Como a altura manométrica não varia, a Equação 10, resume-se à Equação 11.

$$h_f' = H_0 - \left( H_G + KQ^m + \left( \frac{Q}{nw} \right)^{\frac{1}{x}} \right) \quad (11)$$

Quando  $h_f' = h_f$ , então  $Q = Q_0$  e representa a curva do sistema inicial, ou seja, com o sistema de filtragem limpo. Em um instante qualquer após a limpeza, a curva do sistema é alterada conforme está apresentado na Figura 1A.

**Figura 1.** Representação gráfica do comportamento da variação de vazão em função do aumento da perda de carga: A. considerando-se a altura manométrica variável; B. considerando a altura manométrica constante. Bomba: curva da bomba; SI: curva do sistema para a condição de filtro limpo; SF: curva do sistema para um instante qualquer após a limpeza do filtro



#### 4.2. Caso II

Aplicando a Equação 10 em 4, resulta na Equação 12.

$$H_G + KQ^m + h_f' + \left( \frac{Q}{nw} \right)^{\frac{1}{x}} = aQ^2 + bQ + c \quad (12)$$

A perda de carga no sistema de filtragem pode ser determinada pela Equação 13, resultado do rearranjo da Equação 12.

$$h_f' = aQ^2 + bQ + c - \left( H_G + KQ^m + \left( \frac{Q}{nw} \right)^{\frac{1}{x}} \right) \quad (13)$$

A representação gráfica deste processo está apresentada na Figura 1B, em que se considera uma condição inicial com o sistema de filtragem limpo (curva do sistema inicial) e aquela após um incremento de perda de carga devido à obstrução dos poros dos filtros (curva do sistema).

Então para ambos os casos a redução relativa de vazão ( $r$ ) é dada pela Equação 14.

$$r = \frac{Q_0 - Q}{Q_0} \quad (14)$$

Em termos de vazão relativa ( $\varphi$ ), tem-se as Equações 15 e 16.

$$\varphi = 1 - r \quad (15)$$

ou,

$$\varphi = \frac{Q}{Q_0} \quad (16)$$

Expressando a Equação 12 em função do fator de vazão, tem-se a Equação 17.

$$h'_f = a(\varphi Q_0)^2 + b\varphi Q_0 + c - \left[ H_G + K(\varphi Q_0)^m + \left( \frac{\varphi Q_0}{nw} \right)^{\frac{1}{x}} \right] \quad (17)$$

Note-se que a Equação 17 pode ser aplicada tanto para o caso em que há regulação de pressão quanto para o caso em que não há. Quando a altura manométrica for constante, assume-se que  $c = H_0$  e  $a = b = 0$ , de modo que a Equação 17 se torna equivalente à Equação 11.

### 4.3. Simulação do efeito da perda de carga na vazão do sistema de irrigação

Realizaram-se simulações do incremento percentual de perda de carga nos filtros ( $\lambda$ ), conforme a Equação (3), considerando-se diferentes condições hidráulicas por meio da variação dos parâmetros da rede hidráulica ( $K$ ), dos emissores ( $x$ ) e da condição de regulação de pressão ou não. Além disso, considerou-se a curva vazão x perda de carga dos filtros empregadas por Pinto et al. (2016) (Equação 18), cuja vazão nominal era de  $2 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  e a perda de carga admissível de  $58,8 \text{ kPa}$  (critério prático).

$$h_f = 0,7729Q^{1,9874} \quad (18)$$

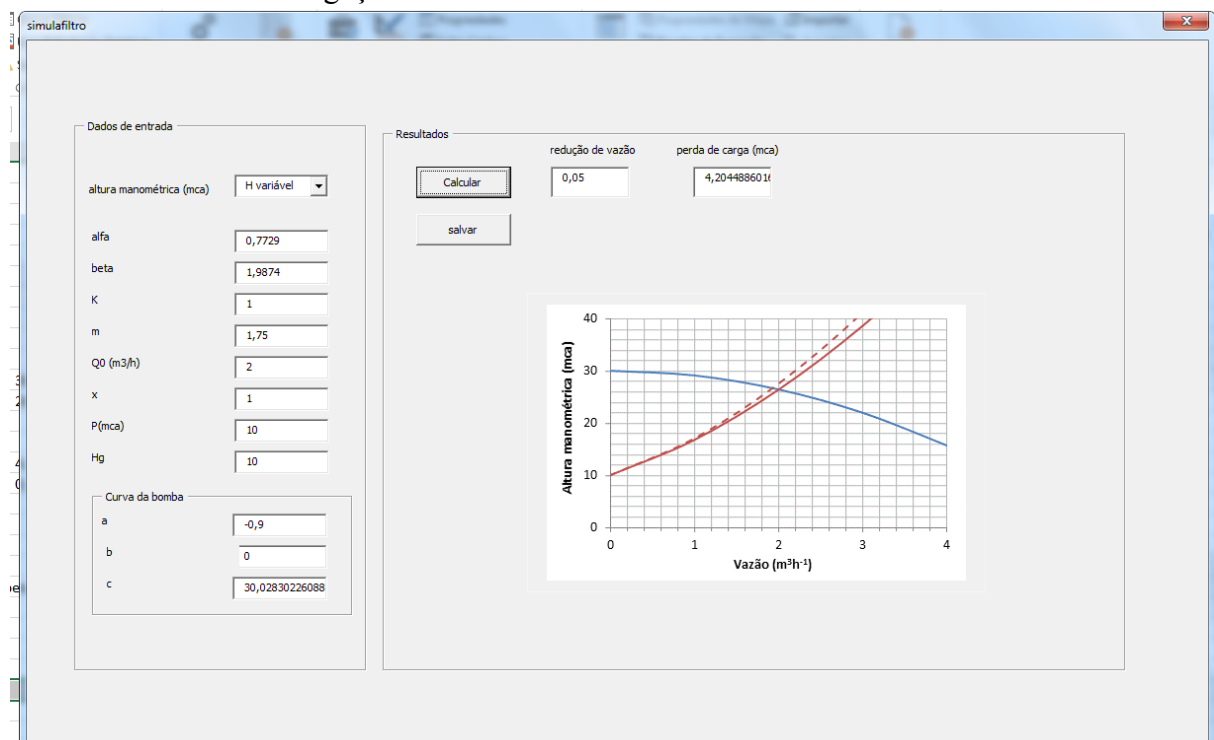
Considerou-se valores dos parâmetros  $K$  e  $x$  variando de 0,5 a 3 e 0,1 a 1, respectivamente. Para essa condição a redução de vazão foi mantida em 10%. Além disso, foram construídas curvas de vazão relativa ( $\varphi$ ), no intervalo de 0,7 a 0,95, para  $K$  igual a 2 e  $x$  variando de 0,1 a 1. Os cenários considerados nas simulações foram os seguintes: A) vazão relativa ( $\varphi$ ) de 0,9, sob valores de  $K$  (0,5; 1; 2; 3) e  $x$  (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1); B)  $K$  de 2, vazão relativa ( $\varphi$ ) (0,95; 0,85; 0,8; 0,75; 0,7) e  $x$  (0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1). Para ambas as situações se considerou altura manométrica constante e variável, e as pressões de 98,1; 196,2 e 294,3 kPa.

A curva da motobomba utilizada está apresentada na Equação 19, sendo que o parâmetro  $c$  era variável, tendo em vista que foram considerados diferentes cenários, que remete a alturas manométricas muito distintas. Neste caso, ajustou-se o parâmetro  $c$  para que o ponto de operação coincidissem com a vazão nominal do sistema de filtragem que era de  $2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , considerando os filtros limpos.

$$H = -0,9Q^2 + c \quad (19)$$

A simulação dos cenários apresentados foi realizada por meio de um aplicativo desenvolvido em linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA) (Figura 2).

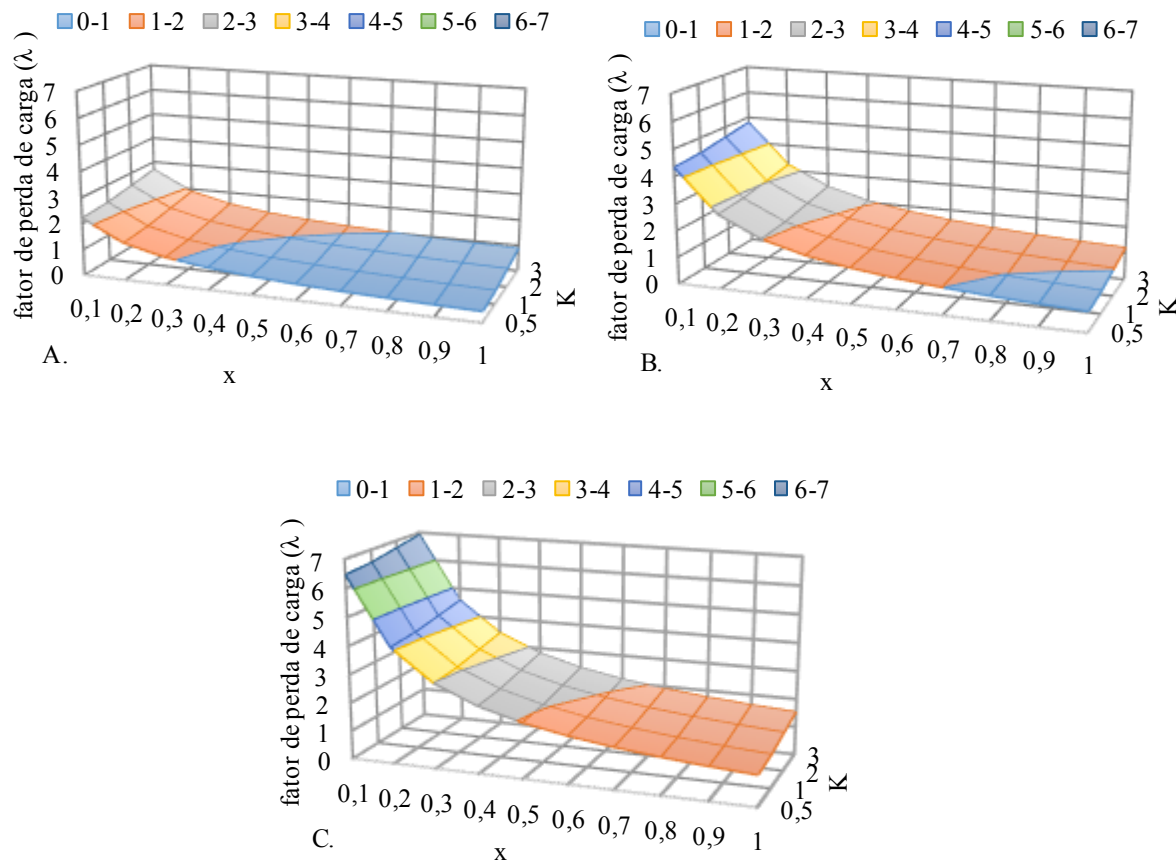
**Figura 2.** Aplicativo para simulação da influência da perda de carga nos filtros na vazão de um sistema de irrigação



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A influência da perda de carga nos filtros sobre a vazão de sistemas de irrigação, para os cenários avaliados pode ser visualizada nas Figuras 3 a 5. Quando  $\lambda$  iguais a 1, a perda de carga correspondente no sistema de filtragem é de 58,9 kPa, que é o critério prático. Então, valores de  $\lambda$  inferiores a 1 implicam em perda de carga menor que 58,9 kPa, ou seja, o critério de variação de vazão se torna mais rigoroso (indica que a limpeza do sistema de filtragem ocorre com maior frequência do que o critério prático). Os dados apresentados envolvem uma situação específica para o sistema de filtragem considerado, mas abrange uma gama de cenários de emissores, pressão de serviço e de perda de carga na linha principal. Segundo Mesquita et al. (2012) e Oliveira et al. (2016) a perda de carga em filtros depende também da estrutura interna do filtro, podendo apresentar diferenças em função do modelo.

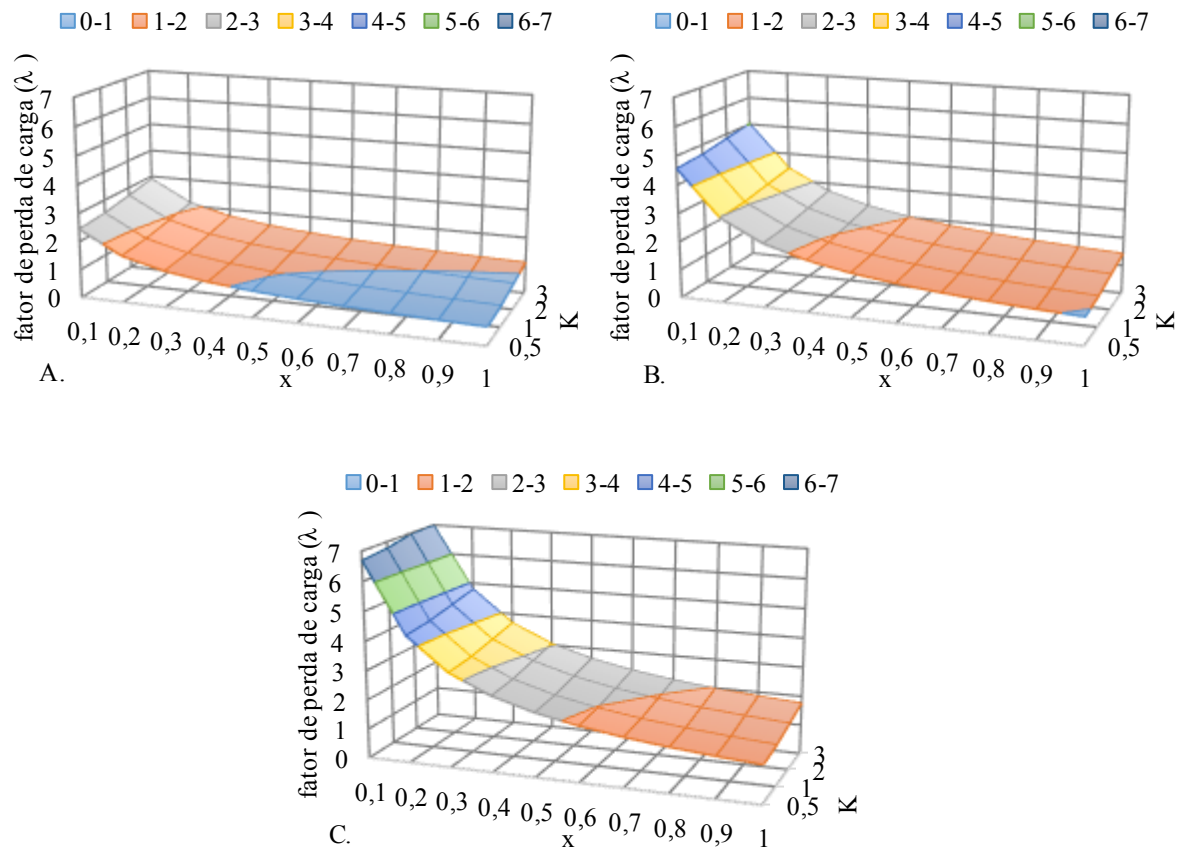
**Figura 3.** Superfície do fator de perda de carga ( $\lambda$ ) em função do expoente de vazão ( $x$ ) e das características do sistema de irrigação ( $K$ ), para pressões de operação de (A) 98,1; (B) 196,2 e (C) 294,3 kPa, altura manométrica total constante, vazão inicial de  $2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e redução de vazão relativa de 10%



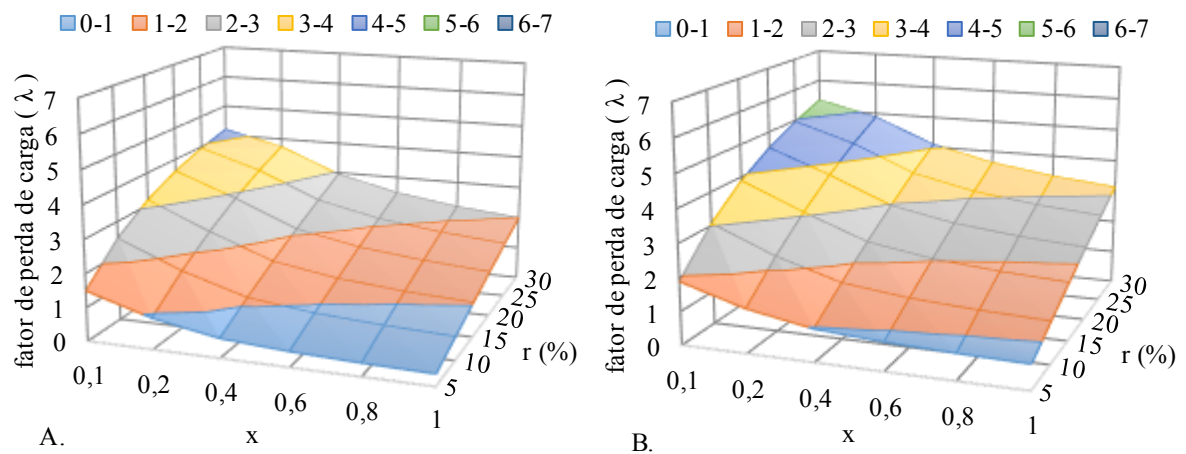
Das Figuras 3 a 5 percebe-se que os valores de  $\lambda$  são inferiores a 1 para as situações em que o expoente de vazão dos emissores tendem a 1, combinado com os menores valores de  $K$  e pressão de serviço. Esta condição está representada em todas as figuras pela cor azul clara, sendo que as demais cores correspondem a  $\lambda$  maiores que 1. No caso de emissores autocompensantes, em que o expoente de vazão tende a 0, tem-se que a vazão dos emissores é pouco sensível à variação de pressão (PRADO et al., 2014) e neste caso é pouco provável que a variação de vazão seja mais rigorosa que o critério prático. Além disso, quanto menor a redução de vazão ( $r$ ) admitida maior será a chance deste critério ser mais rigoroso que o critério prático, visto que  $\lambda$  tende a valores menores, culminando em menor perda de carga admitida no sistema de filtragem. Segundo Pinto et al. (2016) quando a perda de carga admissível é menor, tem-se maior número de retrolavagens.



**Figura 4.** Superfície do fator de perda de carga ( $\lambda$ ) em função do expoente de vazão ( $x$ ) e das características do sistema de irrigação ( $K$ ), para pressões de operação de (A) 98,1; (B) 196,2 e (C) 294,3 kPa, altura manométrica total variável, vazão inicial de  $2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e redução relativa de vazão de 10%



**Figura 5.** Superfície do fator da perda de carga ( $\lambda$ ) em função do expoente de vazão ( $x$ ) e da redução relativa de vazão ( $r$ ), com vazão inicial de  $2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ,  $K=2$  e pressão de operação de 98,1 kPa para altura manométrica total constante ( $H$  constante) (A) e variável ( $H$  variável) (B)



Entre a situação em que se tem regulação de pressão e a que não tem, pode-se perceber que a primeira situação é menos rigorosa que a segunda. Isto porque quando não se tem regulador de pressão, caso a vazão seja reduzida a altura manométrica aumenta, compensando a perda de carga nos filtros, ou seja, é tolerável maior perda de carga nos filtros sem que a redução da vazão aumente, comparado com a situação em que a altura manométrica total é mantida constante. Isto pode ser evidenciado por meio da Figura 5, na qual percebe-se maior número de cenário com  $\lambda$  inferiores a 1 para altura manométrica constante que na situação com altura manométrica variável. A faixa em que o critério de variação de vazão é mais rigoroso corresponde a valores de  $x$  no intervalo de 0,2 a 1 e variações de vazão de 5 a 15%, para altura manométrica constante, e valores de  $x$  variando de 0,4 a 1 e variação de vazão de 5 a 10%, para altura manométrica variável. Segundo Faria et al. (2002) a regulação da pressão na saída do conjunto motobomba pode ser efetuada mediante a variação da rotação da motobomba. A alteração da rotação pode ser feita utilizando inversores de frequência (ALVES; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2002; MORAES et al., 2014).

Outro importante fator que influencia qual critério é mais rigoroso é a pressão de serviço dos emissores. Observa-se pelas Figuras 3 e 4 que quanto maior a pressão, menos rigoroso é o critério de variação de vazão, ou seja, menor é o número de cenários em que o mesmo sobrepõe o critério prático.

Analisando o fator  $K$  que caracteriza o efeito combinado das variáveis diâmetro e comprimento da adutora e as constantes da equação de perda de carga, tem-se que a faixa de valores considerados (de 0,5 a 3) representa valores de perda de carga para a vazão nominal que variam de 6,8 a 43,6 % da altura manométrica total, como está apresentado na Tabela 1. Isto representa uma gama de situações, nas quais se pode ter diferentes diâmetros de tubulação, bem como comprimento da adutora que leva água até a área a ser irrigada. Pode-se perceber que os valores de  $K$  representam diferentes perdas de carga relativa a altura manométrica para as diferentes pressões de operação dos emissores, sendo que a faixa de pressão considerada abrange boa parte das situações de projeto, principalmente para sistemas de gotejamento.

Para todos os cenários simulados, pode-se perceber que o critério de variação de vazão é mais rigoroso que o critério de perda de carga para valores de  $K$  menores, ou seja, quanto menor a perda de carga na linha de adução maior a possibilidade do critério de vazão ser mais rigoroso, considerando os demais fatores constantes.

De forma resumida, constatou-se que as condições que levam a adoção do critério de variação de vazão são: expoente de vazão superior a 0,5, pequenos valores de perda de carga da tubulação de adução e menores pressões de serviço.

**Tabela 1.** Relação entre o parâmetro K e a perda de carga relativa à altura manométrica total para a condição de vazão nominal.

P (kPa)	K	Perda de carga relativa a altura manométrica total (%)
98,1	0,5	11,4
	1	20,5
	2	34,0
	3	43,6
196,2	0,5	6,8
	1	12,7
	2	22,6
	3	30,4
294,3	0,5	4,8
	1	9,2
	2	16,9
	3	23,4

## 6 CONCLUSÕES

A definição da perda de carga admissível, na qual a limpeza dos filtros será executada, deve levar em consideração tanto o critério de perda de carga máxima quanto o critério de variação de vazão do sistema de irrigação.

O modelo desenvolvido pode ser usado para a simulação da variação de vazão devido à perda de carga nos filtros de sistemas de irrigação desde que se conheçam as características hidráulicas do sistema de filtragem e do sistema de irrigação, incluindo os emissores e a linha de recalque.

## 7 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro por meio do projeto de pesquisa 2010/52457-6, ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro a esta pesquisa, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI). À CAPES pela concessão da bolsa de pós-doutorado por meio do Programa Nacional de Pós Doutorado da CAPES (PNPD).

## 8 REFERÊNCIAS

ADIN, A.; ALON, G. Mechanisms and process parameters of filter screens. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Jerusalem, v. 112, n. 4, p. 293-304, 1986.

ALVES, A. J.; OLIVEIRA, L. F. C.; OLIVEIRA, A. M. Verificação das relações de Râteaux pelo emprego de um inversor de frequência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 523-525, 2002.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

CAMARGO, A. P.; MOLLE, B.; TOMAS, S.; FRIZZONE, J. A. An assessment of clogging effects on lateral hydraulics: proposing a monitoring and detection protocol. **Irrigation Science**, New York, v. 33, p. 181-191, 2013.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 70, p. 355-365, 1998.

FARIA, L. F.; COELHO, R. D.; FLECHAL, P. A. N.; BOBLES, W. G. R.; VÁSQUEZ, M. A. N. Entupimento de gotejadores e seu efeito na pressão da rede hidráulica de um sistema de microirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 195-198, 2002.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and Trickle Irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

MEDINA SAN JUAN, J. A. **Riego por goteo: teoría y práctica**. Madrid: EdicionesMundi-Prensa, 2000. 302 p.

MESQUITA, M.; TESTEZLAF, R.; SALCEDO, J. C.; BIZARI, D. R. Contribuição da estrutura interna na perda de carga de filtros de areia utilizados na irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 121-130, 2012.

MORAES, M. J.; OLIVEIRA FILHO, D.; MANTOVANI, E. C.; MONTEIRO, P. M. B.; MENDES, A. L. C.; DAMIÃO, J. H. A. C. Automação em sistema de irrigação tipo pivô central para economia de energia elétrica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1075-1088, 2014.

NAKAYAMA, F. S. **Water treatment**. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D. A. Trickle irrigation for crop production: design, operation and management. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986. Chap. 3, p. 164-187.

OLIVEIRA, C. F.; TEIXEIRA, M. B.; RAMOS, A.; SILVA, R. M.; REBEIRO, P. H. P.; FRIZZONE, J. A. Portable Sand Filter For Small Drip Irrigation Systems. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 90-103, 2016.

PINTO, M. F.; ALVES, D. G.; SARETTA, E.; CARMORGO, A. P.; BOTREL, T. A. Development of a filtration system with high-frequency flow reversal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 4, p. 295-301, 2016.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid: Ediciones Mundi-

Prensa, 1996. 511 p.

PRADO, G.; NUNES, L. H.; TINO, A. C. Avaliação técnica de dois tipos de emissores empregados na irrigação localizada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 12-25, 2014.

RESENDE, R. S.; COELHO, R. D.; PIEDADE, S. M. S. Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 368-375, 2000.

SILVA, L. G. F.; MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. Irrigação localizada. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba: SBEA, 2003. v. 2, cap. 12, p. 259-309. (Série Engenharia Agrícola)

TARJUELO, J. M.; MONTERO, J.; CARRION, P. A. Irrigation uniformity with medium size sprinkler. Part II: Influence of wind and others factors on water distribution. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 42, n. 3, p. 677-689, 1999.

TESTEZLAF, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 604-613, 2008.

ZEIER, K. R.; HILLS, D. J. Trickle irrigation screen filter performance as affected by sand size and concentration. **Transaction of the ASAE**, St Joseph, v. 30, n. 3, p. 735-739, 1987.