

EFEITO DA CONTRAPRESSÃO NA HIDRÁULICA DE EMISSORES EM GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

**MICHAEL S. THEBALDI¹, LUIZ A. LIMA², WILLIAN F. DE ALMEIDA³,
RAFAELLA R. ANDRADE⁴; LUDMILA MAGALHÃES⁵**

¹ Engenheiro Agrícola, Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Professor Titular, Setor de Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Universitário de Formiga, UNIFOR – MG, Formiga - MG (37) 9939-0016, msthebaldi@uniformg.edu.br

² Engenheiro Agrícola, P.h.D. em Engenharia de Irrigação, Professor Associado do Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG

³ Tecnólogo em Recursos Hídricos/Irrigação, Doutor em Engenharia Agrícola, Pós-doutorando do Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG

⁴ Engenheira Agrícola, Mestranda em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG

⁵ Engenheira Agrícola, graduanda, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: Para o projeto e manejo da irrigação por gotejamento, é necessário o conhecimento da relação entre vazão e pressão atuante sobre os emissores. Porém, a atuação da contrapressão, no caso do gotejamento subsuperficial, pode alterar as características hidráulicas dos emissores. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar a relação entre a vazão e a pressão de diferentes gotejadores em condições superficiais e subsuperficiais e as possíveis diferenças no comportamento hidráulico dos emissores nessas duas condições. Foram utilizados nos ensaios dois emissores: um autocompensante, D5000, e um não autocompensantes, TalDrip. A vazão dos emissores foi obtida em condição atmosférica e submersa em água, onde os níveis de submersão representaram a contrapressão. Os ensaios foram realizados utilizando as pressões de entrada de 25, 50, 100 e 150 kPa e contrapressões de 0,49, 1,47, 2,45, 4,41 e 6,37 kPa, com quatro repetições. Os emissores tiveram suas constantes de proporcionalidade e expoentes de descarga alterados em aplicação submersa em água, representando o efeito da contrapressão. O emissor não autocompensante teve seu expoente de descarga diminuído enquanto que no autocompensante, este aumentou.

PALAVRAS-CHAVE: Constante de proporcionalidade, Expoente de descarga, Irrigação localizada

BACKPRESSURE EFFECT ON SDI EMITTERS HYDRAULICS

ABSTRACT: For the design and management of drip irrigation, it is necessary the knowledge of the relationship between flow and pressure acting on emitters. However, the backpressure phenomenon, in the case of subsurface drip irrigation, may change the emitter's hydraulic characteristics. Thus, the objective of this study was to determine the relationship between flow and pressure of different driplines, in surface and subsurface conditions and to find possible differences in the hydraulic behavior of these emitters on both conditions. Two emitters were tested: one pressure compensating, D5000, and one non-pressure compensating, TalDrip. The emitter's flow rate were obtained in atmospheric conditions and submerged in water, where submergence levels represented backpressure. Assays were performed using the

inlet pressure of 25, 50, 100, and 150 kPa and backpressures of 0.49, 1.47, 2.45, 4.41 and 6.37 kPa, with four replications. The emitters had their proportionality constants and discharge exponents changed when applying submerged in water, representing the effect of backpressure. The non-pressure compensating emitter had its discharge exponent decreased while on the pressure compensating one, it increased.

KEYWORDS: Proportionality constant, Discharge exponent, Trickle irrigation

INTRODUÇÃO

A relação vazão-pressão, a perda de carga ao longo da linha lateral e no emissor e o percurso da água no mesmo, constituem as características hidráulicas que influenciam diretamente no desempenho de sistemas de microirrigação. Essas características variam de acordo com o tipo de emissor, do material, do processo de fabricação e da forma de conexão do emissor na linha (FRIZZONE et al., 1998).

Além disso, ainda na fase de projeto, é essencial para o dimensionamento da irrigação localizada que haja informações referentes à vazão dos emissores e ao seu regime de fluxo (NAKAYAMA; BUCKS, 1981). Estas informações são obtidas por meio do coeficiente de variação de fabricação e da equação característica do emissor (relação pressão-vazão) (CABELLO, 1996).

O sistema de irrigação por gotejamento superficial é o mais utilizado entre os sistemas por gotejamento, porém, o gotejamento subsuperficial vem se tornando um método comum de irrigação na agricultura e paisagismo, provendo água e nutrientes às plantas enquanto mantém a superfície do solo seca (BEN-GAL; LAZAROVITCH; SHANI, 2004), além de propiciar um aumento na eficiência de irrigação e no uso de água, maior durabilidade dos materiais e a redução da área de evaporação de água a partir da superfície do solo.

Em contrapartida, o gotejamento subsuperficial pode sofrer com o fenômeno da contrapressão, que reduz a vazão dos gotejadores. Essa contrapressão da água no orifício formado ao redor do ponto de descarga do emissor (GIL et al., 2011) ocorre quando a intensidade de aplicação do emissor supera a infiltrabilidade do solo.

Sendo assim, uma das diferenças chave entre o gotejamento superficial e o subsuperficial é que o no último a vazão pode ser afetada pelas propriedades do solo (GIL et al., 2008).

Nesse ponto, percebe-se que a contrapressão pode alterar as características hidráulicas dos emissores em gotejamento subsuperficial, assim, o objetivo deste trabalho foi determinar a relação entre a vazão e a pressão de dois gotejadores, um autocompensante, D5000, e um não autocompensantes, TalDrip, em condições superficiais e subsuperficiais e as possíveis diferenças no comportamento hidráulico dos emissores nessas duas condições.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Hidráulica, pertencente ao Núcleo Didático-Científico de Engenharia de Água e Solo do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Os modelos de tubos gotejadores utilizados foram:

- a) NaanDanJain TalDrip, vazão nominal de $1,7 \text{ L h}^{-1}$, diâmetro nominal de 0,017 m e diâmetro interno de 0,0158 m, espaçamento de 0,30 m entre emissores;
- b) John Deere Water D5000, autocompensante, vazão nominal de $2,0 \text{ L h}^{-1}$, diâmetro nominal de 0,016 m e diâmetro interno de 0,0138 m, espaçamento entre emissores de 0,75 m e faixa de operação entre 50 e 350 kPa;

Para a realização dos ensaios, foi montado o aparato mostrado na Figura 1, constituído de um compressor (1) anexado a um frasco de Mariotte (2) construído com tubulação de PVC de diâmetro nominal de 150 mm. A pressão de entrada no frasco foi monitorada por meio de um conjunto distribuidor de ar pressurizado (3) fabricado pela Soilmoisture Equipment

Corporation. A pressão de entrada nos emissores foi controlada por um manômetro digital (4). A vazão dos gotejadores foi medida pela taxa de queda do nível da água dentro do frasco de Mariotte, observado em uma mangueira transparente anexada ao corpo deste.

As linhas de gotejadores foram colocadas dentro de um reservatório em fibra de vidro de 2.000 L (5), anexadas em uma estrutura metálica (6). As linhas eram controladas por válvulas na conexão de início de linha.

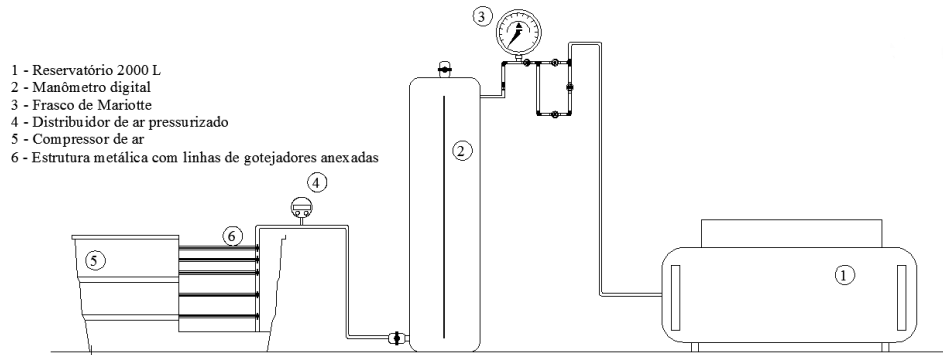


Figura 1. Aparato montado para a avaliação da vazão dos segmentos de tubos gotejadores.
Aparattus for driplines flow rates evaluation.

Foram realizados testes com pressões (h_0) crescentes de 25, 50, 100 e 150 kPa para os tubos gotejadores, sendo avaliados 12 emissores e quatro repetições para cada pressão. Com os pares de valores de vazão média por emissor e pressão, foi obtida a equação característica do emissor (Equação 1), que descreve a relação potencial entre a pressão e a descarga em orifícios (KELLER; KARMELI, 1975).

$$Q_{\text{superficial}} = k h_0^x \quad (1)$$

em que:

$Q_{\text{superficial}}$ = vazão do emissor, $L h^{-1}$;

k = constante de proporcionalidade, que caracteriza cada emissor, $L h^{-1} kPa^{-x}$;

h_0 = pressão hidráulica à entrada de água no emissor, kPa; e

x = expoente de descarga do emissor, que caracteriza o regime de fluxo, adimensional.

A constante de proporcionalidade pode ser definida como (Equação 2):

$$k = A C_d (2g)^x \quad (2)$$

em que:

A = área da seção transversal em que ocorre a descarga, m^2 ;

C_d = coeficiente de descarga hidráulica, adimensional;

g = aceleração da gravidade, $m s^{-2}$.

Para a avaliação da vazão dos gotejadores submersos em água, foi utilizado o mesmo aparato da Figura 1, porém, os gotejadores foram submersos em água no interior de um reservatório. A estrutura metálica (Figura 2A) auxiliou para que se mantivesse a mesma profundidade de toda a linha de gotejadores. O reservatório era munido de quatro extravasores para que o nível da água permanecesse constante, mesmo com a descarga dos emissores.

Os gotejadores foram submersos nas profundidades de 0,05; 0,15; 0,25; 0,45 e 0,65 m, correspondentes a 0,49; 1,47; 2,45; 4,41 e 6,37 kPa de contrapressão (h_s) aplicada. A linha de

gotejadores na profundidade a ser ensaiada foi controlada por meio de conectores iniciais para tubo gotejadores com válvula acoplada (Figura 2B).



Figura 2. Estrutura metálica utilizada para manter os gotejadores na profundidade de ensaio (A) e detalhe do conector inicial com válvula utilizado para controle das linhas. **Metal structure used to maintain the assay's depth of the emitter (A) and detail of the initial connector valve used to control the drip lines (B)**

As pressões de entrada utilizadas também foram de 25, 50, 100 e 150 kPa, sendo realizadas quatro repetições. Os dados foram ajustados à equação de descarga de gotejadores submetidos à contrapressão (Equação 3).

$$Q_{\text{submersa}} = k_{\text{subsuperficial}} (h_0 - h_s)^{x_{\text{subsuperficial}}} \quad (3)$$

em que:

Q_{submersa} = vazão média do emissor submerso, $L h^{-1}$;

h_s = contrapressão causada pelo nível de submersão, kPa;

$k_{\text{subsuperficial}}$ = constante de proporcionalidade subsuperficial, $L h^{-1} kPa^{-x}$, e

$x_{\text{subsuperficial}}$ = expoente de descarga subsuperficial, adimensional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados de vazão e pressão e empregando a análise de regressão, foram determinadas as equações vazão-pressão dos quatro emissores avaliados. A equação vazão-pressão do tubo gotejador TalDrip em aplicação superficial é mostrada na Figura 3.

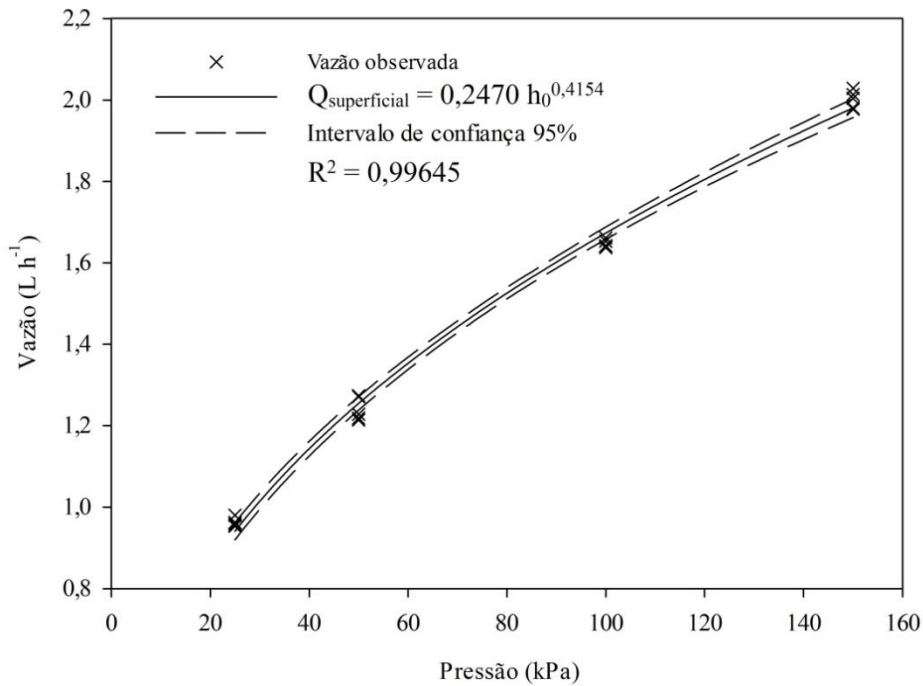


Figura 3. Relação vazão-pressão do emissor do tubo gotejador TalDrip em aplicação superficial.
Pressure-flow relationship of the emitter TalDrip on surface application.

O coeficiente de determinação do modelo vazão-pressão ajustado para o emissor TalDrip foi 99,64%, com constante de proporcionalidade (k) de $0,247 \text{ L h}^{-1} \text{ kPa}^{-x}$ e o expoente de descarga de 0,4154, ambos diferentes aos informados pelo fabricante em catálogo (0,555 e 0,460, respectivamente). O valor do expoente de descarga obtido o classifica como de fluxo turbulento conforme Keller e Bliesner (1990).

Os valores de vazão média do emissor TalDrip, obtidos para cada pressão e contrapressão aplicadas, estão apresentados na Figura 4.

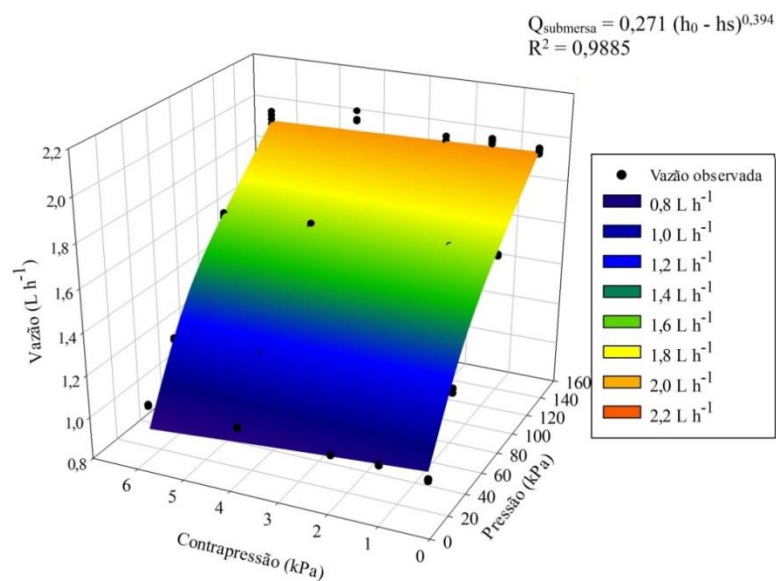


Figura 4. Relação vazão-pressão do emissor do tubo gotejador TalDrip em aplicação submersa.
Pressure-flow relationship of the emitter TalDrip on subsurface application.

Com a presença da contrapressão atuante sobre o ponto de saída da água dos emissores superior à pressão atmosférica, tanto a constante de proporcionalidade quanto o expoente de descarga do emissor TalDrip foram alterados (“k” de $0,247 \text{ L h}^{-1} \text{ kPa}^{-x}$ para $0,271 \text{ L h}^{-1} \text{ kPa}^{-x}$ e “x” de 0,4154 para 0,394). O coeficiente de determinação dos dados observados em relação ao modelo foi 98,85%, mostrando boa aderência do modelo aos dados.

Segundo Cabello (1996), um emissor autocompensante apresenta o expoente da equação característica da vazão em função da pressão variando entre 0 a 0,4, informação que, para o caso do emissor TalDrip em aplicação submersa (Figura 4), não pode ser considerada, pois nota-se que há um aumento considerável da vazão com o incremento da pressão e menores vazões, quando há maiores contrapressões.

Na Figura 5, pode-se observar a correlação entre as vazões médias superficiais e as submersas observadas, formadas pelos pares pressão–contrapressão. O coeficiente da correlação foi 0,9805, positivo e inferior a um, o que denota uma vazão submersa inferior à superficial.

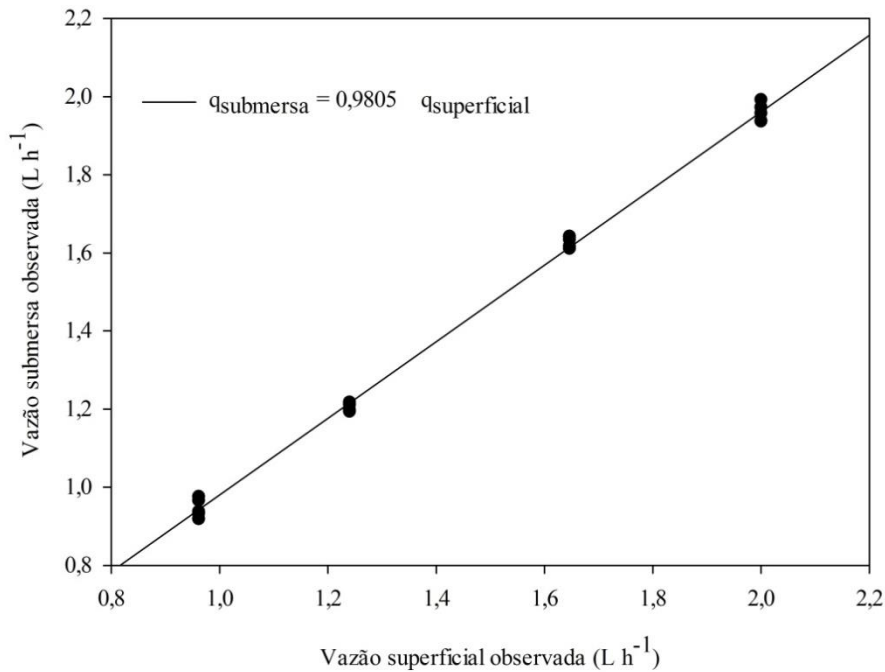


Figura 5. Correlação entre as vazão superficial e submersa observadas para o tubo gotejador TalDrip.

Correlation between observed surface and submerged flow rates for TalDrip dripline.

O comportamento da vazão do gotejador D5000 em função da pressão de serviço está apresentado na Figura 6.

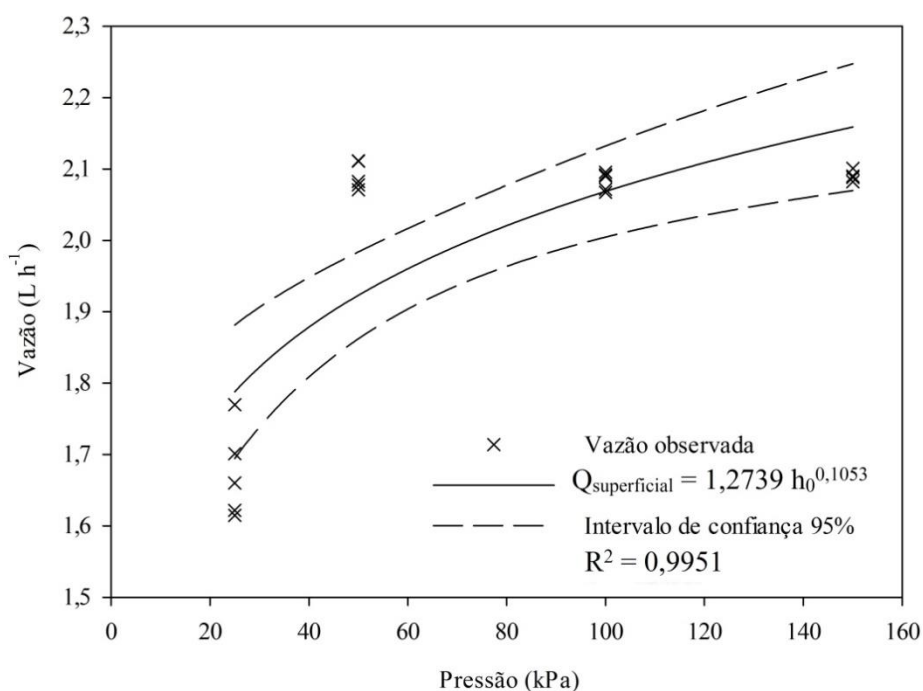


Figura 6. Relação vazão-pressão do emissor do tubo gotejador D5000 em aplicação superficial.
Pressure-flow relationship of the emitter D5000 on surface application.

Mesmo possuindo um coeficiente de determinação alto, 99,51%, percebe-se ao analisar a Figura 6 que a relação vazão-pressão em emissores autocompensantes não seria bem representada pelo modelo potencial proposto por Keller e Karmeli (1975) se o emissor for ensaiado em pressões fora da faixa de compensação e se para essas pressões, as vazões forem muito menores que as vazões que ocorreriam na faixa de compensação.

Thebaldi et al. (2014) ao avaliarem a relação vazão-pressão do emissor autocompensante XFS Subsurface Dripline, da Rain Bird encontraram um coeficiente de determinação de 60,79%, tal fato é explicado em função do aumento acentuado da vazão a partir do início da faixa de autocompensação e a consequente tendência à manutenção deste comportamento, que não se ajusta bem a um modelo potencial.

Segundo informa o fabricante, a faixa de trabalho de autocompensação do emissor inicia em 50 kPa, o que pode ser constatado na Figura 6, pela tendência à manutenção da vazão a partir desta pressão.

Os valores da constante de proporcionalidade (k) e do expoente de descarga (x) foram 1,2739L h⁻¹ kPa^{-x} e 0,1053, respectivamente. Esse valor obtido de x, muito próximo de zero, confirma que o emissor é autocompensante (CABELLO, 1996; KELLER; BLIESNER, 1990).

O comportamento da curva de vazão-pressão/contrapressão do emissor D5000 em aplicação submersa é apresentado na Figura 7.

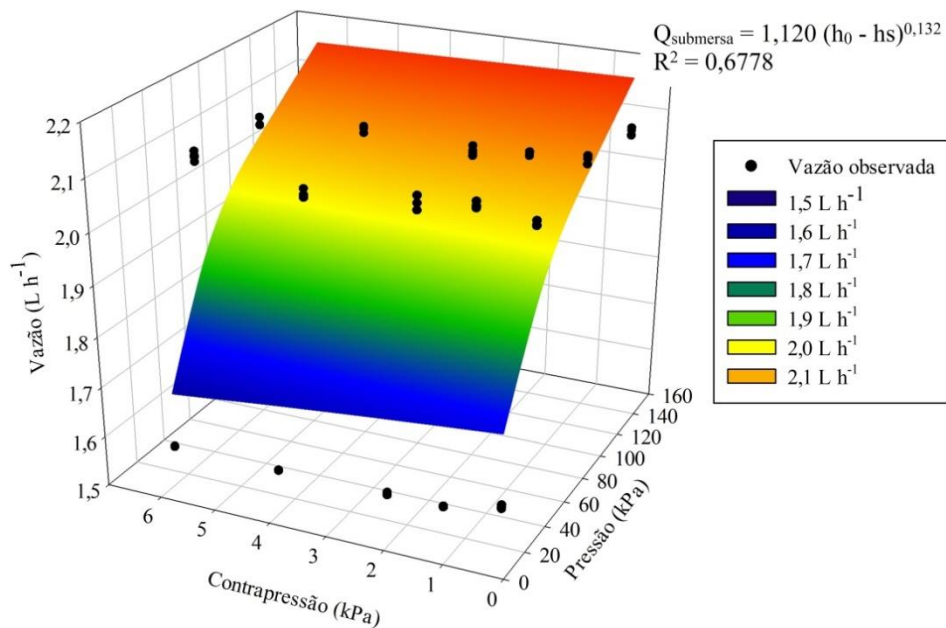


Figura 7. Relação vazão–pressão do emissor do tubo gotejador D5000 em aplicação submersa.
Pressure-flow relationship of the emitter D5000 on subsurface application.

Diferentemente do ocorrido para a curva de desempenho para a aplicação superficial da água, o coeficiente de determinação do modelo vazão–pressão do emissor D5000 em aplicação submersa foi baixo (67,78%). Percebe-se, pela análise da Figura 7, que os pontos de vazão observados só aderem bem ao modelo para pressão de entrada de 100 kPa, qualquer que seja a contrapressão. Adicionalmente, houve um aumento no expoente de descarga no emissor quando submerso, de 0,1053 para 0,132, mostrando assim, redução no efeito compensante da vazão com a variação da pressão de entrada.

A correlação entre a vazão superficial e a vazão submersa observada para o emissor D5000 é apresentada na Figura 8.

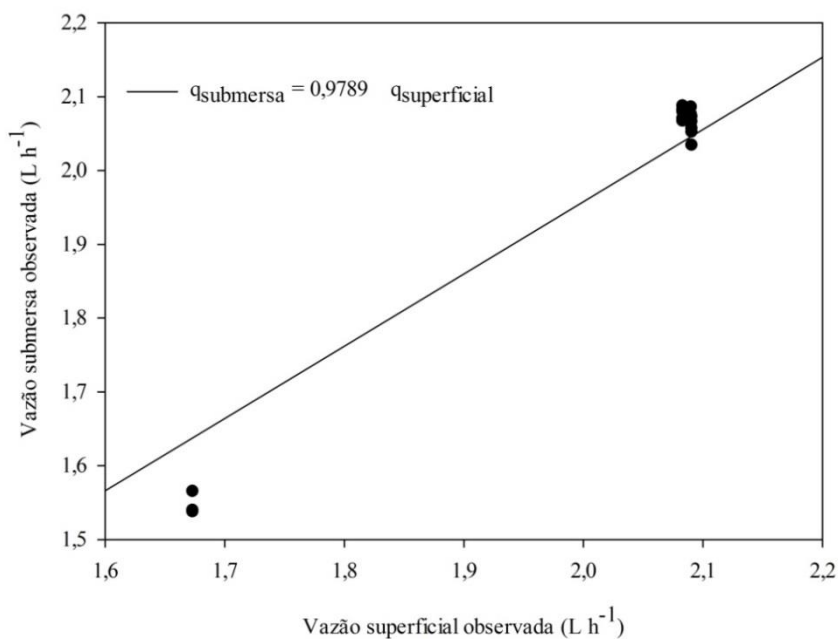


Figura 8. Correlação entre a vazão superficial e a submersa observada para o tubo gotejador D5000.
Correlation between observed surface and submerged flow rates for D5000 dripline.

Ao analisar a Figura 8, nota-se que a maioria dos pares de dados se encontra concentrada na parte superior direita do gráfico. Esse comportamento deve-se ao fato do emissor apresentar faixa de autocompensação a partir de 50 kPa.

Os pares observados na área inferior esquerda correspondem à pressão de trabalho de 25 kPa, o que gerou vazões não compensadas. Percebe-se também que estes pares de vazões à pressão de entrada de 25 kPa encontram-se todos abaixo da reta de coeficiente angular 0,9786, mostrando maior influência da contrapressão sobre a redução da vazão, quando o emissor se encontra fora da faixa de autocompensação.

O aumento do expoente de descarga (x), comparando-se a aplicação superficial com a submersa para os emissores autocompensantes, deve-se à atuação da contrapressão sobre o mecanismo de autocompensação do emissor, impedindo que o mesmo reduza a área disponível à descarga de água.

De acordo com Azevedo Neto et al. (1998), há uma redução do coeficiente de descarga em orifícios afogados, situação no qual se encontram emissores deste trabalho quando submersos em água.

Isso levaria a uma redução do coeficiente de proporcionalidade k em todos os casos. Porém nota-se um aumento deste tanto o emissor TalDrip. Adicionalmente, uma redução no expoente de descarga (x) dos emissores, como ocorre para esses dois, comparando as curvas características dos emissores em aplicação superficial e submersos, também levaria a uma redução da constante de proporcionalidade, como evidenciado pela Equação 2, fato que não ocorreu.

Já no caso do emissor autocompensante testado, D5000, obteve-se uma redução entre as constantes de proporcionalidade ao se comparar a aplicação superficial com a submersa, mesmo com o aumento do expoente de descarga na condição submersa. Nota-se, portanto, que a redução do coeficiente de descarga destes emissores quando afogados gerou maior impacto nos valores de $k_{\text{subsuperficial}}$ do que o aumento no expoente de descarga, na aplicação submersa.

CONCLUSÕES

Os emissores tiveram suas constantes de proporcionalidade e expoentes de descarga alterados em aplicação submersa em água, representando o efeito da contrapressão. Emissores não autocompensantes tiveram seu expoente de descarga diminuído enquanto que nos autocompensantes, este aumentou.

O emissor D5000, sob efeito da contrapressão, teve seu expoente de descarga aumentado, o que infere menor capacidade de compensação da vazão devido à atuação da contrapressão sobre o mecanismo regulador da vazão.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pelo auxílio aos autores para a participação no evento.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETO, J. M. et al. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: E. Blucher, 1998. 650 p.

BEN-GAL, A.; LAZOROVITCH, N.; SHANI, U. Subsurface drip irrigation in gravel filled cavities. **Vadose Zone Journal**, Austin, v. 3, n. 4, p. 1407-1413, Nov. 2004.

CABELLO, F. P. **Riegos localizados de alta frecuencia:** goteo, microaspersión, exudación. 3. ed. Madrid: Mundi, 1996. 513 p.

FRIZZONE, J. A. et al. Caracterização hidráulica de um tubo gotejador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p.278-283, 1998.

GIL, M. et al. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity. **Irrigation Science**, New York, v. 26, n. 6, p. 451-458, Sept. 2008.

GIL, M. et al. Procedures for determining maximum emitter discharge in subsurface drip irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 137, n. 5, p. 287-294, 2011.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: V. N. Reinhold, 1990. 652 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v.17, n.4, p.678-684, 1975.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 24, n.1, p. 77-80, 1981.

THEBALDI, M. S. et al. Relação vazão pressão de um tubo gotejador submetido à condição subsuperficial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 43., 2014, Campo Grande. **Anais...**Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2014. 1 CD-ROM.