

CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA E HISTERESE EM TUBOS GOTEJADORES UTILIZADOS NA IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL

**PEDRO HENRIQUE PINTO RIBEIRO¹; MARCONI BATISTA TEIXEIRA²;
RUBENS DUARTE COELHO³; CLAUDIO AUGUSTO UYEDA⁴ E JOSÉ DANTAS NETO⁵**

¹ Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Prof. Mestre, Universidade Estadual de Goiás, pedroirri@gmail.com;

² Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, IF Goiano – Campus Rio Verde/Goiás, marconibt@gmail.com;

³ Engenheiro Agrônomo, Prof. Livre Docência, Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, rdcoelho@usp.br;

⁴ Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor, IF Pernambuco – Vitória de Santo Antão, Claudio.uyeda@vitoria.ifpe.edu.br;

⁵ Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, Irrigação e Drenagem, CTRN/UFCG – Campina Grande/PB, zedantas1955@gmail.com.

1 RESUMO

A prática da irrigação, quando adequadamente utilizada, torna-se um eficiente instrumento na elevação da renda do produtor, geração de empregos e aumento da oferta de produtos agrícolas. Dentre os métodos de irrigação, a localizada vem sendo a mais utilizada nas regiões de maior escassez de água. Na irrigação localizada, vários fatores podem comprometer a uniformidade de distribuição de água, tais como a desuniformidade devido a processos de fabricação, o dimensionamento inadequado do sistema, bem como o entupimento dos emissores. Neste sentido, foi realizado um estudo para caracterizar o comportamento hidráulico de tubos gotejadores utilizados em gotejo subsuperficial e avaliar a suscetibilidade de um tubo gotejador NAAN PC quanto à histerese. O experimento foi desenvolvido na área experimental do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí. Utilizou-se conjunto moto-bomba, sistema de filtragem e três linhas laterais com 3,0 m de comprimento. Foram avaliados dez gotejadores subsuperficial em cada linha, sob pressões de 50, 100, 150, 200 e 250 kPa, com um tempo de dez minutos de avaliação por gotejador. Apresentou resultados de Uniformidade. O modelo analisado foi sensível a ocorrência de histerese para valores de pressão acima de 200 kPa.

Palavras-chave: Fertirrigação, vazão, irrigação localizada.

RIBEIRO, P. H. P.; TEIXEIRA, M. B.; COELHO, R. D.; UYEDA, C. A.; DANTAS NETO, J.

HYDRAULIC CHARACTERIZATION AND HYSTERESIS IN DRIP EMITTER PIPES USED IN SUBSURFACE IRRIGATION

2 ABSTRACT

When properly used, the practice of irrigation becomes an effective tool in raising the income of producers, generating jobs and increasing the supply of agricultural products. Among the irrigation methods, drip irrigation has been the most used in areas of water

scarcity. Several factors may compromise the uniformity of water distribution in drip irrigation, such as non-uniformity due to manufacturing processes, improper planning of the system, as well as clogging of emitters. In this context, a study was conducted to characterize the hydraulic performance of drip emitter pipes used in subsurface dripping as well as to evaluate the susceptibility of the NAAN PC emitter pipe to hysteresis. The experiment was conducted in the experimental area of Goiás Federal Institute – Urutaí Campus. A motor-pump assembly, a filter system and three lateral rows, 3 meters long were used. A total of ten subsurface emitters in each row were evaluated for 10 minutes each one, and under pressures of 50, 100, 150, 200 and 250 kPa. The following parameters were evaluated: mean discharge, coefficient of discharge variation and uniformity of water distribution. The study model was sensitive to hysteresis for pressure values higher than 200 kPa.

Keywords: fertigation, flow rate, targeted irrigation.

3 INTRODUÇÃO

A importância da minimização da quantidade de água aplicada na agricultura pela irrigação intensificou o uso de métodos de aplicação localizada. O fato de molhar apenas e diretamente a região da zona radicular das plantas, buscando suprir as suas necessidades hídricas com máxima eficiência, tornou os sistemas de irrigação localizada uma solução viável tecnicamente para regiões com baixa disponibilidade de água, reduzindo a demanda de fontes, mas exigindo alto investimento em capital (Telles, 1985).

Dentre os métodos de irrigação tem-se destacado, a irrigação localizada, principalmente, o gotejamento subsuperficial. Esse sistema apresenta inúmeras vantagens comparativas em relação aos demais, dentre elas, a redução da evaporação da água, a redução de danos mecânicos ao sistema, a menor interferência com os tratamentos culturais e a melhor eficiência na aplicação dos fertilizantes dissolvidos na própria água de irrigação, garantindo melhor desenvolvimento (Dalri & Cruz, 2002; Farias et al., 2008), maior produção (Gava et al., 2008) e melhor qualidade dos produtos (Dalri & Cruz, 2008).

A adequação dos diferentes sistemas de irrigação localizada à cultura, às condições de solo e ao clima local ainda não foi pesquisada de forma abrangente e detalhada, apesar da existência de milhares de hectares irrigados por esses sistemas (Gornat & Nogueira, 2003).

A irrigação por gotejamento possibilita manter a umidade adequada na zona radicular, próximo da capacidade de campo, com uso de pequenas vazões e elevada frequência, ou seja, para baixas pressões, a aplicação de fertilizantes via água de irrigação se torna um processo mais eficiente, geralmente superior a 90%, possibilitando um bom controle da lâmina de irrigação (Bernardo, 2006).

O sistema de irrigação localizada por gotejamento subsuperficial (IGS) - aplicação da água diretamente na raiz da planta com pequenos volumes aplicados à alta frequência e com auxílio das forças capilares (Testezlaf, 2002), representa significativa evolução no processo da aplicação de água às culturas. Esse método é uma resposta para a necessidade de se procurar novos sistemas de irrigação que sejam mais eficientes, que reduzam o consumo dos recursos hídricos, assim como, seu custo de instalação e, sobretudo, que minimizem os problemas de escassez de água.

Phene et al. (1987) comparando o sistema de gotejamento superficial com o subsuperficial, apresentaram cinco vantagens para o subsuperficial: i) aumento da vida útil do

sistema junto com uma menor mão de obra anualmente empregada; ii) como a superfície do solo fica geralmente seca, ocorre a redução de doenças bem como no controle da infestação de ervas-daninhas; iii) com o solo seco entre as linhas de cultivo, aumenta a trafegabilidade e reduz a compactação do solo; iv) água e nutrientes são usados com mais eficiência; e v) há uma significativa melhora nos rendimentos, bem como em algumas qualidades na produção.

A uniformidade de emissão de água pelos gotejadores é fator fundamental ao sucesso do empreendimento. Para a realização de um eficiente manejo de água é necessário que a uniformidade de aplicação de água pelos emissores seja a maior possível, pois, com a prática sucessiva da fertirrigação, algumas plantas podem estar recebendo quantidade menor de fertilizantes que outras e respondendo diferentemente em produção.

Existem diferentes classificações de emissores quanto à uniformidade de vazão, das quais podem ser citadas as de Solomon (1979) que considera excelente o Coeficiente de Variação de fabricação (CVf) de até 3, e a da ABNT (1986) que classifica, como bons, aqueles com CVf até 10%.

Problemas de desuniformidade de vazão podem estar associados à diminuição da vazão nominal do gotejador, devido às obstruções provocadas por precipitados físicos (areia, silte e/ou argila), químicos (carbonato de cálcio, ferro, etc.) e biológicos (ferrobactérias principalmente) nos reduzidos diâmetros dos condutos e orifícios dos emissores e pela lenta velocidade de escoamento, ou pelo aumento da vazão nominal do gotejador, devido à deposição de materiais na membrana flexível dos gotejadores autocompensantes, assim como pela deterioração da mesma (Gilbert & Ford, 1986).

Coelho et al. (2009) verificaram que a aplicação de diferentes níveis de sucção (-10, -15, -20 e -40 kPa) em 25 modelos de gotejadores sob condição de gotejo enterrado, utilizando-se solos de textura arenosa e argilosa, provocaram redução de vazão conforme o aumento do vácuo, sendo que o efeito mais drástico foi observado com a aplicação de 40 kPa que resultou em 80% dos emissores obstruídos. Os autores verificaram também que o desempenho dos emissores no gotejamento subsuperficial foi influenciado pela textura do solo.

Outro ponto importante a ser verificado com relação a variação de vazão em tubos gotejadores é devido à histerese. A variação de pressão provocada pelo acionamento da retro-lavagem automática ou até mesmo manual do sistema de filtragem poderá ocasionar o efeito da histerese comprometendo, assim, a repressurização do sistema, podendo provocar o acionamento do sistema de proteção elétrica do conjunto motobomba e comprometendo o adequado funcionamento dos tubos gotejadores.

Diante disso, o objetivo desse trabalho foi caracterizar hidráulicamente diferentes modelos de tubos gotejadores comercializados no país e verificar a ocorrência de histerese em função da confecção de curvas de vazão em situação crescente e decrescente com gotejadores enterrados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A primeira parte do projeto foi desenvolvida no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia de Biossistemas - ESALQ – USP para caracterizar diferentes modelos de tubos gotejadores comercializados no país. Nessa etapa avaliaram-se as características hidráulicas dos quatro modelos de tubos gotejadores autocompensantes: Naan PC 2,1 L h⁻¹; Ram 2,3 L h⁻¹; Hydro PC 2,0 L h⁻¹; Drip Net PC 1,6 L h⁻¹. Foram analisadas as

variáveis: vazão média, coeficiente de variação de fabricação e uniformidade de distribuição de água. Todos os emissores foram avaliados à pressão constante de 150 kPa.

O ensaio foi realizado em uma bancada experimental (2,0 m x 1,5m x 11,0 m) em estrutura metálica instalada no referido laboratório. Foram coletados os volumes de água, durante 10 minutos, sendo avaliados 10 emissores por linha lateral representativa de cada modelo de tubo gotejador ensaiado.

Para evitar a entrada de partículas em suspensão no sistema com tamanho superior ao diâmetro dos emissores, foi utilizado um filtro de disco de 120 mesh/Amiad (Figura 1).

Figura 1. Filtro de disco de 120 mesh/Amiad, utilizado no sistema de irrigação do ensaio.



À entrada de cada nível, instalou-se uma tomada de pressão, permitindo o ajuste da pressão de serviço no início de cada tubo gotejador durante os ensaios de vazão. Para a medição e monitoramento da pressão de serviço, foi utilizado um manômetro com faixa de leitura de 0 - 700 kPa.

Foi realizada apenas a análise estatística descritiva, com avaliação da vazão média e o coeficiente de variação de fabricação dos tubos gotejadores novos.

A segunda parte do projeto foi desenvolvida em casa de vegetação instalada na área experimental do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí, Urutaí, GO. Esse ensaio foi realizado apenas com o modelo NAAN PC 2,1 L h⁻¹. Tal escolha ocorreu devido ao fato desse ser o modelo de tubo gotejador mais comercializado na região sudoeste de Goiás segundo informações obtidas em empresas do ramo instaladas na região.

Para o ensaio de caracterização hidráulica em condições subsuperficiais foi utilizada uma bancada para cultivos hidropônicos em estrutura de madeira com as seguintes dimensões: 3,0 m de comprimento por 1,0 m de largura e 1,60 m de altura. A malha hidráulica foi composta por um conjunto moto-bomba, sistema de filtragem (filtro de disco AMIAD 120 mesh), tomada de pressão para inserção de manômetro de bourdon metálico com faixa de leitura de 0 - 700 kPa, tubulações em PVC de 0,025 m, conexões hidráulicas em PVC de 0,025 m (curvas, joelhos, tês, registros de esfera, niples) e um registro metálico de gaveta 3/4" para controle do sistema hidráulico.

Foram distribuídas sobre a bancada três linhas laterais do tubo gotejador Naan PC 2,1 L h⁻¹, e aleatoriamente foram marcados com fita adesiva colorida (amarela) 10 gotejadores em cada uma das três linhas laterais avaliadas, totalizando 30 gotejadores ensaiados.

Para a construção da curva de vazão em função da pressão utilizaram-se as pressões de 50, 100, 150, 200 e 250 kPa. A curva de vazão em função da pressão foi confeccionada tanto em sentido crescente (aumento de pressão) quanto em sentido decrescente (decréscimo de pressão) com o intuito de verificar a ocorrência de histerese.

O procedimento para a realização da leitura de vazão tanto na primeira etapa quanto na segunda etapa consistiu na pressurização do sistema, estabilização da pressão em 150 kPa (+/- 5 kPa) no início da linha, posicionamento dos coletores sob os respectivos gotejadores, com cinco segundos de defasagem, e retirada dos coletores com a mesma sequência e defasagem de tempo, após 10 minutos de coleta.

Posteriormente, efetuaram-se os cálculos da vazão, do coeficiente de variação de vazão e uniformidade de distribuição de água utilizando-se as equações enumeradas de 1 a 3.

$$q = \frac{P}{1000 t} 60 \quad (1)$$

$$CV_q = \frac{s}{q} 100 \quad (2)$$

$$UD = \frac{q_{25}}{q} 100 \quad (3)$$

em que:

P – peso da água coletada, g;

t – tempo de coleta, min;

q – vazão do gotejador, L h⁻¹.

CV_q – coeficiente de variação de vazão, %;

s – desvio padrão da vazão dos gotejadores usados, L h⁻¹;

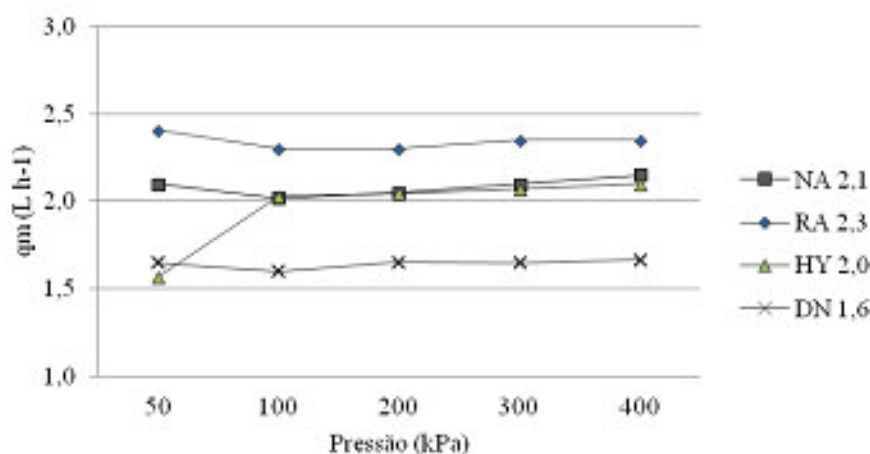
UD – uniformidade de distribuição de água, %;

q_{25} – vazão média de ¼ dos menores valores de vazão, L h⁻¹;

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a curva característica da vazão em função da pressão para os quatro modelos de gotejadores testados na bancada de ensaios.

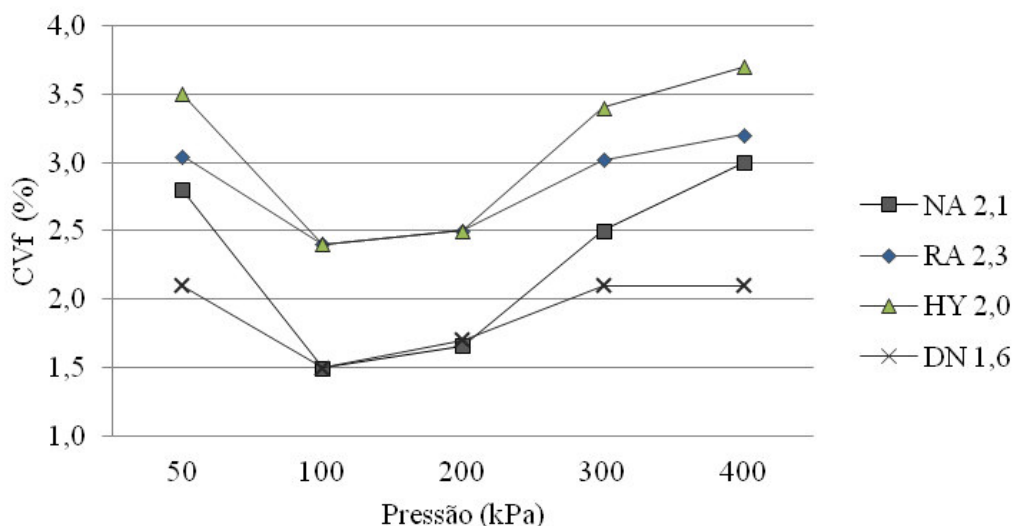
Figura 2. Curva característica de vazão média (q_m) em função da pressão para os quatro modelos de gotejadores ensaiados.



Observa-se na Figura 2 que apenas o modelo de gotejador Hydro PC (HY 2,0) com vazão nominal de $2,0 \text{ L h}^{-1}$ apresentou distúrbios de vazão para pressão equivalente à 50 kPa. Tal fato ocorre devido à não ativação da compensação de pressão por parte da membrana desse emissor quando do uso de pressões inferiores à recomendada pelo fabricante (100 a 350 kPa).

A Figura 3 mostra os coeficientes de variação de fabricação (CVf, %) obtidos em função da variação da pressão para os quatro modelos de gotejadores ensaiados.

Figura 3. Coeficiente de variação de fabricação (CVf, %) em função da variação de pressão para os quatro modelos de gotejadores ensaiados.



O melhor comportamento foi observado quando se aplicou a pressão de 100 kPa. Segundo a classificação do Projeto de Normas 12: 02-08-02 da ABNT (1986), os valores de coeficiente de variação de fabricação medidos, enquadram-se como bons para todos os

modelos de emissores avaliados e como excelentes ($CVf < 3\%$) conforme a classificação proposta por Solomon (1979).

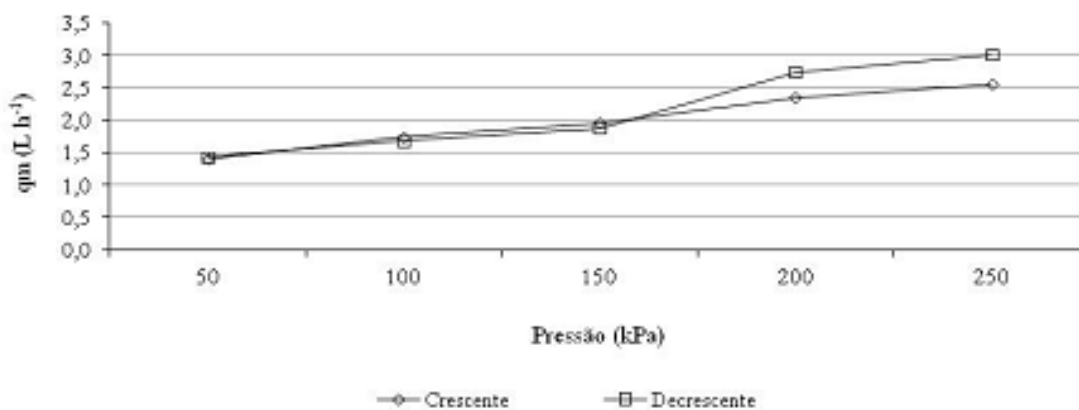
Na Tabela 1 estão descritos os valores de vazão nominal (q_n , $L h^{-1}$), vazão média (q_m , $L h^{-1}$), coeficiente de variação de fabricação (CVf , %) e uniformidade de distribuição de água para os quatro modelos de gotejadores (UD, %) utilizando-se a pressão de 100 kPa que apresentou melhores resultados.

Tabela 1. Vazão nominal (q_n), vazão média (q_m), coeficiente de variação de fabricação (CVf) e uniformidade de distribuição de água (UD), para os quatro modelos de gotejadores testados na bancada de ensaios

| Modelo | q_n ($L h^{-1}$) | q_m ($L h^{-1}$) | CVf (%) | UD (%) |
|----------|-------------------------|-------------------------|--------------|-----------|
| NAAN PC | 2,1± | 2,02± | 1,5± | 98± |
| RAM | 2,3± | 2,30± | 2,4± | 97± |
| HYDRO PC | 2,0± | 2,03± | 2,4± | 96± |
| DRIPNET | 1,6± | 1,60± | 1,5± | 98± |

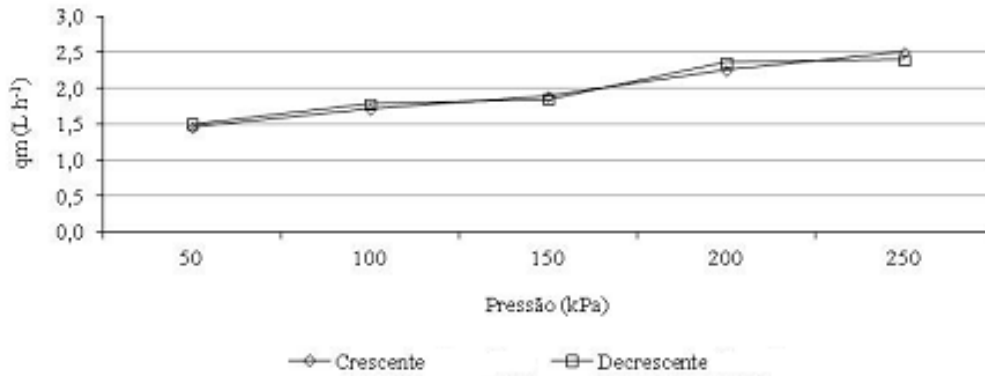
A Figura 4 mostra as curvas de vazão em função da pressão (curvas crescente e decrescente) para o modelo NAAN PC $2,1 L h^{-1}$ em condições superficiais com orifícios dos gotejadores posicionados para baixo.

Figura 4. Curvas de vazão em função da pressão – irrigação por gotejamento superficial (gotejadores posicionados para baixo).



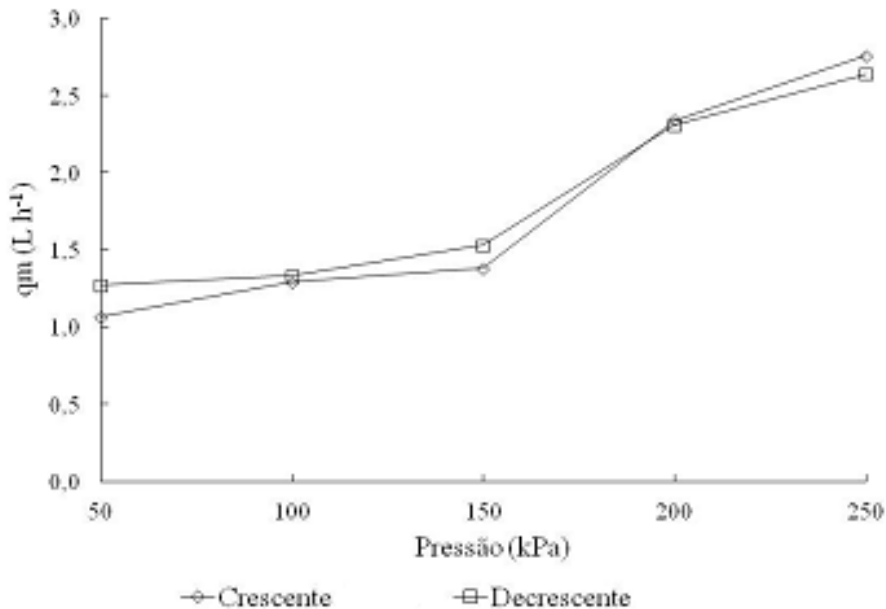
A Figura 5 mostra as curvas de vazão em função da pressão (curvas crescente e decrescente) para o modelo Naan PC $2,1 L h^{-1}$ em condições superficiais com orifícios dos gotejadores posicionados para cima.

Figura 5. Curvas de vazão em função da pressão – irrigação por gotejamento superficial (gotejadores posicionados para cima).



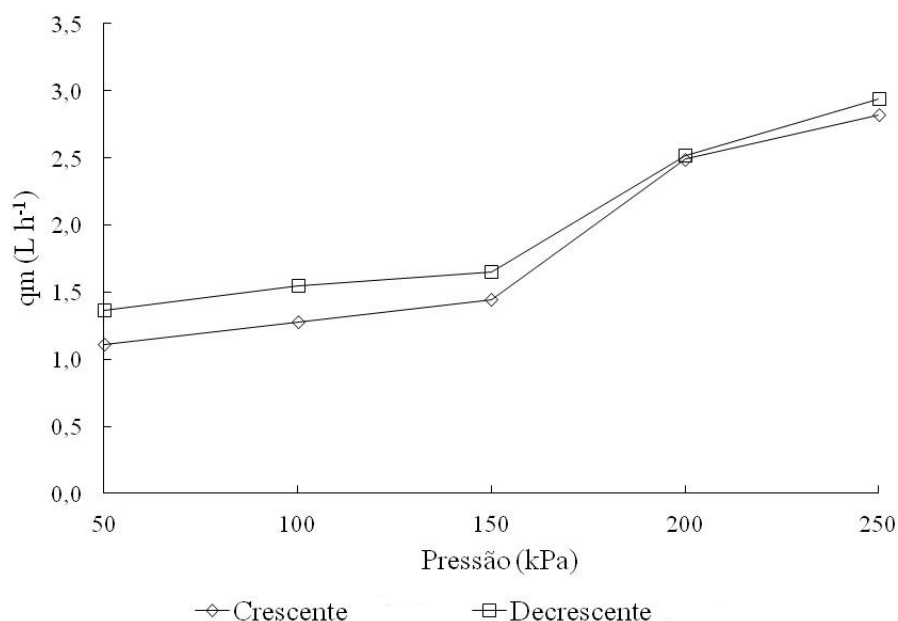
A Figura 6 mostra as curvas de vazão em função da pressão (curvas crescente e decrescente) para o modelo NAAN PC 2,1 L h⁻¹ em condições subsuperficiais com orifícios dos gotejadores posicionados para baixo.

Figura 6. Curvas de vazão em função da pressão – irrigação por gotejamento subsuperficial (gotejadores posicionados para baixo).



A Figura 7 mostra as curvas de vazão em função da pressão (curvas crescente e decrescente) para o modelo Naan PC 2,1 L h⁻¹ em condições subsuperficiais com orifícios dos gotejadores posicionados para cima.

Figura 7. Curvas de vazão em função da pressão – irrigação por gotejamento subsuperficial (gotejadores posicionados para cima).



Comparando-se as curvas de vazão em função da pressão em condições superficiais com as obtidas em condições subsuperficiais observa-se a ocorrência de histerese quando do uso de gotejo enterrado, sendo as maiores discrepâncias observadas para as pressões de 50 e 150 kPa com os orifícios dos gotejadores voltados para baixo. Já para o ensaio com orifício dos gotejadores posicionados para cima, as maiores discrepâncias foram observadas para pressões inferiores a 150 kPa. Independente do posicionamento do orifício do gotejador observou-se que o uso de pressão operacional equivalente à 200 kPa evita a ocorrência de histerese em condições subsuperficiais. Tal fato deve ser levado em conta com relação ao dimensionamento do sistema e sua adequada pressurização, pois o uso de pressão em condições subsuperficiais equivalente à utilizada em condições superficiais poderá comprometer a uniformidade de distribuição de água.

A Tabela 2 mostra os valores de coeficiente de variação de vazão (CV, %) e uniformidade de distribuição de água (UD, %) para o modelo Naan PC (2,1 L h⁻¹) em condições subsuperficiais com gotejadores posicionados para baixo com variação de pressão em ordem crescente e decrescente.

Tabela 2. Valores de coeficiente de variação de vazão (CV, %) e uniformidade de distribuição de água (UD, %) para o modelo Naan PC (2,1 L h⁻¹) em condições subsuperficiais com gotejadores posicionados para baixo com variação de pressão em ordem crescente e decrescente

| Pressão (kPa) | CV (%) | | UD (%) | |
|---------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| | Crescente | Decrescente | Crescente | Decrescente |
| 50 | 3,30± | 4,95± | 96,77± | 93,87± |
| 100 | 3,19± | 3,56± | 97,13± | 96,25± |
| 150 | 2,14± | 2,26± | 97,51± | 97,65± |
| 200 | 5,27± | 3,44± | 93,50± | 96,60± |
| 250 | 3,97± | 2,80± | 96,05± | 97,48± |

A Tabela 3 mostra os valores de coeficiente de variação de vazão (CV, %) e uniformidade de distribuição de água (UD, %) para o modelo Naan PC (2,1 L h⁻¹) em condições subsuperficiais com gotejadores posicionados para cima com variação de pressão em ordem crescente e decrescente.

Tabela 3. Valores de coeficiente de variação de vazão (CV, %) e uniformidade de distribuição de água (UD, %) para o modelo Naan PC (2,1 L h⁻¹) em condições subsuperficiais com gotejadores posicionados para cima com variação de pressão em ordem crescente e decrescente

| Pressão (kPa) | CV (%) | | UD (%) | |
|---------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| | Crescente | Decrescente | Crescente | Decrescente |
| 50 | 5,18± | 2,27± | 94,43± | 97,81± |
| 100 | 4,04± | 2,63± | 95,13± | 97,16± |
| 150 | 3,27± | 2,42± | 96,28± | 97,11± |
| 200 | 4,81± | 6,15± | 95,84± | 92,50± |
| 250 | 2,90± | 4,97± | 96,38± | 94,15± |

6 CONCLUSÕES

O modelo de gotejador analisado em condições subsuperficiais mostrou ser sensível a ocorrência de histerese para valores de pressão inferior a 200 kPa.

A condição gotejo enterrado favoreceu a ocorrência de histerese quando comparada à condição de gotejo superficial.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Requisitos mínimos para elaboração de projeto de sistema de irrigação localizada. São Paulo, ABNT, 1986, 8p. PNBR 12:02.08 – 022.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

Coelho, R. D.; Santos, J. L. C. dos; Castiblanco, C. J. M.; Teixeira, M. B. **Suction of soil articles under vacuum conditions in subsurface drip irrigation: Comparative test of emitters**. Nevada: ASABE, 2009. 17p.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 1, p. 29-34, 2002.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.

FARIAS, C. H. A. et al. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

GAVA, G. J. G. et al. Produtividade e atributos tecnológicos de três cultivares de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento subsuperficial. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 9., 2008. **Anais...** Maceió: STAB, 2008. p. 751-755.

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 142-163.

GORNAT, B.; NOGUEIRA, L.C. Avaliação da economia de água com irrigação localizada convencional e subterrânea em fruteiras tropicais. Disponível em: <<http://www.iica.org.uy/p2-4.htm>>. Acesso em 15 jun. 2003.

PHENE, C. J. et al. Advantages of subsurface irrigation for processing tomatoes. In: INTERNACIONAL SYPOSIUM ON INTEGRATED MANAGEMENT PRATICES FOR TOMATO AND PEPPER PRODUCTION IN THE TROPICS, 1987, Shanhua. **Proceedings...** Shanhua: [s.n.], 1987. p. 325-338.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 5, p. 1034-1038, 1979.

TELLES, D. A. Irrigação localizada. **Irrigacao Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 23, p. 23-29, 1985.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L. **Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio**. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2002.