



# Alteração no diâmetro e na perda de carga em tubos de polietileno submetidos a diferentes pressões



Luís A. A. Vilela<sup>1</sup>, Olívio J. Soccol<sup>2</sup>, Eliézer S. Gervásio<sup>3</sup>, José A. Frizzone<sup>4</sup> & Tarlei A. Botrel<sup>5</sup>

<sup>1</sup> DEG/UFLA. CP 37, CEP 37200-000, Lavras, MG. Fone: (35) 3829-1665. E-mail: [lavilela@ufla.br](mailto:lavilela@ufla.br) (Foto)

<sup>2</sup> DER/UDESC/CAV. Av. Luiz Camões, 2090, CEP 88520-000, Lages, SC. E-mail: [a2ojs@cav.udesc.br](mailto:a2ojs@cav.udesc.br)

<sup>3</sup> USP/ESALQ. Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba, SP. E-mail: [esgervas@esalq.usp.br](mailto:esgervas@esalq.usp.br)

<sup>4</sup> USP/ESALQ. Fone: (19) 3429-4217. E-mail: [frizzone@esalq.usp.br](mailto:frizzone@esalq.usp.br)

<sup>5</sup> USP/ESALQ. Fone: (19) 3429-4217. E-mail: [tabotrel@esalq.usp.br](mailto:tabotrel@esalq.usp.br)

Protocolo 61 - 2/5/2002 - Aprovado em 7/2/2003

**Resumo:** Procedeu-se à avaliação das alterações de diâmetro e da perda de carga em tubos de polietileno de baixa densidade, com diâmetros nominais DN12 e DN20, quando submetidos a pressões de operação de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 kPa. Os diâmetros foram medidos com um paquímetro digital, suas alterações por meio de dois dendrômetros interligados a um datalogger e as perdas de carga por um transdutor de pressão diferencial. Verificou-se a influência da pressão de operação sobre os diâmetros internos e na perda de carga, principalmente para o tubo DN20. Foram ajustadas equações correlacionando-se a vazão e a perda de carga, para cada uma das pressões, além de outra obtida com todos os pares de valores, para cada modelo de tubo. As equações foram comparadas pelo teste t, verificando-se que, ao nível de 5% de probabilidade, uma única expressão não poderia representar a perda de carga para todas as pressões testadas. Por esta razão, ajustaram-se equações para cada um dos diâmetros, em que a perda de carga foi expressa em função da vazão e do diâmetro ou da vazão e da pressão.

**Palavras-chave:** irrigação, irrigação localizada, tubos de polietileno

## Variations in diameter and head loss in polyethylene tubes submitted to different pressures

**Abstract:** Variations in diameter and head loss were evaluated for low density polyethylene tubes (nominal diameters DN12 and DN20) submitted to operating pressures of 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 and 400 kPa. The diameters were measured with a digital calipers, its alterations by two dendrometers connected to a data logger and the head losses with a differential pressure transducer. The influence of the operating pressure on the internal diameters, as well as on the head loss, especially for the DN20 tube were verified. Equations correlating flow and head loss were adjusted for each pressure level, additionally an equation obtained for all pairs of values, considering each tube model. The equations were compared by t test and it was observed that a single equation did not represent the head loss for all pressure levels tested, at 5% level of probability. Thus, other equations in which the head loss was expressed as a function of flow and diameter or flow and pressure were adjusted for each of the diameters.

**Key words:** irrigation, drip irrigation, polyethylene pipes

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a irrigação localizada tem vivenciado um grande desenvolvimento, tanto em termos de tecnologia como em área irrigada. Christofidis (2001) informa que no Brasil, entre os anos de 1996 e 1999, houve um acréscimo da área irrigada por gotejamento e microaspersão da ordem de 80,22%, passando a representar 7,19% da área irrigada do País. Além dos dados fornecidos pelo autor, acredita-se que nos próximos anos não só novas áreas utilizarão predominantemente a irrigação localizada como, também, haverá uma conversão de

outros métodos, tais como a irrigação por superfície e aspersão, para o gotejamento e microaspersão.

Segundo Bernardo (1989) a irrigação localizada é usada, em geral, sob a forma de sistema fixo, ou seja, constituído de tantas linhas laterais quantas forem necessárias para suprir toda a área. Desta forma, não há movimentação das linhas laterais no campo. No entanto, o comprimento de tubulação necessário para cobrir determinada área está diretamente relacionado ao número de linhas laterais requeridas para esta mesma área. Assim, poderão ser necessários milhares de metros de tubulação para as linhas laterais de um sistema de irrigação localizada.

Existe um predomínio de material plástico nas tubulações das redes de distribuição das parcelas irrigadas por gotejamento e microaspersão. Segundo Gomes (1997) para tubulações de pequenos diâmetros, que transportam pequenas vazões requeridas nas unidades ou parcelas irrigadas, os tubos de plástico fabricados em polietileno de baixa densidade (PEBD) são economicamente mais competitivos que os tubos dos demais materiais disponíveis no mercado.

Freqüentemente, os projetistas de sistemas de irrigação utilizam as equações de perda de carga existentes na literatura, considerando-se os diâmetros internos das tubulações informados pelos fabricantes. Contudo, em razão desses tubos serem produzidos com materiais plásticos, seus diâmetros podem modificar-se em virtude das variações na pressão de operação. Isso poderia influenciar na perda de carga real, o que resultaria em alterações nas condições hidráulicas projetadas.

Andrade (1990) estudando as características hidráulicas de um tubo perfurado de polietileno com espessura de parede de 200  $\mu\text{m}$  verificou, para um acréscimo de pressão de 90% dentro da faixa de operação recomendada pelo fabricante, um aumento de 10,67% no diâmetro interno da tubulação. O mesmo fato foi comprovado por Frizzone et al. (1998), porém trabalhando com o tubo gotejador Rain-Tape com paredes de 225  $\mu\text{m}$  de espessura. Esses mesmos efeitos seriam esperados para tubos com maior espessura de parede, porém em menor magnitude devido a maior resistência proporcionada por ela.

Várias equações permitem estimar-se a perda de carga em tubulações de polietileno de pequenos diâmetros e, dentre elas, consagrou-se a equação de Darcy-Weisbach, que pode ser apresentada como a Eq. (1):

$$H_f = 0,0827 f L \frac{Q^2}{D^5} \quad (1)$$

em que:

- $H_f$  - perda de carga em toda a extensão da tubulação, m
- $f$  - fator de atrito, que depende do material e do regime de escoamento
- $L$  - comprimento da tubulação, m
- $Q$  - vazão,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
- $D$  - diâmetro, m

Pela Eq. (1), é possível verificar que a perda de carga é inversamente proporcional à quinta potência do diâmetro da tubulação. Desta forma, os acréscimos máximos de diâmetro ocasionados pelo aumento de pressão, observados por Andrade (1990) reduziram a perda de carga em até 60,24%, o que poderia alterar sensivelmente as condições hidráulicas de um projeto de irrigação localizada.

O objetivo deste trabalho foi estudar a alteração de diâmetro em função da variação da pressão de trabalho em tubos de polietileno de baixa densidade e, como consequência, a influência deste efeito na perda de carga.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo - USP, no município de Piracicaba, SP.

Avaliaram-se tubos de polietileno de baixa densidade com diâmetros nominais de 12 e 20 mm (DN12 e DN20) atendendo à classe de pressão PN30 e PN40, respectivamente, ambos confeccionados pela empresa Carborundum S.A.<sup>1</sup>

As amostras foram constituídas de três segmentos de tubos de cada diâmetro, cada um com 15 m de comprimento, perfazendo o total de 6 tubulações ensaiadas.

O circuito hidráulico empregado nos testes constituiu-se de reservatório, conjunto motobomba, registros, filtro de disco 150 mesh, medidor de vazão eletromagnético, segmento de tubo a ser ensaiado, tomadas de pressão e conexões hidráulicas diversas.

Registros posicionados antes do filtro e no final da tubulação de retorno permitiram, além do controle da vazão, variar a pressão interna de cada tubo.

As tomadas de pressão foram distanciadas 10 m e instaladas a 2,5 m do início e do final de cada segmento de tubo. Esses dispositivos foram confeccionados a partir de agulhas hipodérmicas seccionadas, cujo comprimento se aproximava da espessura da parede dos tubos. Na base das agulhas soldou-se uma pequena chapa de aço galvanizado, com a finalidade de fixar este conjunto à tubulação a ser ensaiada por meio de abraçadeiras plásticas.

A pressão em cada uma das tomadas foi transmitida a um sensor de pressão, situado no mesmo nível destas, por meio de microtubos de polietileno com diâmetro de 4 mm. Empregou-se, como elemento sensor de pressão, um transdutor diferencial modelo MPX5700DP, fabricado pela empresa Motorola, Inc. Este equipamento possui compensação interna de temperatura e emite sinais analógicos que variam de 0,2 a 4,7 Vcc, quando alimentados por uma tensão estabilizada de 5 Vcc. Empregando-se um manômetro de peso morto e voltímetro obteve-se, prévia e experimentalmente, uma equação, correlacionando a tensão nos pinos de saída do transdutor e a pressão submetida a este no momento da leitura da tensão. O mesmo voltímetro foi utilizado durante a realização dos ensaios.

As pressões no interior dos tubos foram fixadas em 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 kPa. Para cada uma dessas pressões, variou-se a vazão, de maneira a estabelecer velocidades de escoamento entre 0,5 e 3,0  $\text{m s}^{-1}$ , mantendo-se constante a pressão estabelecida para o ensaio.

De início observou-se, visualmente, que a seção transversal das amostras de tubos apresentava formato elíptico. Por esta razão, todas as medidas de diâmetros realizaram-se nos eixos vertical e horizontal, considerando-se que as áreas poderiam apresentar o mesmo formato, até após serem submetidas a pressões mais elevadas.

No começo de cada ensaio submeteu-se cada uma das tubulações a uma pressão de 50 kPa durante 15 min, findos os quais se tomaram 5 leituras dos diâmetros externos, tanto na posição horizontal como na vertical, mediante um paquímetro digital com resolução de  $10^{-5}$  m. Com essas leituras, estimou-se o valor médio de cada eixo da seção elíptica.

Nas proximidades da tomada de pressão localizada no início da tubulação, instalaram-se dois dendrômetros, perpendicularmente à seção do tubo, um no sentido horizontal e o outro

<sup>1</sup> O uso de produtos ou marcas registradas tem a finalidade exclusiva de facilitar a compreensão

no vertical, objetivando-se avaliar as alterações do diâmetro interno dos mesmos, a partir de medidas dos diâmetros externos. Empregou-se o modelo DEX Dendrometer, fabricado pela Dynamax, que apresenta capacidade de leitura de 1  $\mu\text{m}$  para medidas de diferença de grandezas lineares. Esses equipamentos foram acoplados a um datalogger modelo CR10X produzido pela Campbell Scientific Inc., programado para realizar leituras dos sinais elétricos provenientes dos sensores a cada segundo, convertê-los em variações de diâmetro por meio de equações previamente definidas e, finalmente, gravar a média desses valores em intervalos de um minuto.

Determinaram-se as vazões por meio de um medidor eletromagnético, modelo KC1000, associado a um conversor de sinais IFC010, ambos fabricados pela Controles Automáticos Ltda (CONAUT). De acordo com as informações do fabricante, esse aparelho apresenta capacidade de leitura de  $2,78 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  ( $1 \text{ L h}^{-1}$ ) e precisão de  $\pm 0,14\%$  para vazões compreendidas entre  $5,56 \times 10^{-5}$  e  $5,56 \times 10^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (200 e  $2.000 \text{ L h}^{-1}$ ).

A espessura média de cada um dos tubos foi determinada a partir da espessura de 10 anéis tomados perpendicularmente ao eixo longitudinal da tubulação. Em cada uma dessas amostras, avaliou-se a espessura das paredes em cerca de 80 pontos ao longo do seu perímetro, cuja média foi empregada para caracterizar a espessura de cada uma das amostras para a pressão de 50 kPa. Esta mensuração foi feita em um projetor ótico modelo HB400-2, fabricado pela Starret Precision Optical.

A área interna dos tubos, para a pressão de 50 kPa foi calculada considerando-se a seção elíptica dos mesmos e os diâmetros externos medidos com paquímetro, subtraídos da espessura média da parede da tubulação. Para as demais pressões, as espessuras das paredes foram determinadas com base no volume de massa plástica de um tubo com comprimento unitário, calculado a partir deste comprimento e das diferenças entre as áreas externa e interna da tubulação sob pressão de 50 kPa. A partir deste valor e das alterações do diâmetro externo, avaliadas por meio dos dendrômetros, para cada pressão, obtiveram-se os valores médios para os dois eixos internos da elipse, os quais foram utilizados no cálculo das áreas internas. Determinaram-se, então, os diâmetros internos a partir das áreas internas calculadas para cada uma das pressões, considerando-se que as seções internas dos tubos eram circulares.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Varição do diâmetro dos tubos com a pressão

Os diâmetros internos dos tubos estudados variaram com a pressão de operação. Na Figura 1 observam-se aumentos nos diâmetros internos com o acréscimo da pressão, para ambos os modelos de tubos ensaiados, segundo uma relação potencial. Para o tubo DN12, o expoente da pressão foi igual a 1, demonstrando haver relação linear entre a pressão e o diâmetro. No caso do tubo DN20, cuja classe de pressão é superior ao tubo DN12, o expoente da pressão foi inferior à unidade (0,4885) o que representa maior variação de diâmetro interno para as pressões estudadas. Este resultado contraria a hipótese de que tubos com parede de menor espessura apresentariam maior deformação, pelo menos para a situação estudada. O fato de um tubo apresentar maior diâmetro que outro, seria a única explicação encontrada para tal efeito.

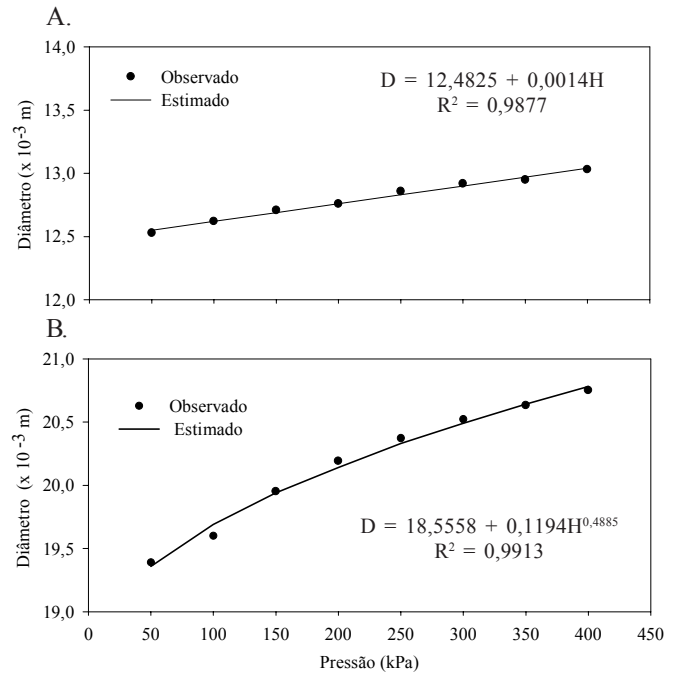


Figura 1. Diâmetro interno dos tubos DN12 (A) e DN20 (B) em função da pressão de operação

### Varição na espessura da parede dos tubos

A espessura das paredes dos tubos também apresentou alterações em função das diferentes pressões a que foram submetidas. Na Figura 2 observa-se que a parede do tubo DN12 apresentou menor variação de espessura quando comparada ao modelo DN20, embora o primeiro modelo seja fabricado para atender a uma classe inferior de pressão de operação. Comparando-se as espessuras do tubo DN12 operando sob pressão de 50 e 300 kPa (pressão nominal) verificou-se uma redução de 2% nos valores. Para o tubo DN20, a parede sofreu redução de espessura 3,26 e 4,77%, quando se compararam os valores observados sob pressão de 50 kPa com os de 300 e 400 kPa (pressão nominal) respectivamente.

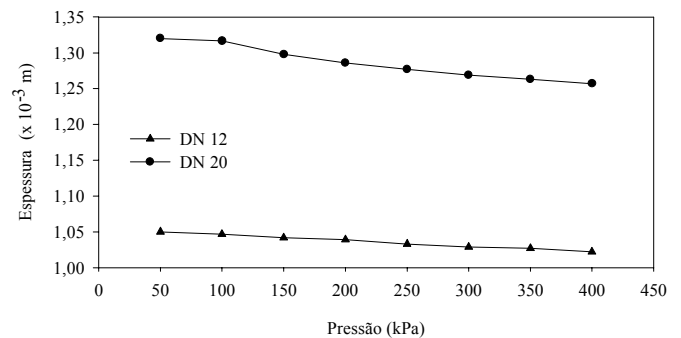


Figura 2. Espessura das paredes da tubulação em função das pressões de operação

### Perda de carga

Em razão da existência de variação no diâmetro interno das tubulações e da pressão de operação, ajustaram-se equações potenciais para expressar a perda de carga em função da vazão, de acordo com a Eq. (2):

$$J = K Q^x \quad (2)$$

em que:

- K - constante de regressão que caracteriza o tubo
- x - constante de regressão que caracteriza o regime de escoamento

Objetivando-se verificar a possibilidade da perda de carga ser representada por uma única expressão ajustou-se, independentemente da pressão, para cada um dos diâmetros, uma equação, considerando-se todos os pares de valores vazão-perda de carga obtidos nos ensaios. Os coeficientes das equações, obtidas por meio das regressões, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes de ajuste para as equações vazão-perda de carga, obtidos por meio de regressão, para os tubos DN12 e DN20, e seus respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), para diferentes pressões de operação e para todos os pares de valores, independente da pressão (Geral)

Pressão (kPa)	K	x	R <sup>2</sup>	N
<b>DN12</b>				
50	4,8844 × 10 <sup>6</sup>	1,9657	0,9888	35
100	1,9529 × 10 <sup>6</sup>	1,8711	0,9964	44
150	1,9646 × 10 <sup>6</sup>	1,8793	0,9942	48
200	1,4012 × 10 <sup>6</sup>	1,8428	0,9969	47
250	1,5854 × 10 <sup>6</sup>	1,8631	0,9955	52
300	0,7510 × 10 <sup>6</sup>	1,7713	0,9978	52
350	1,2885 × 10 <sup>6</sup>	1,8432	0,9985	53
400	1,7665 × 10 <sup>6</sup>	1,8887	0,9978	54
Geral	1,0465 × 10 <sup>6</sup>	1,8098	0,9931	385
<b>DN20</b>				
50	1,8010 × 10 <sup>5</sup>	1,8285	0,9964	31
100	2,0823 × 10 <sup>5</sup>	1,8621	0,9938	41
150	1,9634 × 10 <sup>5</sup>	1,8620	0,9992	44
200	1,9269 × 10 <sup>5</sup>	1,8653	0,9982	47
250	1,3457 × 10 <sup>5</sup>	1,8217	0,9993	55
300	1,4885 × 10 <sup>5</sup>	1,8357	0,9992	54
350	1,3884 × 10 <sup>5</sup>	1,8300	0,9989	52
400	2,2431 × 10 <sup>5</sup>	1,8932	0,9993	52
Geral	1,1826 × 10 <sup>5</sup>	1,7988	0,9941	376

Para melhor entendimento do fenômeno, quando se comparam as equações obtidas para as pressões de 50 e 300 kPa do tubo DN12, transportando vazões de 2,78 × 10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (L m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>) a perda de carga é reduzida em 24,46%, enquanto a velocidade de escoamento, considerando-se as equações para estimativa do diâmetro apresentadas na Figura 1, reduz em 5,35%. Quando a mesma comparação é realizada para o tubo DN20, para a mesma vazão transportada, as reduções são de 22,08 e 10,72%, respectivamente, para as perdas de carga e velocidades de escoamento.

A equação ajustada para cada uma das pressões e diâmetro de tubo (Tabela 1) foi comparada à equação geral, por intermédio do teste t, segundo Charnet et al. (1999). Os resultados demonstraram que apenas as equações geradas para as pressões de 200 e 300 kPa e 250 kPa, para os tubos DN12 e DN20, respectivamente, não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, quando comparadas com a equação geral obtida para cada um dos diâmetros.

Em razão do efeito da pressão no diâmetro do tubo e, conseqüentemente, na perda de carga, ajustaram-se duas outras equações de perda de carga em função da vazão e do

diâmetro, considerando-se todos os pares de valores obtidos nos ensaios, para os tubos DN12 (Eq. 3) e DN20 (Eq. 4):

$$J = 5,5447 \times 10^{-4} Q^{1,7945} D^{-4,8762} \quad r^2 = 0,9992 \quad (3)$$

$$J = 3,7473 \times 10^{-2} Q^{1,8390} D^{-3,9117} \quad r^2 = 0,9994 \quad (4)$$

As mesmas equações podem ser reescritas, introduzindo as equações apresentadas na Figura 1, para os tubos DN12 (Eq. 5) e DN20 (Eq. 6), de maneira que a perda de carga passa a ser uma função da vazão e da pressão de operação em um determinado ponto da tubulação.

$$J = 2,3576 \times 10^{11} Q^{1,7945} (12,4825 + 0,0014 H)^{-4,8762} \quad (5)$$

$$J = 2,0362 \times 10^{10} Q^{1,8390} (18,5558 + 0,1194 H^{0,4885})^{-3,9117} \quad (6)$$

em que:

- H - pressão, kPa

Assim, quando o dimensionamento hidráulico do sistema de irrigação é feito por métodos que permitam calcular a pressão ao longo da extensão da tubulação como, por exemplo, o método “trecho a trecho” (step by step), a estimativa das perdas de carga se torna ainda mais precisa, quando comparada com as metodologias usuais, que não consideram a variação do diâmetro em função da pressão, resultando em projetos de irrigação localizada que representem com mais realidade as condições hidráulicas de operação, após sua implantação.

## CONCLUSÕES

1. A pressão de trabalho tem influência nos diâmetros internos dos tubos de polietileno de baixa densidade, empregados em sistemas de irrigação localizada.
2. Alterações nos diâmetros internos, em virtude de variações na pressão de operação, podem ocasionar variações nas perdas de carga superiores a 20%.
3. A espessura das paredes dos tubos DN12 apresentou menor alteração, para as diferentes pressões, quando comparada com a dos tubos DN20.

## LITERATURA CITADA

Andrade, D.V. Avaliação hidráulica de tubos flexíveis de polietileno perfurados a laser, utilizados na irrigação. Piracicaba: ESALQ/USP, 1990. 147p. Dissertação Mestrado

Bernardo, S. Manual de irrigação. 5.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989. 596p.

Charnet, R.; Luna, C.A.; Bonvino, H.; Charnet, E.M.R. Análise de modelos de regressão linear com aplicações. Campinas: UNICAMP, 1999. 356p.

Christofidis, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. Item - Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, n.49, p.8-13, 2001.

Frizzone, J.A.; Vieira, A.T.; Paz, V.P.S. Caracterização hidráulica de um tubo gotejador. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina grande, v.2, n.3, p.278-283, 1998.

Gomes, H.P. Engenharia de irrigação. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1997. 390p.