

## ESTIMATIVA DO FATOR DE ATRITO DE DARCY PARA TUBOS DE POLIETILENO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

KAMILLA DA SILVA MARTINS PITANA<sup>1</sup>; GUSTAVO BORGES LIMA<sup>2</sup>; JOSÉ HENRIQUE NUNES FLORES<sup>3</sup>; THAIS PEREIRA NOUALS<sup>4</sup>; LESSANDRO COLL FARIA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – kamillamartinspitana@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – gu\_poa@hotmail.com

<sup>3</sup>Universidad Viña del Mar (UVM) – jose.nunes@uvm.cl

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – thaisnouals1605@gmail.com

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – lessandro.faria@ufpel.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de irrigação por gotejamento dependem cada vez mais de mecanismos eficientes para o transporte de água, com tubulações de polietileno sendo uma escolha preferida devido à sua durabilidade, flexibilidade e custo-benefício. No entanto, o dimensionamento adequado dos sistemas de irrigação, pois afeta diretamente a eficiência e a uniformidade da distribuição de água (HERMAWAN, 2024; WAMBUA et al., 2020).

A perda de carga em tubulações é frequentemente descrita pela equação de Darcy-Weisbach, que utiliza o fator de atrito de Darcy. Esse fator é influenciado pela interação entre o fluxo de água e a rugosidade interna dos tubos. Para fluxos turbulentos em tubos lisos, como os de polietileno, a equação de Blasius (1913) é amplamente empregada como uma aproximação simplificada para o cálculo do fator de atrito. Essa equação é considerada precisa para números de Reynolds entre 4.000 e 100.000, cobrindo a maioria das condições operacionais em sistemas de irrigação de pequena escala (DE MELO et al., 2019). Bagarello et al. (1995) propuseram uma abordagem semiteórica, ajustando os coeficientes da equação de Blasius. Seus estudos experimentais em tubulações de pequeno diâmetro resultaram no desenvolvimento de um modelo que oferece estimativas mais precisas do fator de atrito em condições específicas de irrigação localizada.

O objetivo deste trabalho é ajustar o modelo proposto por Bagarello et al. (1995) para a determinação do fator de atrito de Darcy em tubulações de polietileno modernas utilizadas em sistemas de irrigação localizada. Este ajuste visa aumentar a precisão do dimensionamento hidráulico, melhorando a eficiência e o desempenho geral dos sistemas.

### 2. METODOLOGIA

Os ensaios experimentais foram realizados em uma bancada de ensaio de tubos, emissores e tubos emissores, do Laboratório de Irrigação e Hidráulica do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas. A bancada experimental é constituída de reservatório, unidade de bombeamento, filtros, tubulações, válvulas e medidores de pressão e fluxo. As tubulações utilizadas possuíam diâmetros de 14,2, 16,0 e 18,6 mm. O diâmetro dos tubos foi determinado com auxílio de um scanner de mesa (FLORES et al., 2021). Os tubos de ensaiados tinham um comprimento de 10 metros entre os pontos de medição de pressão. A perda de carga observada foi considerada como a diferença de pressão entre os pontos de medição inicial e final, assumindo que não houve alteração no diâmetro, na velocidade e na altura ao longo do trecho do tubo. Para

a determinação de diferenças de pressão inferiores a 1,5 m, utilizou-se um conjunto de piezômetros com água nos pontos de medição de pressão para minimizar erros de leitura. Um manômetro diferencial de mercúrio foi utilizado para diferenças de pressão superiores a 1,5 m. A carga de pressão de entrada (20 m), a fim de evitar mudanças no diâmetro do tubo (RETTORE NETO et al., 2016). Foram realizadas quatro repetições para cada diâmetro de tubo. O Número de Reynolds foi estimado com base na vazão, diâmetro do tubo e temperatura da água. A viscosidade cinemática foi estimada com a temperatura mensurada ao longo do ensaio, através da massa específica (KELL, 1975). A perda de carga observada foi comparada a tres perdas de cargas estimadas. As perdas de carga estimadas foram obtidas através da equação de Darcy-Weisbach, com fatores de atrito estimados pela (i) equação de Blasius (1913) – Equação 1 - com coeficientes  $c = 0,316$  e  $m = 0,25$ ; (ii) equação de Blasius (1913) com parâmetros estimados de acordo com proposta de Bagarello et al. (1995) – Equações 2, 3 e 4 - com coeficientes  $\alpha = 6,152$ ,  $\beta = 0,183$ ,  $\gamma = 12,40$ ,  $\delta = 0,157$ ; e, (iii) Equação de Blasius (1913) com parâmetros de Bagarello et al. (1995) ajustados.

$$f = \frac{c}{Re^m} \quad (1)$$

$$c = \frac{\alpha}{Re^\beta} \quad (2)$$

$$m = \frac{2}{n+1} \quad (3)$$

$$n = 7 - \frac{\gamma}{Re^\delta} \quad (4)$$

Onde:

$f$  é o fator de atrito de Darcy,

$Re$  é o Número de Reynolds,

$c, m, \alpha, \beta, \gamma, \delta$  são parâmetros de ajuste.

Através da ferramenta Solver® do Microsoft Office Excel® foram ajustados os parâmetros  $\alpha, \beta, \gamma$  e  $\delta$  afim de minimizar a raiz quadrada do erro médio (RMSE) da perda de carga em estimada em relação a observada. Os resultados de perda de carga estimada foram avaliados utilizando o coeficiente de correlação ( $r$ ), o Índice de Concordância ( $d$ ) de Willmot et al. (1985), o Índice de Confiabilidade e Desempenho ( $c$ ) de Camargo (CAMARGO; SENTELHAS, 1997), e a raiz quadrada do quadrado do erro médio (RMSE).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta uma análise comparativa das perdas de carga observadas e estimadas por diferentes metodologias. Os dados indicam que, ao ajustar os parâmetros da metodologia proposta por Bagarello et al. (1995), é possível obter estimativas mais próximas das perdas de carga observadas, especialmente para números de Reynolds ( $Re$ ) superiores a  $Re > 10000$ . No entantato, mesmo após o ajuste dos parâmetros, para  $Re < 10000$ , a metodologia de Bagarello et al. (1995) tende a subestimar a perda de carga, em até 4%. O comportamento da equação com  $c$  e  $m$  fixos (proposta original de Blasius (1913) é de superestimar a perda de carga em aproximadamente 2%.

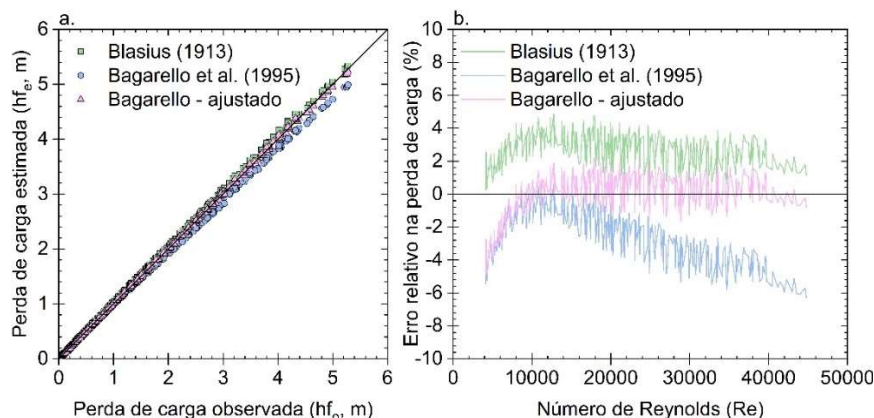


Figure 1 - Perdas de carga estimadas em função da perda de carga observada (a) e erros relativos na estimativa da perda de carga em função do Número de Reynolds (b).

A Tabela 1 apresenta os parâmetros das equações de Blasius (1913) e Bagarello et al. (1995), bem como os valores ajustados para a metodologia de Bagarello. O ajuste dos parâmetros da metodologia de Bagarello resultou em um RMSE menor ( $1,965 \times 10^{-2}$ ) indicando uma melhora na precisão das estimativas em relação à proposta original de Bagarello e à equação de Blasius. Além disso, os demais coeficientes da metodologia ajustada mostram valores próximos a 1, indicando um excelente ajuste entre as perdas de carga observadas e as estimadas.

Table 1 - Parâmetros de ajuste e coeficientes estatísticos para os dados.

Equação		Blasius (1913)	Bagarello et al. (1995)	Bagarello – ajustado
Parâmetros das equações	c	$c = 0,316$	$\alpha = 6,152; \beta = 0,183;$	$\alpha = 3,795; \beta = 0,1047;$
		$m = 0,25$	$\gamma = 12,40; \delta = 0,157$	$\gamma = 9,018; \delta = 0,1117$
	RMSE	$4,945 \times 10^{-2}$	$8,958 \times 10^{-2}$	$1,965 \times 10^{-2}$
Coeficientes estatísticos	r	0,9998	0,9998	0,9999
	d	0,9996	0,9987	0,9999
	c	0,9995	0,9986	0,9998

Neste sentido, Jardim et al. (2021), utilizaram dados experimentais e simulados para tubos lisos, os autores propuseram uma correção para a equação de Blasius (1913) inserindo o diâmetro da tubulação no equacionamento, assim, reduzindo o erro do modelo. Corroborando com a importância de calibrar os modelos empíricos.

#### 4. CONCLUSÕES

O ajuste do modelo proposto por Bagarello et al. (1995) demonstrou uma melhora na precisão das estimativas do fator de atrito de Darcy em tubulações de polietileno, especialmente em números de Reynolds superiores a 10.000. Os resultados obtidos destacam a importância de calibrar modelos empíricos para otimizar o desempenho de sistemas de irrigação localizada.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAGARELLO, et al. Experimental Study on Flow-Resistance Law for Small Diameter Plastic Pipes. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 121, n. 5, p. 313–316, 1995.

BLASIUS, P. R. H. 1913. Das Aehnlichkeitsgesetz bei Reibungsvorgängen in Flüssigkeiten. **Forschungsheft** 131, 1-41

CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89–97, 1997

DARCY, H. Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux. Paris: **Mallet-Bachelier**, 1857, 268 p.

DE MELO, V et al. Head loss in laser-perforated thin-walled polyethylene pipes for irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 317-323, 2019.

FLORES, J. H. N. et al. Metodologia para Determinação da Perda de Carga Local do Emissor em Sistemas de Irrigação por Gotejamento. **Revista de Engenharia de Irrigação e Drenagem**, v. 147, 2021.

JARDIM, A.M.R.F. et al. Modelling the Darcy–Weisbach friction factor and the energy gradient of the lateral line. **Irrigation and Drainage**, v. 71, n. 2, p. 320-332, 2021.

HERMAWAN, T. L. Finite Element Analysis of Polyethylene Pipe with Elliptical Hole Supported by Saddle Fusion Patch with Fin. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2024. p. 012048.

KELL, G. S. Density, thermal expansivity, and compressibility of liquid water from 0° to 150°. Correlations and tables for atmospheric pressure and saturation reviewed and expressed on 1968 temperature scale. **Journal of Chemical and Engineering data**, v. 20, n. 1, p. 97-105, 1975.

RETTORE NETO, O. et al. Comportamento da equações de Scibey, Manning e Fairwhipple-hsiao quando utilizadas para estimativa da perda de carga em tubos com comportamento elástico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.10, nº.1, p. 420 - 427, 2016.

WAMBUA, C. et al. (2020). Validation of calculated pressure drop using experimental data with standard methods of existing software. **Journal of Engineering Research and Reports**, 1-10.

WEISBACH, J. Principles of the mechanics of machinery and engineering. First American Edition by Walter R. Johnson. **Philadelphia: Lea and Blanchard**. 1849.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; R. E. et al. Statistics for the evaluation and comparision of models. **Journal of Geophysical Research. Ottawa**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985. Disponível em: . Acesso em: 23 de Julho de 2020.