

AJUSTE DO COEFICIENTE DE PERDA DE CARGA DA EQUAÇÃO DE HAZEN-WILLIAMS PARA TUBOS DE IRRIGAÇÃO

JUCIANO GABRIEL DA SILVA¹; LETÍCIA CAROLINE SILVA COSTA²; KAMILA DA SILVA MARTINS PITANA³; THAIS NOUALS⁴; GUSTAVO BORGES LIMA⁵; LESSANDRO COLL FARIA⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – jucianogabriel@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – leticiacosta991@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – kamillamartinspitana@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – thaismouals1605@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – gu_poa@hotmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – lessandro.faria@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O dimensionamento hidráulico de projetos de irrigação, quando realizado corretamente, é fundamental para se obter máxima eficiência do sistema. Um dos componentes importantes no dimensionamento das tubulações é a determinação da perda de carga distribuída (SOUSA & NETO, 2014). Entre as equações de perda de carga utilizadas em projetos hidráulicos destaca-se equação de Darcy-Weisbach (1857), também chamada de Equação Universal, pois é considerada a fórmula matemática mais completa e bem aceita para determinar este fenômeno físico. A Equação Universal apresenta um fator de perda de carga (*f*) que leva em consideração o regime de escoamento do fluido e as características de rugosidade e diâmetro interno das tubulações (BENAVIDES-MUÑOZ, 2024).

Outra forma de calcular a perda de carga é por meio de equações empíricas, as quais são consideradas mais simples pois são restritas a limites experimentais, seja em relação ao material, à velocidade do fluido ou ao diâmetro da tubulação (ALLEN, 1996). Entre as equações empíricas com maior aplicação em sistemas de irrigação pressurizados pode-se destacar a de Hazen-Williams. A equação empírica de Hazen-Williams apresenta um coeficiente de perda de carga (*C*) que varia de acordo o tipo de material do tubo. Entretanto, conforme destacado por ALLEN, (1996) e SOUZA (2018), este coeficiente também deve ser corrigido na medida que se altera parâmetros como diâmetro e velocidade de escoamento.

Neste sentido, pesquisadores desenvolveram equações para estimar este coeficiente para uma ampla gama de variáveis de entrada, que incluem velocidade, diâmetro e rugosidade absoluta (LIOU, 1998; CHRISTENSEN, 2000). Desde modo, este trabalho tem como objetivo avaliar qual equação apresentada na literatura é a mais precisa para ajustar o coeficiente *C* da fórmula de Hazen-Williams.

2. METODOLOGIA

Para este estudo foi realizada uma simulação comparando os resultados de perda de carga pela equação de Darcy-Weisbach, e pela equação empírica de Hazen-Williams com seu coeficiente *C* obtido pelas fórmulas de Cristensen et al., (2000), Porto (2006), Liou (1998), Mello; Carvalho (1998), Jacimovic et al., (2015), Niazkar et al., (2017).

As simulações foram realizadas para a faixa de diâmetro de 20 a 1300 mm, rugosidades absolutas de 1,5, 10, 50, 60, 100, e 150 micrômetros, e velocidades de escoamento de 0,62, 0,75, 1,5, 1,97 e 2,4 m/s, e a viscosidade cinemática com

valor para o fluido água a temperatura de 20 °C. Na Tabela a seguir são apresentadas as equações obtidas na literatura e utilizadas para a determinação do coeficiente C de Hazen-Williams.

Para mensurar o desempenho do resultado da equação de Hazen-Williams, utilizando cada equação para a determinação do coeficiente C, foram comparados seus resultados com a perda de carga obtida pela equação Universal de Darcy-Weisbach, a partir da análise do erro relativo percentual e resíduos.

Tabela 1. Equações utilizadas para determinação do coeficiente C.

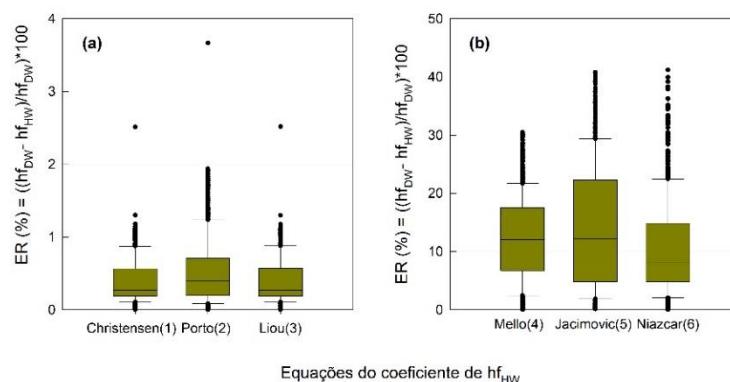
Christensen et al., 2000	$C = 4,1 \left(\frac{g}{f_s} \right)^{0,54} (vR)^{-0,08} D^{-0,01}$	(1)
Porto, 2006	$C = \frac{43}{f_s^{0,54} R^{0,081} D^{0,01}}$	(2)
Liou, 1998	$C = 14,07 f_s^{-0,54} R^{-0,08} D^{-0,01} v^{-0,08}$	(3)
Mello; Carvalho, 1998	<p style="text-align: center;">Regime turbulento liso $C = 26,2735 D^{0,0448} V^{0,055} v^{-0,135}$</p> <p style="text-align: center;">Regime turbulento transitacional</p> $C^{1,852} = \left[\frac{133,5 D^{-0,167}}{V^{0,148} (0,012696 + 0,22791 \sqrt{\varepsilon/D}) + (0,77209 V^{1,5} D^{-0,5} v^{0,5})} \right]$	(4)
Jacimovic et al., 2015	$C = 50 - 10 \cdot \ln \frac{\varepsilon}{D}$	(5)
Niazkar et al., 2017	$C = -3,48,15 \varepsilon^6 + 1436,1 \varepsilon^5 - 2132 \varepsilon^4 + 1315,9 \varepsilon^3 - 224 \varepsilon^2 - 85,538 \varepsilon + 149,32$	(6)

onde: C é o coeficiente de perda de carga da equação de Hazen-Williams (adimensional), g é a aceleração da gravidade (m/s^2), v é a viscosidade cinemática do fluido (m/s^2); R é o número de Reynolds (adimensional); D é o diâmetro interno da tubulação (m), ε é a rugosidade relativa (m), V é a velocidade de escoamento do fluido ($m.s^{-1}$), e f_s é o fator de atrito calculado pela equação de Swamme.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, pode ser observado o erro relativo percentual entre os resultados da perda de carga observada pela equação de Darcy-Weisbach e perda de carga estimada por Hazen-Williams com seu coeficiente C calculado por diferentes equações (Tabela 1).

Figura 1. Erro relativo percentual (ER) entre a perda de carga calculada pela equação de Darcy-Weisbach (hf_{DW}) e a equação Hazen-Williams (hf_{HW}) com o seu coeficiente estimado por diferentes fórmulas.

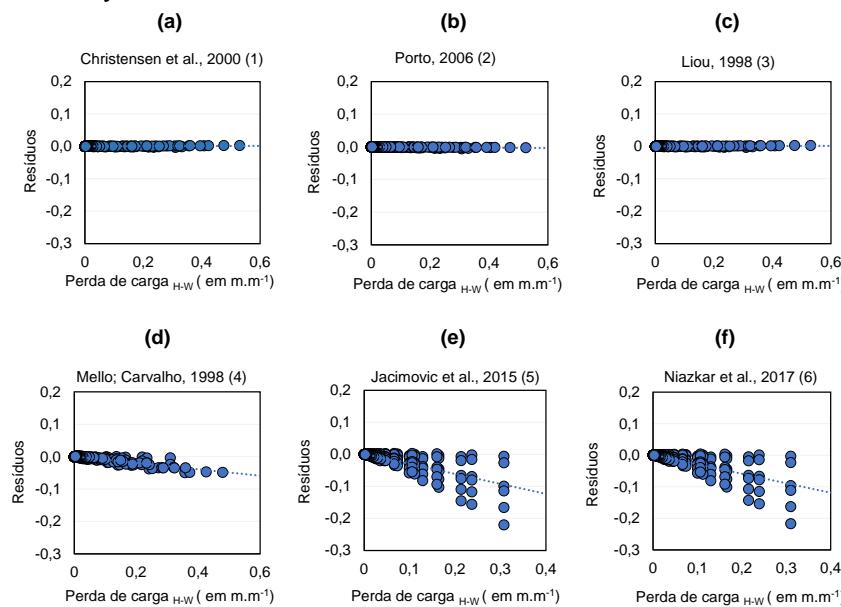


Observa-se que a Figura 1 (b) apresentou maiores ER(%) em comparação aos resultados da Figura 1(a). A maior amplitude nos resultados do erro relativo se deve ao fato que as equações propostas por Mello; Carvalho (1998), Jacimovic et al., (2015) e Niazkar et al., (2017) não levam em consideração o fator de atrito (f) da Equação Universal na estimativa do coeficiente C.

Na Figura 1(a), as equações de Cristensen et al., (2000) e Liou (1998), apresentaram uma amplitude do erro relativo variando de 0 a 1,5% para 99% das simulações, com um valor mais discrepante com erro de 2,5%, enquanto a equação do Porto (2006) apresentou em 99% dos casos o erro de até 1,8% e uma simulação com 3,6% de erro. Esta única simulação com erro maior nas 3 equações refere-se ao diâmetro de 20 mm, velocidade de escoamento de $0,62 \text{ m.s}^{-1}$ e rugosidade absoluta $1,5 \mu\text{m}$.

Na Figura 2, pode-se observar os resultados referentes aos resíduos dos resultados de perda de carga pela equação de Hazen-Williams com o C corrigido pelas diferentes equações (Tabela 1), em comparação com o resultado da perda de carga obtida pela equação de Darcy-Weisbach. Os resíduos com valor negativo indicam que a equação de Hazen-Williams subestimou, enquanto que valores positivos de resíduos indicam que a equação de Hazen-Williams superestimou a perda de carga.

Figura 2. Resíduos na comparação do resultado de perda de carga unitária pelas equações de Darcy-Weisbach, e Hazen-Williams com o coeficiente C corrigido.



Na Figura 2(a), (b), (c) os resíduos apresentam valores menores em comparação aos resultados na Figura 2(d, e, f), o que ressalta a maior precisão das equações que levam em consideração o fator de atrito (f) da equação de Darcy-Weisbach. O uso da equação de Mello; Carvalho (1998) apresentou os menores resíduos em comparação as outras equações que não tem o fator de atrito (f), equações (5) e (6), o que se deve ao fato que os maiores valores de resíduos na Figura 2, são dos resultados em diâmetros menores com velocidades de escoamento elevadas, enquanto que o erro da equação (4) está nos maiores diâmetros simulados.

4. CONCLUSÕES

A equação de Hazen-Williams com o coeficiente C ajustado pelas equações que levam em consideração o fator de atrito (f), Equações 1, 2 e 3, proporcionam resultados mais próximos da perda de carga determinada pela equação de Darcy-Weisbach.

5. AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo apoio financeiro. Ao Laboratório de Hidráulica e Irrigação do CDTEC/UFPEL.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. Relating the Hazen-Williams and Darcy-Weisbach friction loss equation for pressurized irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, v.12, p.685-693, 1996.

BENAVIDES-MUÑOZ, H. M. Modification and improvement of the Churchill equation for friction factor calculation in pipes. **Water**, v.16, p.1-38, 2024.

CHRISTENSEN, B. A; LOCHER, F. A.; SWAMEE, P. K. Limitations and proper use of the Hazen-Williams equation: Resposta ao artigo [Limitations and proper use of the Hazen-Williams equation]. **Journal of Hydraulic engineering**, v.126, n.2, p.167-170, 2000.

JACIMOVIC, N.; STAMENIC, M.; KOLENODIC, P.; DORDEVIC, D.; RADANOV, B.; VLADIC, L. A novel method for the inclusion of pipe roughness in the Hazen-Williams equation. **FME Transactions**, v.43, n.1, p. 01-05, 2015.

LIOU, C. P. Limitations and proper use of the Hazen-Williams equation. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.124, n.9, p. 951-954, 1998.

MELLO, C. R.; CARVALHO, J. A. Análise da equação de perda de carga de Hazen-Williams, associada aos regimes hidráulicos para tubos de PVC e polietileno de pequeno diâmetro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.247-252, 1998.

NIAZKAR, M.; TALEBBEYDOKHTI, N.; AFZALI, S. H. Relationship between Hazen-William coefficient and Collebrook-White friction factor: Application in water network analysis. **European Water**, v.58, p. 513-520, 2017.

PORTE, R. de M. **Hidráulica básica**. São Paulo, SP: EESC-USP, 2006.

SOUZA, J. S. C.; NETO, J. D. Equação explícita para cálculo do fator de atrito de Darcy-Weisbach em projetos de irrigação pressurizada. **Irriga**, Botucatu, v.19, n.1, p.137-148, 2014.

SOUZA, J. S. C. Equações de perda de carga para dimensionamentos hidráulicos em projetos de irrigação pressurizada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.7, p.3159 - 3168, 2018.