

NOVA RELAÇÃO ENTRE OS COEFICIENTES DE MANNING E DE RUGOSIDADE k_s PARA USO NA EQUAÇÃO AC-W PARA ESCOAMENTO UNIFORME EM CANAIS

Tarciso Cabral da Silva e Ícaro de França Albuquerque

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Brasil.
E-mail: tarcisocabral@gmail.com, icarodafranca@hotmail.com

Introdução

A expressão de Colebrook-White (CW) para o cálculo de escoamento permanente de água em tubos pressurizados tem sido bastante utilizada com sucesso desde meados do século XX. No entanto, não produz resultados que possam ser considerados adequados para aplicações práticas em canais abertos. No escoamento em canais, as correntes de circulação e a presença da superfície livre são os fatores, ditos de forma, atribuídos à deficiência de formulações, como a CW, para os cálculos da vazão do escoamento uniforme em canais.

Neste trabalho é destacada a equação (AC-W), desenvolvida por Lima (2013), para cálculo da vazão do escoamento uniforme em canais, a qual leva em conta os efeitos de forma na resistência ao escoamento, por meio do fator de atrito corrigido, segundo a equação de Kazemipour (KAZEMIPOUR; APELT, 1979). Considera também a equação universal de perdas de carga e a versão da equação de Colebrook-White, no formato apresentado por Featherstone e Nalluri (1988), e modificada por Lima (2013).

Esta nova equação, tem gerado melhores resultados do que os obtidos com a conhecida equação de Manning (Cabral da Silva; Lima; Figueiredo, 2015) para o cálculo da vazão, com vantagens adicionais como, por exemplo, a consideração da influência da viscosidade da água.

A maior dificuldade para o uso da equação AC-W refere-se à determinação do parâmetro de rugosidade k_s . Por conseguinte, a maneira de contornar essa dificuldade foi procurar a melhor relação entre o k_s e o coeficiente de Manning n , uma vez que para este último existem tabelas apropriadas e imagens de trechos de rios com n conhecidos, permitindo estimativas de valores usados para esse parâmetro.

O desenvolvimento da equação AC-W é descrito sucintamente neste trabalho, bem como o processo de obtenção de uma relação entre o coeficiente de Manning n e o parâmetro de rugosidade k_s , para uso na equação AC-W. A relação é baseada nas aplicações das equações AC-W e de Manning a dados experimentais do escoamento uniforme em canais triangulares e circulares hidraulicamente lisos e rugosos, em regimes subcrítico e supercrítico. Também foi feita comparação entre a relação obtida e a fórmula de Strickler (1923) de mesma finalidade.

Metodologia

A partir das equações de Darcy & Weisbach, de Colebrook & White no formato escrito por Featherstone e Nalluri (1988) e da expressão devido a Kazemipour e Apelt (1979) que corrige o fator de atrito em tubos pressurizados para contemplar os efeitos de forma nos escoamentos uniforme em canais, Lima (2013) deduziu a equação [1] válida para escoamento uniforme turbulento em canais lisos e rugosos.

$$Q_c = \frac{A}{\sqrt{\psi}} \left\{ -\sqrt{32gR_H S_0} \log \left(\frac{k_s}{14,8R_H} + \frac{1,255\nu}{R_H \sqrt{32gR_H S_0}} \right) \right\} \quad [1]$$

onde: Q_c é a vazão volumétrica no canal; A é a área da seção transversal; g a aceleração da gravidade; S_0 a declividade

longitudinal do canal, que representa a perda de carga por unidade de comprimento; R_H o raio hidráulico; ν é a viscosidade cinemática da água, e k_s a rugosidade absoluta do material das paredes e fundo do canal.

Estão contemplados nesta equação [1] os efeitos de forma responsáveis pelo aumento da resistência em relação ao escoamento nos condutos fechados circulares, por meio do parâmetro de forma ψ cujo valor é maior do que a unidade.

A equação de Chezy com coeficiente de Manning foi utilizada no formato da equação [2]:

$$Q_c = \frac{A}{n} R_H^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}} \quad [2]$$

onde: n é o coeficiente de rugosidade de Manning.

As relações entre n e k_s foram obtidas a partir do conjunto de dados obtidos por Pimenta (1966) em canal triangular em laboratório de Hidráulica; e dados experimentais de escoamento em canais circulares devido a diversos autores, extraídos do trabalho de Mangin (2010), todos classificados com em escoamento uniforme, hidraulicamente lisos e rugosos, em regimes subcrítico e supercrítico.

Os valores dos parâmetros k_s e n correspondentes foram determinados por meio do processo de calibração com uso das equações [1] e [2], respectivamente. Os valores otimizados desses parâmetros foram considerados para o estabelecimento da relação k_s versus n . O critério para determinação do melhor valor do parâmetro foi o do menor erro relativo absoluto médio (MARE) das vazões calculadas pelas equações, segundo a equação [3].

$$MARE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{|(Q_{cal i} - Q_{obs i})|}{Q_{obs i}} \quad [3]$$

Nas figuras 1 e 2 são mostrados exemplos do processo de calibração dos parâmetros por meio dos gráficos ilustrativos para a obtenção do melhor valor do parâmetro, para os canais triangulares.

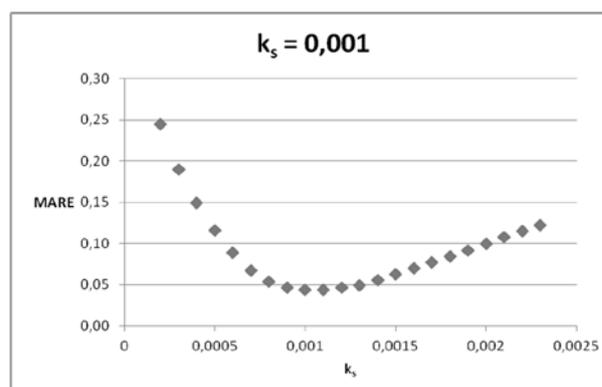


Figura 1.- Processo de obtenção do k_s com menor valor do MARE

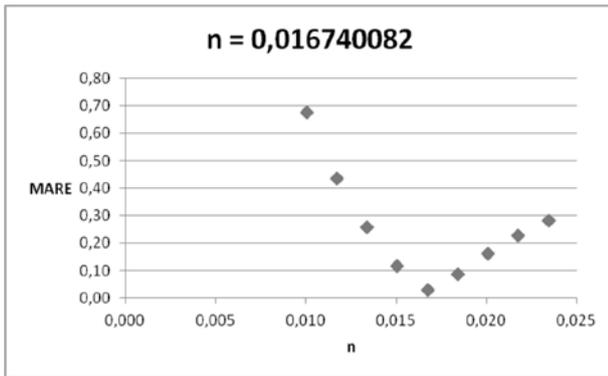


Figura 2.- Processo de obtenção do n com menor valor do MARE.

Resultados e discussões

A comparação dos resultados realizada por Lima (2013) para os canais triangulares apontou melhores resultados advindos da aplicação da equação [1] quando comparados com a equação [2], com valores do MARE iguais a 86,7% do obtido com a equação [2]. Com comportamento semelhante, os resultados do trabalho de Albuquerque (2017), também demonstraram o melhor desempenho da equação [1] frente à [2], com percentuais relativos de MARE variando de 49,6% a 98,7%, conforme o tipo de revestimento do canal circular.

Com base nos resultados obtidos, referentes aos coeficientes de Manning que resultavam no menor MARE para cada rugosidade estudada e as rugosidades correspondentes calibradas que também resultavam no menor MARE, foi obtida por Lima (2013), uma relação entre esses parâmetros, correspondente à equação [4]:

$$n = 0,0407k_s^{0,1653} \quad [4]$$

Os dados de n versus k_s plotados no gráfico da figura 3, advindos dos experimentos dos canais circulares, indicaram haver concordância com a equação [4].

Outra relação conhecida entre n e k_s , determinada por Strickler (1923), equação [5], foi avaliada por meio da representação de sua curva na figura 3. No entanto, os resultados dessa relação não se coadunaram de forma adequada como os obtidos com a curva da equação [4] conforme mostrado na figura 3.

$$n = \frac{k_s^{1/6}}{8,16\sqrt{g}} \quad [5]$$

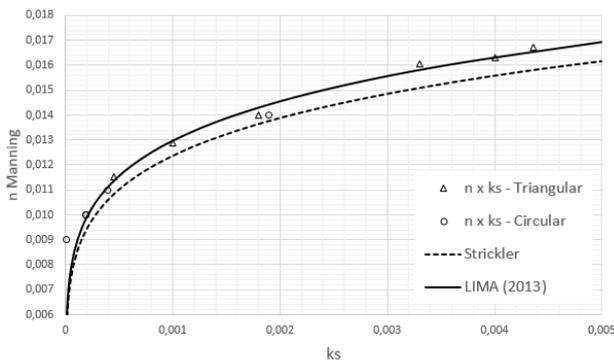


Figura 3.- Curvas das equações [4] e [5] e dos valores de n versus k_s obtidos de dados experimentais.

Considerações finais

A expressão AC-W, é de formato totalmente explícito, deduzida a partir das equações de Darcy & Weisbach e da equação de Colebrook & White, além da correção do fator de atrito do método de Kazemipour, e, portanto, pode ser aplicada sem necessidade de cálculos iterativos.

As aplicações feitas aos dados experimentais dos canais triangulares e circulares lisos e rugosos, demonstraram ser menores os valores do MARE para a equação AC-W em detrimento dos decorrentes da aplicação da equação de Manning.

A relação entre o parâmetro de rugosidade k_s e o coeficiente de Manning, mostrada neste trabalho, permite a transformação de valores de n, para serem usados em equações como mostrada no trabalho, a AC-W. Esta relação obteve melhor performance do que a de Strickler, levando à aplicação com melhor precisão para casos de escoamento em canais triangulares e circulares nas condições relacionadas.

Referências

- Albuquerque, I.F. (2017). *Investigação sobre o uso da formulação transformada de Colebrook-White em canais circulares e naturais em escoamento uniforme*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba. 79p. João Pessoa, 2017.
- Cabral da Silva, T.; Lima, E.G.F. S; Figueiredo, S.A. (2015). "A new equation for calculating the uniform flow in hydraulically smooth and rough channels". E-proceedings of the 36th IAHR World Congress. The Hague, the Netherlands 28 June – 3 July, 2015.
- Featherstone, R.E.; Nalluri, C. (1988). *Civil Engineering Hydraulics*. 2. Edition. BSP Professional Books. Oxford, England.
- Kazemipour, A.K., and Apelt, C.J. (1979). "Shape effects on resistance to uniform flow in open channels." J. Hydraul. Res., 17(2), 129–147.
- Lima, E.G.F.S. (2013). *Novas formulações para dimensionamento de canais considerando os efeitos de forma na resistência ao escoamento uniforme: seções triangulares hidraulicamente rugosas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba. 73p. João Pessoa.
- Strickler A. (1923). *Translates to: Some contributions to the problem of the velocity formula and roughness factors for rivers, canals and closed conduits*. Mitteilungen des Eidgenossischen Amtes für Wasserwirtschaft, Bern Switzerland, No. 16.