

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

CÁLCULO DO ESCOAMENTO UNIFORME EM CANAIS A PARTIR DA FORMULAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE CARGA: APLICAÇÕES A DADOS EXPERIMENTAIS DE CANAIS TRIANGULARES LISOS

Tarciso Cabral da Silva¹; Iara da Costa Melo² & Samara G. Fernandes da Costa³

RESUMO: Um procedimento para cálculo do escoamento uniforme em canais retangulares e circulares lisos, bastante eficiente, foi elaborado por Kazemipour e Apelt (1979, 1980) com base na representação dos efeitos de forma do canal. Este método, denominado método de Kazemipour, possibilita por meio da adequação do fator de atrito para tubos lisos pressurizados, o cálculo do escoamento uniforme em canais lisos. Posteriormente, Goldfarb e Cabral da Silva (2007) modificaram o método para o formato explícito, e foi confrontado por estes autores com a equação de Manning para o cálculo do escoamento em canais circulares lisos, demonstrando-se a superioridade deste novo método. Cabral da Silva e Abreu (2010) e Costa *et al.* (2011) adaptaram e testaram o novo método para canais retangulares lisos, obtendo também sucesso. Neste trabalho mostra-se a aplicação feita com os dados de seções triangulares de canais lisos devidos a Powell e Posey (1959) de Pimenta (1966). Os resultados demonstraram mais uma vez a superioridade do novo método quando comparado com a equação de Manning.

ABSTRACT: The representation of the shape effect of the channel to the uniform flow calculation, made by Kazemipour and Apelt (1979, 1980), based on experimental studies and analysis, has generated an efficient procedure named method of Kazemipour. This method facilitates, through the adaptation of the friction factor, the calculation of the uniform flow in smooth channels by the use of the equations for pressurized tubes. Later, Goldfarb and Cabral da Silva (2007) modified this method to the explicit format. This new explicit method was confronted by these authors with the use of Manning's equation for the calculation of the flow in smooth circular channels and it resulted more efficient. Once more, Cabral da Silva and Abreu (2010) and Costa *et al.* (2011) used the new method to the smooth rectangular channel data and again it was successfully. In this work is showed the application made to the smooth triangular channels with data from Powell e Posey (1959) and Pimenta (1966). Like the other applications the results were better than those obtained from the use of Manning's equation.

Palavras-Chave: escoamento em canais triangulares, resistência ao escoamento, efeitos de forma no escoamento uniforme.

1 Professor Titular – Universidade Federal da Paraíba – Centro de Tecnologia e-mail: tarcisocabral@yahoo.com.br

2 Bolsista de Iniciação Científica – Aluna de Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal da Paraíba – Centro de Tecnologia

3 Bolsista de Iniciação Científica - Aluna de Graduação Engenharia Ambiental - Universidade Federal da Paraíba – Centro de Tecnologia

INTRODUÇÃO

Desde o trabalho de Chezy - século XVIII – não foram poucos os pesquisadores que se dedicaram à busca de uma formulação satisfatória para o cálculo do escoamento uniforme em canais. No entanto, as pesquisas por melhores equações para esse cálculo foram intensificadas principalmente a partir dos anos 1930, com base na teoria da camada limite e dedução das equações de resistência hidráulica para escoamento em tubos por von Karman e Prandtl. Assim, Keulegan (1938) foi um dos pioneiros a utilizar estas equações visando obter melhores fórmulas para o cálculo de vazão em canais similares às utilizadas para o escoamento em tubos. Contudo, as formulações geralmente utilizadas para a determinação da influência da forma da seção transversal na resistência ao escoamento uniforme livre ainda não têm se mostrado como conclusivas e consideradas definitivas. A principal limitação destas é a consideração de que a tensão de cisalhamento na fronteira do escoamento seria constante, à semelhança do escoamento em tubos circulares pressurizados, o que realmente não ocorre. Além disso, a representação da forma da seção transversal somente pelo raio hidráulico tem-se mostrado insuficiente conforme alguns autores como Shih e Grigg (1967). Outras equações, como a conhecida fórmula de Manning, não levam em conta os efeitos da viscosidade da água, que, como se sabe, é fortemente dependente da temperatura.

Um método de cálculo bastante consistente foi desenvolvido por Kazemipour e Apelt (1979, 1980) a partir de considerações da análise dimensional, objetivando a adequação à formulação universal de perdas de carga. Neste método, a geometria do canal é representada pela razão de aspecto do canal e pela relação perímetro molhado/raio hidráulico. O fator de atrito para canais é obtido através da multiplicação desse fator para tubulações pressurizadas, empregando-se a formulação universal de perdas de carga, por um parâmetro adimensional denominado fator de forma.

A consideração do fator de forma, na verdade, busca a introdução dos efeitos das correntes de circulação e da distribuição não uniforme da tensão de cisalhamento ao longo da fronteira do escoamento à superfície livre, na formulação baseada na teoria da turbulência, para tubos circulares sob pressão. Evidentemente, no escoamento em tubos circulares à seção plena, estes fenômenos não comparecem (Cabral da Silva, 1993). O efeito da viscosidade da água é introduzido através do termo viscosidade cinemática na equação de von Karman, base do equacionamento de Kazemipour.

Já Goldfarb (2002) e Goldfarb e Cabral da Silva (2007) modificaram o método de Kazemipour, introduzindo o coeficiente de atrito do escoamento em canais na formulação para tubos circulares lisos devido a Von Karman, resultando em uma formulação monômica bastante

eficaz. Também testaram o modelo com dados para canais circulares lisos demonstrando sê-lo mais eficiente do que a formulação de Chezy com coeficiente de Manning.

Nessa mesma direção, Cabral da Silva e Abreu (2010) aplicaram esse novo método modificado por Goldfarb e Cabral da Silva (2007) para canais retangulares lisos, comparando-o com a formula de Manning, utilizando os dados de escoamento uniforme devidos a Tracy e Lester (1961) e Rajaratnam e Muralidhar (1969), tendo concluído pela sua superioridade. De maneira semelhante, um novo teste foi feito por Costa *et al.* (2011), desta feita com os dados de Pimenta (1966), tendo obtido sucesso frente a aplicação da fórmula de Manning.

Neste trabalho são mostradas aplicações do novo método utilizando-se dados de escoamento uniforme de canais triangulares lisos, devido a Powell e Posey (1959) e Pimenta (1966), tendo sido obtidos, mais uma vez, resultados melhores do que os gerados com a tradicional fórmula de Manning.

METODOLOGIA

O Método de Kazemipour

O método de Kazemipour, desenvolvido por Kazemipour e Apelt (1979), para o cálculo do escoamento turbulento uniforme em canais lisos a partir das equações de perda de carga para tubos pressurizados. Para tanto, o fator de atrito das equações para tubos pressurizados é substituído pelo fator de atrito para canais abertos, calculado conforme a Equação (1) abaixo,

$$f_c = \psi f \quad (1)$$

onde, f_c é o fator de atrito para canais abertos, ψ é o parâmetro dito de forma do método de Kazemipour e f é o fator de atrito para tubos pressurizados.

O parâmetro de forma ψ do método de Kazemipour é calculado através da razão entre dois outros denominados primeiro e segundo parâmetros de forma do método de Kazemipour. No caso de escoamento de tubos à seção plena, ter-se-ia ψ igual à unidade.

O primeiro parâmetro adimensional, ψ_1 , utilizado no método de Kazemipour, para o cálculo do escoamento turbulento uniforme em canais circulares, é calculado usando-se a equação (2).

$$\psi_1 = (P/B)^{1/2} \quad (2)$$

onde: P é o perímetro molhado da seção transversal do escoamento igual a, e B a largura de topo do canal.

O segundo parâmetro do método de Kazemipour, ψ_2 , é outro parâmetro de forma, apresentado em forma de gráfico, função da razão de aspecto B/y_{av} e obtido a partir de dados experimentais, com y_{av} sendo a profundidade efetiva do escoamento e igual a A/B .

O segundo parâmetro foi escolhido de forma que a combinação de ψ_1 e ψ_2 possibilitasse o ajuste dos valores do fator de atrito para canais abertos, tornando-os iguais aos valores dos fatores de atrito para tubulações pressurizadas, para um mesmo número de Reynolds.

Uma vez obtidos os dois parâmetros de forma, a razão entre essas grandezas fornece o parâmetro, ψ , que representa a influência da geometria da seção transversal do escoamento na sua resistência. A equação (3) apresenta a expressão para cálculo deste parâmetro,

$$\psi = \psi_1 / \psi_2 \quad (3)$$

onde ψ é o parâmetro adimensional de forma, já definido no método de Kazemipour.

Simplificação do parâmetro de forma ψ de Kazemipour

Na simplificação proposta por Cabral da Silva (1995), a partir dos dados de Tracy e Lester (1961) e de Shih e Grigg (1967), para a representação do fator de forma ψ devido a Kazemipour, procurou-se ajustar a curva mais simplificada possível que representasse o fator de forma de maneira que em expressões simples descrevessem melhor a variação desse parâmetro com a razão de aspecto do escoamento, B/y_{av} . Já Goldfarb e Cabral da Silva (2007), de forma semelhante a Kazemipour, calibraram o parâmetro ψ para seções circulares lisas, utilizando distribuições de tensão de cisalhamento e dados experimentais. No mesmo trabalho, Goldfarb e Cabral da Silva ainda mostraram a pouca variabilidade do parâmetro ψ , abrindo a possibilidade de sua determinação apenas fazendo-se uso de dados experimentais.

Validação analítica do método de Kazemipour

A partir das equações para cálculo da resistência ao escoamento uniforme em canais livres e, associando os efeitos de forma à distribuição não uniforme da tensão de cisalhamento no perímetro molhado, Cabral da Silva (1993), desenvolveu uma metodologia para determinação analítica do parâmetro de forma, denominado ψ_t . Considerando as curvas da distribuição da tensão de cisalhamento ao longo do perímetro molhado a formulação para este parâmetro pode ser apresentada na equação (4), como:

$$\psi_t = \frac{1}{P} \int_0^P \frac{\tau(p)}{\tau_0} dp \quad (4)$$

onde: ψ_t é o parâmetro de forma apresentado por Cabral da Silva (2003); $\tau(p)$ é a função que representa a distribuição da tensão de cisalhamento ao longo do perímetro molhado P para uma

seção definida do escoamento uniforme, sendo p uma variável independente de posição ou distância ($P \geq p \geq 0$), e τ_0 é a tensão de cisalhamento média, calculada através da equação (5) a seguir:

$$\tau_0 = \rho g R S \quad (5)$$

onde: ρ é a massa específica da água; g a aceleração da gravidade; R é o raio hidráulico do escoamento e S a declividade do fundo do canal.

Goldfarb e Cabral da Silva (2007) obtiveram a curva de ψ_t em função da profundidade relativa y/D para seções circulares lisas, com D sendo o diâmetro do canal, tendo obtido comportamento semelhante desta curva à apresentada de ψ por Kazemipour para canais circulares lisos.

O modelo desenvolvido ainda é de concepção simplificada, uma vez que considera apenas as variações da tensão de cisalhamento, ao longo do perímetro molhado. Mesmo assim, a quase coincidência entre ψ e ψ_t para os valores maiores da razão de aspecto e a variação dos valores com tendência semelhante dos pontos obtidos experimentalmente e do modelo para os valores menores permitiram a inferência da validade do método.

A aplicação explícita do Método de Kazemipour

Goldfarb e Cabral da Silva (2007) desenvolveram a formulação, descrita a seguir, de caráter genérico quanto à forma do canal. A equação universal para cálculo da perda de carga por unidade de comprimento, para tubulações pressurizadas, quando aplicada para dutos de seção circular, na qual o diâmetro é igual a quatro vezes o raio hidráulico, pode ser apresentada conforme as expressões (6) e (7):

$$f = \frac{8gJR}{V^2} \quad (6)$$

$$V = \sqrt{\frac{8gJR}{f}} \quad (7)$$

onde: f é o fator de atrito para tubulações pressurizadas, g a aceleração da gravidade, J a perda de carga por unidade de comprimento, R o raio hidráulico, e V a velocidade média do escoamento na tubulação.

Para se aplicar as Equações (6) e (7) no cálculo do escoamento em canais abertos, conforme a metodologia de Kazemipour, substitui-se na expressão (6) o fator de atrito para canais apresentado na Equação (1). Neste procedimento, considerando-se canais com pequenas declividades, a perda de carga por unidade de comprimento J pode ser substituída pela declividade do fundo do canal S , obtendo-se as expressões (8) e (9).

$$f_c = \frac{8gSR}{V_c^2} \quad (8)$$

$$V_c = \sqrt{\frac{8gSR}{f_c}} \quad (9)$$

onde: f_c é o fator de atrito para canais abertos, g a aceleração da gravidade, S a declividade, que no caso representa a perda de carga por unidade de comprimento, R o raio hidráulico, e V_c a velocidade média do escoamento no canal.

Aplicando-se a Equação (1) em (9) e comparando o resultado com a Equação (7), obtém-se a seguinte relação entre as velocidades médias para tubulações pressurizadas e canais abertos:

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{\psi}} V \quad (10)$$

A relação entre as velocidades apresentada na Equação (10) revela que, para um mesmo número de Reynolds, a velocidade média do escoamento no canal é menor do que na tubulação pressurizada, visto que o parâmetro de forma do método de Kazemipour é sempre numericamente superior à unidade. Nesse caso a Equação (1) confirma esta análise quando demonstra, nas mesmas condições, o fator de atrito para canais f_c maior do que o fator de atrito f para tubulações pressurizadas.

A equação (11) seguinte é a de von Karman-Prandtl para cálculo do escoamento em tubulações pressurizadas de paredes lisas.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{Re \sqrt{f}}{2,51} \quad (11)$$

onde: Re é o número de Reynolds do escoamento.

Para possibilitar a aplicação da Equação (11) no cálculo de canais em escoamento à superfície livre, substitui-se na Equação (11), as Equações (1), (8) e (10). Nesse caso, pode-se explicitar a velocidade média do escoamento no canal V_c , a qual se multiplicada pela área da seção transversal fornece uma expressão para o cálculo da vazão volumétrica escoada.

$$Q_c = \frac{4A}{\sqrt{\psi}} \sqrt{2gRS} \log \left(4,51R \frac{\sqrt{gRS}}{v} \right) \quad (12)$$

onde: Q_c é a vazão volumétrica escoada no canal, A é a área de seção transversal do escoamento, g a aceleração da gravidade, R o raio hidráulico da seção transversal, S a declividade do fundo do canal, e v a viscosidade cinemática.

Os resultados obtidos da Equação (12) no cálculo do escoamento em canais retangulares lisos são comparados com os resultados advindos da equação de Manning, na forma da Equação (13):

$$Q_c = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (13)$$

onde: A é a área da seção transversal do escoamento, R o raio hidráulico, S a declividade do fundo do canal ou da superfície, e n o coeficiente de rugosidade de Manning das paredes do canal.

A fim de se ter comparações entre os valores da vazão através dos métodos descritos pelas Equações (12) e (13), calculou-se o erro absoluto relativo médio – $MARE$, definido conforme a Equação (14).

$$MARE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |(Q_{cali} - Q_{oobsi})| / Q_{oobsi} \quad (14)$$

onde: $MARE$ é o erro absoluto relativo médio, Q_{calc} vazão calculada através das equações descritas, Q_{obs} a vazão observada referente, sendo i a ordem da realização e m o número total delas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados experimentais de canais triangulares aqui utilizados foram obtidos por Powell e Posey (1959) e Pimenta (1966). Esses conjuntos de dados foram objeto de análises de consistência, tendo sido descartadas diversas realizações do total de dados disponíveis, conforme números mostrados na Tabela 1. Os critérios utilizados na análise de consistência foram baseados nos valores da relação f/f : se menores do que a unidade ou muito maiores do que os previstos pelos modelos matemáticos para as seções retangulares e circulares, ou seja, maiores do que 1,6. Assim, apenas foram considerados os dados cujos valores de ψ variavam entre 1 e 1,6, tendo sido descartadas 127 realizações do primeiro conjunto e 84 do segundo. Os canais triangulares lisos referidos têm ângulo externo de 45° (Figura 1) e os números mínimo e máximo de Froude e de Reynolds entre outros parâmetros encontram-se na Tabela 1. Os canais utilizados por Powell e Posey tinham revestimento de placas de metal polido e os de Pimenta, borracha lisa.

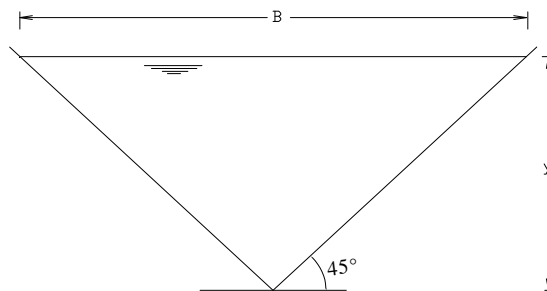


Figura 1 – Esquema da seção utilizada

Tabela 1 – Dados experimentais utilizados, faixas de variação das profundidades, números de Froude e Reynolds

Dados	Realizações utilizadas	y (m)	Froude	Reynolds ($\times 10^4$)
Powell e Posey (1959)	30	0,07 - 0,70	0,42 – 2,72	2,43 – 242,13
Pimenta (1966)	62	0,03 - 0,20	0,19 - 2,00	1,27 – 67,85

Para o valor de ψ utilizado na Equação (12), uma vez que não foram construídos modelos matemáticos com base nas curvas de tensão de cisalhamento como nos casos das seções retangulares e circulares, foi determinado o valor que produzia o menor *MARE* para os dois conjuntos de dados. Assim, o valor igual a 1,16 foi determinado como o melhor para a seção triangular lisa.

Nas vazões calculadas através da equação de Manning, o valor utilizado para o coeficiente n , que representa a rugosidade das paredes do canal, foi escolhido de forma que proporcionasse os melhores resultados para os valores calculados através desta equação. Desta forma, os valores de $n = 0,0095$ para os dados de Powell e Posey (1959), e $n = 0,0092$ para os dados de Pimenta (1966) foram calculados como os valores que otimizam os resultados, através do critério do menor *MARE*, e são caracterizados como de canais hidraulicamente lisos.

O gráfico da Figura 2, vazões adimensionalizadas Q_{calc}/Q_{obs} em função de $y/y_{máx}$, mostra a aplicação da Equação (12) bem como os devido à formulação de Manning, para os dados de Powell e Posey (1959).

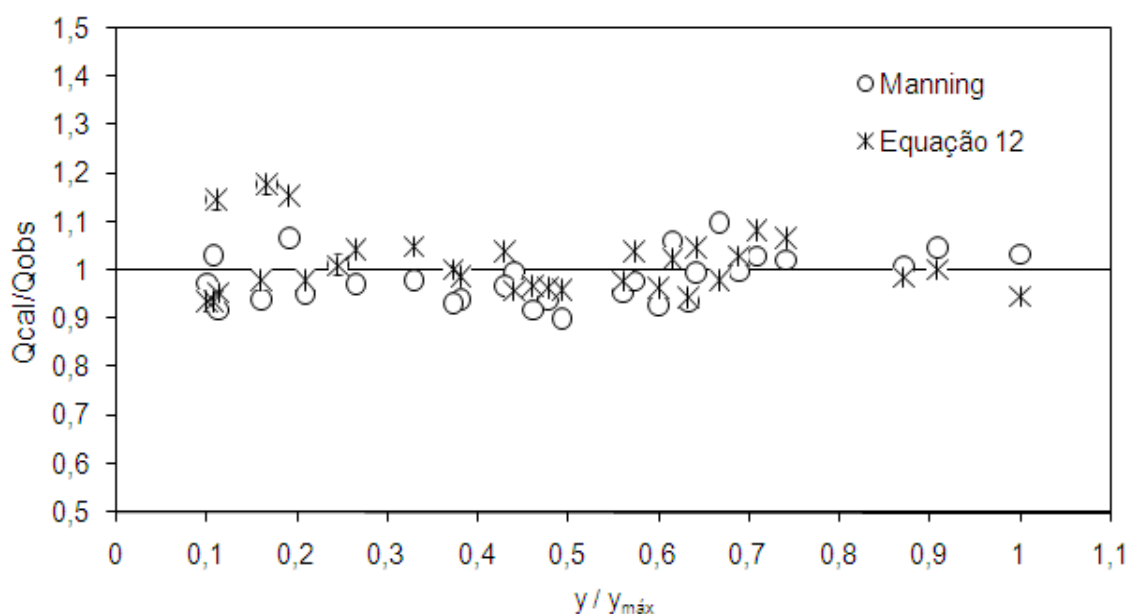


Figura 2 – Vazões adimensionalizadas Q_{calc}/Q_{obs} em função de $y/y_{máx}$

Ficou evidente, a partir da leitura da Figura 2, serem melhores os resultados advindos da Equação (12), com os fatores de forma simplificados, em detrimento dos produzidos pela aplicação da equação de Manning, para qualquer valor de $y/y_{máx}$ considerado.

Já a Figura 3 apresenta as vazões adimensionalizadas em função de $y/y_{máx}$, calculadas também através da Equação (12) e da equação de Manning, para os dados de Pimenta (1966).

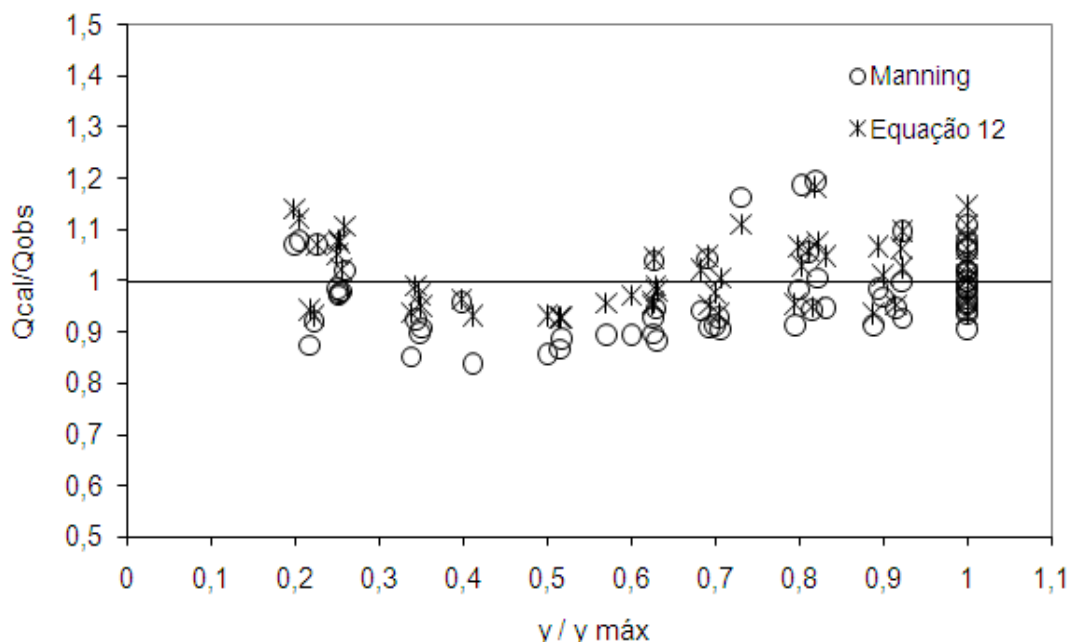


Figura 3 – Vazões adimensionalizadas Q_{calc}/Q_{obs} em função de $y/y_{máx}$

Os valores dos erros absolutos relativos médios, *MARE*, das vazões calculados através das Equações (12) e (13) estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores do *MARE* (%) para as aplicações aos dados experimentais

Dados	Equação (12)	Manning (Eq. (13))
Powell e Posey (1959)	0,959	1,026
Pimenta (1966)	2,380	3,068

A aplicação da Equação (12), com os resultados mostrados na figura 3, não indicou indubitavelmente a partir de análise visual do gráfico, em princípio, resultados melhores do que os fornecidos pela equação de Manning, para a faixa de $y/y_{máx}$ considerada.

No entanto, os menores valores do *MARE* mostrados na Tabela 2 indicam serem os melhores resultados os da aplicação da Equação (12) em detrimento dos resultados advindos da aplicação da Equação (13) devido a Manning, principalmente para o segundo conjunto de dados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Equação (12) mostrou-se com desempenho superior à equação de Manning no cálculo do escoamento em canais retangulares lisos para os dados utilizados. De fato, os valores dos erros absolutos relativos médios das vazões calculadas referentes às observadas, *MARE*, demonstraram a superioridade da Equação (12) frente à Equação de Manning (13). Vale salientar que entre os testes realizados e referidos com este novo método, os resultados mais próximos foram os apresentados neste trabalho. Os das seções retangulares e circulares resultaram em valores de *MARE* bem maiores para os calculados com a fórmula de Manning.

A Equação (12) é do tipo explícito, embora deduzida com consideração da expressão de caráter implícito de von Karman - Prandtl para cálculo do escoamento em tubulações pressurizadas de paredes lisas, revelando uma vantagem considerável em relação à aplicação do método de Kazemipour original e à formulação apresentada por Kazemipour e Apelt (1979).

A Equação (12) foi pioneiramente deduzida por Goldfarb e Cabral da Silva (2007), apropriada à aplicação ao escoamento à superfície livre, ou pressurizada em tubos se considerada a seção circular, segundo o parâmetro de forma, para regime turbulento, crítico ou sub-crítico, sendo independente do intervalo $y/y_{máx}$. Portanto, é genérica quanto à forma ou à razão de aspecto, ou profundidade relativa inclusive nos intervalos não testados. No entanto, a validação feita e mostrada nesse trabalho, na fase livre, é limitada aos valores de y entre 0,03 m e 0,70 m. Os números de Froude dos dados utilizados variaram entre 0,19 e 2,72, enquanto que os números de Reynolds variaram de $1,27 \times 10^4$ e $242,13 \times 10^4$ abrangendo escoamentos classificados tanto como subcríticos como supercríticos.

A simplicidade das equações apresentadas para o cálculo do escoamento à superfície livre em canais lisos pode possibilitar a construção de novos modelos matemáticos de maior eficiência para a avaliação de sistemas que se utilizam desse tipo de canal.

Observa-se, finalmente, que este trabalho ainda merece a continuação de pesquisas para complementação, no que se refere aos procedimentos experimentais, especialmente em canais rugosos, haja vista os resultados bem sucedidos com escoamento uniforme nas seções retangular, circular e triangular.

BIBLIOGRAFIA

CABRAL DA SILVA, T. (1993). *“Efeitos de Forma na Resistência ao Escoamento Uniforme em Canais”*, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado, 85 p. São Paulo, SP. 1993.

- CABRAL DA SILVA, T. (1995). “Cálculo do escoamento uniforme em canais retangulares lisos”. In: *XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Recife - Pe, 1995. v. 4. p. 93-98.
- CABRAL DA SILVA, T. (2003). “Simplificação na Metodologia de Uso do Método de Kazemipour para Cálculo da Vazão em Canais Circulares Lisos”. *XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ABRH*. Anais em CD-ROM. Curitiba, PA. 2003.
- COSTA, SAMARA G. FERNANDES; COSTA DE MELO, I.; CABRAL DA SILVA, T. “Cálculo do escoamento uniforme em canais retangulares lisos a partir da formulação universal de perdas de carga: nova aplicação a dados experimentais”. *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRH*. Anais em CD-ROM. Maceió, AL. 2011.
- GOLDFARB M. C.; CABRAL DA SILVA, T. (2007). “Formulação Unificada para Cálculo da Resistência ao Escoamento em Canais e em Tubos Pressurizados Lisos”. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. vol. 12. n. 1. pp 133-140. 2007.
- GOLDFARB M. C. (2002). “Resistência ao Escoamento Uniforme em Canais Circulares Lisos”, Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Centro de Ciências e Tecnologia. Dissertação de Mestrado, 68 p. Campina Grande – PB. 2002.
- KAZEMIPOUR A. K. (1979). “Cross-Sectional Shape Effects on Resistance to Uniform Flow in Non-Circular Closed Conduits”, Universidade de Queensland, Austrália, Tese de Doutorado. 1979.
- KAZEMIPOUR, A. K.; APELT, C. J. (1980) “Shape Effects on Resistance to Smooth Semi-Circular Channels”, Department of Civil Engineering, University of Queensland, *Research Report* nº CE18. 1980.
- KEULEGAN, G. H. (1938). “Laws of Turbulent Flow in Open Channels”, Journal of Research, National Bureau of Standards, Washington D. C., *Research Paper 1151*, Vol. 21, nº 6, Dec., 1938, pp 707-741.
- PIMENTA, C. F. (1966). “Contribuição para o Cálculo da Perda de Carga nos Canais em Regime Uniforme”, Tese para o concurso de Professor Catedrático da POLI/USP. São Paulo, 147p. 1966.
- POWELL R. W. AND POSEY, C. J. (1959) “Resistance Experiments in a Triangular Channel”. *Journal of the Hydraulics Division*. Proc. ASCE. Vol. 85, Nº HY5. May 1959. pp 31-66.
- RAJARATNAM, N.; MURALIDHAR, D. (1969). “Boundary Shear Stress Distribution in Rectangular Open Channels”. *La Houille Blanch*. vol. 24, n. 6, pp 603-609. 1969.
- SHIH C. C.; N. S. GRIGG (1967). “A Reconsideration of the Hydraulic Radius as a Geometric Quantity in Open Channel Hydraulics”, *Proc. 12th Congres, IARH*. Vol. 1, (Paper A36), Sept., pp 288-296, 1967.
- TRACY, H. J.; LESTER, C. M. (1961) “Resistance Coefficients and Velocity Distribution in Smooth Rectangular Channel”. *Geological Survey Water-Supply Paper*, Washington, paper 1952-A, 18 p., 1961.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão das bolsas de pesquisa para o desenvolvimento deste trabalho, parte da pesquisa sobre Resistência ao Escoamento em Canais, em andamento na Universidade Federal da Paraíba para canais hidraulicamente lisos.