

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE EQUAÇÕES EXPLÍCITAS PARA DETERMINAÇÃO DO FATOR DE ATRITO DE DARCY-WEISBACH PARA FLUXO TURBULENTO LISO

VANDERLAN FERNANDS SOUZA¹, JOSE SEBASTIÃO COSTA DE SOUSA², VALDOMIRO ANDRADE MOTA DE MORAIS³, MARLON GOMES DA ROCHA⁴

¹Graduando, Eng. agrônoma, IFSertãoPE, Petrolina-PE, vanderlan.fernandes@aluno.ifsertao-pe.edu.br

² Eng. Agrícola, Prof. Doutor., IFSertãoPE, Petrolina-PE, sebastiao.costa@ifsertao-pe.edu.br

³Graduado em em Ciência da Computação, Prof. Especialista, IF Sertão-PE, Petrolina-PE, valdomiro.morais@ifsertao-pe.edu.br

⁴Eng. agrônomo, Prof. Doutor., IFSertãoPE, Petrolina-PE, marlon.gomes@ifsertao-pe.edu.br

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: A perda de carga um fatores mais importantes para um ótimo dimensionamento de sistema de irrigação, sendo a equação mais indica para a sua determinação é a de Darcy-Weisbach, entretanto o fator atrito f uma das suas variáveis é um empecilho para o seu uso, pois dependendo do cenário é indicado a utilização de equações implícitas para a sua estimativa, e como uma forma de contornar isso diversos autores desenvolveram modelos explícitos de diferente grau de complexidade e precisão como alternativa, a cita o de Moody e de Sousa e Dantas Neto. Objetivo do estudo foi avaliar desempenho das equações de Moody e de Sousa e Dantas Neto em relação a Von Kármán para 297 cenários com diferentes valores de rugosidade absoluta, diâmetro interno e velocidade de fluxo mais comum em sistemas de irrigação. Ambas receberam a classificação excelente para Willmott em todos os cenários, entretanto a de Sousa e Dantas Neto se a mostrou mais precisa em todos os critérios.

PALAVRAS-CHAVE: Sousa e Dantas Neto (2014), Moody, Von Kármán.

PERFORMANCE ANALYSIS OF EXPLICIT EQUATIONS FOR DETERMINING THE DARCY-WEISBACH FRICTION FACTOR FOR SMOOTH TURBULENT FLOW

ABSTRACT: The head loss is one of the most important factors for an optimal dimensioning of the irrigation system, the Darcy-Weisbach equation being the most indicated for its determination, however the friction factor f one of its variables is an obstacle to its use, because depending on the scenario, the use of implicit equations is indicated for its estimation, and as a way to get around this, several authors have developed explicit models of different degrees of complexity and precision as an alternative, citing Moody and de Sousa and Dantas Neto. The aim of the study was to evaluate the performance of the Moody and Sousa and Dantas Neto equations in relation to Von Kármán for 297 scenarios with different values of absolute roughness, internal diameter and flow velocity most common in irrigation systems. Both received an excellent rating for Willmott in all scenarios, however Sousa and Dantas Neto was more accurate in all criteria.

KEYWORDS: Sousa e Dantas Neto (2014), Moody, Von Kármán.

INTRODUÇÃO: Para a realização de manejo de irrigação de forma eficiente, o dimensionamento do sistema é um dos pontos mais importantes, sendo a perda de carga um dos fatores mais influentes nesse ótimo dimensionamento (Jardim et al, 2021). Para a determinação da perda de carga a equação mais indicada é a de Darcy-Weisbach, no qual tem como uma das suas variáveis o fator de atrito f , que é função da rugosidade relativa e número de Reynolds (Niazkar e Talebbeydokhti, 2020). Para a sua estimativa são utilizadas diversas equações dependendo do regime de fluxo, sendo indicada a de Von Kármán para fluxo turbulento liso, a de Colebrook-White para turbulento transitário e a de Nikuradse para o turbulento rugoso (Porto 2006, Sousa e Dantas Neto 2014 e Azevedo Netto et al. 2015). Entretanto a um complicador no uso, o fato que as equações de Von Kármán e Colebrook-White são implícitas e necessitam de um processo iterativo para a resolução, e diante disso autores propuseram vários modelos como o de Moody que foi elaborado com base na de Colebrook-White (Pimenta 2017), assim como Sousa e Dantas Neto (2014) também propôs um para o fluxo turbulento liso. Diante disso o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho das equações Moody e Sousa e Dantas Neto (2014) em relação a de Von Kármán para 297 cenários com diferentes valores de rugosidade absoluta, diâmetro interno e velocidade de fluxo mais comum em sistemas de irrigação

MATERIAL E MÉTODOS: A realização do estudo foi por meio rotina de cálculo no Excel, utilizando diâmetro de 13,00, 16,00, 20,60, 35,70, 48,10, 72,50, 97,60, 120,00, 193,00, 299,80 e 489,80 mm, velocidade de 0,40, 0,60, 1,00, 1,50, 2,00, 2,50, 3,00, 3,50 e 4,00 m s^{-1} e rugosidade de 0,0100, 0,0010, 0,0001 mm contemplando total de 297 cenários, para assim engloba a maioria das situações mais comum de sistema de irrigação (Gomes, 1999) e posteriormente houve a classificação do regime de fluxo de acordo com Sousa (2014). Para a determinação do fator de atrito foram utilizadas as equações de Von Kármán (equação 1), Sousa e Dantas Neto (2014) (equação 2) e Moddy (equação 3). Para a resolução da equação 1 foi empregado o método da secante, tendo em vista que a mesma é implícita.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log\left(\frac{2,51}{\text{Rey} \cdot \sqrt{f}}\right) \quad (1)$$

$$f = 0,1114 \cdot \text{Di}^{-0,2333} \cdot \text{Rey}^{-(0,1638 \cdot \text{Di}^{-0,0964})} \quad (2)$$

$$f = 0,0055 \cdot \left[1 + \left(20000 \cdot \frac{\varepsilon}{\text{Di}} + \frac{10^6}{\text{Rey}} \right)^{1/3} \right] \quad (3)$$

Em que:

f - Fator de atrito f da equação de Darcy-Weisbach, adimensional;

Rey - Número de Reynolds, adimensional;

ε - Rugosidade absoluta, m e

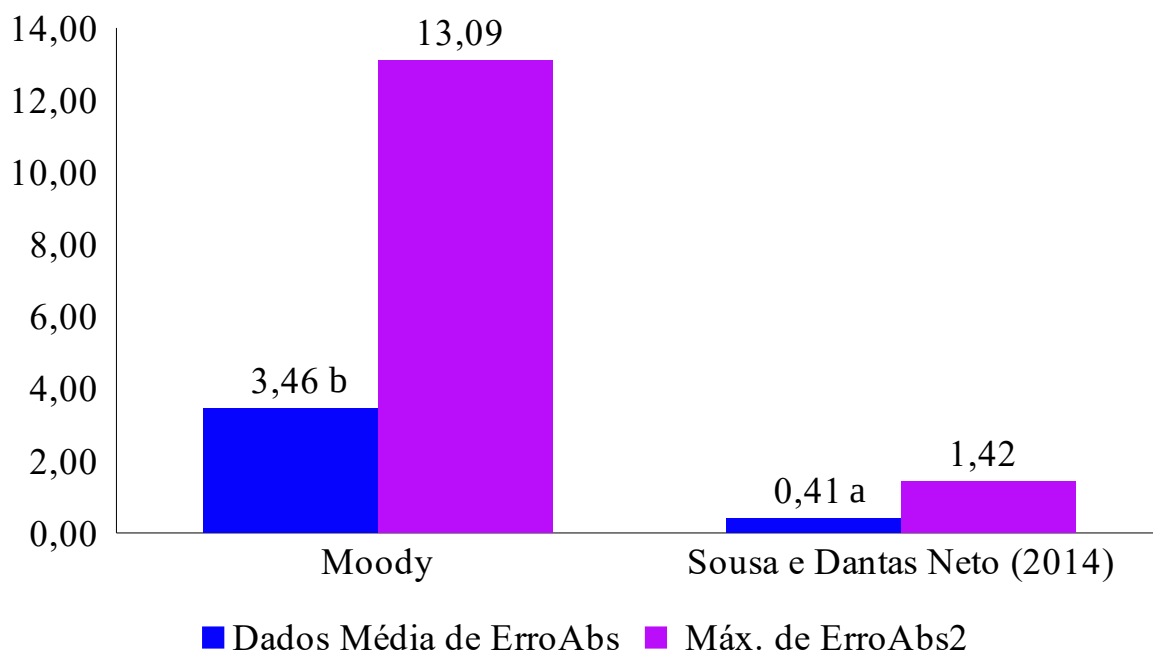
Di - Diâmetro interno da tubulação, m.

O desempenho e a acurácia das equações 2 e 3 foram aferidos por meio do teste estatístico Willmott - d, do coeficiente de correlação - r, do índice de desempenho - c, e os resultados classificados conforme critérios de Silva et al. (2022). Além desses, foram utilizados o erro quadrático médio- EQM e o erro percentual, sendo que para esse último também foi realizado análise de variância pelo teste F, classificação de médias por Tukey a 5% de probabilidade e teste de contrastes não ortogonais por Scheffé, também a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Em todos cenários o regime de fluxo foi classificado como turbulento liso, fazendo assim seja situações válidas para o emprego das equações 1 a 3.

Ambas receberam a classificação excelente em todos os cenários testados com c igual a 0,999 para a equação de Sousa e Dantas Neto (2014) e 0,9615 para a de Moody, esse também foi desempenho foi visível com o erro quadrático médio (EQM) tendo valores foi muito próximos a zero com 0,0002 para equação 2 e 0,0018 para 3, entretanto mesmo nesse cenário a equação de Sousa e Dantas Neto (2014) se mostrou mais precisa, contudo esses testes estatísticos se mostraram não muito sensíveis para esse tipo de análise conforme observado por Andrade e Carvalho (2001), pois em situações com erro percentuais acima dos 10% a equação de Moody recebeu a classificação excelente. Assim se recorrendo para a análise variância para os testes de Tukey e Scheffé, que possibilitaram observa a diferença entre os modelo. Nesses testes a equação de Sousa e Dantas Neto (2014) também demonstrou acurácia superior à de Moody(Figura 1).

Figura 1. Erros percentuais relativos absolutos médios (com classificação de Tukey e Scheffer a 5% de probabilidade) e máximos, gerados por modelos de Sousa e Dantas Neto (2014) e Moody na estimativa do fator de atrito f , em comparação a equação de Von Kármán.



O motivo dessa superioridade é fato que a equação Souza e Dantas Neto(2014) assim a como a Von Kármán tem apenas o número Reynolds e diâmetro interno da tubulação como variáveis, enquanto a Moody além dessas tem a rugosidade absoluta como uma, sendo que o fator f estimado por essa equação e proposicional a ela, fazendo que os maiores erros acontecem na rugosidade de 0,01 mm. Esse cenário de estimar valores mais altos para fator f nas maiores rugosidades foi observado por diversos autores Yoo e Singh (2010), Brkić (2010), Samadianfard (2012) e Sousa e Dantas Neto (2014), Niazkar, (2019).A equação de Moody mostrou também uma tendência de imprecisão na estimativa o fator f em menor rugosidade absoluta e nos maiores diâmetro interno, isso é devido a ao termo da equação em está a rugosidade absoluta, que é reduzido em 100 vezes quando a rugosidade cai de 0,0100 mm para 0,0001, e esta redução não é contrabalanceada com a elevação no número de Reynolds que é proporcional ao diâmetro interno do tubo; já que na referida equação o número de Reynolds é denominador de 1.000.000, fazendo assim que ela subestime o fator f em comparação a equação 1, evidenciando assim a maior acurácia da equação de Sousa e Dantas Neto (2014) quando comparada com a de Moody.

CONCLUSÕES: Ambas equações receberam a classificação excelente para índices de Willmott e de desempenho conforme os critérios de Silva et al. (2022) para os 297 cenários testados. A equação de Sousa e Dantas Neto (2014) foi a que apresentou o melhor desempenho em todos os critérios utilizados.

REFERÊNCIAS:

- AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paul: Blucher, 2015. 632 p.
- BRKIĆ, D. Review of explicit approximations to the Colebrook relation for flow friction. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, Amsterdã, v. 77, n. 1, p. 34-48, 2011.
- GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. 3. ed. Campina Grande: Ed. UFPB, 1999. 412p.
- GONÇALVES, T. S.; ORO, C. E. D.; DALLAGO, R. M.; MIGNONI, M. L. Avaliação de fator de atrito pelo método de Newton para solução da equação de Colebrook–White. **Perspectiva**, Erechim. v. 45, n. 171, p. 55-64, 2021. DOI: 10.31512/persp.v.45.n.171.2021.162.p.55-64.
- JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, J. R. I.; SILVA, M. V.; SOUZA, L. S. B.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; ALVES, H. K. M. N.; MESQUITA, M.; SOUZA, P. J. O. P.; CASTRO, A. H. Modelling the Darcy–Weisbach friction factor and the energy gradient of the lateral line. **Irrigation and Drainage**, Hoboken v. 71, n. 2, p. 320-332, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2658>
- NIAZKAR, M. Revisiting the estimation of Colebrook friction factor: a comparison between artificial intelligence models and CW based explicit equations. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 23, n. 10, p. 4311-4326, 2019.
- NIAZKAR, M.; TALEBBEYDOKHTI, N. Comparison of explicit relations for calculating Colebrook friction factor in pipe network analysis using h-based methods. **Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering**, shiraz. v. 44, p. 231-249, 2020.
- PIMENTA, B. D. **Análise de formulações explícitas do coeficiente de perda de carga em condutos pressurizados**. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2017.
- PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540 p.
- SILVA, J. G.; PEITER, M. X.; ROBAIANA, A. D.; BRUNING, J.; CHAIBEN NETO, M.; FERREIRA, L. D. Simplified Scobey formula for determining head loss in pressurized pipes. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 16, p. 31-41, 2022. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v1601254>
- SILVA, F. O.; TOLENTINO JÚNIOR, J. B. Otimização do dimensionamento hidráulico de uma subunidade de irrigação localizada. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 697-703, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n4p697-703>
- SAMADIANFARD, S. Gene expression programming analysis of implicit Colebrook–White equation in turbulent flow friction factor calculation. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, Amsterdã, v. 92, p. 48-55, 2012. DOI:
- SOUSA, J. S. C.; DANTAS NETOS, J. Equação explícita para cálculo do fator de atrito de Darcy-Weisbach em projetos de irrigação pressurizada1. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 1, p. 137-148, 2014. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2014v19n1p137>
- YOO, D. H.; SINGH, Vijay P. Explicit design of commercial pipes with secondary losses. **Journal of Hydro-Environment Research**, Amsterdã, v. 4, n. 1, p. 37-45, 2010.