

O meio ambiente e o estudo de uma equação para análises dos coeficientes de atrito da fórmula universal de Darcy Weissbach II

Analysis of a new equation for the analysis of the universal formula's friction coefficients for the analysis of environmental flows II

DOI: 10.34188/bjaerv4n3-059

Recebimento dos originais: 04/03/2021

Aceitação para publicação: 30/06/2021

Carlos Pereira de Novaes

Mestre em Hidráulica pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, USP

Endereço: Rua Professora Bertulina Carneiro s/n, Conjunto J. J. Lopes de Brito Bloco 8 Apto 203 Sobradinho, Feira de Santana BA
E-mail carlospdnovaes@gmail.com

RESUMO

Este trabalho é a continuação que fazemos do artigo “Escoamentos naturais: análise de uma nova equação para a verificação dos coeficientes de atrito da fórmula universal” publicado pelo Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba, v. 4, n. 2, 1883-1894, abr/jun. 2021 e a aplicação da sua teoria a complementação de um estudo mais geral para todos os tipos de escoamentos desde o escoamento laminar ao plenamente turbulento sobre as determinações dos coeficientes de atrito fórmula universal, agora usando o modelo de equação utilizado por Swamee (Rodrigo, 1998) modificado, para a análise de uma equação geral de determinações dos coeficientes de atrito em tubos circulares lisos ou rugosos.

Palavras chaves: Mecânica dos fluidos, perda de carga em tubos, equação de Darcy.

ABSTRACT

This work is the continuation of the article “Natural flows: analysis of a new equation for the verification of the friction coefficients of the universal formula” published by the Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba, vol. 4, no. 2, 1883-1894, Apr/Jun. 2021 and the application of his theory to complement a more general study for all types of flows, from laminar to full turbulent flow, on the determinations of friction coefficients universal formula, now using the equation model used by Swamee (Rodrigo, 1998) modified, for the analysis of a general equation for the determination of friction coefficients in smooth or rough circular tubes.

Keywords: Fluid mechanics, pressure drop in tubes, Darcy equation

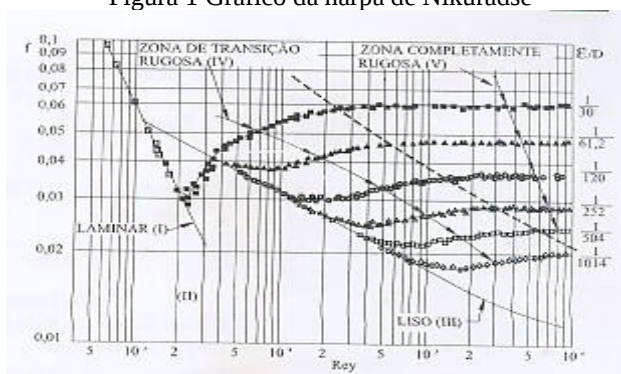
1 INTRODUÇÃO

Este artigo é a complementação do artigo “Escoamentos naturais: análise de uma nova equação para a verificação dos coeficientes de atrito da fórmula universal”, que foi publicado pela revista Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba, v. 4, n. 2, 1883-1894, abr/jun. 2021

Este trabalho foi escrito por um professor de hidráulica atento a um detalhe muito sutil e interessante em mecânica dos fluidos, que é uma diferença que existe entre os gráficos da harpa de Nikuradse, mostrado na figura 1, Nikuradse (1932) e o gráfico da equação de Colebrook e White, Colebrook (1938), que é mostrado na figura 2, através do ábaco de Moody e publicado em (1944) até hoje utilizado em hidráulica.

O artigo de Colebrook, de 1938, foi publicado cinco anos após o de Nikuradse, de 1933, e ambos os trabalhos, um para tubos circulares comerciais e o outro para tubos com rugosidades artificiais com grãos de areia, delinearam muito a mecânica dos fluidos no século vinte, já que ambos foram trabalhos inovadores. Mas tem um detalhe no gráfico de Moody ou na equação de Colebrook e White, que incomoda aquele que escreve este artigo, é que a harpa de Nikuradse, mostrada na figura 2, tem ampla continuidade, através das curvas que descrevem o coeficiente de atrito, f , como função dos números de Reynolds Re e das rugosidades relativas R .

Figura 1 Gráfico da harpa de Nikuradse



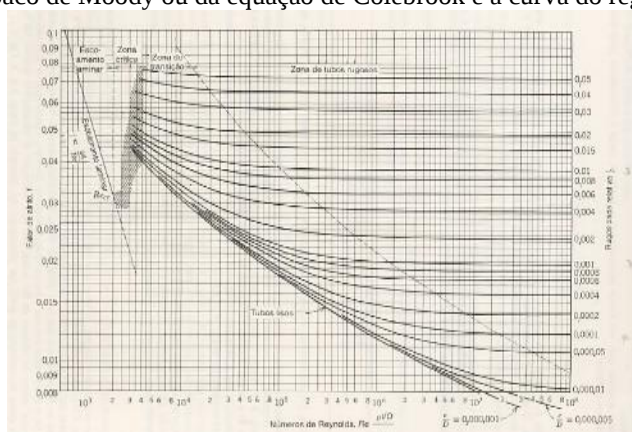
Já o gráfico de Moody, de 1944, que descreve os comportamentos dos mesmos coeficientes, f , pela equação de Colebrook e White, de 1938, mostrado pela figura 2, já não apresenta continuidade, pois existe uma separação das curvas entre os regimes laminar e a transição, sem a curva contínua inclinada, como é na harpa de Nikuradse, como deveria ser, pois ambas os gráficos são de um mesmo assunto, a análise de coeficientes em tubos lisos e rugosos, podendo haver diferenças, mas os aspectos gerais deveriam ser semelhantes.

Porque será que os livros de mecânica dos fluidos ainda apresentam este mesmo gráfico de Moody sem as linhas ou pelo menos com alguns dados, para esta fase do escoamento, a de regime crítico, a estreita linha que liga a fase de escoamento laminar e a chamada transição, com os números de Reynolds entre 2000 e 4000, após tantos anos de publicação? Esta é uma pergunta que este professor sempre fez para si mesmo?

Segundo, a tendência do gráfico de Moody, que mostra a equação de Colebrook e White, junto à zona crítica, sugere claramente que os coeficientes de atrito, f , crescem, para cada rugosidade relativa, R , à medida que os números de Reynolds, Re , decrescem e já no gráfico da harpa de Nikuradse, para altas rugosidades relativas, R , essa tendência já é totalmente inversa, eles decrescem. Comparem os gráficos da figuras 1 e 2.

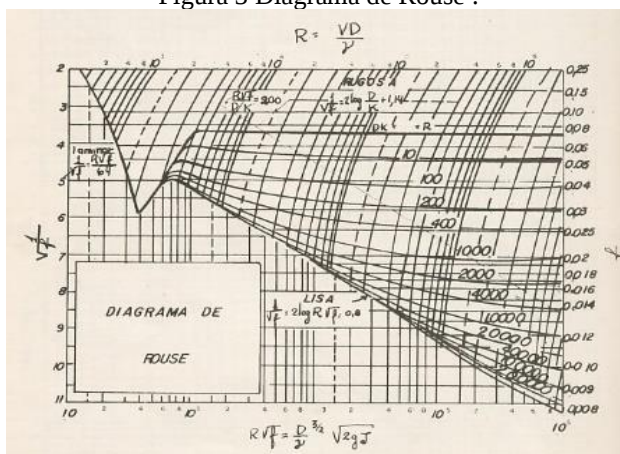
Terceiro, a equação de Colebrook ou o ábaco de Moody não são completos, para todos os regimes de escoamento, como é a harpa de Nikuradse, pois ele só existe para a transição, para Re maiores que 4000, na figura 2, tornando-se assim um gráfico incompleto enquanto que a harpa de Nikuradse é um gráfico completo.

Figura 2 Ábaco de Moody ou da equação de Colebrook e a curva do regime laminar.



Quarto, o diagrama de Hunter Rouse, que é mostrado na figura 3, que é pouco usado, já que ele não tem uma equação formal, como é a equação de Colebrook, também sugere uma continuidade nas curvas, além da tendência de decrescer, na chamada zona crítica, embora a disposição deste ábaco já é outra.

Figura 3 Diagrama de Rouse .



Mas afinal de contas, o que está certo: é a harpa de Nikuradse ou é a equação de Colebrook, cujo artigo original não tem dados experimentais para a zona crítica, com números de Reynolds entre 2000 e 4000?

Bem, o autor deste artigo, que é somente um teórico e que não dispõe de um laboratório de mecânica dos fluidos à altura, para analisar estas dúvidas, pois se tratam de experimentos complexos com tubos rugosos, deduziu, baseado só nestas simples observações explicitadas aqui, que existe algo de “incompleto” no gráfico de Moody, que, como já foi dito, é um gráfico que só retrata a equação de Colebrook e White, a equação 1, e não um gráfico com os resultados experimentais de experimentos em tubos comerciais lisos e rugosos, para todas as regiões de escoamento, o que, obviamente, seria o correto e que retrataria melhor o que levantamos.

$$1/f^{0,5} = -2 \cdot \log (0,27 \cdot R + 2,51/(Re \cdot f^{0,5})) \quad 1$$

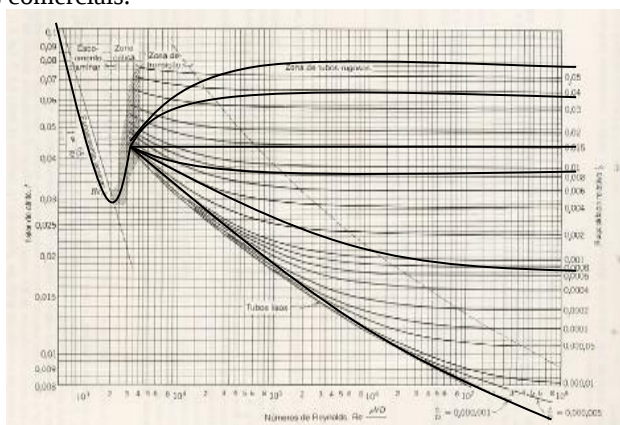
Na equação 1 **f** é o coeficiente de atrito **R** é a rugosidade relativa, igual a relação entre a rugosidade absoluta **Ks** e o diâmetro interno dos tubos **D**, **Re** é o número de Reynolds e, **log**, é o logaritmo decimal.

Ou seja, o gráfico de Moody é, na verdade, um gráfico de uma equação, a 1, e não um gráfico sobre o comportamento dos coeficientes de atrito **f** para tubos comerciais, como deveria ser, para todos os tipos de escoamentos possíveis e, inclusive, para o escoamento que é chamado de crítico, o que mostraria a tendência não-linear do comportamento dos coeficientes de atrito **f** para tubos comerciais, como mostra a harpa de Nikuradse para tubos com rugosidades artificiais formadas com grãos de areia uniforme.

Por que não se vêem artigos complementares com dados para o regime chamado de crítico, junto com o ábaco de Moody, mesmo em livros mais modernos de mecânica dos fluidos?

Se olharmos atentamente, só deve existir uma única curva na harpa de Nikuradse, que, ao que parece, deve servir, de maneira aproximada, evidentemente, para tubos comerciais: é a curva mais superior do gráfico, a mais rugosa, para a rugosidade relativa **R** igual a 1/30, conforme mostra a figura 1. Pois muito bem, se nós recolhêssemos esta curva da harpa e a puséssemos sobre o ábaco de Moody, na figura 2, como indica a figura 4, o gráfico resultante seria uma única curva unindo o escoamento turbulento ao laminar, para esta rugosidade.

Figura 4 Pseudo-ábaco mostrando o comportamento mais coerente do coeficiente de atrito, f , na nossa visão, para tubos com rugosidades de materiais comerciais.



Logo, as outras tendências para outras rugosidades relativas, R , seriam outras curvas, do mesmo tipo, unindo o escoamento turbulento ao escoamento laminar, com o encontro das curvas na fase de escoamento que é chamado de crítico, como é na harpa de Nikuradse, na figura 1 e mostra o pseudo-ábaco da figura 4. Que é o da equação que mostraremos, que por sinal este professor a analisou fazer mais de dez anos e não a publicou por que na época que era professor de hidráulica os alunos não gostavam de usar a equação universal porque era difícil o seu manuseio, cheio de contas iterativas, e preferiam usar equações empíricas, que eram bem mais fáceis. Hoje não, com uma máquina moderna com mecanismo de solver não importa o tamanho da equação. Assim, nós resolvemos publicar este artigo seguindo o tipo de modelo da equação de Swamee, que é mostrada no livro Hidráulica básica (Rodrigo, 1998), evidentemente modificando-o para se adaptar ao nosso estudo.

Assim, a figura 4, de uma forma grosseira, baseada somente em nossa intuição, mostra como deveria ser o ábaco para tubos comerciais, um gráfico híbrido entre a harpa de Nikuradse e o ábaco de Moody. Assim, em nossa opinião, teórica, tanto à equação de Colebrook e White, como o ábaco proposto por Moody, não estão completos. Eles refletem apenas, os resultados de uma análise matemática simples da sua época em que foram analisados, sem dados complementares para os escoamentos rugosos com baixos números de Reynolds, nas cercanias do escoamento crítico, com o número de Reynolds entre 2000 e 4000, aproximadamente.

Assim, baseado nas idéias expostas, resolveu-se analisar e propor uma nova equação para os regimes de escoamento de transição e turbulento de tubos comerciais, baseada apenas no formato virtual da curva da figura 4. No primeiro artigo nós só analisamos a equação para números de Reynolds maiores que 4000. Aqui não, seguindo o modelo da equação de Swamee modificado vamos analisar uma equação geral, que analisa o coeficiente de atrito do escoamento laminar ao escoamento completamente turbulento.

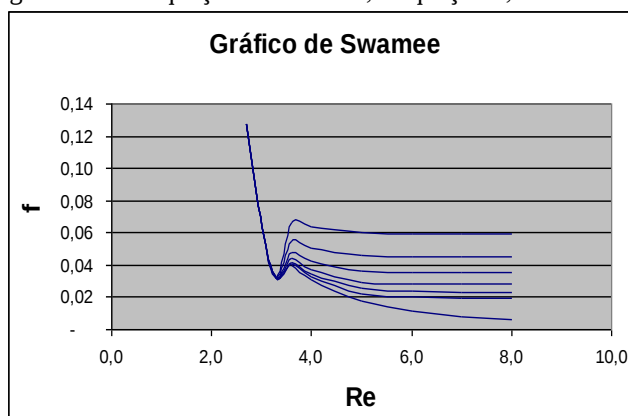
2 METODOLOGIA E RESULTADOS

Pedimos os leitores que leiam por favor o nosso primeiro artigo “Escoamentos naturais: análise de uma nova equação para a verificação dos coeficientes de atrito da fórmula universal” publicado pelo Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba, v. 4, n. 2, 1883-1894, abr/jun. 2021, onde nós analisamos uma equação para os coeficientes de atrito para a transição e o escoamento plenamente turbulento. Este será a sua complementação baseado somente na equação de Swamee modificada (Rodrigo, 1998), que omitimos em nosso primeiro artigo que também mostra o mesmo problema que já explicitamos, ela não segue o formato da harpa de Nikuradse, que é o nosso paradigma.

A equação de Swamee é a equação 2, cujo gráfico é mostrado na figura 5.

$$f = ((64/Re)^8 + 9.5 \cdot (\ln(R/3,7 + 5,74/Re^{0,9}) - (2500/Re)^6)^{-16})^{0,125} \quad 2$$

Figura 5 Gráfico logarítmico da equação de Swamee, a equação 2, com seu aspecto característico.

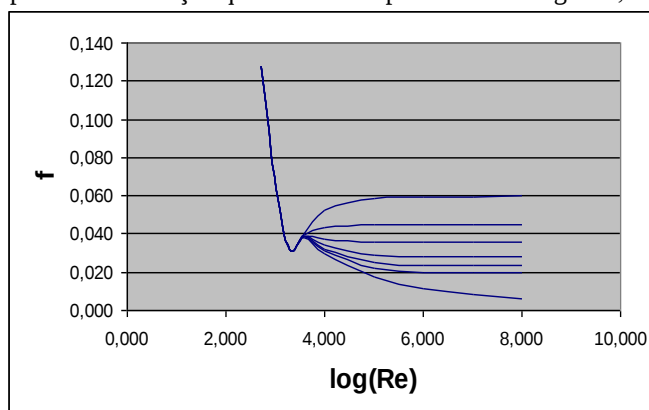


A equação de Swamee, do ponto de vista analítico-matemático, é muito bonita, mas na visão deste professor ela não se coaduna completamente com o formato da harpa de Nikuradse, que é a de um gráfico que é convergente quando os números de Reynolds do escoamento tendem para o regime laminar, pois basta olhar o seu gráfico na figura 5 e se vê que ele possui uma forma parecida com uma crista para baixos números de Reynolds perto de 4000, com o seu formato bem diferente da harpa de Nikuradse

É bom que se esclareça que nós não estamos dizendo que estamos certos, até por que este trabalho é puramente teórico, baseado só na intuição e no nosso bom senso observando um gráfico experimental de um grande mecânicofluidicista, que foi Nikuradse, ou seja, nós não estamos nem defendendo os resultados da harpa de Nikuradse e nem rejeitando os de Colebrook, mas só mostrando que a solução correta deveria ser a de um gráfico híbrido que contemplasse ambos os resultados do gráfico de Colebrook, para tubos lisos com a forma geral da harpa de Nikuradse, como

mostra a figura 6, e é bom que se enfatize, isto na nossa concepção teórica, até por que hoje estamos aposentados e aposentados, no nosso país, talvez por que nós temos excesso de pessoas talentosas, é uma espécie de zumbi que não sabendo o que fazer para espantar o Alzheimer ficam em casa solucionando equacionamentos difíceis como este, mas este tipo de equação tem muitas outras soluções plausíveis mas esta me pareceu a mais simpática e mais simples, embora todas sejam complexas.

Figura 6 Gráfico provável de função que estudamos para todos os regimes, na nossa concepção.

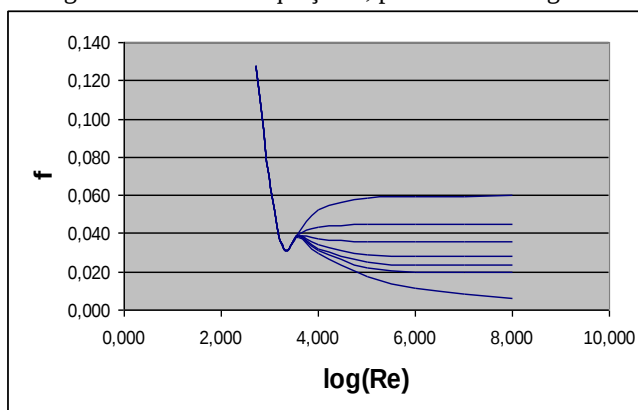


Por tanto, sem mostrar a metodologia, já que ela passa pelo estudo de álgebra pseudo real, que é um tipo de álgebra que estamos desenvolvendo a duras penas, sem apoio nenhum, nem sequer atenção, foi feita para trazer os nossos estudantes e professores a pensarem mais. Assim resumidamente propomos a equação 3.

Vejam o aspecto do gráfico? É parecidíssimo com o gráfico da harpa, mas para tingir o nosso objetivo ainda falta mais trabalho, que é o gráfico da harpa de Nikuradse.

$$f = ((64/Re)^8 + 9.5 \cdot (0.5 \cdot \ln((0.269 \cdot Re^{0.99} + 5.74 \cdot (1 - 60 \cdot Re)/Re^{0.9})^2) - (2500/Re)^6)^{-16})^{0.125} \quad 3$$

Figura 7 Gráfico da equação 3, para todos os regimes.



3 CONCLUSÕES

Não é idéia trazermos um artigo ao público para dizer que a equação 5 é mais correta ou melhor que a equação de Colebrook, já que nem temos dados para se fazer esta afirmação. Não. Nós só queremos apontar que este problema precisa ser bem mais analisado e, assim, apresentamos um caminho diferenciado de análise, já que este artigo é teórico e sem dados, baseado, desde o seu início, somente em suposições teóricas, que podem ou não estarem certas, embora a nossa argumentação nos pareça bem coerente, já que ela é referendada até pelo próprio diagrama de Hunter Rouse, em livros mais antigos, e em livros modernos, Brunetti, (2008).

Ou seja, a equação 3, que é uma equação teórica, reproduziria o comportamento dos coeficientes de atrito de uma maneira bem mais correta, segundo a aparência da harpa de Nikuradse, onde se vê, pelo aspecto da figura 7 que os coeficientes de atrito, f , tendem a se agruparem junto para números de Reynolds Re igual a 4000 tomando o coeficiente de atrito f igual a **0,040**, o que seria o comportamento bem mais coerente para este coeficiente f , segundo Nikuradse e a nossa concepção. Portanto, a equação 3 é apenas uma proposição que se adaptaria melhor para estas análises o que se leva a concluir que este estudo deve continuar, pois ele foi feito também com o intuito de trazer os especialistas a analisarem melhor o problema, ou seja, o que propomos aqui é apenas uma idéia de um pioneiro da mecânica dos fluidos, Nikuradse, que precisa ser melhor analisada.

É de opinião deste pesquisador que a equação 3, por ser teórica, deveria ser mais testada com dados experimentais de tubos comerciais para se avaliar melhor os coeficientes de atrito f principalmente na região de escoamentos cujos números de Reynolds são mais baixos, juntos ao regime laminar e o de transição e com altas rugosidades relativas R_r em laboratórios de hidráulica e mecânica dos fluidos.

A pergunta que este pesquisador sempre se fez foi à seguinte: por que é que o paradigma da harpa de Nikuradse, que é válido para tubos com rugosidades artificiais de grão de areia, que é válida para um tipo de tubo praticamente igual aos comerciais, cuja única diferença é o padrão de rugosidade? Ou seja, por que o gráfico da equação de Colebrook não segue o padrão gráfico estabelecido por Nikuradse, citado em todo bom livro de mecânica dos fluidos? Ou seja, por que só o aspecto da harpa é enfatizado mas não é seguido?

Um conselho: para se utilizar este método é necessário uma máquina de cálculo moderna do tipo Hp 50 g, que este professor usa, que tenha o mecanismo de solver. Sem uma máquina, o seu uso é difícil, mas com uma maquina moderna, o seu uso é fácilimo.

AGRADECIMENTOS

À Deus, à meus pais, Accacio José de Novaes e Maria Pereira de Novaes, a. J. Nikuradse e C. F Colebrook e a Swamee P. K, sem os quais este trabalho não existiria. A eles, muito obrigado.

HOMENAGEM

A Sathia Say Baba, a Vovó Catarina e ao Caboclo Tibiriçá. Salve a Umbanda.

REFERÊNCIAS

BRUNETTI, Franco. Mecânica dos fluidos. Pearson Prentice Hall. São Paulo. 2008.

COLEBROOK, C. F. Turbulent flow in pipes, with particular references to the transition region between the smooth and rough pipe laws. J. Inst. Civil Egrs. London. 1938.

MOODY, L. F. Fiction factors for pipe flows. trans. Amsc. 1944.

NIKURADSE, J. Strömungsgesetze in rauhen Rohren. VDI-Forschugsh. Vol 361. 1933. Gesetzmassigkeiten der turbulenten Strömung in glatten. Rohren. VDI. Forschugsh. Vol 356. 1932.

NOVAES, Carlos Pereira de. “Escoamentos naturais: analise de uma nova equação para a verificação dos coeficientes de atrito da fórmula universal” publicado pelo Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba, v. 4, n. 2, 1883-1894, abr/jun. 2021.

PORTO, Rodrigo de Melo. Hidráulica Básica. Publicação EESC-USP. Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo. 1998.

SUAMEE, P. K. Sluice-gate discharge equations. Journal of irrigation and drainage engeneering, ASCE, New York, 118 (1): 56:60, jan/ feb, 1992.