

Laboratório de Ciências Térmicas

Determinação do coeficiente de atrito em tubulações

Aula Prática 02

Adaptado do Prof. Christian Strobel

INTRODUÇÃO

A perda de carga representa a conversão, de modo irreversível, de energia mecânica em energia térmica em um dado escoamento. Essa conversão pode ser localizada (devido a uma variedade de acessórios, curvas ou mudanças súbitas de área) ou em amplas áreas (como a que ocorre ao longo de dutos). No caso de uma perda de carga devido a efeitos de atrito no escoamento completamente desenvolvido, o parâmetro mais significativo é o chamado fator de atrito de Darcy (f).

OBJETIVOS

Verificar a influência do diâmetro e da rugosidade de uma tubulação no coeficiente de atrito e, conseqüentemente, na perda de carga.

DESCRIÇÃO

Neste experimento, será avaliada a perda de carga em dutos circulares, de materiais diferentes (PVC e ferro galvanizado), com diferentes diâmetros. Pretende-se, assim, verificar os efeitos do diâmetro e do material dos dutos sobre o coeficiente de atrito.

Para tanto, são necessários dados sobre a vazão do fluido, bem como a queda de pressão verificada em um dado comprimento do duto. Deve-se, também, avaliar qual o regime de escoamento (laminar, transição ou turbulento) e se o escoamento se encontra completamente desenvolvido ou não. O regime laminar é obtido para números de Reynolds menores ou iguais a 2300 para escoamentos internos; a transição ocorre entre 2300 a 3600, onde os efeitos de turbulência começam a ocorrer e o regime turbulento ocorre para Reynolds superiores a 3600.

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} = \frac{\bar{V} D}{\nu} = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu} = \frac{4Q}{\pi D \nu} \quad (01)$$

Um escoamento completamente desenvolvido é aceito quando:

$$L \cong 0,06 Re D \cong 140 D \rightarrow \text{Escoamento Laminar} \quad (02a)$$

$$L \cong 80 D \rightarrow \text{Escoamento turbulento} \quad (02b)$$

A queda de pressão está relacionada ao fator de atrito para escoamentos completamente desenvolvidos através da seguinte relação:

$$\frac{\Delta p}{\rho} = f \frac{L \bar{V}^2}{D} \quad (03)$$

onde Δp é a variação de pressão, f é o fator de atrito de Darcy, L é o comprimento do duto, D é o diâmetro (interno) do duto e \bar{V} é a velocidade média do fluido dentro do duto. O fator de atrito de Darcy pode assumir os seguintes valores:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (04)$$

caso o escoamento seja laminar (onde Re é o número de Reynolds); ou

$$f = 0,25 \left[\log \left(\frac{e/D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2} \quad (05)$$

no caso de escoamento turbulento. A fórmula apresentada é conhecida como equação de Miller e é uma aproximação, com desvio dentro de 1%, do diagrama de Moody. Nessa fórmula, e representa a rugosidade absoluta do duto, e deve estar na mesma unidade do diâmetro na Equação 05.

PROCEDIMENTO

Serão coletados dados sobre a queda de pressão entre dois pontos de diferentes dutos. Alguns parâmetros, contudo, serão mantidos fixos, e são apresentados a seguir:

Diâmetro nominal [in]	Diâmetro interno (PVC) [mm]	Diâmetro interno (ferro galvanizado) [mm]
1/2	17,2	17,6
3/4	21,6	22,2
1	27,3	27,5

- Equação para correção da vazão: verificar a equação obtida no experimento de calibração de medidor de vazão;
- Comprimento do duto (L): 1 m.
 - Anotar vazão
 - Anotar variação da coluna de água do manômetro
 - Corrigir vazão

- Calcular velocidade média
- Calcular Reynolds
- Determinar f (real)

$$g\Delta h = f_{real} \frac{L \bar{v}^2}{D}$$

- Calcular f (ideal) pela expressão de Miller, na condição de projeto, utilizando uma rugosidade absoluta, **para tubos novos**: $e = 1,5 \times 10^{-6}$ m (PVC); $e = 50 \times 10^{-6}$ m (ferro galvanizado).
 - Calcular a rugosidade real utilizando a expressão de Miller com o fator de atrito real.
 - Alterar vazão
 - Repetir o procedimento até completar seis vazões distintas;
 - Após repetir o procedimento para seis vazões distintas, alterar a tubulação e repetir todos os procedimentos, até que as seis tubulações tenham sido analisadas. O total de medições é 36.
 - Realizar uma análise de incerteza para a rugosidade real dos tubos.
 - Para cada tubulação, traçar um gráfico do f (real) x Reynolds e encontrar uma equação que se ajuste [$f(\text{real}) = f(\text{Re})$]
 - Para cada tubulação, traçar um gráfico do f (ideal) x Reynolds e encontrar uma equação que se ajuste [$f(\text{ideal}) = f(\text{Re})$]
- c. Aceleração da gravidade (g): $9,8 \text{ m/s}^2$.
- d. Massa específica da água (ρ): 998 kg/m^3 .
- e. Viscosidade cinemática da água (ν): $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

COLETA DE DADOS

Material: PVC					
$D_n = 1/2 \text{ in}$		$D_n = 3/4 \text{ in}$		$D_n = 1 \text{ in}$	
Δh [mm]	Q [l/s]	Δh [mm]	Q [l/s]	Δh [mm]	Q [l/s]
Material: Ferro galvanizado					
$D_n = 1/2 \text{ in}$		$D_n = 3/4 \text{ in}$		$D_n = 1 \text{ in}$	
Δh [mm]	Q [l/s]	Δh [mm]	Q [l/s]	Δh [mm]	Q [l/s]

RELATÓRIO A APRESENTAR

Apresentar um relatório completo, contendo:

- Introdução e objetivos.
- Descrição do experimento.
- Tabela de dados coletados.
- Memorial de cálculos para obtenção do fator de atrito.
- A equação de correção para o medidor de vazão deve ser utilizada.
- Valores de rugosidade que permitem com que a equação de Miller represente corretamente os dados experimentais coletados. **Observar que para cada tubo, apenas um valor de rugosidade deve ser apresentado, com a respectiva análise de incerteza.**
- Gráficos para cada tipo de duto: f versus *Reynolds* (utilizando os valores de rugosidade para tubo novo e ajustando o valor da rugosidade para que se adeque aos dados experimentais). **OBS: AS CURVAS LIMITES DO DIAGRAMA DE MOODY DEVEM SER INSERIDAS NESTA FIGURA.**

INFORMAÇÕES GERAIS

- Relatório a ser realizado em grupos de até 2 integrantes.
- O relatório deve ser entregue, impreterivelmente, em duas semanas.**

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

Fox, R.W.; McDonald, A.T.; Pritchard, P.J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. Editora LTC

