Publicada no STOA

PME 2230 – MECÂNICA DOS FLUIDOS I
Prova de Laboratório Substitutiva – Data: 03/12/2014

Número da prova: ☐ (professor preenche)

NOME: **GABARITO** Nº USP: _____

Questão 1: Na experiência 2, "Perda de carga distribuída e localizada em escoamento turbulento e medidores de vazão", um grupo utilizou uma bancada na qual o medidor de vazão instalado é um bocal com diâmetro da garganta igual a 19,09±0,05 mm e diâmetro do trecho cilíndrico igual a 38,00±0,05 mm. Considere que a aceleração da gravidade vale 9,79 m/s^2, a massa específica da água vale 998 kg/m^3 e a densidade do mercúrio vale 13,6.

1.1. A Fig. 1 mostra de forma esquemática o manômetro de mercúrio que é conectado às tomadas de pressão do medidor de vazão durante uma das corridas. Qual tubo do manômetro (A ou B) está conectado à tomada de pressão a montante do medidor e qual está conectado à tomada de jusante? (*1,0 ponto*)

R: B: montante, A: jusante

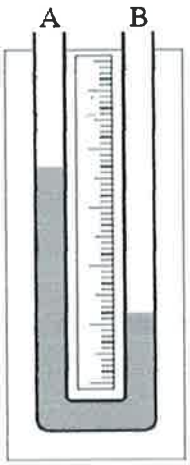

Fig. 1

A tabela abaixo traz as medições feitas durante uma corrida do experimento. h_m é a ferença de altura entre os meniscos de mercúrio do manômetro e as massas são referentes ao líquido coletado na balança no intervalo de tempo Δt. Os itens 1.3 e 1.4 se referem a esta corrida.

h_m (cm)	$m_{inicial}$ (kg)	m_{final} (kg)	Δt (s)
10,8	38,00	166,30	85,9

1.3. Qual é a vazão no sistema? Mostre seus cálculos. (*1,0 ponto*)

$$Q = \frac{(m_f - m_i)}{\Delta t \rho} = \frac{166{,}30 - 38{,}00}{85{,}9 \times 998} = 1{,}497 \times 10^{-3}\,\mathrm{m^3/s}$$

1.4. Qual o valor da constante C do bocal? Mostre seus cálculos. (*2,0 pontos*)

$$C = Q\sqrt{1-\left(\frac{D_0}{D_1}\right)^4} \Big/ \left(A_0\sqrt{\frac{2(p_1-p_2)}{\rho}}\right) = 1{,}497\times10^{-3}\sqrt{1-\left(\frac{19{,}09}{38{,}00}\right)^4} \Big/ \left(\frac{\pi\times(0{,}01909)^2}{4}\sqrt{2\times9{,}79\times0{,}108\times(13{,}6-1)}\right) = 0{,}980$$

(*1,0 ponto para o cálculo da diferença de pressões e 1,0 ponto para o cálculo de C*)

Formulário:

$$Q = \frac{CA_0}{\sqrt{1-\left(\frac{D_0}{D_1}\right)^4}}\sqrt{\frac{2(p_1-p_2)}{\rho}} \qquad \left(\frac{p_1}{\gamma}+\frac{\alpha_1\overline{V}_1^2}{2g}+z_1\right)-\left(\frac{p_2}{\gamma}+\frac{\alpha_2\overline{V}_2^2}{2g}+z_2\right)=H_{l_T} \qquad H_l = f\frac{L}{D}\frac{\overline{V}^2}{2g}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2{,}0\log\left(\frac{\varepsilon/D}{3{,}7}+\frac{2{,}51}{Re\sqrt{f}}\right) \qquad f = \frac{64}{Re}$$

Sendo u uma função de variáveis não correlacionadas A e B e sendo a e b constantes:

$$u = aA \pm bB \Rightarrow \sigma_u^2 = a^2\sigma_A^2 + b^2\sigma_B^2; \quad u = AB \Rightarrow \left(\frac{\sigma_u}{u}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_B}{B}\right)^2; \quad u = aA^{\pm b} \Rightarrow \frac{\sigma_u}{u} = b\frac{\sigma_A}{A}$$

Questão 2: A tabela ao lado traz alguns dados de medições nos piezômetros 2 e 3 e da vazão volumétrica calculada para uma corrida de escoamento laminar na experiência, "Escoamento em condutos forçados: visualização dos diferentes regimes e medição da perda de carga distribuída no escoamento laminar". O diâmetro do tubo de vidro é (7,0±0,5) mm, a aceleração da gravidade no local igual a 9,79 m/s^2 e, no dia da experiência, a água estava a uma temperatura que a deixava com massa específica igual a 998 kg/m^3 e viscosidade cinemática igual a $9{,}78\times10^{-7}$ m^2/s.

	Piez. 2 (m)	*Piez. 3* (m)	
Posição	1,2230	2,4370	
Zero	0,3910	0,3940	Q (m^3/s)
Medição	0,3770	0,3710	$3{,}672\times10^{-6}$
Incerteza	0,0005	0,0005	$2{,}7\times10^{-8}$

Utilizando as medidas de pressão apresentadas na tabela, calcule o coeficiente de perda de carga distribuída (fator de atrito) deste escoamento com respectiva incerteza e compare com o valor teórico esperado. (*6,0 pontos*)

R: Equação da energia entre os pontos 2 e 3, desprezando quaisquer perdas de carga singulares:

$$\left(\frac{p_2}{\gamma}+\frac{\alpha_2\bar{V}_2^2}{2g}+z_2\right)-\left(\frac{p_3}{\gamma}+\frac{\alpha_3\bar{V}_3^2}{2g}+z_3\right)=f\frac{L}{D}\frac{\bar{V}^2}{2g}$$

Como o tubo tem diâmetro constante e é horizontal, os termos de energia cinética e potencial gravitacional se anulam. Temos então

$$\frac{(p_2-p_3)}{\gamma}=f\frac{L}{D}\frac{\bar{V}^2}{2g} \qquad (0{,}5\ pontos)$$

O termo $(p_2-p_3)/\gamma$ é dado pela diferença de altura dos meniscos dos piezômetros, feito o ajuste com o zero dos instrumentos. Portanto,

$$\frac{(p_2-p_3)}{\gamma}=(0{,}3770-0{,}3910)-(0{,}3710-0{,}3940)=0{,}0090\text{m} \qquad (1{,}0\ ponto)$$

A vazão volumétrica está relacionada com a velocidade média pela fórmula: $\bar{V}=\frac{Q}{A}=\frac{4Q}{\pi D^2}$ (*1,0 ponto*)

Substituindo na eq. da energia: $\frac{(p_2-p_3)}{\gamma}=f\frac{8LQ^2}{\pi^2D^5g}\Rightarrow f=\frac{(p_2-p_3)}{\gamma}\frac{\pi^2D^5g}{8LQ^2}$

$$f=0{,}0090\times\frac{\pi^2\times0{,}0070^5\times9{,}79}{8\times(2{,}4370-1{,}2230)\times(3{,}672\times10^{-6})^2}=0{,}112 \qquad (0{,}5\ pontos)$$

Calculando a incerteza:

$$\sigma_f=f\sqrt{\left(\frac{\sqrt{4}\sigma_p}{H_l}\right)^2+\left(\frac{5\sigma_D}{D}\right)^2+\left(\frac{\sqrt{2}\sigma_L}{L}\right)^2+\left(\frac{2\sigma_Q}{Q}\right)^2}=$$

$$=0{,}112\times\sqrt{\left(\frac{\sqrt{4}\times0{,}0005}{0{,}0090}\right)^2+\left(\frac{5\times0{,}0005}{0{,}0070}\right)^2+\left(\frac{\sqrt{2}\times0{,}0005}{1.2140}\right)^2+\left(\frac{2\times27}{3672}\right)^2}=0{,}042 \qquad (1{,}5\ pontos)$$

Calculando o valor teórico esperado:

$$f=\frac{64}{Re}=\frac{64\nu}{\bar{V}D}=\frac{16\pi D\nu}{Q}=\frac{16\times\pi\times0{,}007\times9{,}78\times10^{-7}}{3{,}672\times10^{-6}}=0{,}094 \qquad (1{,}0\ ponto)$$

Como o valor teórico está no intervalo [0,112+0,042; 0,112–0,042], pode-se dizer que o valor de f medido corresponde ao valor esperado. (*0,5 pontos*)