DESCARTAR

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PME 2237 – MECÂNICA DOS FLUIDOS XI – SEGUNDA PROVA – P2 – 13/05/11
Duração 105 min.

1ª Questão (3,0 ptos)

O misturador mostrado na figura abaixo recebe água com vazão em massa de 20 kg/s e óleo com vazão volumétrica de 30 l/s pelas seções (1) e (2), respectivamente, descarregando uma mistura homogênea pela seção (3), cuja viscosidade é $\nu_m = 10^{-6}\,\mathrm{m^2/s}$.

Pede-se:

a) Simplifique a equação da continuidade na forma integral para o problema, especificando as hipóteses adotadas. Determinar a massa especifica da mistura; **(1,0 pto)**

b) Determinar a velocidade média da mistura na seção (3), sabendo que o diâmetro do tubo de saída é igual 200mm; **(0,5 pto)**

c) Qual dos dois perfis de velocidade corresponde ao escoamento na seção 3

$$u(r) = u_{máx}\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right] \quad ; \text{ ou}$$

$$u(r) = u_{máx}\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)\right]^{1/7}$$

Justificar a resposta; (1,0 pto)

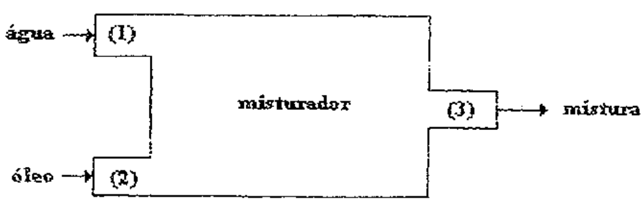
d) Determinar a velocidade máxima na seção 3 considerando as seguintes opções:

$$V = \frac{u_{máx}}{2}; \quad \text{ou} \quad V = \frac{98}{120}u_{máx}$$

Justificar a resposta; (0,5 pto)

Dados: $\rho_{H2O} = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$; $\rho_{óleo} = 800\,\mathrm{kg/m^3}$

Equação Básica: $\dfrac{\partial}{\partial t}\displaystyle\int_{\forall C}\rho\, d\forall + \int_{SC}\rho\vec{v}\bullet\vec{n}\,dA = 0$



2ª Questão (3,5 pontos)

Considerando a instalação hidráulica e os dados fornecidos abaixo, pede-se determinar:

a) As cargas totais e as cargas piezométricas nos pontos **A, B, C, D,** indicando na figura qual é o sentido do escoamento; **(1,5 pto)**

b) O tipo de máquina e a potência desenvolvida em Watts; **(1,0 pto)**

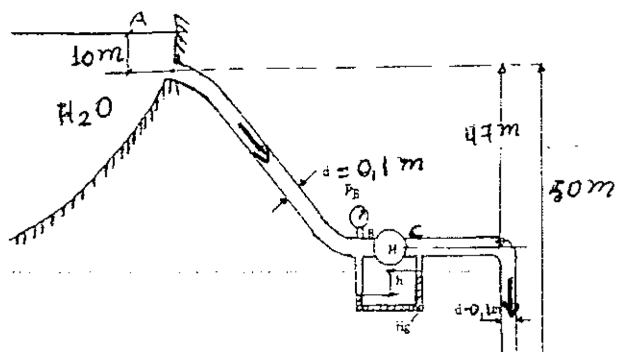
c) A pressão efetiva no ponto **C** (em Pascal); **(0,5 pto)**

d) A altura **h** lida no manômetro de mercúrio. **(0,5 pto)**

Dados: $\Delta H_{A-B} = 7m$ $\quad \Delta H_{C-D} = 0{,}7m$

$D = 0{,}10\ m$ $\quad p_B = 48{,}75\dfrac{N}{m^2}$ (manométrica)

$\gamma_{H_2O} = 10000\dfrac{N}{m^3}$ $\quad \gamma_{Hg} = 136000\dfrac{N}{m^3}$ $\quad g = 10\dfrac{m}{s^2}$



Equação Básica:

3ª Questão (3,5 pontos):

A empresa de engenharia para a qual você trabalha é contratada para fixar um balão promocional da Copa do Mundo de 2014 no Brasil no topo de um edifício. Este balão tem o formato de um elipsóide de revolução, com as dimensões mostradas na figura 1. Você é designado (a) para fazer o levantamento dos esforços que o sistema de fixação sofrerá devido ao arrasto aerodinâmico sobre o balão. O edifício no qual o balão será fixado fica numa região da cidade onde os ventos mais severos sopram em dias frios, cuja temperatura gira em torno de 10°C, e chegam a no máximo 20km/h. Sabendo que para este escoamento o coeficiente de arrasto é função exclusiva do número de Reynolds, testes em túnel de vento são realizados utilizando um modelo em escala 1:10 para levantar as características aerodinâmicas do corpo. No dia do teste, a temperatura na seção de testes do túnel é de 20°C. A medição da velocidade da corrente livre no túnel de vento é realizada com um tubo de Pitot estático, cujas tomadas de pressão estão conectadas a um manômetro vertical que utiliza óleo manométrico de massa específica 810kg/m³.

a) Se l é a distância entre os meniscos nos tubos do manômetro ligados às tomadas de pressão estática e total do tubo de Pitot estático, para que valor de l o escoamento no túnel de vento será dinamicamente semelhante àquele previsto para o protótipo? Utilize g=9,8m/s². **(1,5 pontos)**
b) Nestas condições, a força de arrasto medida é de 20N. Qual é o coeficiente de arrasto do corpo? Qual será a força de arrasto no protótipo? **(1,0 ponto)**
c) Depois de finalizados os testes em túnel de vento, o cliente muda o projeto e decide fixar o balão num suporte cilíndrico como mostrado na figura 2. Não há tempo para realizar novos ensaios em túnel de vento. Estime o arrasto adicional devido ao suporte. Mantenha as mesmas condições de vento consideradas na situação anterior. **(1,0 ponto)**

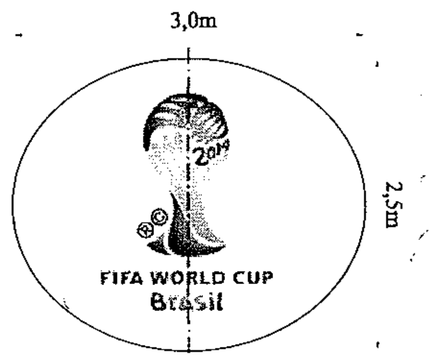
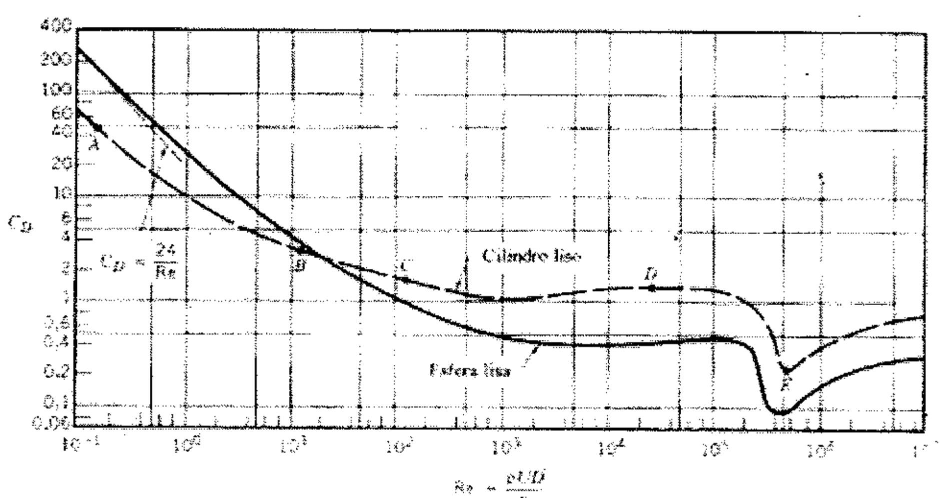


Figura 1

Propriedades físicas do ar

Temperatura (°C)	Massa específica (kg/m³)	Viscosidade cinemática (m²/s)
0	1,293	$1{,}330\times10^{-5}$
20	1,205	$1{,}511\times10^{-5}$
40	1,127	$1{,}697\times10^{-5}$



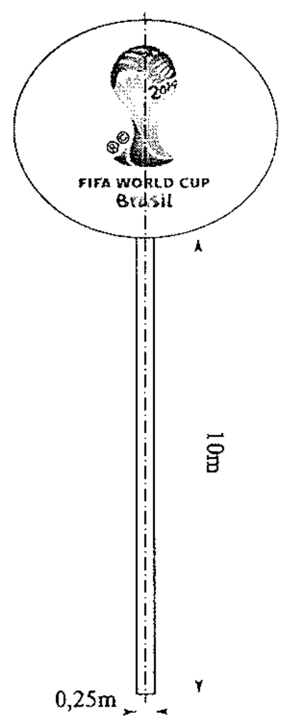


Figura 2

Formulário:

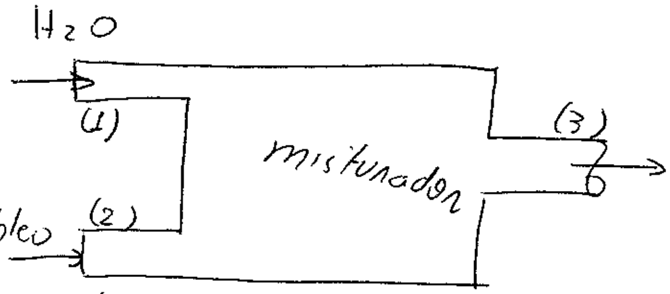
$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} \qquad C_A = \frac{F_A}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \qquad p_1 = p_0 + \rho g h \qquad \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{constante}$$

Área da elipse = πab, onde a e b são os semi-eixos da elipse.

1ª Questão) (3.0 pontos)

a) $\frac{\partial}{\partial t}\int_{VC} \rho \, d\forall + \int_{SC} \rho \vec{V} \cdot \vec{n} \, dA = 0$

(continuidade)



Hipóteses $\begin{cases} \text{- Esc. Permanente} \\ \text{- Esc. Incompressível} \end{cases}$ (0,3 pto)

$\therefore \quad \rho \int_{SC} \vec{V} \cdot \vec{n} \, dA = 0 \left\{ -\rho_{H2O} \int_{A_1} v_1 \, dA_1 - \rho_{óleo} \int_{A_2} v_2 \, dA_2 + \rho_m \int_{A_3} v_3 \, dA_3 = 0 \right.$

$\therefore \quad -\rho_{H2O} Q_{H2O} - \rho_{óleo} Q_{óleo} + \rho_m Q_m = 0$

$$\rho_m = \frac{\rho_{H2O} Q_{H2O} + \rho_{óleo} Q_{óleo}}{Q_m} = \frac{\dot{m}_{H2O} + \rho_{óleo} Q_{óleo}}{Q_m}$$

mas: $Q_{H2O} + Q_{óleo} = Q_m$

$$Q_{H2O} = \frac{\dot{m}_{H2O}}{\rho_{H2O}} = \frac{20}{1000} = 0{,}020 \ m^3/s$$

$$Q_m = 0{,}020 + 0{,}030 = 0{,}050 \ m^3/s = 50 \ l/s$$

$$\therefore \rho_m = \frac{20 + 800 \times 0{,}030}{0{,}050} = 880 \ Kg/m^3 \quad (0{,}7 \ pto)$$

b) $V_m = \frac{1}{A} \int_A \vec{V} \cdot \vec{n} \, dA = \frac{Q}{A}$

$$V_m = \frac{0{,}050 \times 4}{\pi \times (0{,}200)^2} = 1{,}59 \ m/s \quad (0{,}5 \ pto)$$

c) $Re_m = \frac{V_m \times D}{\nu_m} = \frac{1{,}59 \times 0{,}20}{10^{-6}} = 0{,}32 \times 10^{+6} \Rightarrow$ Escoamento Turbulento

Sendo o escoamento turbulento o perfil não pode ser de Poiseville (parabólico), seguindo o perfil (1/7):

$u(r) = u_{máx}\left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)\right]^{1/7}$

(1,0 pto)

d) Para escoamento turbulento: $V = \frac{98}{120} u_{máx}$

$\therefore \quad u_{máx} = \frac{120}{98} V = \frac{120}{98} \times 1{,}59 = 1{,}95 \ m/s \quad (0{,}5 \ pto)$

2ª Questão) (3,5 pontos) $p_B =$

a) $H_A = 60\,m = \frac{V_A^2}{2g} + \frac{p_A}{\gamma} + z_A$ (0,20 pto)

$CP_A = \frac{p_A}{\gamma} + z_A = 60\,m$ (0,20 pto)

$H_B = \frac{V_B^2}{2g} + \frac{p_B}{\gamma} + z_B = \frac{V_B^2}{2g} + \frac{48,75 \times 10^4}{10000} + 3 = \frac{V_B^2}{2g} + 51,75\,m$

$CP_B = \frac{p_B}{\gamma} + z_B = 51,75\,m$ (0,2 pto)

Admitindo:

$H_A - H_B = \Delta H_{AB} = 7\,m$

$60 - \frac{V_B^2}{2g} - 51,75 = 7 \Longrightarrow \frac{V_B^2}{2g} = 1,25$

$V_B = \sqrt{1,25 \times 2 \times 10} = 5\,m/s$

$H_B = 1,25 + 51,75 = 53\,m$ (0,2 pto)

$H_D = \frac{V_D^2}{2g} + \frac{p_D}{\gamma} + z_D = \frac{V_D^2}{2g} = 1,25\,m$ (0,2 pto)

$CP_D = 0$ (0,2 pto)

$H_C - H_D = \Delta H_{CD} = 0,7 \Longrightarrow H_C = 0,7 + 1,25 = 1,95\,m$ (0,2 pto)

Resumo Ⓐ → Ⓓ $\begin{cases} H_A = 60\,m; & H_C = 1,95\,m \\ H_B = 53\,m; & H_D = 1,25\,m \end{cases}$

$CP_C = \frac{p_C}{\gamma} + z_C = 0,70\,m$ (0,1 pto)

b) $H_B - H_C = -\frac{W_m}{\gamma Q}$

$Q = V\frac{\pi D^2}{4} = 5 \times \frac{\pi \times (0,10)^2}{4}$

$Q = 0,0393\,m^3/s$

$53 - 1,95 = -\frac{W_m}{10000 \times 0,0393}$

$W_m = -51,05 \times 10000 \times 0,0393 = -20062,65$ Watts $\cong 20,06\,kW$ (0,5 pto)

A máquina é uma turbina hidráulica $H_B > H_C$ (0,5 pto)

c) $H_C = 1,95 = 1,25 + \frac{p_C}{10000} + 3$

$\frac{p_C}{\gamma} = -2,30\,m \Longrightarrow p_C = -23000\ N/m^2$ (0,5 pto)

Retornando ao item a)

$CP_C = \frac{p_C}{\gamma} + z_C = -2,30 + 3,00 = 0,70\,m$

d) $p_B + \cancel{x}(x+h)\gamma_{H2O} - h\,\gamma_{Hg} - x\,\gamma_{H2O} = p_C$

$p_B + h\,\gamma_{H2O} - h\,\gamma_{Hg} = p_C$

$h(\gamma_{H2O} - \gamma_{Hg}) = p_C - p_B$

$h = \frac{p_B - p_C}{\gamma_{Hg} - \gamma_{H2O}} = \frac{48,75 \times 10^4 + 2,3 \times 10^4}{136000 - 10000} = 4,04\,m$ (0,5 pto)

3ª Questão) (3,5 pontos)

Formulário:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V L}{\mu} \qquad C_A = \frac{F_A}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \qquad p_1 = p_0 + \rho g h \qquad \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{constante}$$

Área da elipse = πab, onde a e b são os semi-eixos da elipse.

Solução:

a) Para escoamento dinamicamente semelhante: $Re_m = Re_p \Rightarrow \frac{V_m L_m}{\nu_m} = \frac{V_p L_p}{\nu_p}$

$$V_m = V_p \frac{L_p}{L_m}\frac{\nu_m}{\nu_p} = \frac{20}{3,6} \times 10 \times \frac{1,511 \times 10^{-5}}{1,420 \times 10^{-5}} = 59,2\,\text{m/s}$$

Bernoulli: $\frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + \cancel{gz_1} = \frac{p_2}{\rho} + \cancel{\frac{V_2^2}{2}} + \cancel{gz_2} \Rightarrow p_2 - p_1 = \frac{\rho V_1^2}{2} = \frac{1,205 \times 59,2^2}{2} = 2112\,\text{Pa}$

$\Delta p = \rho_{leo} g l \qquad l = \frac{\Delta p}{\rho_{leo} g} = \frac{2112}{810 \times 9,8} = 0,266\,\text{m}$ (1,5 pto)

b) $C_A = \frac{F_{Am}}{\frac{1}{2}\rho_m V_m^2 A_m} = \frac{20}{\frac{1}{2} \times 1,205 \times 59,2^2 \times \frac{\pi \times 0,3 \times 0,25}{4}} = 0,161$

$F_{Ap} = \frac{C_A}{2}\rho_p V_p^2 A_p = \frac{0,161}{2} \times 1,249 \times 5,56^2 \times \frac{\pi \times 3 \times 2,5}{4} = 18,3\,\text{N}$ (1,0 pto)

c) $\mathrm{Re} = \frac{VD}{\nu} = \frac{5,56 \times 0,25}{1,420 \times 10^{-5}} = 9,8 \times 10^4$

Para este número de Reynolds, vemos no gráfico que $C_A \approx 1,4$ (qualquer valor entre 1 e 2 será considerado certo).

$F_A = \frac{C_A}{2}\rho V^2 D h = \frac{1,4}{2} \times 1,249 \times 5,56^2 \times 0,25 \times 10 = 67,6\,\text{N}$ (1,0 pto)