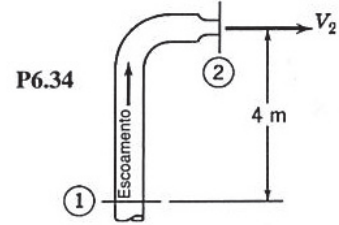
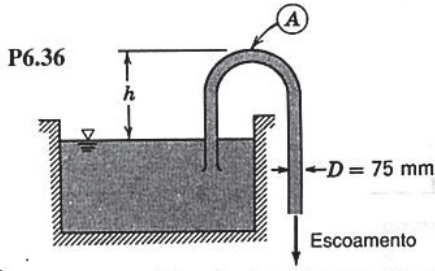


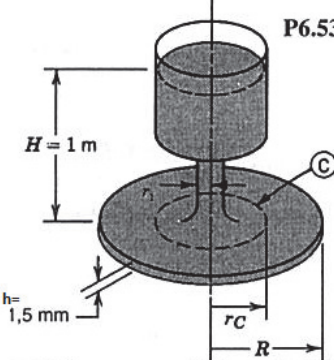
- 6.26** Um tubo do tipo pitot-estático é usado para medir a velocidade na linha de centro de um duto que transporta ar ambiente à pressão de 101 kPa (absoluta) e temperatura de 32 C. Determine a leitura de pressão diferencial em milímetros de água que corresponde a uma velocidade do ar de 28,5 m/s.  $\Delta h = 48,06 \text{ mm H}_2\text{O}$
- 6.28** Um avião voa a uma velocidade no ar de 315 quilômetros por hora a 2.500 m de altura na atmosfera-padrão. Avalie a pressão de estagnação no nariz da aeronave.  $p_0 = 78,4 \text{ kPa}$
- 6.32** Um túnel de vento em circuito aberto aspira ar da atmosfera através de um bocal com linhas aerodinâmicas. Na seção de teste, onde o escoamento é retilíneo e aproximadamente uniforme, uma tomada de pressão estática é instalada na parede do túnel. Um manômetro conectado à tomada mostra que a pressão estática dentro do túnel é de 45 mm de água abaixo da atmosférica. Admita que o ar é incompressível, e está a 25 C, 100 kPa (absoluta). Calcule a velocidade do ar na seção de teste do túnel de vento.  $V = 27,4 \text{ m/s}$
- 6.34** Água escoar em regime permanente pelo tubo vertical de 0,1 m de diâmetro, saindo pelo bocal, que tem 0,05 m de diâmetro, descarregando à pressão atmosférica. A velocidade da corrente na saída do bocal deve ser de 20 m/s. Calcule a pressão manométrica requerida na seção ①, admitindo escoamento sem atrito.  $p_1 - p_a = 227 \text{ kPa}$



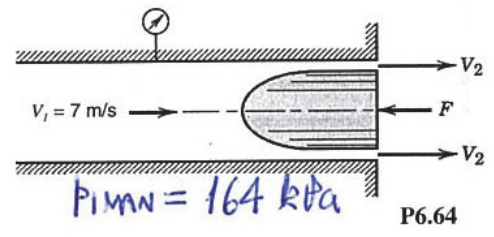
- 6.35** Água escoar num tubo circular. Numa seção, o diâmetro é 0,3 m, a pressão estática é 260 kPa (manométrica), a velocidade é 3 m/s, e a elevação é 10 m acima do nível do solo. Numa seção a jusante, ao nível do solo, o diâmetro do tubo é 0,15 m. Determine a pressão manométrica na seção de jusante, desprezando os efeitos de atrito.  $p_{MAN} = 290 \text{ kPa}$
- 6.36** Pode-se considerar que a água escoar sem atrito através do sifão. A vazão em volume é 0,03 m³/s, a temperatura é 20 C, e o diâmetro do tubo é 75 mm. Calcule a máxima altura permissível, h, de modo que a pressão no ponto A fique acima da pressão de vapor da água.  $h_{max} = 7,71 \text{ m}$

- 6.39** Numa experiência de laboratório, a água flui radialmente, para fora, a velocidade moderada, através do espaço entre discos planos paralelos. O perímetro dos discos é aberto para a atmosfera. Eles têm diâmetro  $D = 150 \text{ mm}$  e o espaçamento entre os dois é  $h = 0,8 \text{ mm}$ . A vazão em massa medida, da água, é  $\dot{m} = 305 \text{ g/s}$ . Admitindo escoamento sem atrito no espaço entre os discos, estime a pressão estática teórica, naquele espaço, no raio  $r = 50 \text{ mm}$ .  $p_{MAN} = -405 \text{ Pa}$

- 6.41** Um bocal de incêndio está acoplado a uma mangueira com diâmetro interno  $D = 75 \text{ mm}$ . O bocal é de perfil suave e tem diâmetro de saída  $d = 25 \text{ mm}$ . A pressão de projeto na entrada do bocal é  $p_1 = 689 \text{ kPa}$  (manométrica). Avalie a máxima vazão em volume possível para o bocal.  $Q = 0,018 \text{ m}^3/\text{s}$
- 6.53** O sistema de escoamento de discos paralelos mostrado contém água. Em primeira aproximação, o atrito pode ser ignorado. Determine a vazão em volume e a pressão no ponto C. ( $R = 300 \text{ mm}$  e  $r_c = 150 \text{ mm}$ .)



P6.53  $Q = 1,25 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$   
 $p_C = 71,9 \text{ kPa}$



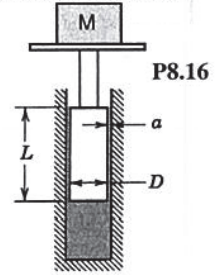
P6.64  $p_{MAN} = 164 \text{ kPa}$   
 $F = 153 \text{ N}$

- 6.64** Água escoar a baixa velocidade através de um tubo circular com diâmetro interno 50 mm. Um bujão bem arredondado de 40 mm de diâmetro é mantido na extremidade do tubo pela qual a água descarrega para a atmosfera. Ignore efeitos de atrito e admita perfis uniformes de velocidade em cada seção. Determine a pressão medida pelo manômetro e a força requerida para manter o bujão no lugar.

- 8.6 Considere o escoamento incompressível num duto circular. Deduza expressões gerais para o número de Reynolds em termos de (a) vazão em volume e diâmetro do tubo e (b) vazão em massa e diâmetro do tubo. O número de Reynolds é 1.800 numa seção onde o diâmetro do tubo é 10 mm. Determine o número de Reynolds para a mesma vazão numa seção em que o diâmetro do tubo é 6 mm.
- 8.7 O perfil de velocidade para escoamento inteiramente desenvolvido entre placas planas paralelas estacionárias é dado por  $u = ay(h - y)$ , onde  $a$  é uma constante,  $h$  é a largura total da fresta entre as placas e  $y$  é a distância medida para cima, a partir da placa inferior. Determine a razão  $\bar{V}/u_{\max}$ .

8.6: a)  $Re_{Q,D} = \frac{4Q}{\pi D \nu}$  b)  $Re_{\dot{M},D} = \frac{4\dot{M}}{\pi D \mu}$  8.7:  $\bar{V}/u_{\max} = \frac{2}{3}$

$Re_2 = Re_1 \frac{D_1}{D_2} \rightarrow Re_2 \approx 3000$



- 8.16 O componente básico de um aparelho para testar manômetros consiste em um conjunto pistão-cilindro, conforme mostrado. O pistão, com 6 mm de diâmetro, é carregado de modo a desenvolver uma pressão de valor conhecido. (O comprimento do pistão é 25 mm.) Calcule a massa,  $M$ , necessária para produzir 1,5 MPa (man.) no cilindro. Determine a vazão de vazamento como função da folga radial,  $a$ , para esta carga, se o líquido for óleo SAE 30 a 20 C. Especifique a máxima folga radial admissível de modo que o movimento vertical do pistão, decorrente do vazamento, seja inferior a 1 mm/min.

$M = 4,33 \text{ kg}$   $a = 12,6 \mu\text{m}$   $Q = \frac{\pi a^3 D \Delta p}{12 \mu L}$

- 8.21 Um mancal de deslizamento selado é constituído por cilindros concêntricos. Os raios interno e externo são 25 e 26 mm, o comprimento do mancal é 100 mm e ele gira a 2.800 rpm. A fresta é preenchida com óleo em movimento laminar. O perfil de velocidade é linear através da fresta. O torque necessário para girar o mancal é 0,2 N·m. Calcule a viscosidade do óleo.

$\mu = \frac{2aT}{\pi \omega d^3 L} \rightarrow \mu = 0,0694 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

- 8.24 Considere o escoamento incompressível, permanente, inteiramente desenvolvido e laminar, entre duas placas paralelas infinitas. A placa superior move-se para a direita com  $U = 3 \text{ mm/s}$ . Não há variação de pressão no sentido dos  $x$ , mas há uma força de massa constante devida a um campo elétrico,  $\rho B_x = 800 \text{ N/m}^3$ . A folga entre as placas é  $h = 0,1 \text{ mm}$  e a viscosidade do líquido é  $0,02 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ . Avalie o perfil de velocidade,  $u(y)$ , se  $y = 0$  na placa inferior estacionária. Calcule a vazão em volume que passa por uma seção vertical.

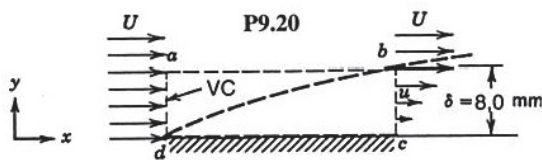
8.24:  $u = \frac{\rho B_x h^2}{2\mu} \left[ \left(\frac{y}{h}\right) - \left(\frac{y}{h}\right)^2 \right] + U \frac{y}{h}$

8.25:  $\frac{dp}{dx} = -\frac{6\mu U}{h^2}$

$Q = U \frac{h}{2} + \frac{\rho B_x h^3}{12\mu} \rightarrow Q = 1,50 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$

$\frac{dp}{dx} = -94,0 \text{ Pa/m}$

- 9.20 Ar nas condições-padrão escoou sobre uma fina placa plana com 1 m de comprimento e 0,3 m de largura. O escoamento é uniforme na borda de ataque da placa. Admita que o perfil de velocidade na camada limite é linear e que a velocidade de corrente livre seja  $U = 2,7 \text{ m/s}$ . Considere o escoamento bidimensional e que as suas condições independem de  $z$ . Usando o volume de controle  $abcd$ , mostrado pelas linhas tracejadas, calcule a vazão em massa através da superfície  $ab$ . Determine a magnitude e sentido da componente  $x$  da força necessária para manter a placa estacionária.



$\dot{M}_{ab} = \frac{\rho U \delta W}{2}$

$\vec{F}_x = -5,25 \hat{i} \text{ mN}$

$\dot{M}_{ab} = 3,89 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$

$F_x = \frac{\rho U^2 \delta W}{4}$

- 8.1 Ar-padrão entra num duto de 0,3 m de diâmetro. A vazão em volume é 2 m<sup>3</sup>/min. Determine se o escoamento é laminar ou turbulento. Estime o comprimento de entrada necessário para estabelecer escoamento inteiramente desenvolvido.

TURBULENTO

$$7,5 < L < 12,0 \text{ m}$$

- 8.5 Para escoamento laminar num tubo com 12,7 mm de diâmetro, determine (a) a máxima vazão em volume permissível se o fluido for água e (b) a máxima velocidade média se o fluido for ar. Qual o correspondente comprimento de entrada?

$$Q = 2,29 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\bar{V} = 2,63 \text{ m/s}$$

$$L = 1,75 \text{ m}$$

- 8.26 A cabeça gravadora de um sistema de armazenamento de memória de um computador flutua acima do disco que gira numa delgada camada de ar (a espessura da camada é 0,5 μm). A localização da cabeça é 150 mm da linha de centro do disco; este gira a 3.600 rpm. A cabeça gravadora é um quadrado de 10 mm de lado. Para o ar-padrão na fresta entre a cabeça e o disco, determine (a) o número de Reynolds do escoamento, (b) a tensão de cisalhamento viscosa e (c) a potência necessária para vencer o cisalhamento viscoso.

$$Re = 1,95$$

$$\tau = 2,01 \text{ kPa}$$

$$\dot{W} = 11,4 \text{ W}$$

- 8.37 Uma linha de injeção de água é feita com tubos capilares lisos com diâmetro interno  $D = 0,25$  mm. Determine a máxima vazão em volume na qual o escoamento é laminar. Avalie a queda de pressão requerida para produzir esta vazão através de um trecho de tubo com comprimento  $L = 0,75$  m.

$$\Delta p = 3,53 \text{ MPa}$$

- 9.45 Calcule a força de arrasto sobre uma placa plana com dimensões 0,75 m × 0,75 m quando ela estiver alinhada num escoamento de ar-padrão onde a velocidade de corrente livre é 1,8 m/s.

$$F = 9,5 \text{ mN}$$

- 9.80 Uma barcaça de fundo chato, com 25 m de comprimento e 10 m de largura, submersa até uma profundidade de 1,5 m, deve ser empurrada rio acima à velocidade de 8 km/h. Estime a potência necessária para vencer o atrito superficial se a temperatura da água for 15 C.
- 9.81 A aleta de um estabilizador vertical num carro esportivo de testes de velocidade tem comprimento  $L = 1,65$  m e altura,  $H = 0,785$  m. O automóvel vai ser conduzido no Boneville Salt Flats, em Utah, onde a elevação é de 1.340 m e a temperatura de verão atinge 50 C. A velocidade do carro é 560 km/h. Avalie o número de Reynolds, referente ao comprimento, da aleta. Estime o local da transição de escoamento laminar para turbulento, nas camadas-limite. Calcule a potência necessária para vencer o arrasto devido ao atrito superficial na aleta.
- 9.82 Um avião a jato de transporte voa a 12 km de altitude, em vôo de cruzeiro nivelado, a 820 km/h. Modele a fuselagem do avião como um cilindro circular como  $D = 4$  m de diâmetro e  $L = 40$  m de comprimento. Desprezando efeitos de compressibilidade, estime a força de arrasto devida ao atrito superficial sobre a fuselagem. Avalie a potência necessária para vencer esta força.

$$9.80) \dot{W} = 3,86 \text{ kW}$$

$$9.81) Re_L = 1,54 \times 10^7$$

$$x_L = 53,6 \text{ mm}$$

$$\dot{W} = 15,3 \text{ kW}$$

$$9.82) F = 6,28 \text{ kN}$$

$$\dot{W} = 1,43 \text{ MW}$$

- 9.86 Um submarino nuclear navega inteiramente submerso a 27 nós. O casco é aproximadamente um cilindro circular com  $D = 11,0$  m de diâmetro e  $L = 107$  m de comprimento. Estime a porcentagem do comprimento do casco para a qual o escoamento é laminar. Calcule o arrasto de atrito superficial no casco. Estime a desaceleração aproximada do submarino se toda a potência propulsora fosse subitamente cortada.

$$F = 5,49 \times 10^5 \text{ N}$$

$$a = -0,0528 \text{ m/s}^2$$

- 9.88 O deslocamento de um superpetroleiro é aproximadamente 600.000 toneladas métricas. Esse navio tem comprimento  $L = 300$  m, boca (largura),  $b = 80$  m e calado (profundidade)  $D = 25$  m. O navio navega a 14 nós na água do mar a 4 C. Para estas condições, estime (a) a espessura da camada-limite na popa do navio, (b) o arrasto total devido ao atrito superficial que atua sobre o navio, (c) a potência necessária para vencer a força de arrasto

$$\delta_L = 1,64 \text{ m}$$

$$F = 1,07 \text{ MN}$$

$$\dot{W} = 7,70 \text{ MW}$$

- 8.37 Uma linha de injeção de água é feita com tubos capilares lisos com diâmetro interno  $D = 0,25$  mm. Determine a máxima vazão em volume na qual o escoamento é laminar. Avalie a queda de pressão requerida para produzir esta vazão através de um trecho de tubo com comprimento  $L = 0,75$  m.  $Q = 4,52 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$   $\Delta p = 3,53 \text{ MPa}$
- 8.67 Água escoou numa tubulação de seção constante; o diâmetro do tubo é 50 mm e a velocidade média é 1,5 m/s. Na entrada do tubo a pressão manométrica é 590 kPa. A saída do tubo situa-se 25 m acima da entrada; a pressão na saída é a atmosférica. Determine a perda de carga entre a entrada e a saída do tubo.  $h_T = 345 \text{ m}^2/\text{s}^2$
- 8.68 O tubo do Problema 8.67 é colocado numa superfície horizontal. A vazão em volume e a pressão de saída devem permanecer as mesmas. Calcule a pressão de entrada para esta nova condição.  $p_{MN} = 345 \text{ kPa}$
- 8.74 O diagrama de Moody dá o fator de atrito de Darcy,  $f$ , em termos do número de Reynolds e da rugosidade relativa. O fator de atrito de Fanning para escoamento em tubos é definido como

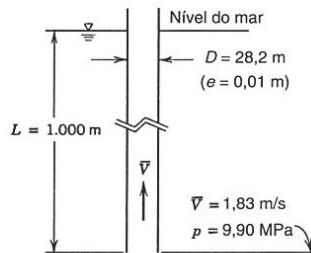
$$f_F = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

onde  $\tau_w$  é a tensão de cisalhamento na parede do tubo. Obtenha uma relação entre os fatores de atrito de Darcy e de Fanning para escoamento inteiramente desenvolvido. Mostre que  $f = 4f_F$ .

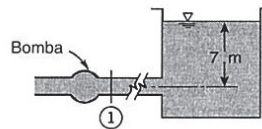
- 8.78 Água escoou num tubo com 50 mm de diâmetro que se contrai subitamente para 25 mm. A queda de pressão através da contração é 3,4 kPa. Determine a vazão em volume.  $Q = 1,10 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
- 8.81 Ar escoou para fora de uma câmara de teste de uma sala limpa através de um duto com 150 mm de diâmetro, de comprimento  $L$ . O duto original tinha uma entrada de quinas vivas, mas foi substituído por outro com entrada bem arredondada. A pressão na câmara é 2,5 mm de água acima da ambiente. As perdas devidas ao atrito são desprezíveis comparadas com as perdas na entrada e na saída. Estime o aumento de vazão em volume que resulte da mudança do contorno de entrada.  $\Delta Q = 9,0184 \text{ m}^3/\text{s}$
- 8.83 Água a 20 C escoou através de tubo de concreto, para drenagem, com 0,1 m de diâmetro interno, a uma vazão de 15 kg/s. Determine a queda de pressão para 100 m de tubo horizontal.  $\Delta p = 67,4 \text{ kPa}$
- 8.84 Ar a 15 C escoou através de um duto liso, reto, com 0,3 m de diâmetro e comprimento de 50 m. A vazão é 0,6 m<sup>3</sup>/s e a pressão é a mesma em ambas as extremidades do duto. Determine a variação de elevação entre a entrada e a saída.  $\Delta Z = 9,80 \text{ m}$
- $\Delta p = 43,9 \text{ Pa}$

- 3.86 Numa certa instalação de ar condicionado, é requerida uma vazão de 35 m<sup>3</sup>/min de ar nas condições-padrão. Um duto quadrado fabricado em chapa fina de aço, lisa, com 0,3 m de lado, deve ser usado. Determine a queda de pressão para um trecho de duto com 30 m, horizontal.
- 3.87 Um tubo liso, com diâmetro interno  $D = 175$  mm, fornece  $Q = 28$  m<sup>3</sup>/min de ar a 20 C, para dentro do poço de uma mina. O poço tem 700 m de profundidade e situa-se na vertical. Estime a diferença de pressão entre o topo e o fundo do tubo.  $\Delta p = 5,76 \text{ kPa}$
- 3.88 Uma instalação da "Ocean Thermal Energy Conversion" (OTEC) aspira água do mar fria (a  $T = 4$  C) de um ponto bem abaixo da superfície, conforme mostrado, para o interior de um tubo de água fria. A entrada do tubo localiza-se a 1.000 m abaixo do nível do mar. A pressão hidrostática naquela profundidade é  $p_1 = 9,9$  MPa (man.). A temperatura da água fria permanece aproximadamente constante. A velocidade média no tubo de água fria é  $V = 1,83$  m/s e o diâmetro é  $D = 28,2$  m. A altura efetiva da rugosidade do tubo é  $e = 0,01$  m. Estime a pressão estática ao nível do mar no tubo de água fria.

$$p_{MN} = -1,59 \times 10^5 \text{ Pa}$$



P8.88

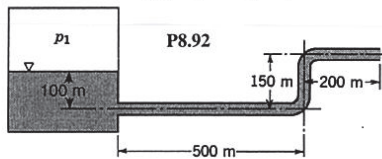


P8.89

- 3.89 Água proveniente de uma bomba escoou através de um tubo com 0,25 m de diâmetro por uma distância de 5 km, da descarga da bomba até um reservatório aberto para a atmosfera. O nível da água no reservatório está 7 m acima da descarga da bomba e a velocidade média da água no tubo é 3 m/s. Calcule a pressão na descarga da bomba.  $p_{MN} = 1,15 \text{ MPa}$

$$\Delta p/L = 0,948 \quad 1,11 \quad 1,19 \quad 1,32 \text{ Pa/m}$$

- 8.91 Considere o escoamento do ar-padrão a 35 m<sup>3</sup>/min. Compare a queda de pressão por unidade de comprimento de um duto redondo com aquela em dutos retangulares de razão de aspecto 1, 2 e 3. Admita que todos os dutos são lisos, com áreas de seção 0,1 m<sup>2</sup>.
- 8.92 Água escoou de um grande reservatório, conforme mostrado. O tubo é de ferro fundido, com diâmetro interno de 0,2 m. A vazão é 0,14 m<sup>3</sup>/s e a descarga é para a pressão atmosférica. A temperatura média para o escoamento é 10 C; todo o sistema é isolado termicamente. Determine a pressão manométrica,  $p_1$ , requerida para produzir este escoamento. Calcule o aumento de temperatura entre a superfície líquida e a saída.



P8.92

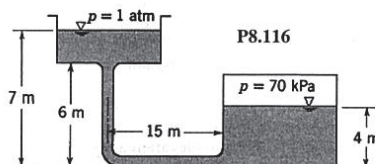
$$p_1^{MN} = 1,42 \text{ MPa} \quad \Delta T = 0,219 \text{ K}$$

- 8.111 Um engenheiro de minas planeja fazer mineração hidráulica com um jato d'água de alta velocidade. Um lago situa-se a  $H = 300$  m acima do local da mina. A água será fornecida por meio de uma mangueira de incêndio com  $L = 900$  m; esta tem diâmetro interno  $D = 75$  mm e rugosidade relativa  $e/D = 0,01$ . Os acoplamentos, com comprimento equivalente  $L_c = 20 D$ , localizam-se a cada 10 m de mangueira. O diâmetro de saída do bocal é  $d = 25$  mm. O seu coeficiente de perda localizada é  $K = 0,02$  com base na velocidade de saída. Estime a velocidade máxima de saída,  $V_o$ , que o sistema pode prover. Determine a força máxima exercida sobre a face de uma rocha por este jato d'água.  $V_o = 28,0 \text{ m/s}$   $F = 365 \text{ N}$

- 8.116 Dois reservatórios contendo água estão ligados por um tubo de ferro galvanizado que tem uma curva em ângulo reto. A pressão superficial no reservatório superior é a atmosférica, enquanto que a pressão manométrica na superfície do reservatório inferior é 70 kPa. O diâmetro do tubo é 75 mm. Determine o sentido da vazão em volume.

$E \text{ O VAZÃO}$

SENTIDO:  $\leftarrow$



P8.116

$$Q = 1,45 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$

- 8.125 Uma nova instalação industrial requer uma vazão de 5,7 m<sup>3</sup>/min. A pressão manométrica na tubulação principal de água, localizada na rua, a 50 m da fábrica, é 800 kPa. A linha de suprimento exigirá a instalação de 4 cotovelos num comprimento total de 65 m. A pressão manométrica exigida na fábrica é 500 kPa. Que bitola de tubo de ferro galvanizado deve ser instalada?  $D = 0,144 \text{ m}$