João Carlos Martins Coelho

ENERGIA E FLUIDOS

Mecânica dos fluidos

Vol. 2

Blucher

ENERGIA E FLUIDOS

Volume 2 – Mecânica dos fluidos

João Carlos Martins Coelho

ENERGIA E FLUIDOS

Volume 2 – *Mecânica* dos fluidos

CAPÍTULO 1

FLUIDOS EM REPOUSO – MANOMETRIA

Mecânica dos fluidos é o estudo do comportamento mecânico dos fluidos em repouso ou em movimento e dos efeitos causados pela sua ação sobre o meio com o qual está em contato. Por que estudar mecânica dos fluidos? Há dois fluidos fundamentais para a nossa vida: ar e água, que podem se apresentar em repouso ou em movimento. Estamos sujeitos às intempéries, precisamos viajar em aeroplanos, desejamos ter sempre água corrente em nossas residências e não é possível realizar os trabalhos de engenharia necessários ao atendimento das nossas necessidades sem conhecer como os fluidos se comportam. Assim, nos propomos a, nos próximos capítulos, estudar os princípios básicos desta disciplina, iniciando agora o estudo do comportamento de fluidos em repouso.

Ao analisarmos o comportamento de um fluido em repouso, deparamos com a seguinte questão: como a propriedade pressão se manifesta em um ponto desse fluido? Para responder a essa questão, vamos observar a Figura 1.1, na qual temos, em um meio fluido em repouso, uma cunha com dimensões Δz, Δx e Δy orientadas segundo o eixo vertical z e segundo os eixos horizontais x e y.

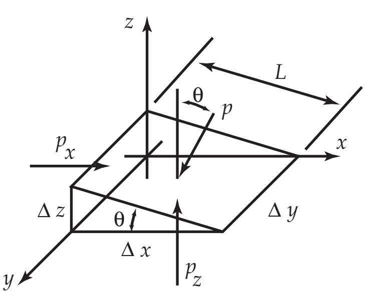

Figura 1.1 Cunha em meio fluido

Como o fluido está em repouso, a somatória das forças aplicadas a esse elemento é nula, o que resulta, na direção do eixo x, em:

$$\sum F_x = p_x \Delta y \Delta z - p \Delta y L sen\theta = 0 \qquad (1.1)$$

$$\sum F_x = p_x \Delta y \Delta z - p \Delta y \Delta x \frac{sen\theta}{\cos\theta} = 0 \qquad (1.2)$$

Como $\frac{sen\theta}{\cos\theta} = \frac{\Delta z}{\Delta x}$, obtemos o resultado:

$$p_x = p \tag{1.3}$$

Na direção do eixo z, além das componentes das forças causadas pela pressão atuante nas faces do elemento fluido, temos também a contribuição da força peso desse elemento. Usando o conceito de peso específico, $\gamma = \rho g$, obtemos:

$$\sum F_z = p_z \Delta y \Delta x - p \Delta y L \cos\theta - \frac{1}{2}\gamma \Delta y \Delta x \Delta z = 0 \tag{1.4}$$

$$\sum F_z = p_z \Delta y \Delta x - p \Delta y \Delta x - \frac{1}{2}\gamma \Delta y \Delta x \Delta z = 0 \tag{1.5}$$

O que nos permite concluir que:

$$p_z = p + \frac{1}{2}\gamma \Delta z \tag{1.6}$$

No limite, para Δx, Δy e $\Delta z \to 0$, o elemento fluido tende a um "ponto" e, então, verificamos que:

$$p_x = p_z = p \tag{1.7}$$

Lembrando que o ângulo θ foi escolhido de forma arbitrária, podemos concluir que, em um fluido estático, a pressão em um ponto é igual em todas as direções.

1.1 DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO EM UM FLUIDO

A questão que queremos responder neste instante é: como a pressão varia com a posição em um meio fluido? Para tal, vamos supor que, em um determinado instante, a pressão em um meio fluido é uma função desconhecida de sua posição, ou seja, $p = p(x,y,z,)$. Buscando identificar a forma dessa função, selecionaremos um elemento fluido com arestas, Δx, Δy e Δz posicionado arbitrariamente nesse meio fluido, conforme ilustrado na Figura 1.2, em cujo centro geométrico reina a pressão $p = p(x,y,z,)$ e cujo peso, a única força de campo nele atuante, seja dado por $\gamma \Delta x \Delta y \Delta z$. Além do peso, esse elemento está sujeito a forças de superfície causadas pelas pressões médias exercidas pelo meio sobre suas faces, as quais quantificamos por meio da expansão de $p = p(x,y,z,)$ em série de Taylor, desprezando os termos de ordem superior à unidade, conforme indicado na Figura 1.2, na qual o eixo z foi fixado na posição vertical com orientação positiva no sentido ascendente.

Podemos afirmar que a somatória das forças de superfície e de campo a ele apli-

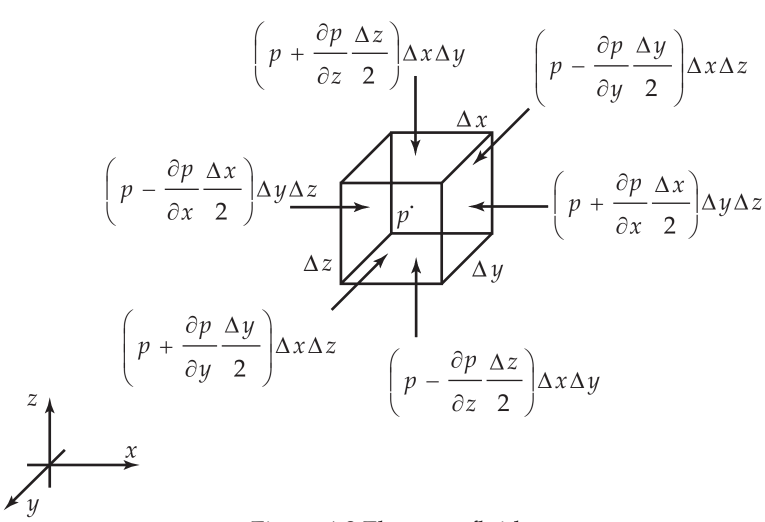

Figura 1.2 Elemento fluido

cadas resulta na força $\boldsymbol{F} = F_x\boldsymbol{i} + F_y\boldsymbol{j} + F_z\boldsymbol{k}$, a qual é igual à sua massa multiplicada por sua aceleração $\boldsymbol{a} = a_x\boldsymbol{i} + a_y\boldsymbol{j} + a_z\boldsymbol{k}$. Já que conhecemos as componentes das forças nele atuantes nas direções x, y e z, podemos realizar a sua somatória nessas direções, obtendo:

$$F_x = \left(p - \frac{\partial p}{\partial x}\frac{\Delta x}{2}\right)\Delta y \Delta z - \\ -\left(p + \frac{\partial p}{\partial x}\frac{\Delta x}{2}\right)\Delta y \Delta z = \rho \Delta x \Delta y \Delta z\ a_x \quad (1.8a)$$

$$F_y = \left(p - \frac{\partial p}{\partial y}\frac{\Delta y}{2}\right)\Delta x \Delta z - \\ -\left(p + \frac{\partial p}{\partial y}\frac{\Delta y}{2}\right)\Delta x \Delta z = \rho \Delta x \Delta y \Delta z\ a_y \quad (1.8b)$$

$$F_z = \left(p - \frac{\partial p}{\partial z}\frac{\Delta z}{2}\right)\Delta x \Delta y - \left(p + \frac{\partial p}{\partial z}\frac{\Delta z}{2}\right)\Delta x \Delta y - \\ -\gamma \Delta x \Delta y \Delta z = \rho \Delta x \Delta y \Delta z\ a_z \quad (1.8c)$$

Dividindo os termos das Equações (1.8a), (1.8b) e (1.8c) por $\Delta x \Delta y \Delta z$ e realizando operações algébricas, obtemos:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \rho a_x \quad (1.9a)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial y} = \rho a_y \quad (1.9b)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial z} = \gamma + \rho a_z \quad (1.9c)$$

Usando tratamento vetorial, obtemos:

$$\frac{\partial p}{\partial x}\boldsymbol{i} + \frac{\partial p}{\partial y}\boldsymbol{j} + \frac{\partial p}{\partial z}\boldsymbol{k} = -\rho(\boldsymbol{a} + \boldsymbol{g}) \quad (1.10)$$

Lembrando que o operador gradiente é dado por

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial \boldsymbol{x}}\boldsymbol{i} + \frac{\partial}{\partial \boldsymbol{y}}\boldsymbol{j} + \frac{\partial}{\partial \boldsymbol{z}}\boldsymbol{k} \quad (1.11)$$

obtemos:

$$\nabla p = -\rho(\boldsymbol{a} + \boldsymbol{g}) \quad (1.12)$$

Consideremos, agora, que o fluido encontra-se estático, o que resulta no fato de a sua aceleração $\boldsymbol{a} = a_x\boldsymbol{i} + a_y\boldsymbol{j} + a_z\boldsymbol{k}$ ser nula. Neste caso, o conjunto de Equações (1.9a), (1.9b) e (1.9c) torna-se:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (1.13a)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (1.13b)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\gamma \quad (1.13c)$$

Essas equações nos permitem concluir que, em um meio fluido estático, a pressão varia apenas na direção vertical, ou seja: dois pontos localizados em uma horizontal posicionada em um meio fluido contínuo estão sujeitos à mesma pressão.

Para verificar como ocorre a variação de pressão da direção vertical, podemos integrar a Equação (1.13c) entre dois pontos denominados 1 e 2 localizados em um meio fluido contínuo, obtendo:

$$p_2 - p_1 = -\int_1^2 \gamma dz \quad (1.14)$$

Se o peso específico do fluido puder ser considerado constante, obteremos:

$$p_2 - p_1 = -\gamma(z_2 - z_1) \quad (1.15)$$

Para melhor ilustrar esse resultado, vamos observar a Figura 1.3. Observe que os pontos A, B, C, D, E e F têm a mesma cota

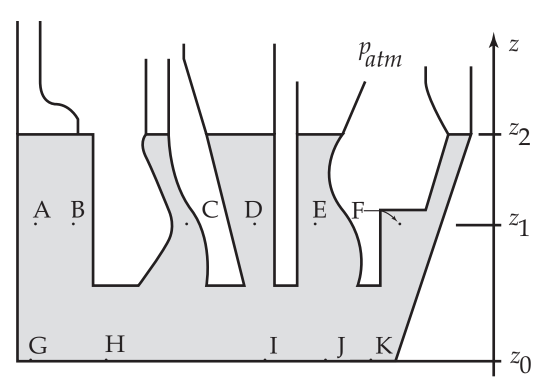

Figura 1.3 Fluido em repouso

z_1 e, como estão localizados em um mesmo meio fluido contínuo, as pressões neles reinantes são iguais e não dependem da forma geométrica do vaso que contém o fluido. Observe que o mesmo raciocínio se aplica aos pontos G, H, I, J e K.

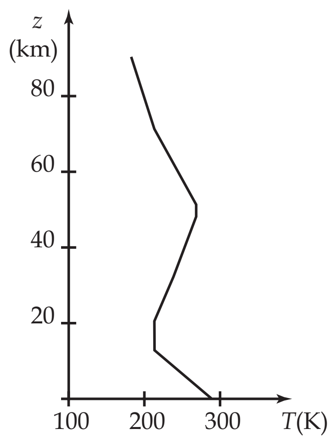

Figura 1.4 Temperatura em função da altitude

Utilizando a Equação (1.15), obtemos os seguintes resultados:

$$p_A = p_B = p_C = p_D = p_E = p_F = \\ = \gamma(z_2 - z_1) + p_{atm} \quad (1.16)$$

$$p_G = p_H = p_I = p_J = p_K = \\ = \gamma(z_2 - z_0) + p_{atm} \quad (1.17)$$

Ao aplicar a Equação (1.15), é fundamental lembrar que o sentido positivo do eixo vertical z é o ascendente e que a pressão aumenta à medida que a cota z diminui. Para evitar erros ao usar esse resultado, podemos utilizar o seguinte artifício: lembrar que as pressões em níveis inferiores são maiores e, assim, escrever:

$$p_{\text{inferior}} = p_{\text{superior}} + \gamma|\Delta z| \quad (1.18)$$

1.2 A PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Sabemos que as propriedades do ar atmosférico variam tanto com a posição quanto com o tempo, o que dificulta a obtenção das suas propriedades. Assim, buscando dispor de informações padronizadas do comportamento do ar atmosférico, foi estabelecida a *atmosfera padrão norte-americana* (*US Standard Atmosphere*), que é de larga utilização, mas não se trata de um padrão mundial. A atmosfera padrão estabelece o comportamento do ar atmosférico por meio da descrição do comportamento da sua temperatura e da sua massa específica em função da altitude, sob a hipótese de que a sua umidade seja nula e supondo que seu comportamento seja o de gás ideal. Ela é definida por meio da Tabela 1.1 e ilustrada na Figura 1.4.

Para os nossos propósitos, consideraremos apenas o comportamento do ar padrão na *troposfera*, camada mais próxima à terra, com espessura de 11 km. Nela, a temperatura é dada em função da altitude por:

$$T = T_o - \kappa z \quad (1.19)$$

Nessa expressão, $\kappa = 0{,}0065$ K/m. Considerando o ar como um gás ideal com constante $R = 0{,}287$ kJ/(kg·K), lembrando que $p = \rho RT$, e $dp = -\rho g dz$, obtemos:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{g}{RT}dz \quad (1.20)$$

Consequentemente:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{g}{R} \cdot \frac{dz}{T_o - \kappa z} \quad (1.21)$$

Essa equação pode ser integrada do nível do mar até uma altitude z, resultando em:

$$\int_{p_o}^{p} \frac{dp}{p} = -\frac{g}{R}\int_0^z \frac{dz}{T_o - \kappa z} \quad (1.22)$$

Logo:

$$\ln\frac{p}{p_o} = \frac{g}{\kappa R} ln \frac{T_o - \kappa z}{T_o} \quad (1.23)$$

Obtemos, então:

$$p = p_o\left(\frac{T_o - \kappa z}{T_o}\right)^{g/kR} \quad (1.24)$$

No Apêndice C apresentamos a Tabela C.3, na qual se encontram propriedades do ar em função da altitude determinadas utilizando-se esse conjunto de equações.

Tabela 1.1 Atmosfera padrão

Altitude (km)	Temperatura (K)	Taxa de variação da temperatura (K/km)	Pressão (Pa)	Massa específica (kg/m³)
0	288,15	–6,5	101325,00	1,225
11	216,65	0,0	22632,06	0,364
20	216,65	+1,0	5474,89	8,803 E-2
32	228,65	+2,8	868,02	1,322 E-2
47	270,65	0,0	110,91	1,428 E-3
51	270,65	–2,8	66,94	8,616 E-4
71	214,65	–2,0	3,96	6,421 E-5
84,852	186,95		0,37	6,958 E-6

1.3 MEDINDO A PRESSÃO

A propriedade pressão, grandeza de cunho mecânico, é usualmente medida por intermédio da quantificação de um dos seus possíveis efeitos sobre os materiais em contato com um fluido pressurizado, por exemplo: a pressão de um fluido sobre uma superfície pode causar sua deformação, e a medida dessa deformação pode ser correlacionada com a pressão do fluido. Esse fato permite a criação de inúmeros tipos de dispositivos destinados a esse fim. A seguir, apresentaremos alguns medidores de coluna de líquido e os do tipo Bourdon.

1.3.1 Medindo a pressão atmosférica

Como vimos, a pressão atmosférica também é chamada de *pressão barométrica*, por ser medida por um instrumento chamado barômetro. Na Figura 1.5, apresentamos o desenho esquemático de um barômetro, o qual é basicamente constituído por um recipiente e por um tubo de vidro fechado em uma das suas extremidades. O tubo é inicialmente preenchido com mercúrio e depois é, com os devidos cuidados, vertido sobre o recipiente, que também contém certa quantidade inicial desse fluido. Verificamos, então, o aparecimento de uma coluna de mercúrio com altura h, sobre a qual, no interior do tubo, é gerada uma região na qual há vapor de mercúrio na pressão de saturação à temperatura na qual o mercúrio estiver, que, usualmente, é a ambiente. Como essa pressão é muito baixa, em geral adotamos a hipótese simplificadora de que na região ocupada pelo vapor de mercúrio a pressão absoluta é nula, o que corresponde à situação de vácuo absoluto.

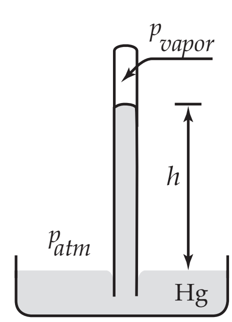

Figura 1.5 Barômetro

Apoiados nessa hipótese, afirmamos que a pressão exercida pela coluna de mercúrio com altura h é igual à pressão absoluta exercida pela atmosfera. Dessa forma, para determinar a pressão atmosférica, é suficiente realizar a medida da altura h dessa coluna, calculando-se em seguida a pressão pelo uso da expressão:

$$p_{atm} = \gamma_{Hg} h \qquad (1.25)$$

Nessa expressão, γ_{Hg} é o peso específico do mercúrio.

Observamos que, devido ao fato de a pressão atmosférica poder ser indicada pela altura de uma coluna de mercúrio, tornou-se de uso corrente a unidade de pressão *milímetros de mercúrio*, mmHg, que não é de uso recomendado. Note que: 760 mmHg = 1 atm = 101325 Pa. Uma unidade similar, também de uso não recomendado, mas frequentemente encontrada, é o *metro de coluna de água,* mca, que em essência é a pressão causada por uma coluna estática de água com um metro de altura.

1.3.2 Tubo piezométrico

Consiste apenas em um tubo vertical conectado ao ambiente que encerra um líquido cuja pressão se deseja medir, com sua extremidade superior sujeita à pressão atmosférica. Veja a Figura 1.6.

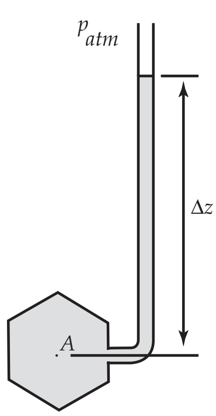

Figura 1.6 Piezômetro

A pressão do líquido no ponto A é dada por:

$$p_A = \gamma h + p_{atm} \qquad (1.26)$$

Nessa expressão, γ é o peso específico do líquido. Consequentemente:

$$p_m = p - p_{atm} = \gamma h \qquad (1.27)$$

O uso de tubos piezométricos ou piezômetros é limitado, porque não podemos utilizá-los para substâncias não líquidas e porque, à medida que as pressões a serem medidas crescem, necessita-se de tubos com alturas também crescentes, o que pode tornar o seu uso inviável.

1.3.3 Manômetros em U

Manômetros em U são instrumentos de medida destinados à determinação de uma diferença entre pressões, e quando uma delas é a atmosférica, o resultado da média será a pressão manométrica – veja a Figura 1.7. Nesse tipo de manômetro, a medida de pressão é realizada pela medida do deslocamento de um fluido manométrico, permitindo a determinação de pressões de gases e de líquidos não miscíveis com o fluido manométrico.

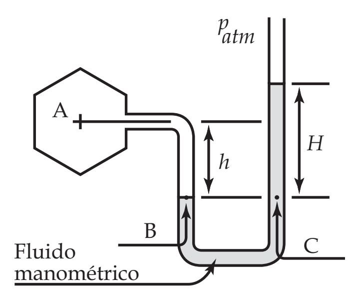

Figura 1.7 Manômetro em U

Os fluidos manométricos devem ter massa específica bem conhecida, sendo frequentemente utilizados o mercúrio, água, álcool etílico e óleos.

No manômetro da Figura 1.7, como os pontos B e C estão posicionados sobre uma reta horizontal em uma massa contínua de fluido, a pressão do fluido no recipiente A é avaliada como se segue.

$$p_B = \gamma h + p_A \qquad (1.28)$$

$$p_C = \gamma_m H + p_{atm} \qquad (1.29)$$

$$p_B = p_C \Rightarrow p_A - p_{atm} = \gamma_m H - \gamma h \qquad (1.30)$$

Nessa expressão, γ_m é o peso específico do fluido manométrico e γ é o peso específico do fluido presente no recipiente A. Observe que a diferença $p_A - p_{atm}$ é igual à pressão manométrica do fluido em A.

1.3.4 Manômetros de Bourdon

Um dos métodos mais utilizados para medir a pressão de um fluido é observar a deformação provocada pela ação do fluido sobre um corpo sólido. O manômetro de Bourdon, que opera segundo esse método, é basicamente constituído por um tubo em forma helicoide que se deforma quando submetido à pressão interna, provocando o movimento de um ponteiro que indica, em uma escala previamente calibrada, a pressão manométrica do fluido. Veja a Figura 1.8.

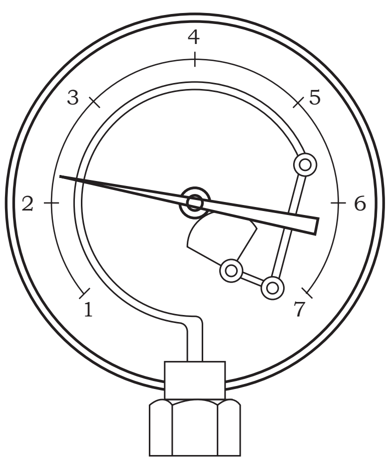

Figura 1.8 Manômetro de Bourdon

1.4 EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

Er1.1 Considere o tanque esquematizado na Figura Er1.1. A pressão indicada pelo manômetro M_1 é igual a 50 kPa, a cota B é igual a 10 m e a cota A é igual a 2,0 m. Considere que o conjunto está a 20ºC e que a pressão atmosférica local é igual a 95 kPa. Qual é o valor da leitura proporcionada pelo manômetro M_2?

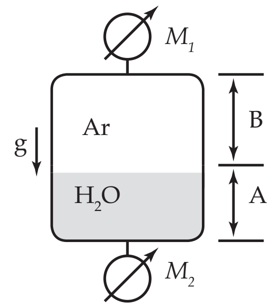

Figura Er1.1

Solução

a) Dados e considerações
- A = 2,0 m, B = 10 m e p_o = 95 kPa.
- A água está a 20ºC, então: ρ = 998,2 kg/m³.
- O ar está em contato com a água, também está a 20ºC e será tratado como um gás ideal com constante R = 0,287 kJ/(kg · K).

b) Análise e cálculos

O manômetro M_1 indica a pressão manométrica do ar com o qual ele está em contato; ou seja: a pressão manométrica do ar no topo do tanque é igual a 50 kPa. Assim, a pressão absoluta correspondente, p_1, será:

$$p_1 = 50 + 95 = 145 \text{ kPa}$$

Consequentemente, a massa específica do ar será:

$$\rho_{ar} = \frac{p}{RT} = \frac{(95+50)}{(0{,}287 \cdot 293{,}15)} =$$
$$= 1{,}723 \text{ kg/m}^3$$

Seja p_a a pressão manométrica exercida pelo ar sobre a superfície da água. Considerando a massa específica do ar constante ao longo da altura, obtemos:

$$pa = \gamma_{ar}\ B + p_{M1} = \rho_{ar} gB + p_{M1} =$$
$$= 0{,}17 + 50 = 50{,}17 \text{ kPa}$$

Ou seja:

$$p_a - p_{M1} = 0{,}17 \text{ kPa}$$

Essa diferença de pressões, que neste caso é da ordem de 0,3%, é usualmente considerada muito pequena, acarretando duas hipóteses geralmente adotadas em cálculos envolvendo manometria. A primeira consiste no fato de que, se a pressão variar muito pouco, a massa específica do ar realmente pode ser considerada constante ao longo da ordenada *z*. A segunda hipótese é a de que, já que a pressão do ar varia fracamente com a altura, podemos desprezar a contribuição da altura da coluna de ar em cálculos manométricos simples.

A pressão lida pelo manômetro M_2, p_{M2}, é a pressão manométrica da água em contato com esse instrumento, que está posicionado no fundo do reservatório. Assim, ela deve ser dada por:

$$p_{M2} = \rho g A + p_a = 69{,}75 \text{ kPa}$$

Er1.2 Considere o tanque esquematizado na Figura Er1.2. Esse tanque é dividido internamente de forma que dois ambientes distintos são criados.

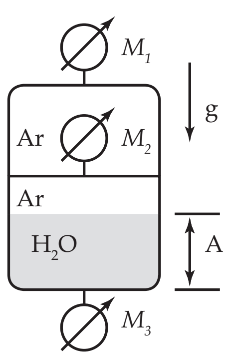

Figura Er1.2

No superior, há ar e, no inferior, há água na fase líquida e ar. Sabe-se que A = 3,5 m e que as leituras dos manômetros M_1 e M_3 são, respectivamente, 2,0 bar e 5,0 bar. Supondo que a água esteja a 20ºC, determine a leitura do manômetro M_2.

Solução

a) Dados e considerações

- A = 3,5 m.
- A pressão lida pelo manômetro M_1 é: p_{M1} = 2,0 bar = 200 kPa.
- A pressão lida pelo manômetro M_3 é: p_{M3} = 5,0 bar = 500 kPa.
- A água está a 20ºC, então: ρ = 998,2 kg/m³.

O peso específico do ar é muito menor do que o da água, assim a sua pressão será considerada uniforme ao longo da altura.

Todas as pressões estão determinadas na escala manométrica.

b) Análise e cálculos

O manômetro M_1 indica a pressão manométrica p_{M1} do ar com o qual ele está em contato. Assim, a pressão do ar presente no ambiente no qual o manômetro M_2 está instalado será igual a 200 kPa.

O manômetro M_3 indica a pressão manométrica p_{M3} da água com a qual ele está em contato. Assim, a pressão que a água exerce no fundo do tanque é igual a 500 kPa.

O manômetro M_2 mede a diferença entre a pressão p_a do ar em contato com a superfície da água e a pressão p_{M1}, consequentemente:

$$p_{M2} = p_a - p_{M1} \Rightarrow p_a = p_{M1} + p_{M2}$$

A pressão p_{M3} é:

$$p_{M3} = \rho g A + p_a = \rho g A + p_{M1} + p_{M2}$$

Logo:

$$p_{M2} = p_{M3} - \rho g A - p_{M1} = 500000 - 998{,}2 \cdot 9{,}81 \cdot 3{,}5 - 200000 = 265727 \text{ Pa} = 265{,}7 \text{ kPa}$$

Er1.3 Um manômetro em U é utilizado para medir a pressão de água a 20ºC que escoa em uma tubulação, conforme indicado na Figura Er1.3. O fluido manométrico é mercúrio, cuja densidade relativa é igual a 13,55. Sabendo que h = 20 cm, H = 45 cm e que a pressão atmosférica local é igual a 94 kPa, pede-se para calcular a pressão manométrica e a absoluta do fluido no ponto A.

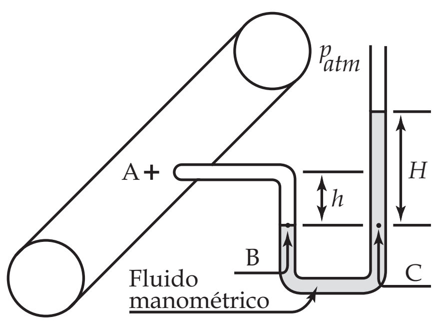

Figura Er1.3

Solução

a) Dados e considerações
- A água está a 20ºC, então: ρ = 998,2 kg/m³ e γ = 9792 N/m³.
- A densidade relativa do mercúrio é d_{rm} = 13,55. Logo: γ_m = 13,55 · 9,81 · 1000 = 132926 N/m³.
- h = 20 cm; H = 45 cm; p_{atm} = 94 kPa.

b) Análise e cálculos

Os pontos B e C estão localizados em uma porção contínua de fluido e sobre uma mesma horizontal. Podemos então afirmar que:

$$p_B = \gamma h + p_A \,;\; p_C = \gamma_m H + p_{atm}$$

$$p_B = p_C \Rightarrow p_A - p_{atm} = \gamma_m H - \gamma h$$

A pressão manométrica do fluido no ponto A será dada por:

$$p_{mA} = p_A - p_{atm} = \gamma_m H - \gamma h$$

$$p_{mA} = 57{,}9 \text{ kPa}$$

A pressão absoluta em A, p_a é dada por:

$$p_a = p_{mA} + p_{atm} = 151{,}9 \text{ kPa}$$

Er1.4 Quando se utiliza manômetros em U, uma forma de aumentar a precisão da leitura da medida de pressão é a utilização de manômetros inclinados, como podemos ver na Figura Er1.4. Se o fluido manométrico utilizado no manômetro ilustrado nesta figura for óleo com densidade relativa 0,83, se o ângulo de inclinação α for igual a 30º e se a leitura proporcionada for L = 50 mm, qual deve ser a pressão manométrica do ar existente no recipiente A?

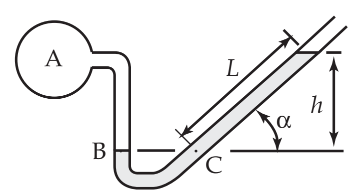

Figura Er1.4

Solução

a) Dados e considerações
- A densidade relativa do óleo é d_r = 0,83.

Logo: $\gamma = d_r \rho g$ = 0,83 · 1000 · 9,81 = 8142 N/m³.
- L = 50 mm; α = 30º.

b) Análise e cálculos

Os pontos B e C estão localizados em uma porção contínua de fluido e sobre uma mesma horizontal. Podemos então afirmar que:

$p_B = p_C$

Como o fluido no recipiente A é ar e o seu peso específico é muito menor do que o do fluido manométrico, podemos desprezar a contribuição da pressão causada pela coluna de ar sobre o ponto B e afirmar que:

$p_B = p_A$

Então, temos:

$p_A = p_B = p_c = \gamma L sen\alpha + p_{atm}$

$p_A - p_{atm} = \gamma L sen\alpha = 204$ Pa

Er1.5 Em uma unidade industrial, observou-se, em um dos ramos de um manômetro tipo U que utiliza mercúrio como fluido manométrico, o depósito acidental de 3,0 cm³ de um fluido na fase líquida com massa específica igual 850 kg/m³. Sabendo que o diâmetro interno do tubo é igual a 8,0 mm e que as suas extremidades estão abertas para a atmosfera, pede-se para calcular o desnível entre a superfície do mercúrio em contato com o ar e a superfície em contato com o fluido.

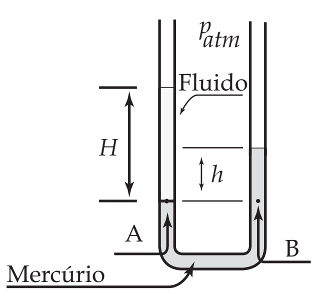

Figura Er1.5

Solução

a) Dados e considerações

- A massa específica do fluido é: ρ_o = 850 kg/m³, então seu peso específico será: γ_o = 9,81 · 850 = 8339 N/m³.
- A densidade relativa do mercúrio é d_r = 13,55.
- Logo: γ = 13,55 · 9,81·1000 = 132926 N/m³.
- O volume do fluido é $\cancel{V}_o$ = 3,0 cm³ e o diâmetro interno do tubo é D = 8,0 mm.

b) Análise e cálculos

Deseja-se calcular a altura h.

A altura da coluna de fluido é dada por: $H = \dfrac{4\cancel{V}_o}{\pi D^2} = 59{,}7$ mm.

Os pontos A e B estão localizados em uma porção contínua de fluido e sobre uma mesma horizontal. Adotando a escala manométrica de pressões, podemos então afirmar que:

$p_B = \gamma h$;

$p_A = \gamma_o H$

Logo: $p_A = \gamma_o H = p_B = \gamma h$.

Consequentemente: $h = \dfrac{\gamma_o}{\gamma} H = 3{,}74$ mm.

1.5 EXERCÍCIOS PROPOSTOS

Ep1.1 Considere o tanque esquematizado na Figura Ep1.1. A pressão indicada pelo manômetro M_1 é igual a 50 kPa. A cota A é igual a 2,0 m e a cota B é igual a 0,2 m.

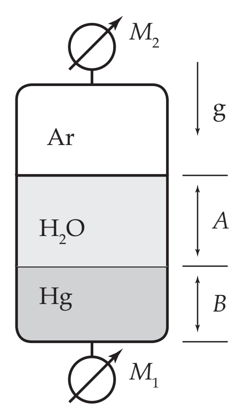

Figura Ep1.1

Considere que a densidade relativa do mercúrio é igual a 13,55 e que a água esteja a 20ºC. Qual é o valor da leitura proporcionada pelo manômetro M_2?

Resp.: 3,8 kPa.

Ep1.2 Considere a montagem ilustrada na Figura Ep1.2. Nesta figura vemos um tanque subdividido em duas partes. Em uma delas há ar e água e na outra há hélio. A pressão indicada pelo manômetro M_3 é igual a 500 kPa e a pressão indicada pelo manômetro M_2 é igual a 200 kPa. Sabendo que a pressão atmosférica local é igual a 93 kPa, que a temperatura ambiente é igual a 35ºC, que A = 1,0 m e que B = 2,0 m, pede-se para calcular a pressão absoluta do ar e a pressão indicada pelo manômetro M_1.

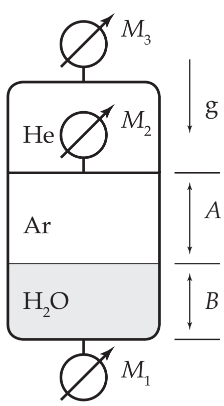

Figura Ep1.2

Resp.: 793 kPa; 719,5 kPa.

Ep1.3 No tanque ilustrado na Figura Ep1.3, as dimensões A, B e C são, respectivamente, 1,0 m, 30 cm e 500 mm. Sabendo que a pressão atmosférica local é igual a 94 kPa e que a pressão indicada pelo manômetro M_1 é igual a 800 kPa, pede-se para determinar os valores indicados pelos demais manômetros.

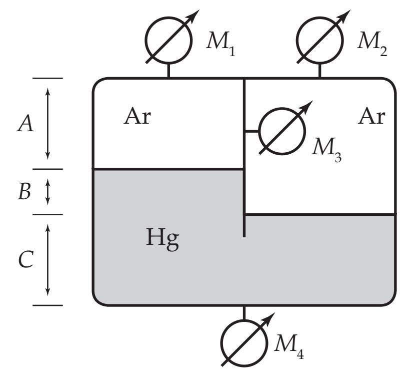

Figura Ep1.3

Resp.: 839,9 kPa; –39,9 kPa; 906,3 kPa.

Ep1.4 Na Figura Ep1.4, tem-se um recipiente rígido que contém mercúrio, água na fase líquida e ar preso em uma cavidade interna. São dadas as seguintes dimensões: A = 10 cm; B = 3,0 m; C = 30 cm; D = 1,0 m. Sabe-se que a pressão atmosférica local é igual a 95 kPa e que a massa específica da água é igual a 1000 kg/m³. Considerando que a densidade relativa do mercúrio é igual a 13,6, determine a pressão manométrica do ar preso na cavidade e as pressões absolutas reinantes nos pontos a, b e c.

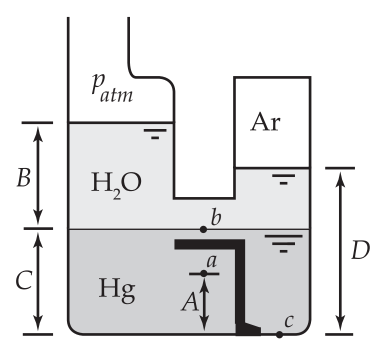

Figura Ep1.4

Resp.: 22,5 kPa; 151,1 kPa; 124,4 kPa; 164,5 kPa.

Ep1.5 Observe o tanque de seção circular com diâmetro interno igual a 3,0 m ilustrado na Figura Ep1.5. Considere que: o fluido manométrico é mercúrio com densidade relativa igual a 13,6; a massa específica da água é igual a 1000 kg/m³; a densidade relativa da gasolina é igual a 0,80; b

= 0,20 m, a = 1,0 m, c = 0,5 m e h = 400 mm. Tomando cuidado com as unidades, determine a pressão manométrica exercida pela água no fundo do tanque e o volume de gasolina armazenado no tanque.

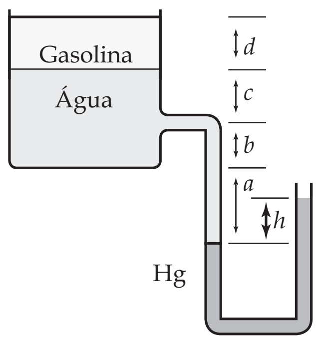

Figura Ep1.5

Resp.: 43,6 kPa; 33,1 m³.

Ep1.6 Considere o arranjo esquematizado na Figura Ep1.6. O manômetro tipo Bourdon indica que a pressão do ar é igual a 20 kPa. Sabe-se que a = 1,0 m, b = 30 cm e c = 3,0 m. Considerando que a pressão atmosférica local é igual 722 mmHg e que a temperatura do arranjo é igual à ambiente, 20ºC, determine a pressão absoluta que a água exerce no fundo do tanque e a altura h da coluna de mercúrio.

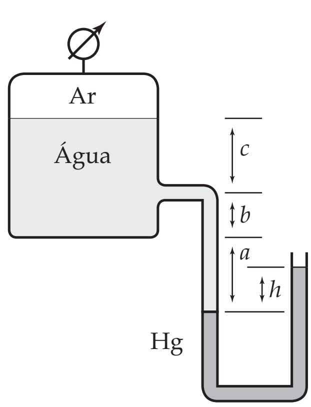

Figura Ep1.6

Resp.: 148,3 kPa; 0,467 m.

Ep1.7 Os tanques A e B ilustrados na Figura Ep1.7 contêm, respectivamente, água a 0,7 MPa e etanol a 0,5 MPa. Sabendo que a temperatura ambiente é igual a 20ºC e que a altura L é igual a 1,8 m, pede-se para determinar a deflexão h do manômetro em U.

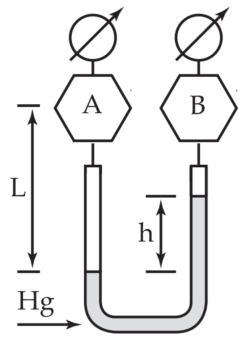

Figura Ep1.7

Resp.: 1,63 m.

Ep1.8 Os tanques A e B ilustrados na Figura Ep1.7 contêm, respectivamente, água e etanol. Sabendo que a temperatura ambiente é igual a 20ºC, que a altura L é igual a 1,8 m e que a pressão manométrica em A é igual a 200 kPa, determine a pressão manométrica em B para que a deflexão do manômetro, h, seja nula.

Resp.: 203,7 kPa.

Ep1.9 Entre os diversos medidores de vazão utilizados industrialmente, existe um denominado placa de orifício. As placas mais comuns são constituídas por discos metálicos com um orifício central montado em uma tubulação, conforme a esquematizado na Figura Ep1.9. O escoamento do fluido através da placa produz uma diferença de pressão que permite que a vazão seja determinada. Considerando que o fluido que escoa no tubo é água na fase líquida a 20ºC, que o fluido manométrico é óleo com densidade relativa igual a 0,82 e que a deflexão do manômetro é igual a 75 mm, determine a diferença de pressão da água em escoamento medida pelo manômetro.

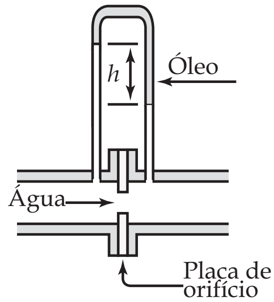

Figura Ep1.9

Resp.: 131 Pa.

Ep1.10 Um manômetro inclinado – veja a Figura Ep1.10 – é utilizado para medir a pressão de ar em uma tubulação. O fluido manométrico é um óleo com densidade relativa igual 0,83. Se a deflexão h for igual a 6 mm, qual será a pressão manométrica do ar na tubulação?

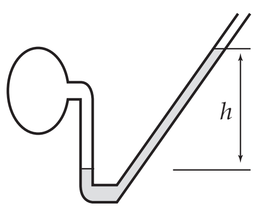

Figura Ep1.10

Resp.: 48,9 Pa.

Ep1.11 Considere a montagem esquematizada na Figura Ep1.11, que está a 20ºC. Sabendo que a deflexão do manômetro é igual a 145 mm, determine a diferença de pressões medida.

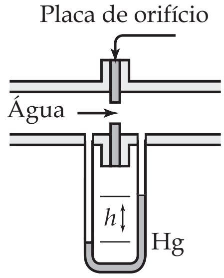

Figura Ep1.11

Resp.: 17,9 kPa.

Ep1.12 Acidentalmente, ocorre o depósito de 2 cm³ de água em um manômetro de mercúrio destinado à medida de diferença de pressões em uma tubulação de transporte de um óleo com densidade relativa igual a 0,82, conforme esquematizado na Figura Ep1.12. Sabendo que a temperatura ambiente é igual a 20ºC e que o diâmetro interno do tubo do manômetro é igual a 5 mm, pede-se para determinar a deflexão h do manômetro no caso de a diferença de pressões medida ser igual a 1000 mmca.

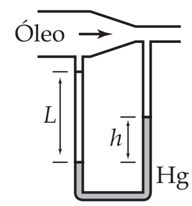

Figura Ep1.12

Resp.: 80 mm.

Ep1.13 Suponha que no exercício Ep1.12 o manômetro proporcione uma leitura de h = 100 mm. Qual é o valor da diferença de pressões medida em mmca?

Resp.: 1273 mmca.

Ep1.14 O tanque A da Figura Ep1.14 contém glicerina e o B contém água, estando os dois fluidos a 20ºC. Sabendo que m = 2,5 m e que n = 0,8 m, pede-se para determinar a deflexão h no manômetro de mercúrio.

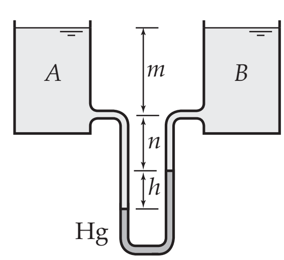

Figura Ep1.14

Resp.: 70 mm.

Ep1.15 O tanque A da Figura Ep1.14 contém glicerina e o B contém água, estando os dois fluidos a 20ºC. Sabe-se que m = 5,0 m, n = 1,0 m, os diâmetros internos dos tanques são iguais a 1,0 m e o diâmetro interno da tubulação que forma o manômetro em U é igual a 5 mm. Considere que a densidade relativa da glicerina seja igual a 1,26 e que a do mercúrio seja 13,55. Determine a deflexão h no manômetro de mercúrio e o volume de água que deve ser adicionado no tanque B para que o desnível h seja anulado.

Resp.: 128 mm; 1,24 m³.

Ep1.16 Em um determinado local, um barômetro indica a pressão de 720 mmHg. Qual é o valor da pressão local em pascal? Considere que a densidade relativa do mercúrio é igual a 13,55.

Resp.: 95,7 kPa.

Ep1.17 Observe a Figura Ep1.17, na qual há dois tanques cilíndricos de mesma altura. Sabe-se que a pressão atmosférica local é igual a 100 kPa, a temperatura ambiente é igual a 20ºC, A = 1,0 m, B = 3,0 m, L = 5 m, D_1 = 0,2 m, D_2 = 0,5 m, a massa específica da água é igual a 1000 kg/m³ e a do óleo é igual a 800 kg/m³. Supondo-se que as válvulas 1 e 2 estão abertas e que a 3 está fechada, determine o valor da dimensão C.

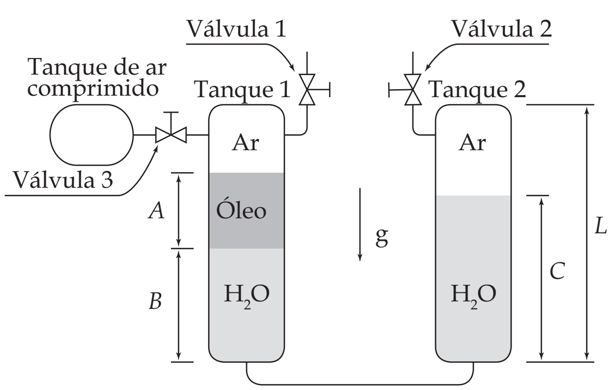

Figura Ep1.17

Resp.: 3,8 m.

Ep1.18 Observe a Figura Ep1.17. Suponha que, estando os tanques na condição descrita na questão Ep1.17, a válvula 1 seja fechada, a válvula 2 permaneça aberta e que a válvula 3 seja ligeiramente aberta, de forma que ar penetre no tanque 1, fazendo com que o nível superior do óleo baixe, ficando 10 cm abaixo do nível superior da água no tanque 2. Determine a pressão manométrica do ar aprisionado no tanque 1.

Resp.: 2,94 kPa.

Ep1.19 Observe a Figura Ep1.17, na qual há dois tanques cilíndricos de mesma altura. Sabe-se que a pressão atmosférica local é igual a 100 kPa, a temperatura ambiente é igual a 20ºC, A = 1,0 m, B = 3,0 m, L = 5 m, D_1 = 0,2 m, D_2 = 0,5 m, a massa específica da água é igual a 1000 kg/m³ e a do óleo é igual a 800 kg/m³. Suponha que, inicialmente, as válvulas 1 e 2 estão abertas e que a 3 está fechada, de forma que a pressão do ar nos tanques 1 e 2 sejam iguais à atmosférica. Nessa situação, as válvulas 1 e 2 são fechadas e, a seguir, a válvula 3 é ligeiramente aberta, de forma a injetar ar no tanque 1, aumentando a sua pressão e fazendo com que o nível superior do óleo fique 20 cm abaixo do nível da água no tanque 2. Considerando que a temperatura de todos os fluidos seja mantida igual a 20º C durante o processo, pede-se para determinar a pressão manométrica final do ar em cada um dos tanques.

Ep1.20 Na Figura Ep1.17, há dois tanques cilíndricos de mesma altura. Sabe-se que a pressão atmosférica local é igual a 100 kPa, A = 1,0 m, B = 3,0 m, L = 5 m, D_1 = 0,2 m, D_2 = 0,5 m, a massa específica da água é igual a 1000 kg/m³ e a do óleo é igual a 800 kg/m³. Considere que, inicialmente, as válvulas 1 e 2 estão abertas e a 3 está fechada. Nessa situação, a válvula 1 é fechada e a válvula 3 é aberta, permitindo a passagem de ar comprimido para o tanque 1 até que a pressão do ar no tanque 1 seja tal que toda a água seja transferida para o tanque 2, restando no tanque 1 apenas óleo. Pede-se para determinar a pressão absoluta final do ar no tanque 1 e a cota C ao final do processo.

Resp.: 134,1 kPa; 4,28 m.

Ep1.21 Nas cavidades A e B do recipiente ilustrado na Figura Ep1.21, tem-se ar. Sabe-se que a = 30 cm, b = 30 cm e c = 60 cm. Sabendo que a pressão atmosférica local é igual a 720 mmHg e que a densidade relativa do mercúrio é igual a 13,55, pede-se para determinar:

a) A pressão absoluta do ar na cavidade A.

b) A leitura do manômetro M_1.

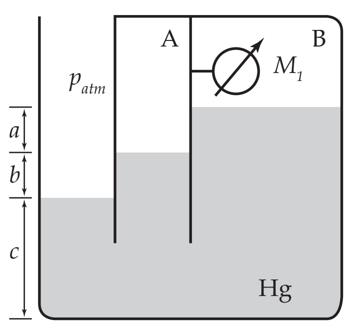

Figura Ep1.21

Resp.: 55,8 kPa; 39,9 kPa.

Ep1.22 Observe a Figura Ep1.22. Nela, uma quantidade de ar permanece aprisionada por um reservatório metálico com peso próprio igual a 800 N, formando uma interface com área de 0,10 m² com a água. Sabe-se que a massa específica da água é igual a 998,2 kg/m³ e que a do mercúrio é igual a 13550 kg/m³. Desprezando o peso próprio da massa de ar e o do manômetro, determine:

a) A pressão manométrica do ar aprisionado.

b) A cota x.

c) A cota h.

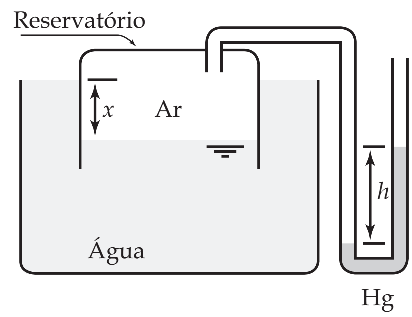

Figura Ep1.22

Resp.: 8,00 kPa; 0,817 m; 60,2 mm.

Ep1.23 Na Figura Ep1.23, há um tanque rígido dotado de uma placa interna que o divide em duas partes. Na parte superior, tem-se água pressurizada por ar e, na parte inferior, tem-se óleo. Sabe-se que as densidades relativas da água, óleo e mercúrio são, respectivamente: 1,0, 0,8 e 13,6. Sabe-se também que a = 0,3 m, b = c = 1,0 m, h = 0,3 m e que o manômetro M_1 indica a pressão 50 kPa. Observando que o mercúrio é o fluido manométrico, pede-se para determinar a pressão indicada pelo manômetro M_2.

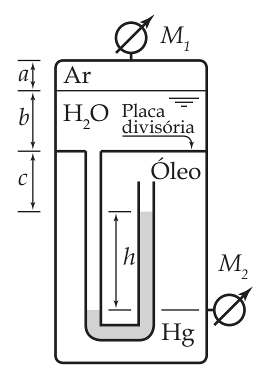

Figura Ep1.23

Resp.: 34,9 kPa.

Ep1.24 Na Figura Ep1.24, tem-se um fluido desconhecido mantido sob pressão com ar comprimido. Sabe-se que A = 700 mm, B = 300 mm e que a pressão manométrica do ar comprimido é igual a 3,0 mca. Considerando que a densidade relativa do mercúrio é igual a 13,6, calcule o peso específico do fluido desconhecido.

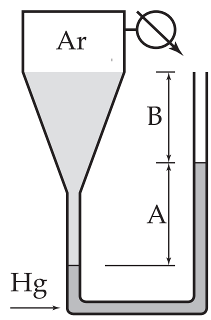

Figura Ep1.24

Resp.: 63,96 kN/m³.

Ep1.25 Observe a Figura Ep1.25, na qual há dois tanques cilíndricos de mesma altura. Sabe-se que a pressão atmosférica local é igual a 100 kPa, a temperatura ambiente é igual a 20°C, A=1,0 m, B=3,0 m, C=4,8 m, L=5 m, D_1 = 0,2 m, D_2 = 0,5 m, a massa específica da água é igual a 1000 kg/m³ e a do óleo é igual a 800 kg/m³.

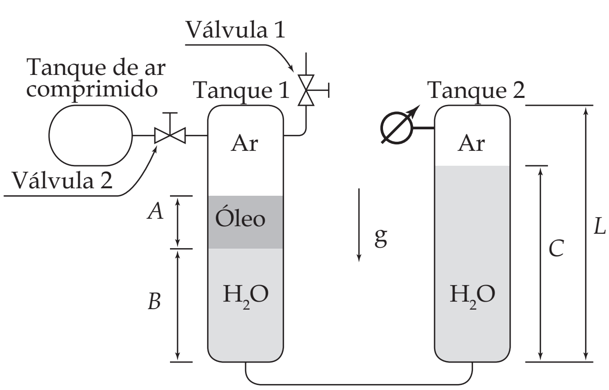

Figura Ep1.25

Supondo-se que as válvulas 1 e 2 estão fechadas e que a pressão manométrica do ar no tanque 1 é igual 100 kPa, determine a pressão absoluta do ar no tanque 2.

Resp.: 190,2 kPa.

Ep1.26 O tanque da Figura Ep1.26 contém ar e água a 20°C. Sabendo que a = 1,0 m, b = 1,5 m; c = 2,0 m, a pressão indicada pelo manômetro M_1 é igual a 1,3 bar e a pressão atmosférica local é igual a 95 kPa, pede-se para determinar as pressões lidas pelos manômetros M_2 e M_3 e a pressão absoluta no fundo do tanque.

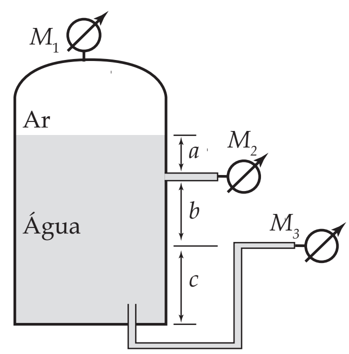

Figura Ep1.26

Resp.: 139,8 kPa; 154,5 kPa; 249,5 kPa.

Ep1.27 Na Figura Ep1.27, tem-se um manômetro de mercúrio que foi acidentalmente contaminado com água e óleo. Sabe-se que b = 20 cm, d = 10 cm e c = 50 cm. Considerando que o óleo tem densidade relativa igual a 0,82 e que o manômetro está a 20°C, pede-se para determinar a altura a.

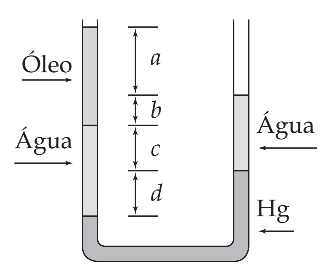

Figura Ep1.27

Ep1.28 Se na Figura Ep1.27 a = 1,0 m, b = 0,5 m e c = 0,2 m, qual deve ser o valor de d? Considere que o óleo tem densidade relativa igual a 0,82 e que o manômetro está a 20ºC.

Ep1.29 Na Figura Ep1.29, a = 1,0 m, b = 0,8 m, c = 1,6 m, d = 1,4 m, f = 0,5 m e o desnível lido no manômetro em U é e = 0,8 m. Considerando que o óleo tem densidade relativa igual a 0,82 e que o manômetro está a 20ºC, pede-se para determinar a leitura dos manômetros M_1 e M_2.

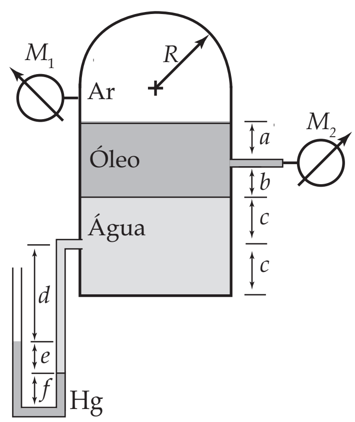

Figura Ep1.29

Resp.: 54,7 kPa; 62,7 kPa.

Ep1.30 Na Figura Ep1.29, a = 1,0 m; b = 0,8 m; c = 1,6 m; d = 1,4 m, f = 0,5 m e o desnível lido no manômetro é e = 0,8 m. Suponha que o óleo tem densidade relativa igual a 0,82, o raio do tanque é igual a 0,8 m, o volume inicial de ar armazenado no tanque é igual a 2,5 m³ e o manômetro está a 20ºC. Nessas condições, sabendo-se que a pressão atmosférica local é igual a 100 kPa, impedindo-se a entrada de ar no tanque e mantendo-se a temperatura no seu interior constante, drena-se água do tanque até que a leitura do manômetro seja reduzida a e = 0,6 m. Pede-se para determinar as novas pressões indicadas pelos manômetros M_1 e M_2 ao final desse processo.

Ep1.31 Uma empresa pretende transportar um fluido com peso específico igual a 22 kN/m³ através de uma tubulação. Para tal, esse fluido é previamente armazenado em um tanque rígido pressurizado com ar comprimido. Veja a Figura Ep1.31. Ao abrir a válvula, o fluido escoa para a tubulação, e a pressão do ar no tanque diminui. Considere que, inicialmente, a válvula está fechada, a pressão manométrica do ar é igual a 6,1 bar e a pressão do fluido indicada pelo manômetro M_2 é igual a 6,6 bar. A válvula é aberta por um determinado intervalo de tempo, é fechada a seguir e, então, a pressão lida no manômetro M_2 torna-se igual a 3,0 bar. Sabe-se que o processo pode ser tratado como sendo isotérmico, que o diâmetro do tanque é igual a 2,0 m, b = 20 cm e que o volume interno total do tanque é igual a 10,0 m³. Pede-se para determinar o volume de fluido retirado do tanque.

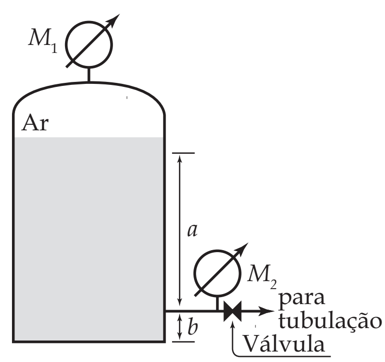

Figura Ep1.31

Resp.: 2,82 m³.

Ep1.32 Nas câmaras A e B da Figura Ep1.32, tem-se ar. Sabe-se que a densidade relativa do mercúrio é igual a 13,55 e que o manômetro M_1 indica a pressão de

0,5 kPa, que b = 400 mm e que c = 600 mm. Determine o valor da pressão indicada pelo manômetro M_2 e o valor da cota a.

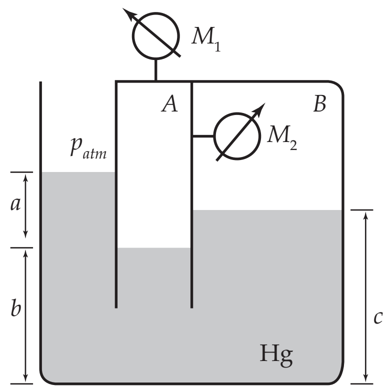

Figura Ep1.32

Ep1.33 Nas câmaras A e B da Figura Ep1.33, tem-se ar. Sabe-se que a densidade

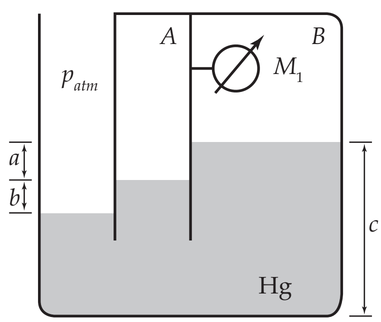

Figura Ep1.33

relativa do mercúrio é igual a 13,6 e que $a = b$ = 300 mm e c = 1000 mm. Se a pressão atmosférica local é igual a 94 kPa, determine o valor da pressão indicada pelo manômetro M_1 e as pressões absolutas do ar nas câmaras A e B.

Resp.: 40,03 kPa; 53,98 kPa; 13,95 kPa.

Ep1.34 Nas câmaras A e B da Figura Ep1.34, tem-se ar. Sabe-se que o êmbolo com massa m = 10 kg pode deslizar sem atrito no tubo cujo diâmetro interno é igual a 10 cm. Sabe-se que a = 500 mm. Determine as pressões manométricas do ar em A e em B.

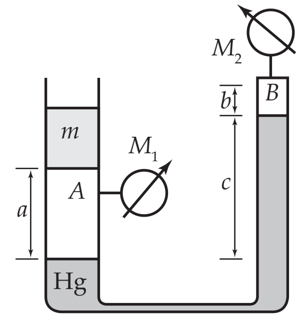

Figura Ep1.34

Resp.: 12,49 kPa; -53,97 kPa.

Ep1.35 O tanque da Figura Ep1.35 contém ar, água e mercúrio a 20ºC. Sabendo que h = 1,2 m, a = 4,0 m, b = 0,8 m, c = 1,0 m, que a pressão atmosférica local é igual a 720 mmHg e o diâmetro do tanque é igual a 1,2 m, pede-se para determinar:

a) A pressão absoluta do ar armazenado no tanque.
b) A pressão manométrica exercida pelo mercúrio no fundo do tanque.
c) A nova leitura do manômetro em U observada após a válvula de descarga do tanque ser utilizada para reduzir a cota b à metade, em condição de processo isotérmico.

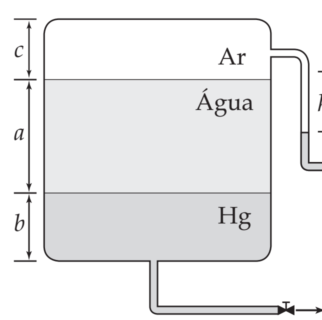

Figura Ep1.35

Resp.: 255,2 kPa; 305,0 kPa; 0,88 m.

Ep1.36 Nas câmaras A e B da Figura Ep1.34, tem-se ar. Sabe-se que o êmbolo com massa m = 10 kg pode deslizar sem atrito no tubo cujo diâmetro interno é igual a 10 cm e que a = 100 mm. Suponha que, nessa condição, seja aplicada uma massa adicional de 10,0 kg sobre o êmbolo, o que promove o aumento da pressão do ar. No início desse processo, todo o conjunto está a 20ºC, o volume do ar presente na câmara A é o quádruplo do volume presente na câmara B e c = 200 mm. Considerando que o processo causado pela adição da massa de 10,0 kg seja isotérmico, que a pressão atmosférica local é igual a 100 kPa e que o diâmetro interno da câmara B é igual à metade do diâmetro do êmbolo, determine as pressões manométricas do ar em A e em B ao final do processo.

Ep1.37 Observe a Figura Ep1.37. As densidades relativas do mercúrio e da água são d_{Hg} = 13,55 e d_{H2O} = 1,0. São dados: a = 1,8 m; b = 5,0 m; c = 1,3 m; d = 2,8 m e e = 1,7 m. Determine a pressão manométrica do ar e as pressões indicadas pelos manômetros M_2 e M_3.

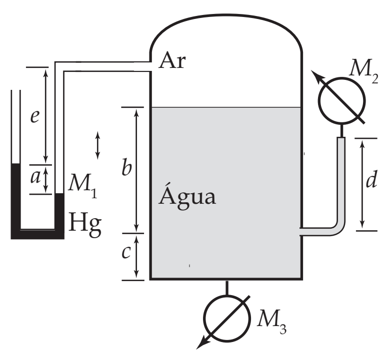

Figura Ep1.37

Ep1.38 Em um determinado processo produtivo, um vaso de aço inoxidável é preenchido com uma substância líquida com densidade relativa igual a 2,7. O peso do conjunto vazio é igual a 600 N, sendo que o peso da parte cônica é igual a 240 N. Considere que R = 0,60 m, $d = R/20$ e que a conexão entre a parte cônica e a superior é realizada por meio de 24 parafusos. Pede-se para calcular a força que cada parafuso deve exercer para sustentar a parte cônica e os efeitos da pressão do fluido. Pede-se também para determinar a pressão manométrica na seção de admissão da válvula quando ela estiver fechada.

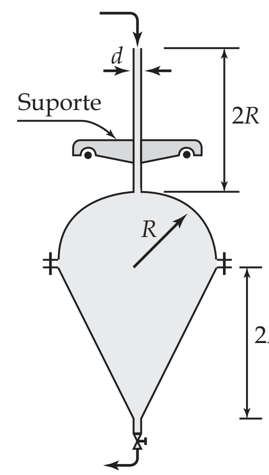

Figura Ep1.38

Resp.: 2,76 kN; 79,5 kPa

Ep1.39 Um tanque cilíndrico com raio igual a 1,2 m contém ar, inicialmente, na pressão absoluta de 2 bar e a 20ºC. Veja a Figura Ep1.39. Mantendo a válvula fechada, óleo com densidade relativa igual a 0,82 é bombeado vagarosamente para o interior do tanque até ocupar 2/3 do seu volume, em um processo que pode ser considerado isotérmico.

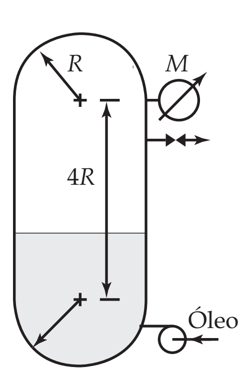

Figura Ep1.39

Sabendo-se que a pressão atmosférica local é igual a 95 kPa, pede-se para determinar, ao final do processo, a pressão absoluta exercida pelo óleo no fundo do tanque e a pressão lida pelo manômetro *M*.

Ep1.40 O tanque cilíndrico da Figura Ep1.40, com raio igual a 0,6 m, contém óleo com massa específica igual a 810 kg/m³. Em um determinado instante, a pressão lida pelo manômetro M_1 é igual a 220 kPa e a pressão lida pelo manômetro M_2 é igual a 230 kPa. Nessa condição, a válvula é aberta, permitindo que o óleo seja lentamente descarregado do tanque, sendo que a válvula é fechada quando a pressão lida pelo manômetro M_2 é reduzida a 150 kPa. Considerando que o processo é isotérmico, pede-se para determinar a massa de óleo descarregada. Considere que a pressão atmosférica local é igual a 95 kPa.

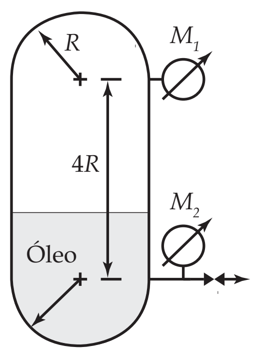

Figura Ep1.40

Resp.: 449,8 kg.

Ep1.41 Observe a Figura Ep1.41. Nela o tanque *A*, com diâmetro igual a 20 cm, está instalado no interior do tanque *B*, cuja pressão interna é medida pelo manômetro M_1, que indica a pressão manométrica de 120 kPa. Sabe-se que: a = 10 cm, $b = c = d$ = 20 cm, e = 30 cm, h = 10 cm e que o fluido manométrico é mercúrio. Considerando que as densidades relativas do mercúrio e da água são iguais a 13,55 e 1,0 e que a pressão atmosférica local é igual a 700 mmHg, pede-se para determinar: as pressões absolutas do ar armazenado no tanque *A* e no *B*; a pressão absoluta do mercúrio na seção de entrada da válvula; a pressão indicada pelo manômetro M_2; e a pressão manométrica (em relação à pressão atmosférica local) que a água exerce na superfície do mercúrio.

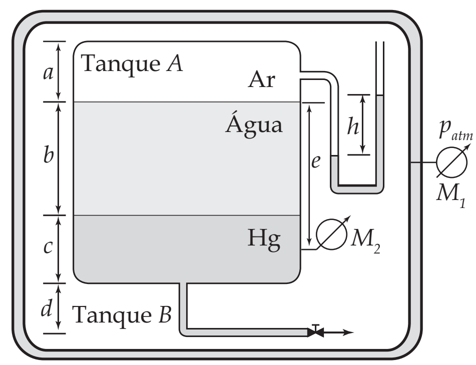

Figura Ep1.41

Resp.: 226,3 kPa; 213,0 kPa; 281,5 kPa; 28,5 kPa; 135,3 kPa.

Ep1.42 Em uma câmara pressurizada a 20°C, um barômetro instalado em seu interior apresenta a leitura de 1180 mmHg. No interior dessa câmara, existe um equipamento internamente pressurizado no qual se encontra instalado um manômetro de Bourdon, que mede a pressão no interior do equipamento e está exposto à pressão reinante na câmara.

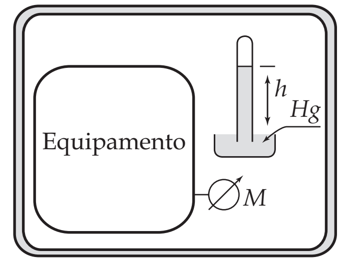

Figura Ep1.42

Esse manômetro indica a pressão de 450 kPa. Determine a pressão absoluta no interior do equipamento.

Resp.: 71,0 kPa; 162,0 kPa; 152,8 kPa.

Ep1.43 O escoamento de um fluido, com massa específica igual a 780 kg/m³, através do sifão da Figura Ep1.43 encontra-se interrompido pelo fechamento de uma válvula. Sabe-se que M = 1,0 m, N = 3,0 m, L = 0,5 m, S = 1,2 m e que a pressão atmosférica local é igual a 94 kPa. Determine a pressão absoluta do fluido na seção mais elevada do sifão, na seção de entrada da válvula e no fundo do tanque.

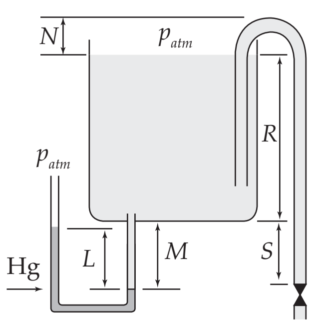

Figura Ep1.43

Resp.: 71 kPa; 162 kPa; 152,8 kPa.

Ep1.44 Observe a Figura Ep1.44. Sabe-se que a = 0,2 m, b = 1,8 m, c = 2,5 m, d = 0,5 m, e = 1,6 m.

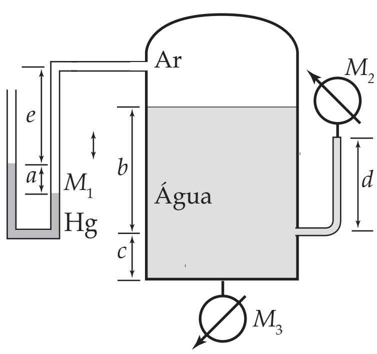

Figura Ep1.44

Sabe-se também que as densidades relativas da água e do mercúrio são iguais, respectivamente, a 1,0 e 13,55. Determine as pressões indicadas pelos manômetros M_1, M_2 e M_3.

Ep1.45 Sabendo-se que a pressão atmosférica local é igual a 95 kPa, que a densidade relativa do mercúrio é igual a 13,55 e a da água é igual a 1, pede-se para determinar a pressão manométrica e a absoluta do ar contido no recipiente da Figura Ep1.45. Considere que a = 1,3 m, b = 0,5 m e h = 0,3 m.

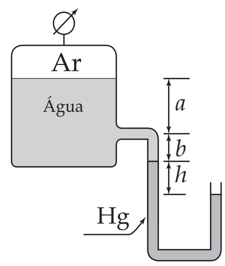

Figura Ep1.45

Resp.: –57,5 kPa; 37,5 kPa.

Ep1.46 Observe o manômetro inclinado ilustrado na Figura Ep1.46. Pretende-se medir a pressão manométrica máxima de ar presente na câmara A, que deve ser igual a 2,0 kPa. Sabendo que o diâmetro D é muito maior do que o diâmetro do tubo, que M = 1,0 m e que o fluido manométrico é um óleo com densidade relativa igual a 0,82, pede-se para avaliar a deflexão esperada.

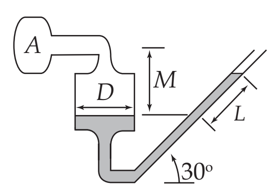

Figura Ep1.46

Resp.: 497 mm.

Ep1.47 Um manômetro em U foi construído com tubos cujos diâmetros são desiguais. Veja a Figura Ep1.47. O diâmetro maior é igual a 10 mm, e o menor, igual a 5 mm. Considere que o fluido manométrico é mercúrio com densidade relativa igual a 13,55 e que se pretende usá-lo para determinar a pressão de ar. Se o desnível observado no manômetro for igual a 120 mm e se $a = 200$ mm, qual é o valor da pressão manométrica medida? Se a válvula for aberta permitindo que a pressão em A se torne igual à atmosférica, qual será o novo valor de L?

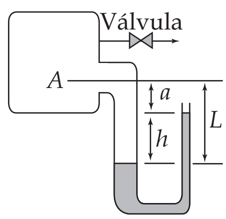

Figura Ep1.47

Resp.: 15,95 kPa; 296 mm.

Ep1.48 Um manômetro em U foi construído com tubos cujos diâmetros são desiguais. Veja a Figura Ep1.48. O diâmetro maior é igual a 10 mm, e o menor, igual a 5 mm. Considere que o fluido manométrico é mercúrio com densidade relativa igual a 13,55 e que se pretende usá-lo para determinar a pressão de água a 20ºC no nível A. Se o desnível observado no manômetro for igual a 120 mm e se $a = 200$ mm, qual é o valor da pressão manométrica medida? Se a válvula for aberta permitindo que a pressão em A se torne igual à atmosférica, qual será o novo valor de L?

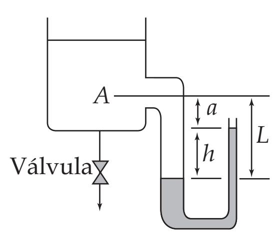

Figura Ep1.48

Resp.: 12,82 kPa; 300 mm.

Ep1.49 Um manômetro em U foi construído com tubos cujos diâmetros são desiguais. Veja a Figura Ep1.47. O diâmetro maior é igual a 15 mm, e o menor, igual a 5 mm. Considere que o fluido manométrico é mercúrio com densidade relativa igual a 13,55 e que se pretende usá-lo para determinar a pressão de água salgada com densidade relativa igual a 1,1. Se o desnível observado no manômetro for igual a 180 mm e se $a = 200$ mm, qual é o valor da pressão manométrica medida?

Resp.: 19,8 kPa

Ep1.50 Observe a Figura Ep1.50. Nela há um recipiente com ar, óleo e água conectado a outro no qual existe um barômetro cujo fluido barométrico é o mercúrio, com densidade relativa igual a 13,55. Sabe-se que: $a = 1{,}0$ m; $b = 3{,}0$ m; $c = 2{,}5$ m; $d = 1{,}0$ m; $e = 2{,}5$ m; $f = 0{,}5$ m; $h = 0{,}6$ m; o fluido manométrico também é o mercúrio; a densidade relativa do óleo é 0,82 e a da água é 1,0. Considerando que a pressão atmosférica local é igual a 100 kPa e que a válvula está fechada, pede-se para determinar:

a) A pressão manométrica da água na entrada da válvula.
b) A pressão manométrica do ar.
c) A altura de coluna de fluido no barômetro.

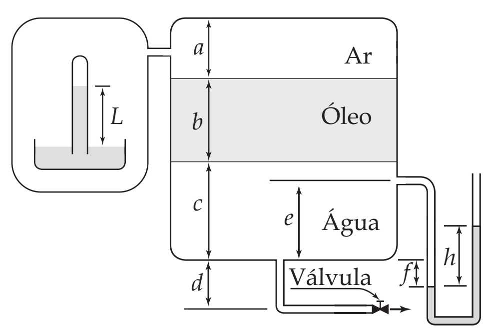

Figura Ep1.50

Resp.: 84,7 kPa; 26,2 kPa; 0,949 m.

Ep1.51 Ao recipiente ilustrado na Figura Ep1.51 está conectado um manômetro em U que tem um dos seus ramos em contato com o ar ambiente. O recipiente é dotado de duas placas divisórias que criam, na parte superior interna do recipiente, três regiões nas quais há ar. São dados: a = 10 cm, b = 20 cm, c = 30 cm, d = 15 cm, e = c. Sabendo que a densidade relativa do mercúrio é igual a 13,6, pede-se para determinar as pressões indicadas pelos manômetros M_1, M_2 e M_3 indicados na figura.

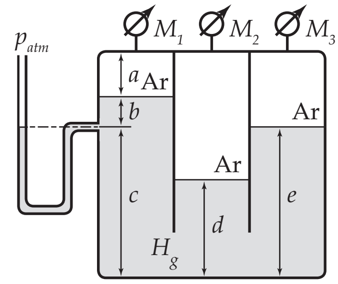

Figura Ep1.51