

FENOMENOS DE TRANSPORTE

2º Semestre de 2011

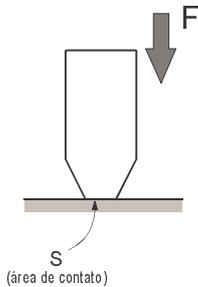
Prof. Maurício Fabbri

© 2006-11

3ª SÉRIE DE EXERCÍCIOS

Hidrostática
Hidrodinâmica

(I) PRESSÃO



$$P = \frac{F}{S}$$

força
área

UNIDADES:

Pascal : $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$

$1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$

$1\text{psi} = 1\text{libra/pol}^2 = 6895\text{Pa}$

$1\text{atm} = 1,013 \times 10^5\text{Pa} = 1,013\text{bar} = 14,7\text{lb/pol}^2$

$1\text{mmHg} = 1\text{torr} = 133,3\text{Pa}$

$1\text{atm} = 760\text{mmHg}$

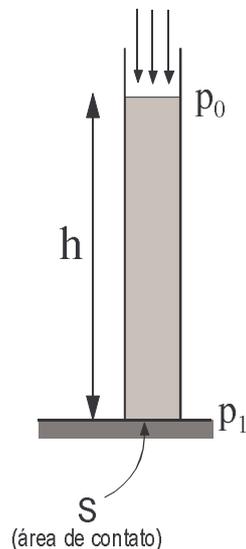
Exercício 1. Que força deve ser feita ao pressionar um alfinete sobre uma superfície rígida, de modo a exercer uma pressão de 30 lb/pol^2 ? Suponha que a ponta do alfinete seja um círculo de raio $0,1\text{mm}$. (resposta com dois significativos)

Resp.: $0,0065\text{N}$ (correspondente a $\approx 0,65$ gramas)

Exercício 2. A pressão atmosférica, ao nível do mar, é cerca de 10^5 Pa . Qual a força que a atmosfera exerce sobre a superfície de um ladrilho quadrado com 10cm de lado?

Resp.: 1000N (correspondente a $\approx 100\text{Kg}$)

(II) PRESSÃO EXERCIDA POR UMA COLUNA DE LÍQUIDO



p_0 = pressão sobre a superfície livre do líquido

p_1 = pressão exercida na base

h = altura da coluna de líquido

ρ = densidade do líquido

$$p_1 = p_0 + \rho gh$$

(Lei de Stevin)

g = aceleração da gravidade ($9,8\text{ m/s}^2$)

OBS.: $1\text{N} = 1\text{ kg.m/s}^2$

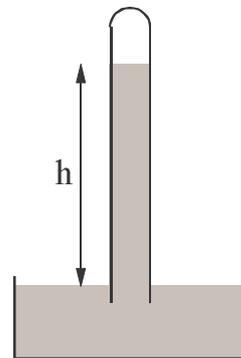
A *pressão manométrica* é a diferença entre a pressão absoluta e a pressão atmosférica. No caso de colunas de líquido, a pressão manométrica é também chamada de pressão hidrostática. A pressão hidrostática na base de uma coluna de líquido de altura h é igual a ρgh .

Exercício 3. Qual a pressão sobre a base exercida por uma coluna vertical de água com 2m de altura, aberta no topo? (use $g = 9,8\text{ m/s}^2$, e dê a resposta em atm com dois significativos)

Resp.: absoluta: $1,2\text{atm}$ manométrica: $0,2\text{atm}$

Exercício 4. (TORRICELLI) Um tubo cheio de mercúrio é emborcado verticalmente sobre um reservatório. Evita-se a entrada de ar no tubo. Qual a altura de equilíbrio do mercúrio no tubo? (a densidade do mercúrio é $13,6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$). Use $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, e dê a resposta com três significativos.

Resp.: 760 mm



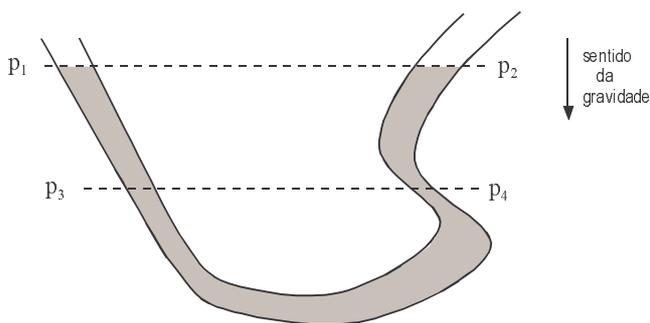
OBS.: Torricelli utilizou o mercúrio nesse experimento porque (1) a densidade do mercúrio é alta, e assim a altura de equilíbrio não é muito grande, e (2) a pressão de vapor do mercúrio é muito pequena; se fosse utilizado um líquido comum, o espaço vazio no topo do tubo seria preenchido com vapor. O inconveniente sério é que o mercúrio é altamente tóxico. Muitos cientistas antigos (inclusive Newton) sofreram conseqüências graves por intoxicação.

Exercício 5. A densidade média da água do mar é $1,03 \text{ g/cm}^3$. A que profundidade a pressão atinge 100 atmosferas?

Resp.: 994m

(III) O PRINCÍPIO DOS VASOS COMUNICANTES

A pressão exercida sobre os pontos de um fluido em repouso é constante sobre uma mesma horizontal.



$$p_1 = p_2$$

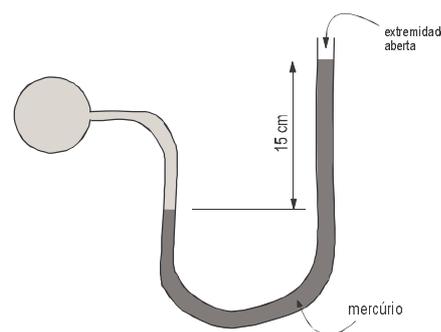
$$p_3 = p_4$$

·

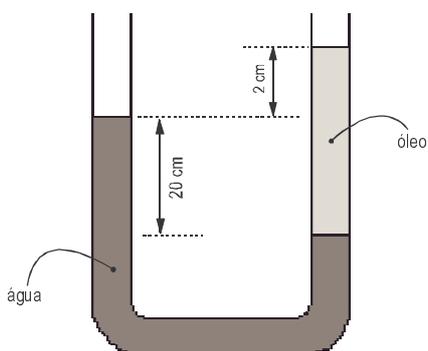
·

·

Exercício 6. (MANÔMETRO) Qual a pressão exercida pelo gás que está confinado no balão?



Resp.: 910mmHg ou 1,20 atm



Exercício 7. A diferença de nível é de 2cm. Qual a densidade do óleo utilizado?

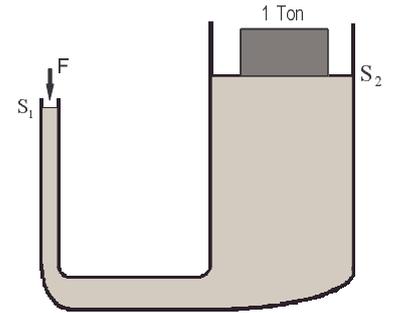
Resp.: 0,91 g/cm³

(IV) O PRINCÍPIO DE PASCAL

Um líquido em equilíbrio transmite integralmente acréscimos de pressão a todos os seus pontos.

Exercício 8. (elevador hidráulico) Se a área do êmbolo S_1 é 5 cm^2 e da plataforma S_2 é 6 m^2 , qual a força mínima que deve ser exercida no êmbolo de modo a erguer o carro de 1 Ton ?

Resp.: 83g (correspondente a 0,82N)



(V) EMPUXO E O PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

Um corpo mergulhado em um líquido fica sujeito a uma força de baixo para cima (contrária à gravidade), chamada *empuxo*.

O empuxo é igual ao peso do líquido que foi deslocado pelo corpo.

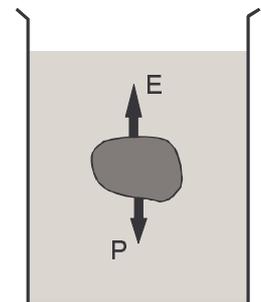
Seja

- V o volume total do corpo
- V_s o volume do corpo que fica submerso
- ρ a densidade do corpo
- ρ_{liq} a densidade do líquido

A força de empuxo é dada por $E = \rho_{\text{liq}} g V_s$, onde g é a aceleração da gravidade.

Um corpo maciço vai flutuar se $\rho < \rho_1$, e vai afundar se $\rho > \rho_1$

Se o corpo for oco, ele pode flutuar mesmo que a densidade do material de que é feito seja maior do que a densidade do líquido (por isso navios flutuam !).

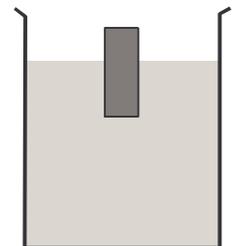


P = peso do corpo
 E = empuxo

OBS.: O peso de um corpo de massa m é dado por $P = mg$, onde g é a aceleração da gravidade. Próximo à superfície da Terra, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Em unidades SI, a massa é dada em quilogramas (kg) e o peso em Newtons (N).

Exercício 9. Um pino maciço de madeira (densidade 680 kg/m^3), de altura 6cm, flutua sobre a água na posição vertical. Qual o comprimento do pino que fica submerso?

Resp.: 4,1 cm



Exercício 10. Uma lata de altura externa 15cm e diâmetro externo 10cm é feita de latão (densidade $8,6 \text{ g/cm}^3$) com espessura de 2mm. Ela é posta a flutuar sobre a água. Qual a altura que fica submersa?

Resp.: 11,7cm

(VI) EXERCÍCIOS VARIADOS

Ex. 11)⁴ Uma caixa d'água de $(1,2 \times 0,5)$ m e altura de 1m pesa 540 Kg.

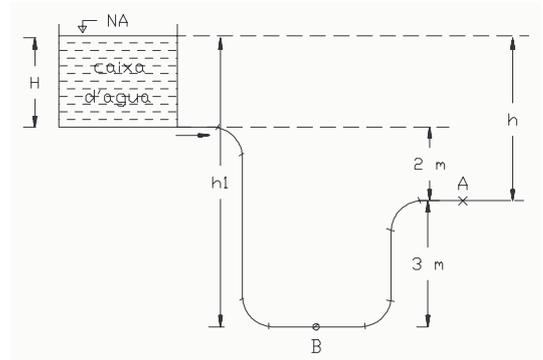
Calcule a pressão manométrica, em psi, que ela exerce sobre o solo: a) vazia b) cheia

Resp.: (a) 1,28psi (b) 2,70psi

Ex. 12)⁴ A pressão da água numa torneira fechada (A) é de $2,8 \text{ N/cm}^2$. Se a diferença de nível entre (A) e o fundo da caixa é de 2m, Calcular:

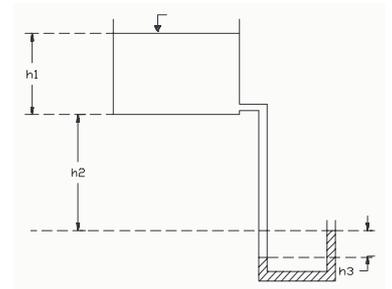
- a) a altura da água (H) na caixa
b) a pressão no ponto (B), situado 3 m abaixo de (A)

Resp.: (a) 86cm (b) $5,7 \text{ N/cm}^2$



Ex. 13)⁴ Um manômetro diferencial de mercúrio (densidade 13.600 kg/m^3) é utilizado como indicador do nível de uma caixa d'água, conforme ilustra a figura ao lado. Qual o nível da água na caixa (h1) sabendo-se que $h_2 = 15 \text{ m}$ e $h_3 = 1,3 \text{ m}$?

Resp.: (a) 1,4m



Ex. 14) (a) Uma esfera oca de plástico de diâmetro externo 20cm e espessura 1cm flutua na água. 2/3 do seu volume fica submerso. Qual a densidade do plástico?

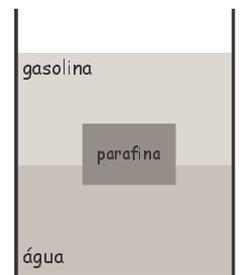
Resp.: $2,5 \text{ g/cm}^3$.

(b) Qual deveria ser a espessura dessa esfera para que metade de seu volume ficasse submerso?

Resp.: 7,2mm

Ex. 15) O bloco de parafina tem densidade $0,78 \text{ g/ml}$. Ele afunda na gasolina (densidade $0,74 \text{ g/ml}$), mas flutua na água. Qual a porcentagem do volume do bloco de parafina que fica submerso na água? E se retirarmos a gasolina?

Resp.: 15%; 78%



Ex. 16)⁴ Uma superfície vertical quadrada com 1.80m de lado tem aresta horizontal superior à flor d'água.

A que profundidade se deve traçar uma linha horizontal, que a divida em duas partes sujeitas à mesma força de pressão? Resp.: 93,6cm, considerando pressão absoluta; 1,273m, considerando pressão hidrostática

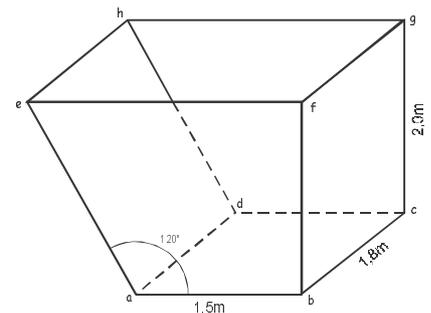
Ex. 17) A caçamba ao lado está cheia de água. Calcule a força hidrostática sobre:

- (a) O fundo da caçamba **abcd**
(b) A parede direita **bcfg**
(c) A parede inclinada **adhe**

Resp.: (a) $5,3 \times 10^4 \text{ N} \cong 5,4 \text{ Ton}$

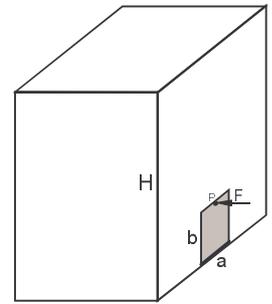
(b) $3,5 \times 10^4 \text{ N} \cong 3,6 \text{ Ton}$

(c) $4,1 \times 10^4 \text{ N} \cong 4,2 \text{ Ton}$



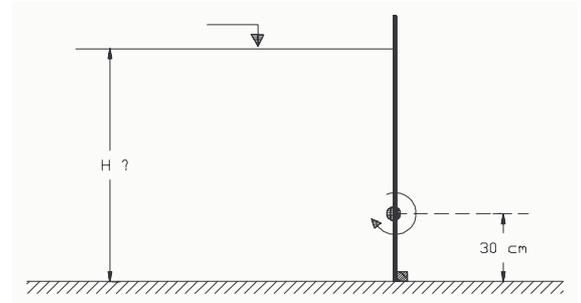
Ex. 18) Uma caixa de água com profundidade $H = 2,5\text{m}$ é equipada com uma portinhola vedada, de dimensões $a = 30\text{cm}$ e $b = 45\text{cm}$, que abre com uma dobradiça em a . Estime a força F , perpendicular à parede, que deve ser feita no ponto P , de modo a manter a portinha fechada quando a caixa estiver completamente cheia. Use $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Resp.: $1,5\text{kN}$ ($\cong 150\text{kg}$)



Ex. 19)⁴ Determinar a altura da lâmina d'água (H) para que a comporta automática se abra, sabendo-se que a altura da articulação em relação ao solo é de 30 cm .

Resp.: 90cm



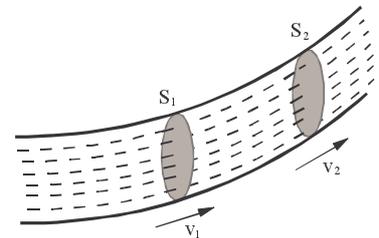
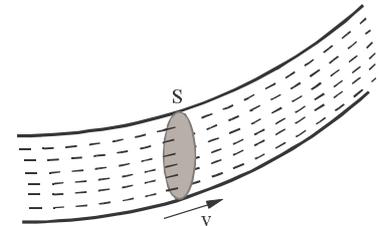
(VII) ESCOAMENTOS SIMPLES DE FLUIDOS

Vazão volumétrica

ϕ = volume de fluido por segundo que atravessa a área de secção transversal S

v = velocidade do fluido quando passa por S

$$\phi = S \cdot v$$



Continuidade

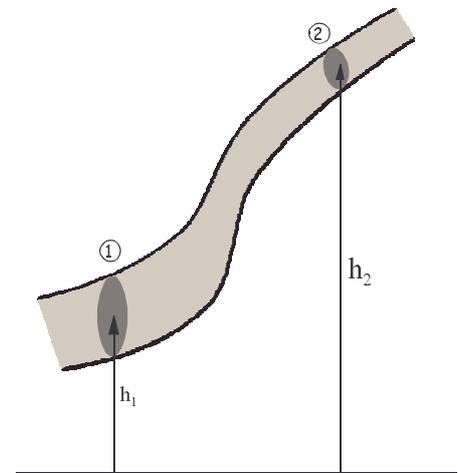
Se o fluido for incompressível, $S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$

Equação de Bernoulli

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

(válida para escoamento laminar estacionário de fluido não-viscoso e incompressível)

p = pressão local
 v = velocidade local
 h = altura local do centro de massa
 g = aceleração da gravidade
 ρ = densidade do fluido



Ex. 20)⁴ Um conduto de 100 mm de diâmetro tem uma descarga de 6 litros/s . Qual a velocidade média de escoamento? Resp.: 76cm/s

Ex. 21) Dois litros de água por segundo entram pelo cano maior, de diâmetro 15cm, com pressão de 10atm.



- (a) Calcule a velocidade de entrada da água em metros por segundo
 (b) Calcule com que velocidade e pressão a água passa pelo cano menor, de diâmetro 8cm
 (c) Repita os cálculos para uma vazão de entrada de 40 litros por segundo a 1atmosfera

(respostas com três significativos)
 Despreze a perda de carga

Resp.: (a) 0,113 m/s (b) 0,398m/s e 10,0 atm (c) 2,26m/s 7,96m/s 0,713atm

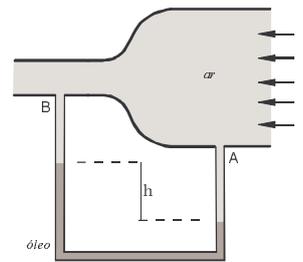
Ex. 22) (Young & Freedman) A água entra em uma casa através de um cano com diâmetro interno de 2,0cm com uma pressão absoluta igual a $4,0 \times 10^5$ Pa (cerca de 4atm). Um cano com diâmetro interno de 1,0cm se liga ao banheiro do segundo andar a 5,0m de altura. Sabendo que no tubo de entrada a velocidade é igual a 1,5m/s, ache a velocidade de escoamento, a pressão e a vazão volumétrica no banheiro em litros por segundo. Respostas com dois significativos. Despreze a perda de carga.

Resp.: 6m/s ; $3,3 \times 10^5$ Pa ; 0,47 litros/segundo

Ex. 23) No medidor Venturi da figura, o desnível h é de 12cm. Os diâmetros são de 15cm e 8cm. Estime a velocidade com que o ar entra por A, supondo que o fluxo é laminar.

Dados: $\rho_{oleo} = 0,96 \text{ g/cm}^3$; $\rho_{ar} = 1,2 \text{ kg/m}^3$. Use $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Despreze a compressibilidade do ar.



Resp.: 13m/s

REFERÊNCIAS

1. Young, H.D. e Freedman, R.A. *Física II*, Addison Wesley, 2003
2. Keller, J.K.; Gettys, W.E. e Skove, M.J. *Física*, Vol.1, Makron, 1997
3. Ramalho Jr., F.; Ferraro, N.G. e Toledo Soares, P.A. *Física I*, Ed. Moderna, 1993
4. Duarte, S.N.; Botrel, T.A. e Furlan, R.A., *Exercícios de Hidráulica*, ESALQ, 1966, <http://docentes.esalq.usp.br/tabotrel/>

© 2006-11 Mauricio Fabbri
 MCT/INPE: <http://www.las.inpe.br/~fabbri>
 Universidade São Francisco - USF
 Itatiba/Campinas - <http://www.saofrancisco.edu.br>
 São Paulo - Brazil
 Permitido uso livre para fins educacionais,
 sem ônus, desde que seja citada a fonte.