

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

LER 472 – HIDRÁULICA

Prof. Fernando Campos Mendonça

**ROTEIRO DE AULA**

- Recordar massa específica, peso específico e densidade

Tópicos da aula 2:

- Pressão e empuxo
- Empuxo em superfícies sólidas
- Pressão
  - Pressão relativa e pressão absoluta
  - Unidades de medida
  - Medidores
  - Cálculo em condutos interligados

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
 ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”  
 DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

LER 0472 – HIDRÁULICA  
 Prof. Fernando Campos Mendonça

Aula 2 – Hidrostática

**1. Pressão e Empuxo**

Pressão: força atuante em determinada área

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

Empuxo: força resultante da pressão sobre uma área

$$E = P \times A$$

Exemplo: empuxo atuante sobre uma comporta circular

Dados:

Pressão:  $P = 1000 \text{ kgf m}^{-2}$

Diâmetro:  $D = 0,3 \text{ m}$

Área:  $A = \frac{\pi D^2}{4} = 0,0707 \text{ m}^2$

Empuxo:  $E = P \times A$

$$E = 1000 \times 0,707$$

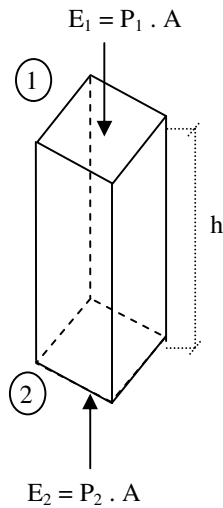
$$E = 70,7 \text{ kgf}$$

$$\text{SI: } E = 70,7 \times 9,81 = 693,6 \text{ N}$$

$$(1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N})$$

## 2. Pressão em uma coluna líquida (prisma)

Líquido em repouso (prisma uniforme)



Forças atuantes: empuxo ( $E_1$  e  $E_2$ ) e peso do líquido ( $F_P$ )

$$\text{Peso do líquido: } F_P = \gamma V_L$$

$F_P$  – peso (força), kgf

$\gamma$  - peso específico, kgf m<sup>-3</sup>

$$(\gamma_{\text{água}} = 1000 \text{ kgf m}^{-3} \text{ ou } 9810 \text{ N m}^{-3})$$

$V_L$  – volume, m<sup>3</sup>

$$V_L = h \cdot A$$

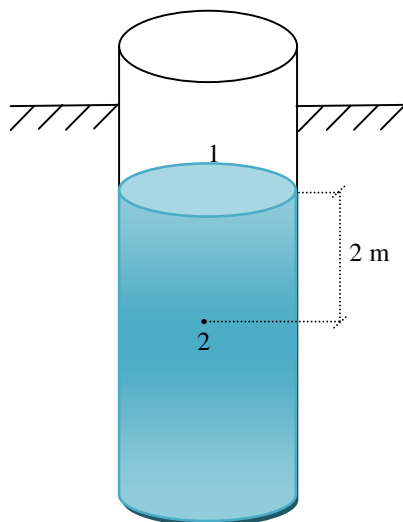
Líquido em repouso:  $\sum F = 0$

$$P_1 \cdot A + \gamma \cdot h \cdot A - P_2 \cdot A = 0$$

$$P_1 - P_2 = \gamma \cdot h$$

### Exemplos:

a) Pressão atuante em um ponto a 2 metros de profundidade em um poço de água.



Dados:

$$\gamma = 1000 \text{ kgf m}^{-3} \text{ ou } 9810 \text{ N m}^{-3}$$

$$h = 2 \text{ m}$$

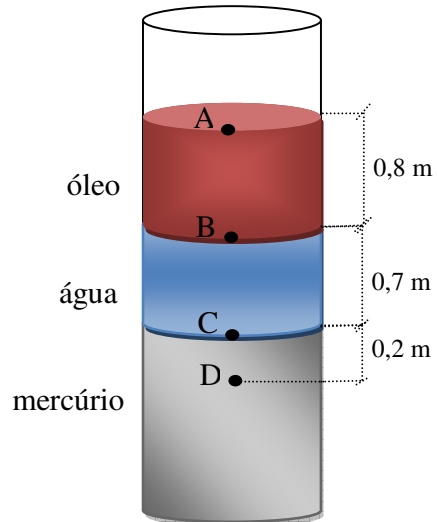
Cálculo:

$$P_2 - P_1 = \gamma \cdot h$$

$$P_1 = 0 \Rightarrow P_2 = 1000 \times 2 = 2000 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$(16620 \text{ N m}^{-2})$$

b) Calcular a pressão relativa nos pontos A, B, C e D do esquema a seguir:



Dados:

$$\gamma_{\text{óleo}} = 850 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$\gamma_{\text{água}} = 1000 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$\gamma_{\text{mercúrio}} = 13600 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$h_1 = 0,8 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,7 \text{ m}$$

$$h_3 = 0,2 \text{ m}$$

Cálculos:  $P = \gamma \cdot h$

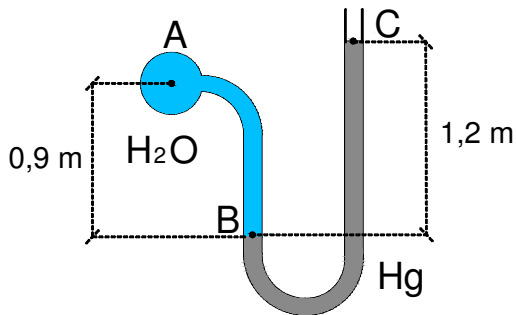
$$P_A = 0$$

$$P_B = P_A + 850 \times 0,8 = 680 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$P_C = P_B + 1000 \times 0,7 = 1380 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$P_D = P_C + 13600 \times 0,2 = 4100 \text{ kgf m}^{-2}$$

c) Calcular a pressão relativa no ponto A, no esquema a seguir:



Dados:

$$\gamma_{\text{água}} = 1000 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$\gamma_{\text{mercúrio}} = 13600 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$h_1 = 1,2 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,9 \text{ m}$$

Princípio dos vasos comunicantes: a pressão é igual em dois pontos de um mesmo líquido, situados no mesmo nível (posição vertical).

$$P_C = 0$$

$$P_B = P_C + \gamma_{\text{Hg}} \cdot h_1 = 0 + 13600 \times 1,2$$

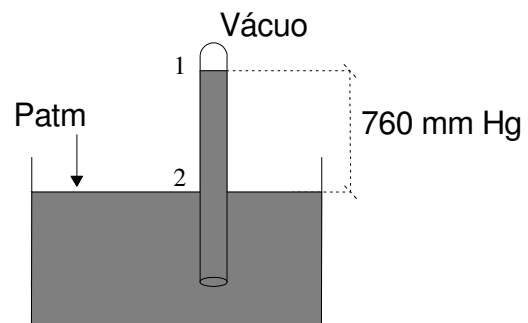
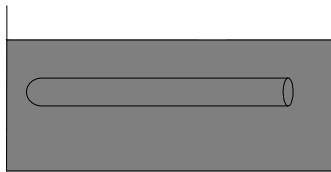
$$P_B = 16320 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$P_A = P_B + \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \cdot h_2 = 16320 + 1000 \times 0,9$$

$$P_A = 17220 \text{ kgf m}^{-2}$$

### 3. Pressão absoluta e pressão relativa

#### 3.1) Torricelli – Coluna de mercúrio



$$P_2 - P_1 = \gamma h_{\text{Hg}}$$

$$P_1 = 0 \Rightarrow P_2 = \gamma h_{\text{Hg}}$$

$$P_2 = 13600 \times 0,76 = 10330 \text{ kgf m}^{-2}$$

Aplicação prática: sucção de água com bombas

Pressão relativa: medida em relação à  $P_{\text{atm}}$

Pressão absoluta:  $P_{\text{abs}} = P_{\text{rel}} + P_{\text{atm local}}$

$$P_{\text{rel}} = 0 \Rightarrow P = P_{\text{atm local}}$$

$$P_{\text{abs}} = 0 \Rightarrow P = 0 \text{ (zero absoluto ou vácuo)}$$

### 3.2) Variação da pressão atmosférica com a altitude local:

$$\text{Medida prática: } P_{\text{atm loc}} = P_{\text{atm (NM)}} - \frac{0,12 \text{ mca}}{100} \text{ Alt}_{\text{loc}}$$

$P_{\text{atm loc}}$  – pressão atmosférica local, em metros de coluna de água (mca)

$P_{\text{atm(NM)}}$  – pressão atmosférica ao nível do mar, em mca

$\text{Alt}_{\text{loc}}$  – altitude local, em metros

Obs.: 1 mca = 1000 kgf m<sup>-2</sup>

1 atm = 10330 kgf m<sup>-2</sup> ou 10,33 mca

Exemplos:

I) Calcular a pressão atmosférica em Piracicaba

$$\text{Altitude local: 600 m} \quad P_{\text{atm loc}} = 10,33 - \frac{0,12 \text{ mca}}{100} \times 600$$

$$P_{\text{atm loc}} = 9,61 \text{ mca}$$

II) Calcular a pressão relativa e absoluta a 3 metros de profundidade de um lago situado a 1200 m de altitude.

$$P_{\text{atm loc}} = 10,33 - \frac{0,12 \text{ mca}}{100} \times 1200$$

$$P_{\text{atm loc}} = 8,89 \text{ mca}$$

$$P_{\text{rel}} = \gamma h = 1000 \times 3 = 3000 \text{ kgf m}^{-2} \text{ ou } 3 \text{ mca}$$

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{rel}} + P_{\text{atm loc}} = 3 + 8,89 = 11,89 \text{ mca ou } 11890 \text{ kgf m}^{-2}$$

### 3.3) Unidades de medida de pressão

a) Sistema Internacional:  $\text{N m}^{-2}$  (Pascal)  
múltiplos: kPa e MPa

b)  $\text{kgf m}^{-2}$

c) dina  $\text{cm}^{-2}$  (baria)

Múltiplo:  $1 \text{ bar} = 10^6 \text{ baria} \approx 10000 \text{ kgf m}^{-2}$  ou  $1 \text{ kgf cm}^{-2}$

d) mca

$1 \text{ mca} = 1000 \text{ kgf m}^{-2}$

e) Atmosfera física

$1 \text{ atm} = 10,33 \text{ mca}$

f) Atmosfera técnica

$1 \text{ atm}^* = 10 \text{ mca}$  ou  $1 \text{ kgf cm}^{-2}$

g) milímetros de mercúrio

$760 \text{ mm Hg} = 1 \text{ atm física (759,56 mm)}$   
 $10,33 \text{ mca}$   
 $10330 \text{ kgf m}^{-2}$

$P = \gamma h = 13600 \times 0,75956 = 10330 \text{ kgf m}^{-2}$

$10330 \times 9,81 = 133416 \text{ N m}^{-2}$

h) PSI (pounds per squared inch)

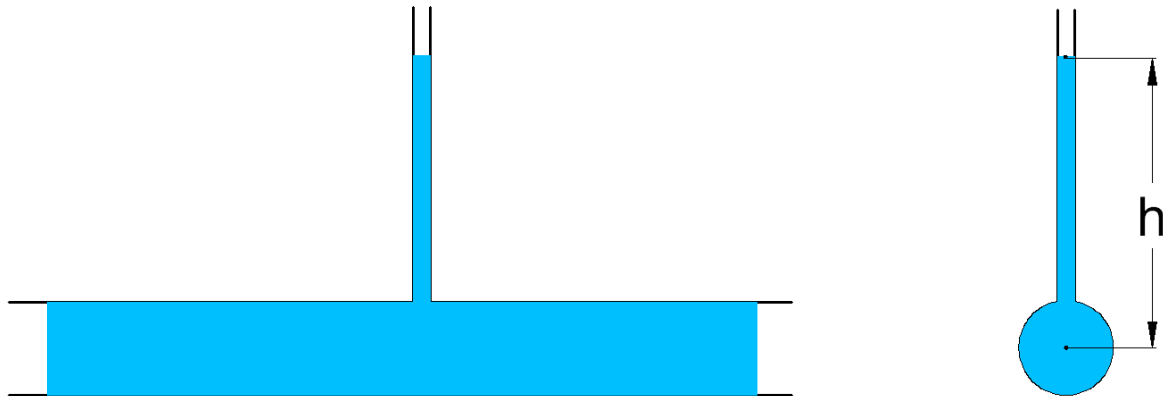
PSI: libra-força por polegada quadrada

$1 \text{ PSI} = 702,85 \text{ kgf m}^{-2} = 0,70285 \text{ mca}$  ou  $0,070285 \text{ atm}^*$

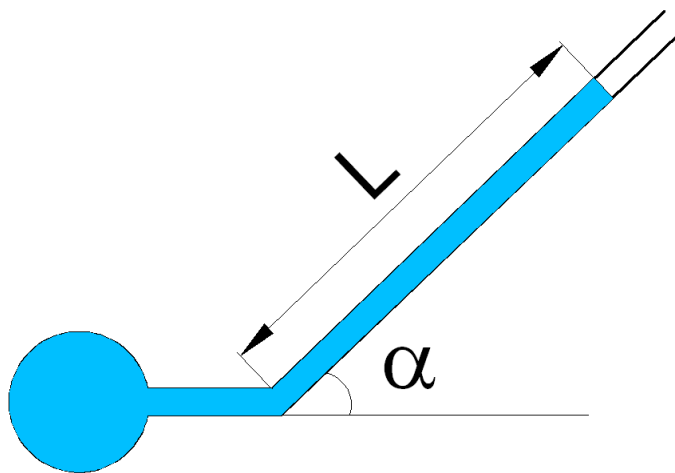
### 3.4) Medidores de pressão

#### a) Piezômetros (medição de pressão relativa)

- Piezômetro vertical



- Piezômetro inclinado



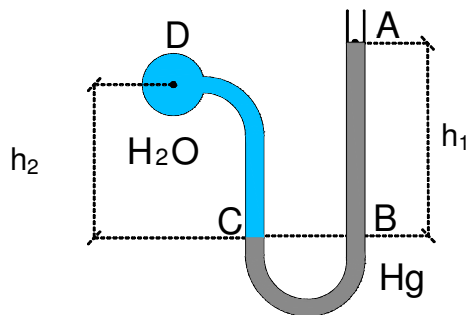
$$P = \gamma h \quad h = L \sin \alpha$$

$$P = \gamma L \sin \alpha$$

Indicados para pressões baixas  
(líquidos de peso específico baixo)



## b) Tubo “U” (manômetro)



Indicado para pressões mais altas  
(líquidos de peso específico alto)

## Cálculo de pressão com tubo “U”

$\Sigma P = 0$  (Sistema estático)

$$P_A + \gamma_{Hg} \cdot h_1 - \gamma_{H_2O} \cdot h_2 - P_D = 0 \quad \text{ou} \quad P_D + \gamma_{H_2O} \cdot h_2 - \gamma_{Hg} \cdot h_1 - P_A = 0$$

Exemplo:

$$h_2 = 0,7 \text{ m}$$

$$h_1 = 1 \text{ m}$$

$$\gamma_{Hg} = 13600 \text{ kgf m}^{-3}$$

$$\gamma_{H_2O} = 1000 \text{ kgf m}^{-3}$$

$$P_A = 0$$

$$P_D = ?$$

$$P_A + \gamma_{Hg} \cdot h_1 - \gamma_{H_2O} \cdot h_2 - P_D = 0$$

$$0 + 13600 \cdot 0,7 - 1000 \cdot 1 - P_D = 0$$

$$P_D = -8520 \text{ kgf m}^{-2} \quad \text{ou} \quad -8,52 \text{ mca}$$

(Pressão relativa)

## c) Manômetros diferenciais

## d) Manômetro tipo Bourdon

- com e sem glicerina

e) Manômetro de peso morto

- calibração de manômetros tipo Bourdon

Exemplos:

I) Cálculo da pressão com tubo “U”

II) Esfigmomanômetro (pressão arterial)

III) Manômetro diferencial

#### 4. Exercício (Provinha 2)

Calcular a diferença de pressão entre os pontos A e B, no esquema a seguir:

