UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS

Operações Unitárias I

Introdução a transferência de quantidade de movimento

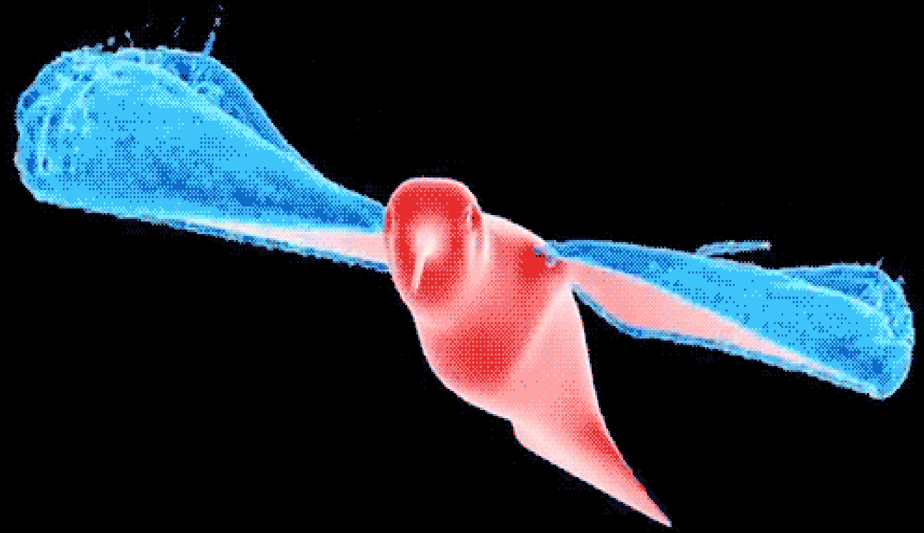
(MECÂNICA DOS FLUIDOS)

AULA 16

Profa. Dra. Bianca Chieregato Maniglia

biancamaniglia@usp.br

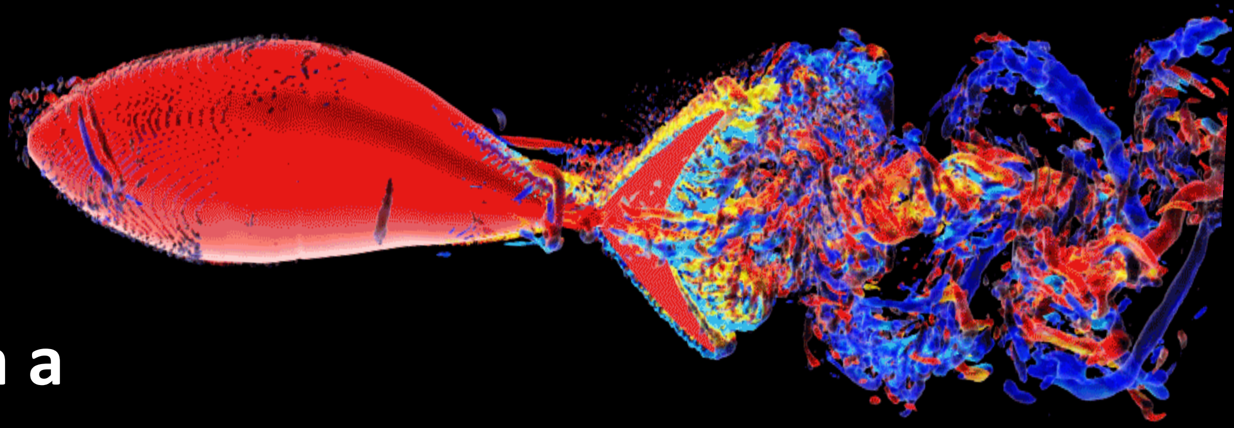
biancamaniglia@iqsc.usp.br



Mecânica dos fluidos

Estudo do comportamento dos fluidos (líquidos, gases e vapores)

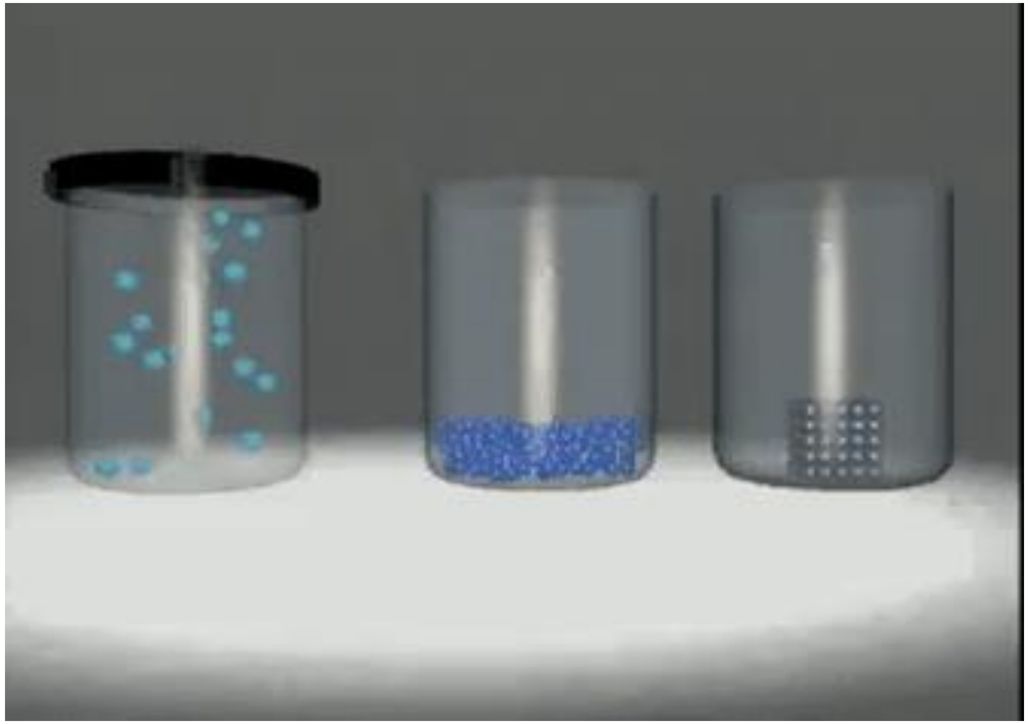
- ✓ **Moléculas têm a propriedade de se mover, umas em relação às outras,**
- ✓ **Não oferece resistência à distorção.**
- ✓ **Capaz de escoar e cujo volume toma a forma do recipiente que o contém.**



FLUÍDOS

Líquidos: são incompressíveis, ou seja, ocupam volumes definidos, e a densidade não varia com P e T

Gases: são compressíveis, ou seja, expandem-se até ocupar todas as partes do recipiente e a densidade varia com P e T



MECÂNICA DOS FLUIDOS

Estática dos fluidos

fluidos em repouso ou em movimento com velocidade constante (aceleração nula)

Dinâmica de fluidos

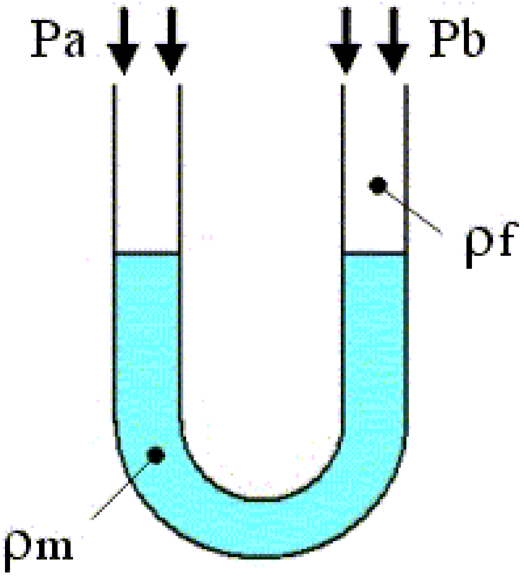
fluidos em movimento

Estática dos fluidos

Por que estudar fluidos sem movimento?

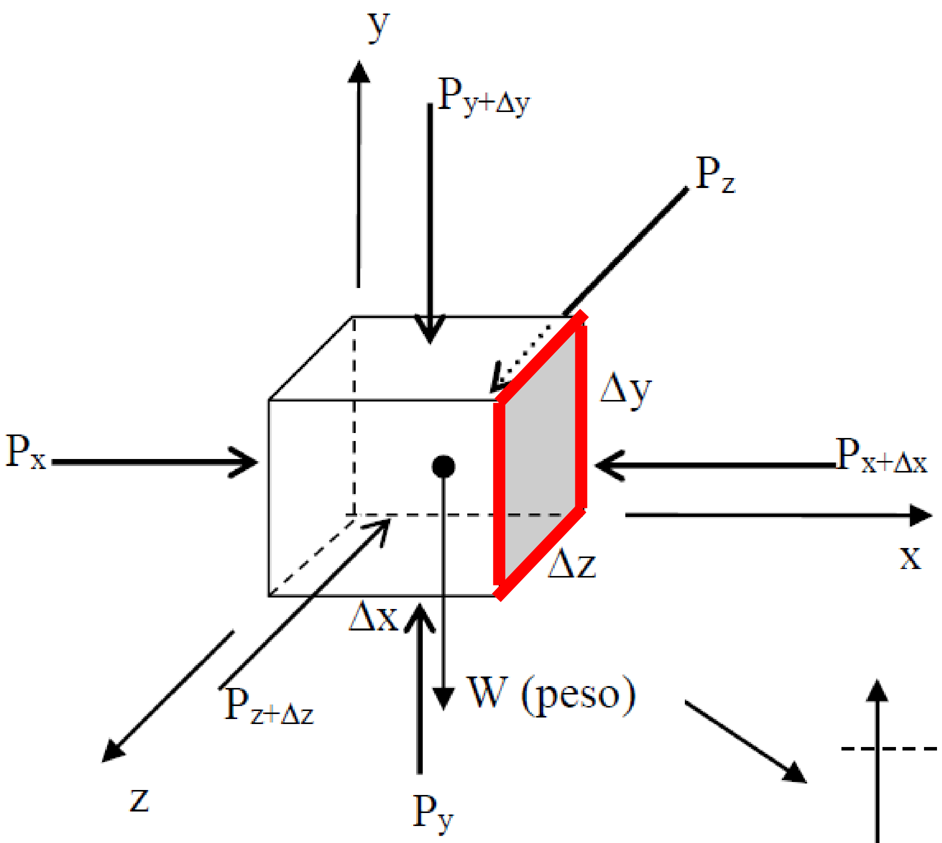
Estática => manometria

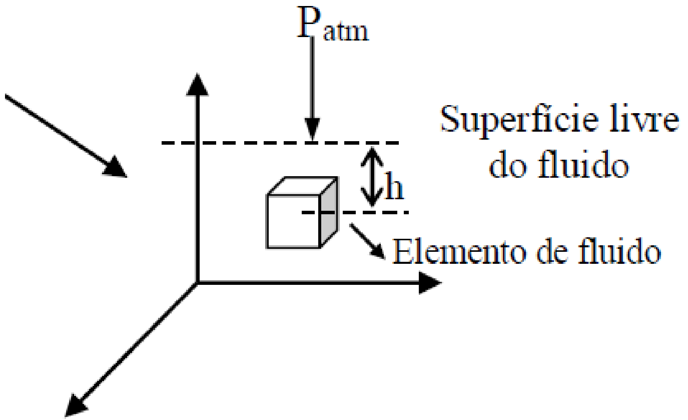
Determinação da diferença de pressão entre 2 pontos de uma tubulação com um fluido em movimento



$$P = P_{atm} + \rho . g . h$$

Equilíbrio Hidrostático





Fazendo um balanço de forças:

$\Sigma F = 0$ (fluido estático, 1ª Lei de Newton)

$\Sigma F_x = 0$

$\Sigma F_y = 0$

$\Sigma F_z = 0$

F = Pressão x Área
F = massa x aceleração da gravidade/g_c
m = Volume x densidade

$$\boldsymbol{F = P\ x\ A} \qquad \boldsymbol{P = \rho\,.\,g\,.\,h}$$

$$\boldsymbol{F = \rho\,.\,g\,.\,h\,.\,A}$$

$$\boldsymbol{A = \Delta_x\,.\,\Delta_z} \qquad \boldsymbol{h = \Delta_y}$$

$$\boldsymbol{A.h = V = \Delta_x\,.\,\Delta_y\,.\,\Delta_z}$$

$$\Sigma F_x = P_x.\Delta y\Delta z - P_{x+\Delta x}.\Delta y\Delta z = 0$$

$$\Sigma F_y = P_y.\Delta x\Delta z - P_{y+\Delta y}.\Delta x\Delta z \boxed{-\rho\cdot g\ \ \Delta x\Delta y\Delta z = 0}$$

$$\Sigma F_z = P_z.\Delta x\Delta y - P_{z+\Delta z}.\Delta x\Delta y = 0$$

$\div\,\Delta x\Delta y\Delta z$ e tomando o limite para reduzir a um ponto: $\lim\limits_{\Delta x,\Delta y,\Delta z} \to 0$

$$\frac{\Sigma F_x}{\Delta x\Delta y\Delta z} = \frac{P_x - P_{x+\Delta x}}{\Delta x} = 0$$

$$\frac{\Sigma F_y}{\Delta x\Delta y\Delta z} = \frac{P_y - P^{g}{}_{+\Delta y}}{\Delta y} - \rho\frac{g}{g_c} = 0$$

$$\frac{\Sigma F_z}{\Delta x\Delta y\Delta z} = \frac{P_z - P_{z+\Delta z}}{\Delta z} = 0$$

$$\lim_{\Delta x \to 0} -\left(\frac{P_{x+\Delta x} - P_x}{\Delta x}\right) = -\frac{\partial P_x}{\partial x} = 0$$

$$\lim_{\Delta y \to 0} -\left(\frac{P_{y+\Delta y} - P_y}{\Delta y}\right) - \rho g = -\frac{\partial P_y}{\partial y} - \rho\ .g = 0$$

$$\frac{dP}{dy} = -\rho \frac{g}{g_c}$$

$$\lim_{\Delta z \to 0} -\left(\frac{P_{z+\Delta z} - P_z}{\Delta z}\right) = -\frac{\partial P_z}{\partial z} = 0$$

∴ A variação da pressão com x e z é nula; ela varia somente com y.

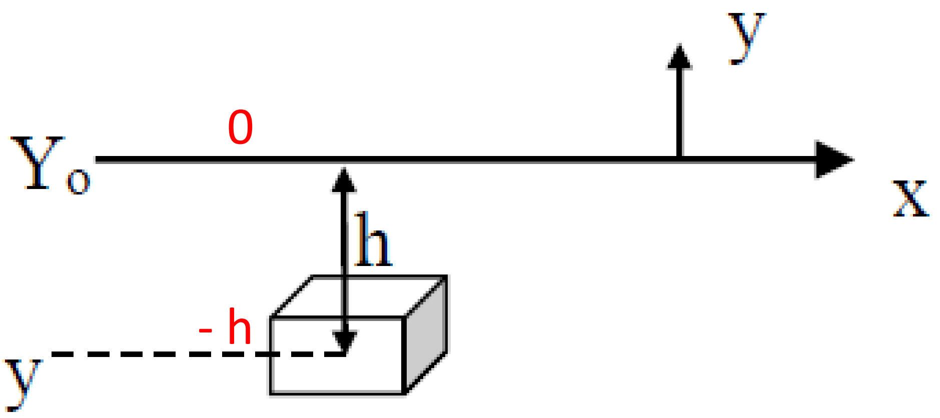
Considerando fluido incompressível (ρ=cte) e como g também é constante:

$$dP = -\rho.\ g\ .dy$$

$$\int_{P_o}^{P} dP = -\rho.\ g\ .\int_{y_o}^{y} dy \Rightarrow P - P_o = -\rho.\ g\ .(y - y_o)$$

o subíndice 0 indica o nível de referência

Tomando a superfície livre do fluido como referência:

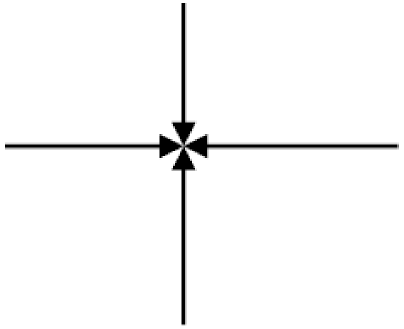


$$P_o = P_{atm}$$
$$y_o = 0$$
$$y = -h$$

$$P - P_o = -\rho . g .(y - y_o)$$

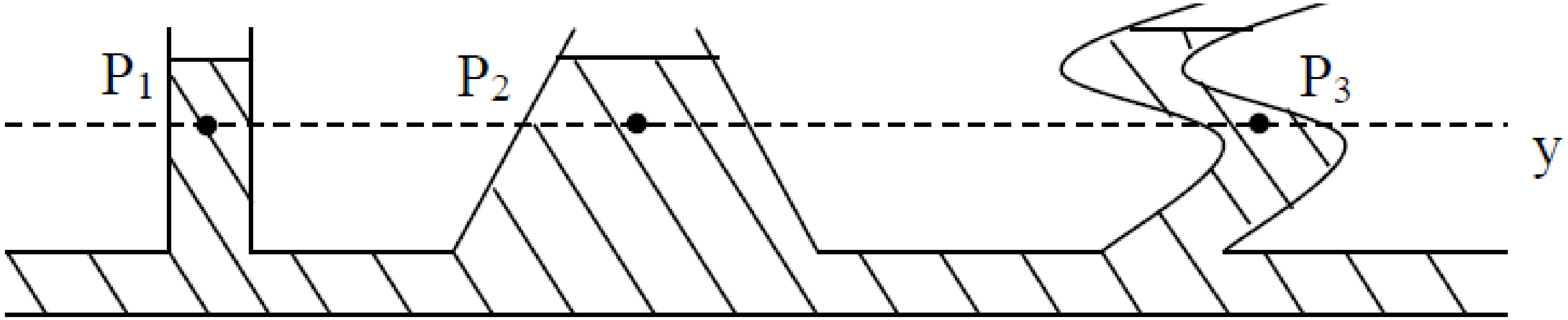
Lembretes

1) Num fluido estático ou movendo-se uniformemente, a pressão exercida num ponto é igual em todas as direções: Lei de Pascal.



$$P = P_x = P_y = P_z$$

2) Paradoxo da Hidrostática: Lei dos vasos comunicantes. A pressão é a mesma em todos os pontos do plano y quando ligados pelo mesmo fluido.



$$P_1 = P_2 = P_3$$

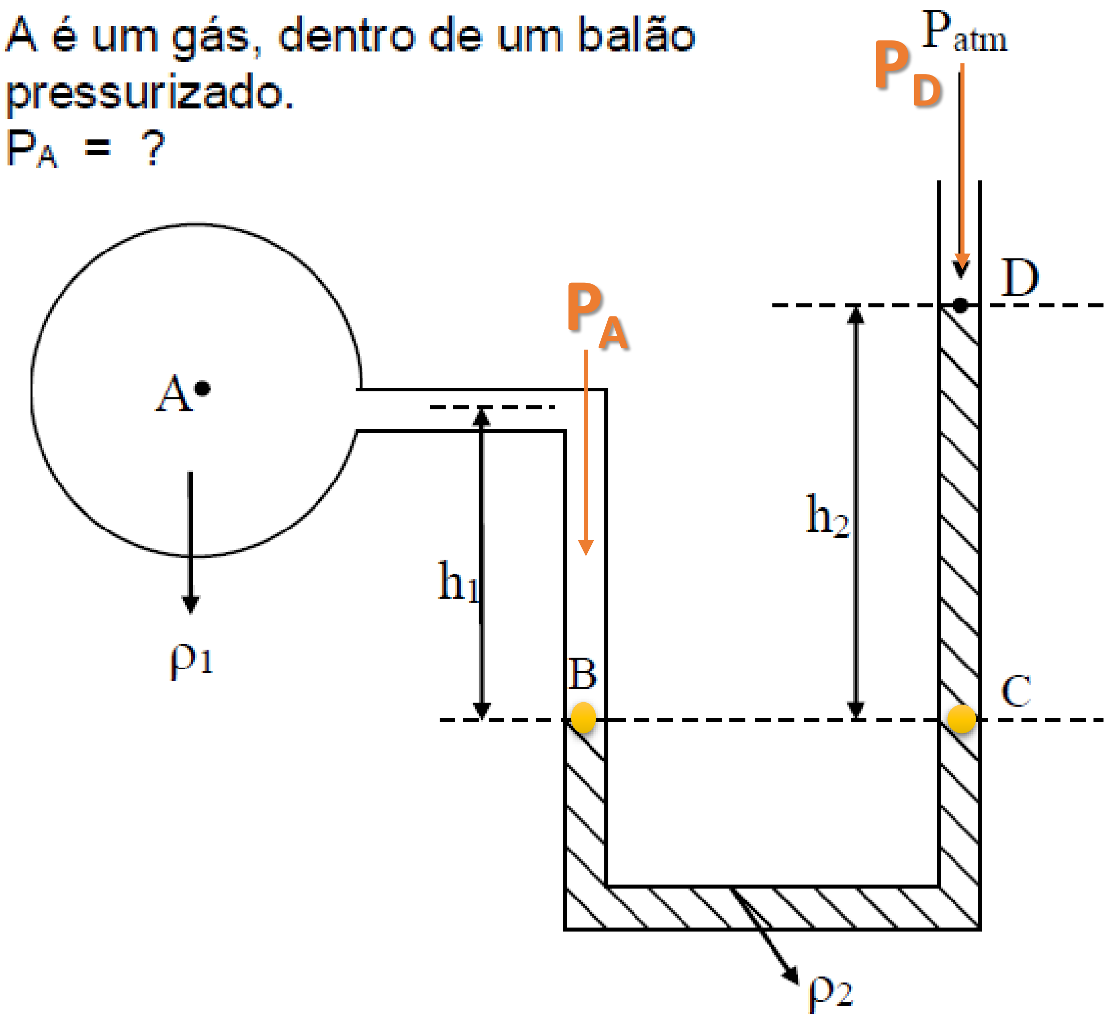
Manometria

Medir a pressão determinando-se o deslocamento de uma coluna de fluido produzido por ela

$$P_o - P = \rho . g . h$$

$$P_o = P + \rho . g . h$$

A é um gás, dentro de um balão pressurizado.
$P_A = ?$



As pressões em B e C são iguais
Mesmo nível e ligados pelo mesmo fluido

(PRINCÍPIO DOS VASOS COMUNICANTES)

$$P_B = P_C$$

$$P_B = P_A + \rho_1 . g/g_c . h_1$$

$$P_C = P_D + \rho_2 . g/g_c . h_2 = P_{atm} + \rho_2 . g/g_c . h_2$$

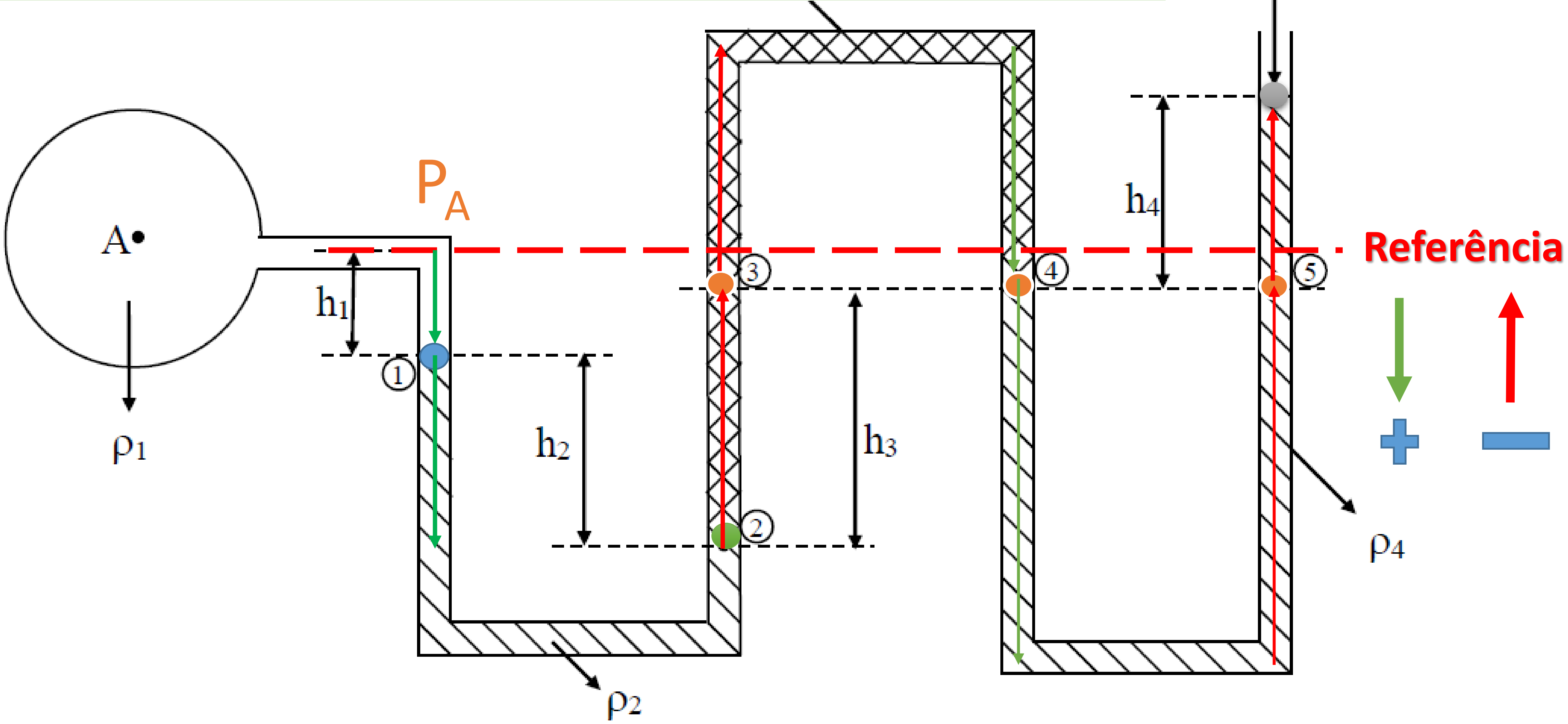
$$P_A + \rho_1 . g/g_c . h_1 = P_{atm} + \rho_2 . g/g_c . h_2$$

$$\boxed{P_A = P_{atm} + \rho_2 . g/g_c . h_2 - \rho_1 . g/g_c . h_1}$$

Exercício IV.1) Qual é a pressão P_A.

$$P_A + \rho_1.g.h_1 + \rho_2.g.h_2 - \rho_3.g.h_3 - \rho_4.g.h_4 = P_{atm}$$

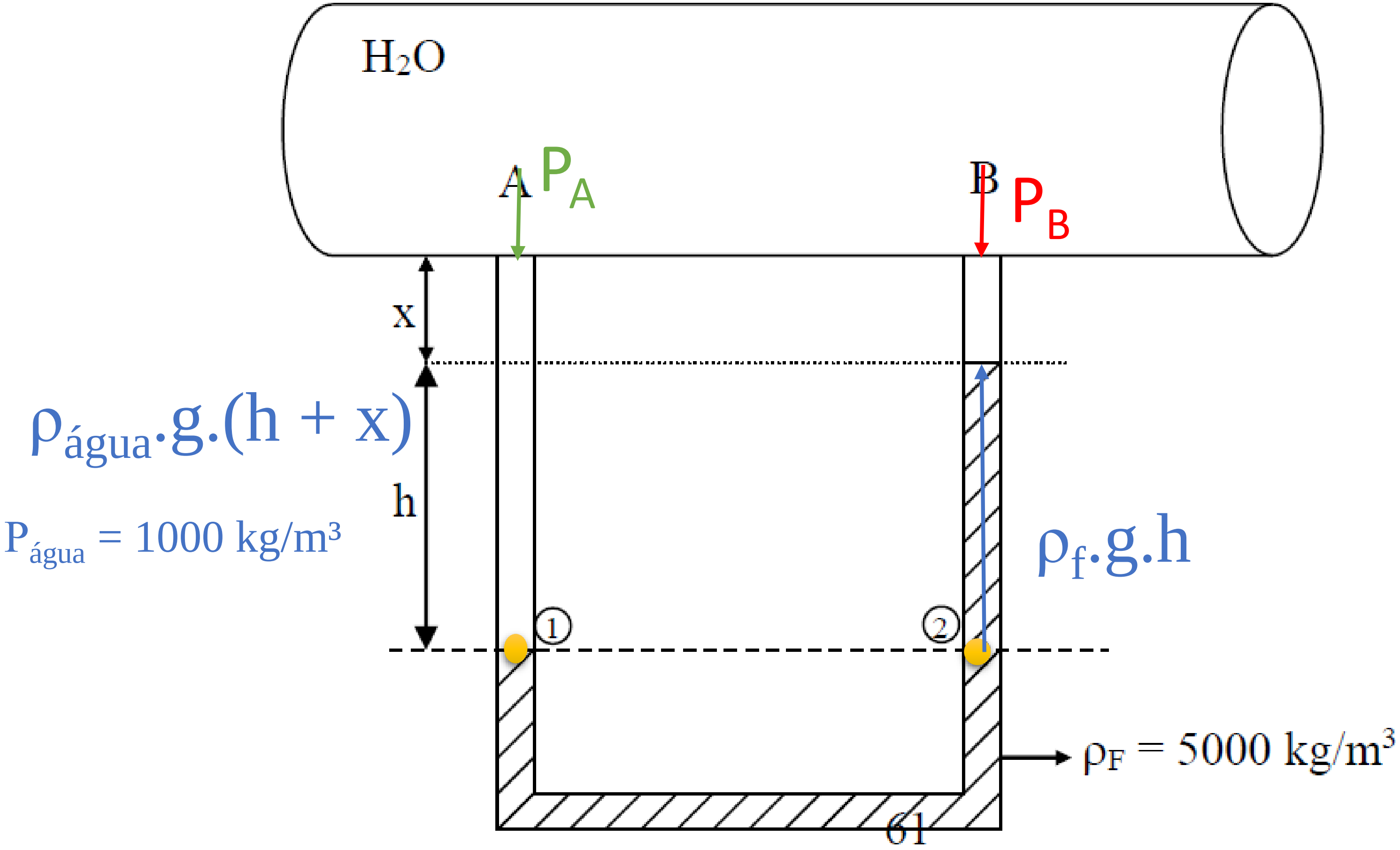
$$P_A = P_{atm} - \rho_1.g.h_1 - \rho_2.g.h_2 + \rho_3.g.h_3 + \rho_4.g.h_4$$



Exercício IV.2) A figura abaixo mostra um manômetro em U acoplado a uma tubulação através da qual escoa água. Nas condições mostradas pergunta-se:

a) Qual o sentido do escoamento da água?

b) Qual a diferença de pressão entre A e B, sendo h = 0,4 m?



Exercício IV.3) Na figura abaixo tem-se as seguintes leituras:

manômetro A = 5 psi

manômetro B = -3 psi

manômetro C = 4 psi

P_{atm} = 14,7 psi

$$P_{manômetro} = \Delta P_{ambientes}$$

Pergunta-se:

a) Qual deve ser a leitura no manômetro D?

b) Qual a pressão absoluta em 1?