

INSTITUTO FEDERAL

Sertão Pernambucano

Campus Petrolina Zona Rural

Aula 6 – MANOMETRIA

Prof. José Sebastião Costa de Sousa

Dr. Engenharia Agrícola

CPZR/IFSertãoPE



Sumário

- ✓ Tipo bourdon
- ✓ Tipo piezômetro
- ✓ Tipo U
- ✓ Tipo diferencial

MANOMETRIA

Parte da hidráulica
que se ocupa das
medições de
pressão.

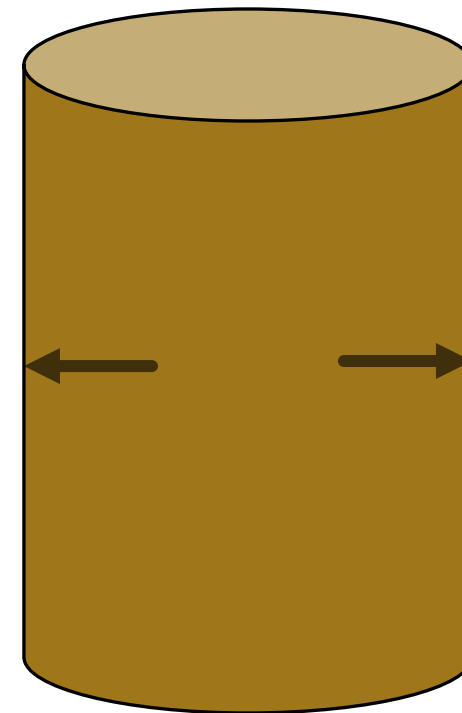
Pressão = força por
unidade de área.

No SI

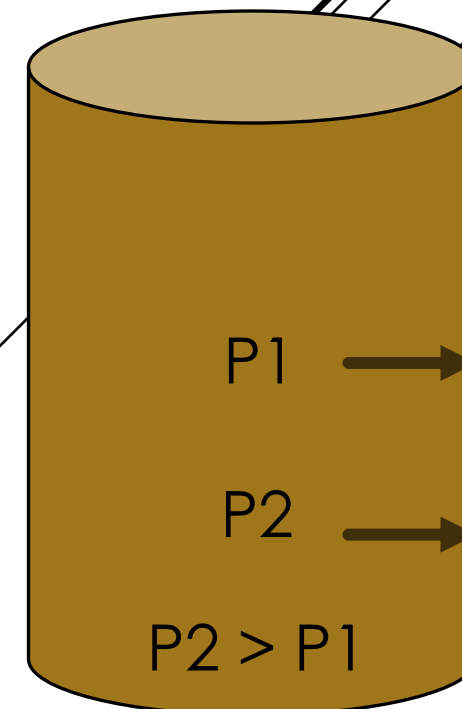
Unidade: Pa
Dimensão: $M.L^{-1}.T^{-2}$

RELEMBRANDO

*LEI DE PASCAL: EM QUALQUER PONTO NO INTERIOR
DE UM LÍQUIDO EM REPOUSO, A PRESSÃO É A MESMA
EM TODAS AS DIREÇÕES.*



Em um plano
qualquer, com
mesmo fluido, a
pressão é igual

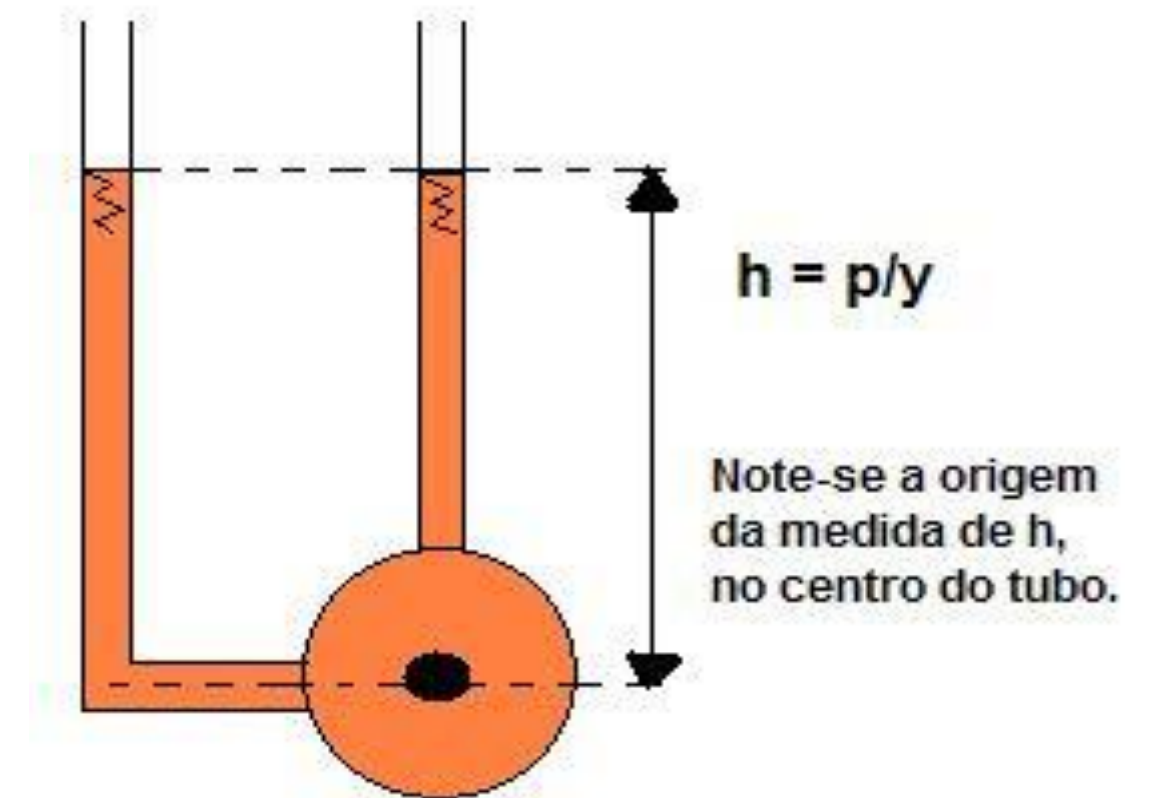


*LEI DE STEVIN: A DIFERENÇA DE
PRESSÃO ENTRE DOIS PONTOS DA
MASSA DE UM LÍQUIDO EM
EQUILÍBRIO É PROPORCIONAL À
DIFERENÇA DE PROFUNDIDADE
MULTIPLICADA PELO PESO
ESPECÍFICO DO LÍQUIDO.*

Métodos e equipamentos de medição de pressão

Principais manômetros:

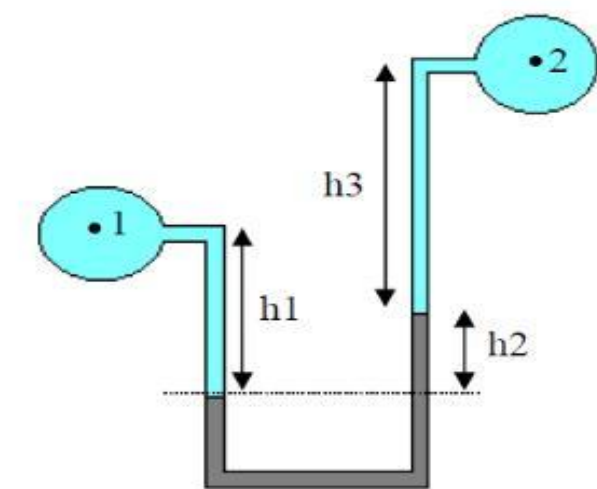
- ✓ Tipo Bourdon
- ✓ Tubo piezômetro
- ✓ Tipo U
- ✓ Diferenciais



<http://amt-ft.blogspot.com/2010/09/medidores-de-pressao-piezometro-e-tubo.html>



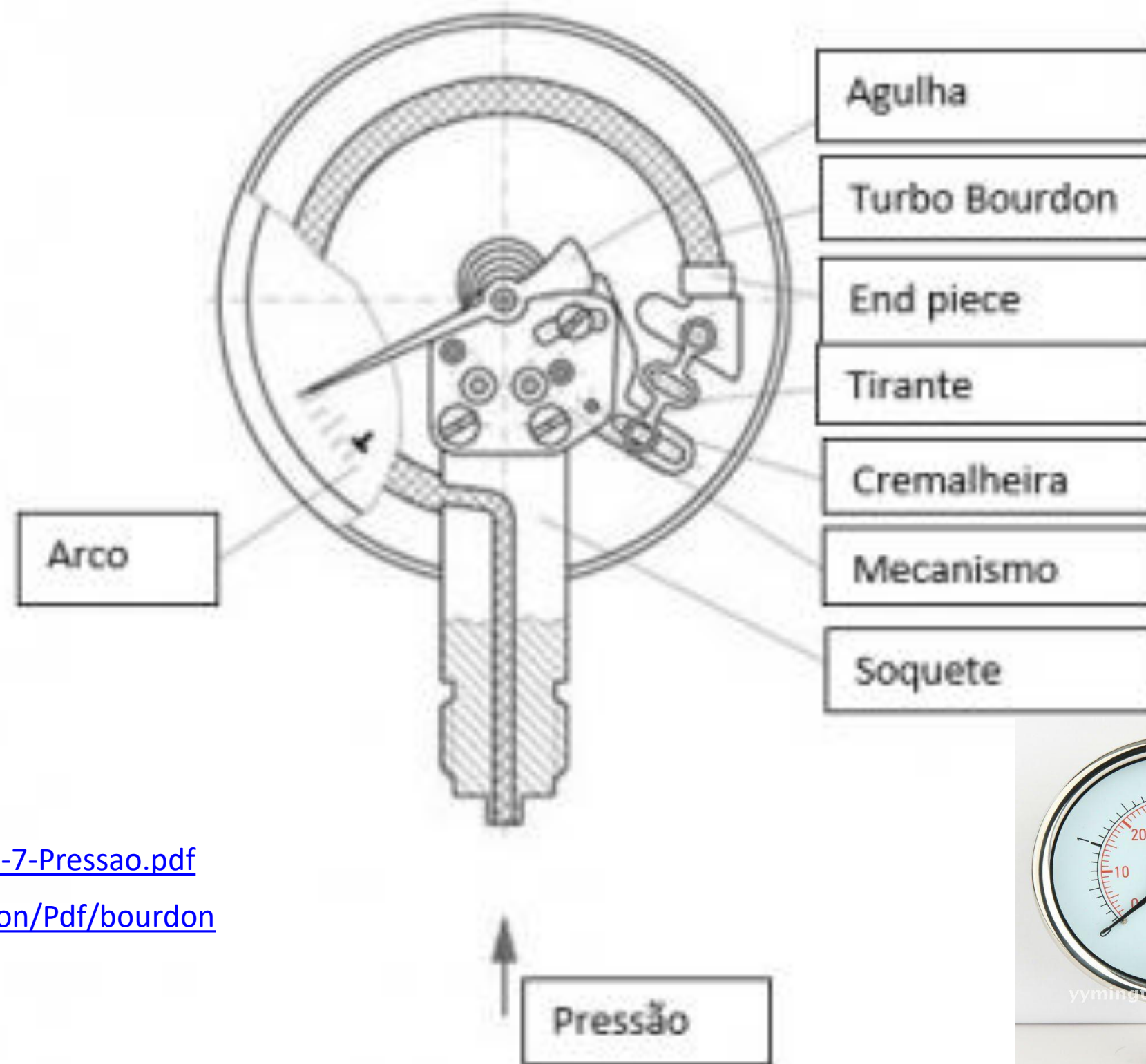
<http://www.linterfiltros.com.br/equipamentos/manometro-de-coluna-u/manometro-de-coluna-u/25/>



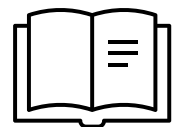
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAfrqUAD/hidrostatica-manometria>

Manômetros tipo bourdon

O funcionamento é baseado numa deformação elástica de um tubo curvado com uma seção transversal oval que transmite a pressão no seu interior ao ponteiro por meio de engrenagens.

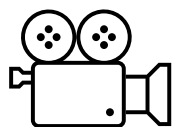


<https://blog.wikia.com.br/know-how/como-funcionam-os-manometros-mecanicos/>



<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC047/Aulas/Cap-7-Pressao.pdf>

https://www.eq.uc.pt/~lferreira/BIBL_SEM/global/bourdon/Pdf/bourdon



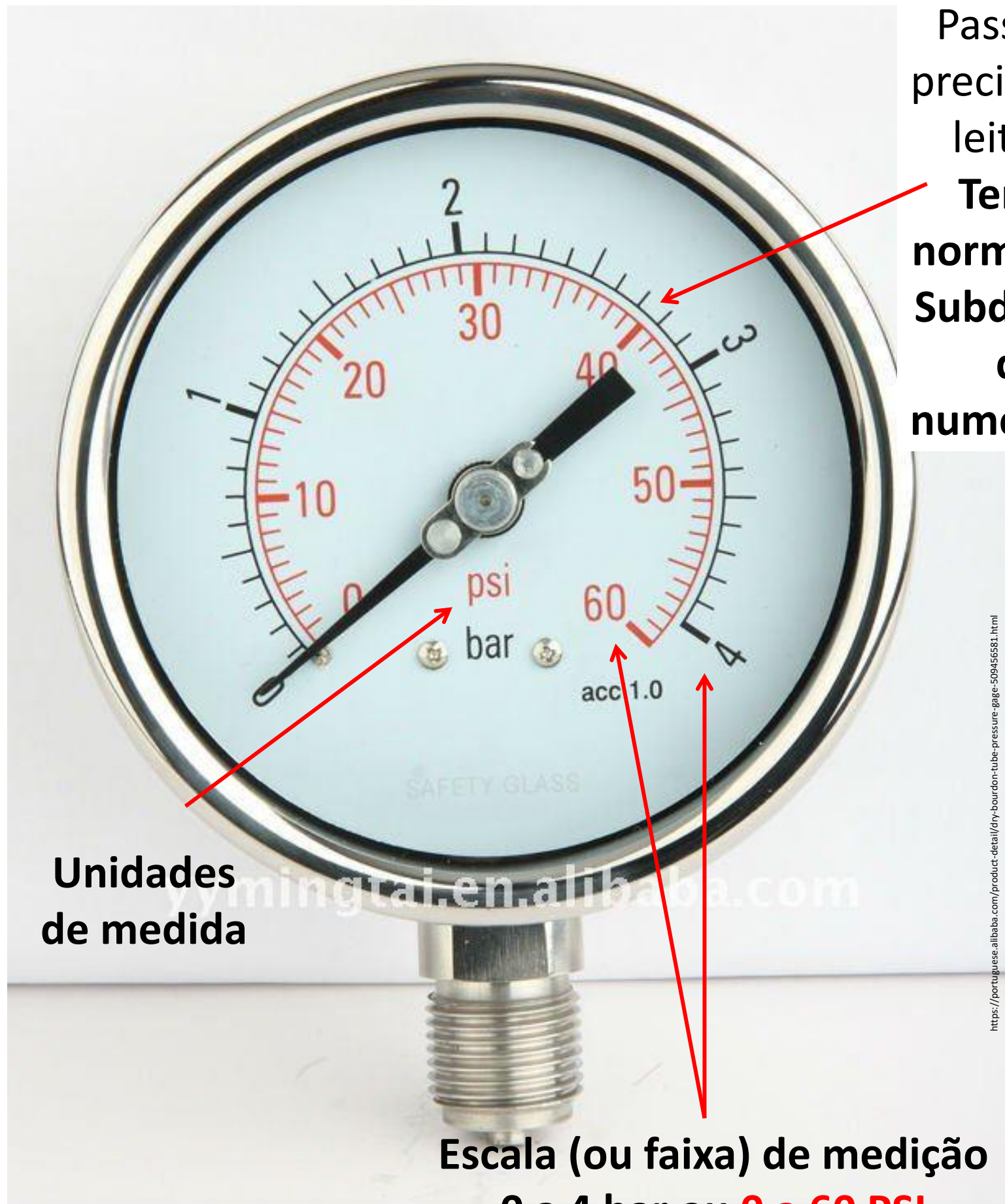
<https://www.youtube.com/watch?v=vB05eclkYEQ>

https://www.youtube.com/watch?v=Ja_XCJAg_l8

<https://www.youtube.com/watch?v=mbAuXXuRjC0>



Manômetros tipo bourdon



Unidades de medida

EscaLa (ou faixa) de mediçãO
0 a 4 bar ou 0 a 60 PSI

Passo ou precisão de leitura.
Termo normativo:
SubdivisãO da numeraçãO



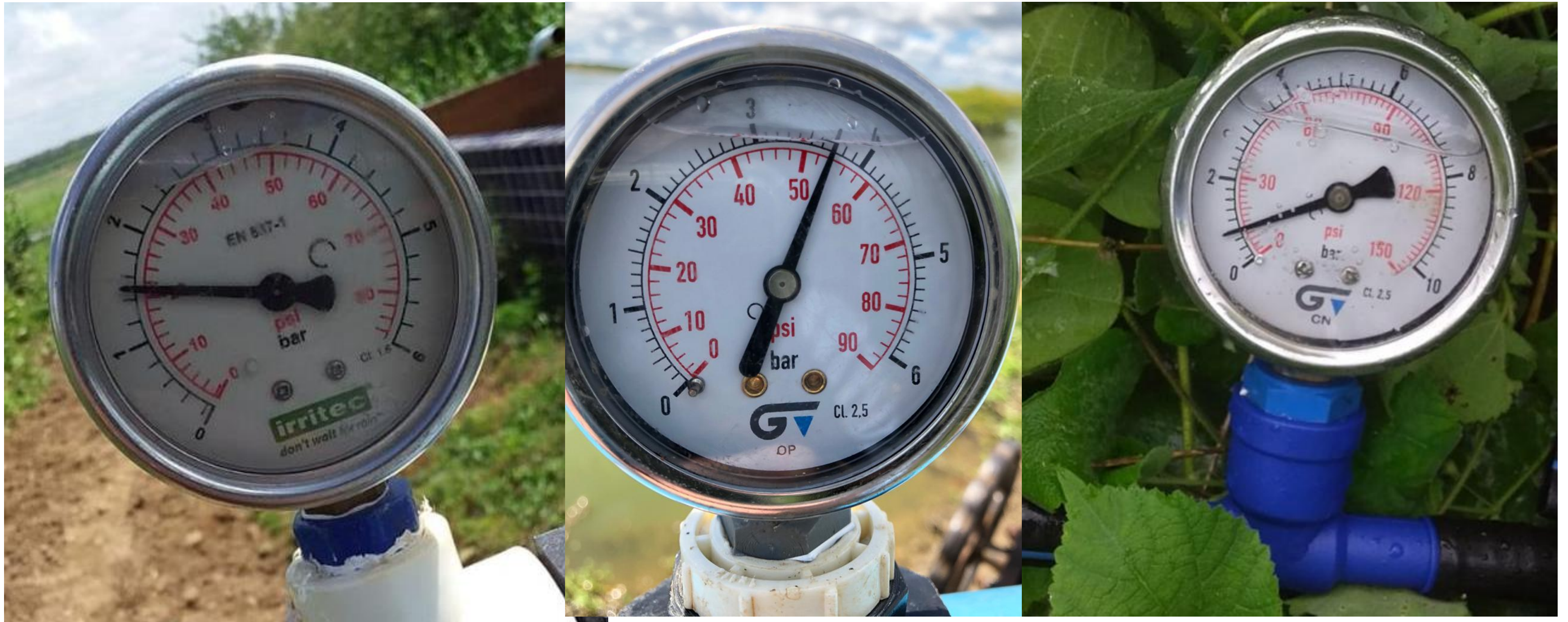
ABNT NBR 14105 - Classe B - Standard
SubdivisãO 0,05 Faixa mediçãO 2,5 bar
SubdivisãO 0,1 Faixa mediçãO 4 bar
SubdivisãO 0,2 Faixa mediçãO 6 bar
SubdivisãO 0,2 Faixa mediçãO 10 bar

<https://portuguese.alibaba.com/product-detail/dry-bourdon-tube-pressure-gage-509456881.html>

<https://online.lojaderega.pt/magens/bg/505016.jpg>

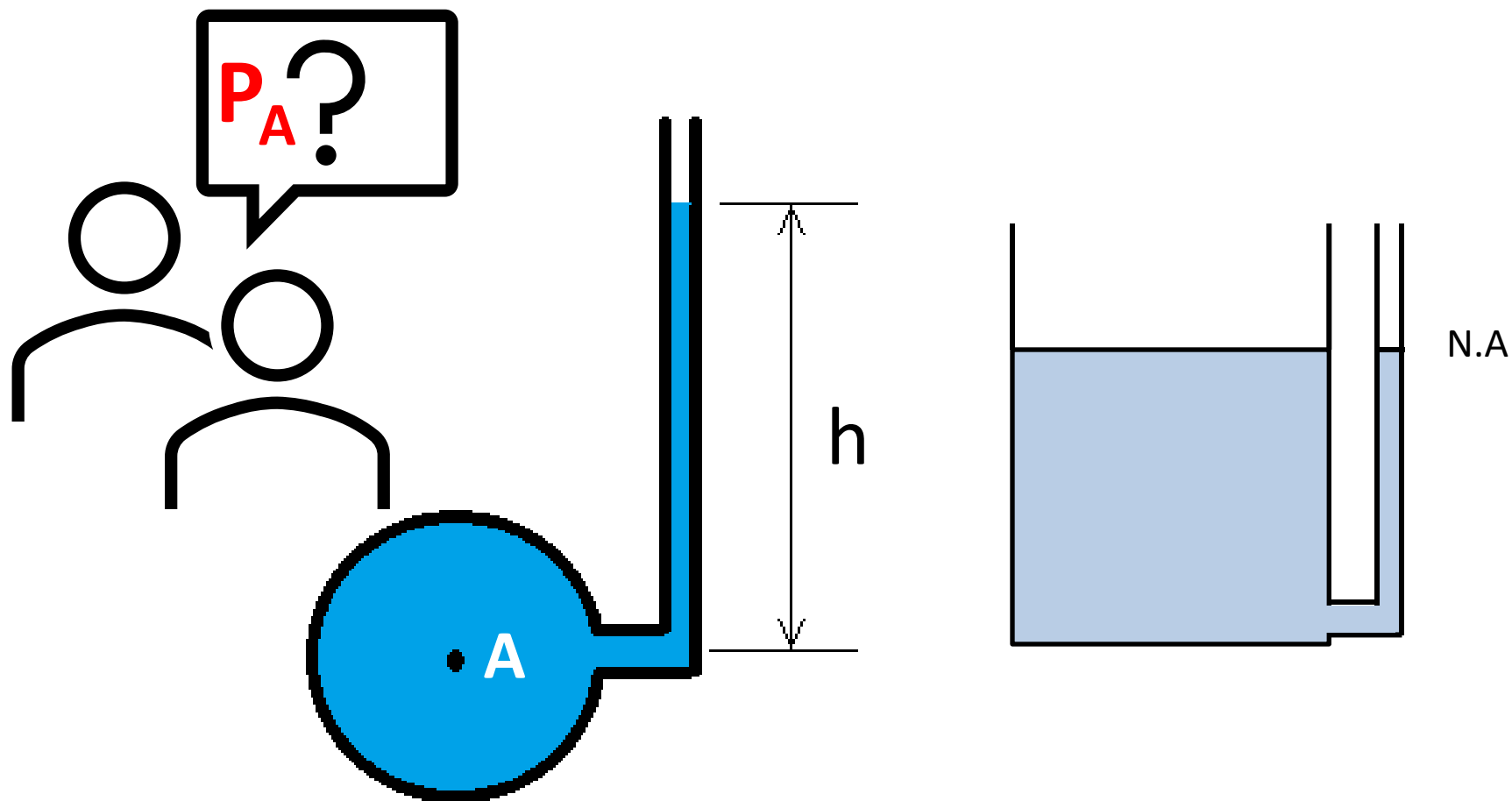
Manômetros tipo bourdon

Exercício 1: Determinar as escalas, as subdivisões e fazer as leituras nos manômetros.



Exercício 2: Converter as leituras para atm, kgf/cm², mm Hg e mca.

Manômetro tipo tubo piezômetro



Aplicação direta da lei de Stevin

$$P_A = \rho \cdot g \cdot h$$

ou

$$P_A = \gamma \cdot h$$

Exemplo: Determine a pressão na tubulação (ponto A) se a altura de elevação do fluido no piezômetro for de 120 cm de água.

$$\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3;$$

$$g = 9,80 \text{ m/s}^2;$$

$$h = 1,20 \text{ m};$$

$$P_A = 1000 \cdot 9,80 \cdot 1,20 = 11.760 \text{ Pa.}$$

Onde:

ρ – densidade do líquido, kg/m^3 ;

γ – peso específico, N/m^3 ;

h – altura do líquido, m;

g – aceleração da gravidade, m/s^2 ;

P_A – pressão em A, Pa.

Manômetro de tubo inclinado

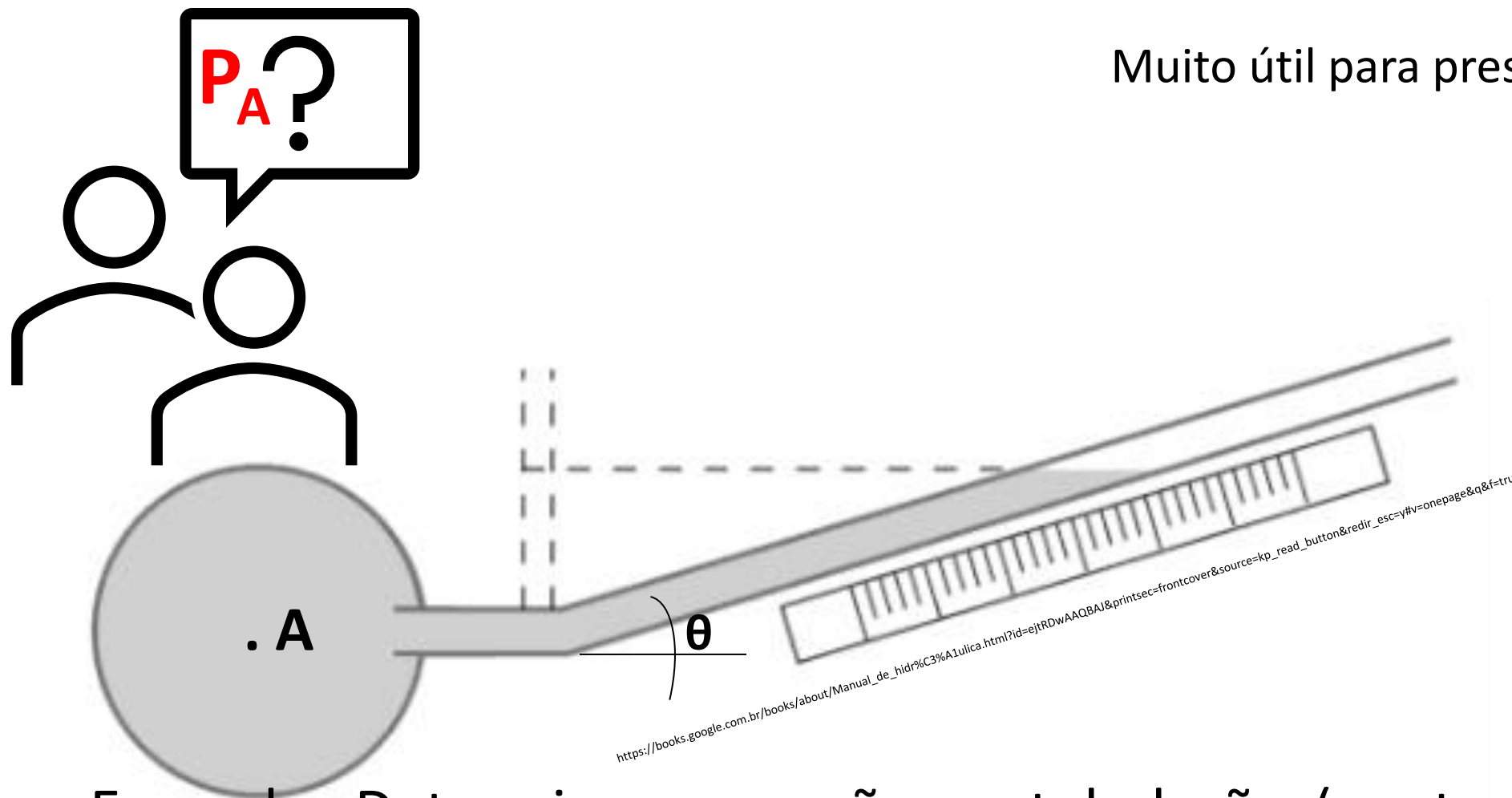
Muito útil para pressões pequenas

Adequação da lei de Stevin

$$P_A = \rho \cdot g \cdot L \cdot \text{sen}\theta$$

ou

$$P_A = \gamma \cdot L \cdot \text{sen}\theta$$



Exemplo: Determine a pressão na tubulação (ponto A) se o comprimento percorrido pela água no piezômetro inclinado (5° com a horizont.) foi 10 cm.

$$\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3;$$

$$g = 9,80 \text{ m/s}^2;$$

$$L = 0,10 \text{ m};$$

$$\theta = 5^\circ$$

$$P_A = 1000 \cdot 9,80 \cdot 0,10 \cdot \text{sen}(5) = 85,41 \text{ Pa.}$$

E qual seria a elevação no tubo se este não fosse inclinado?

Onde:

ρ – densidade do líquido, kg/m^3 ;

γ – peso específico, N/m^3 ;

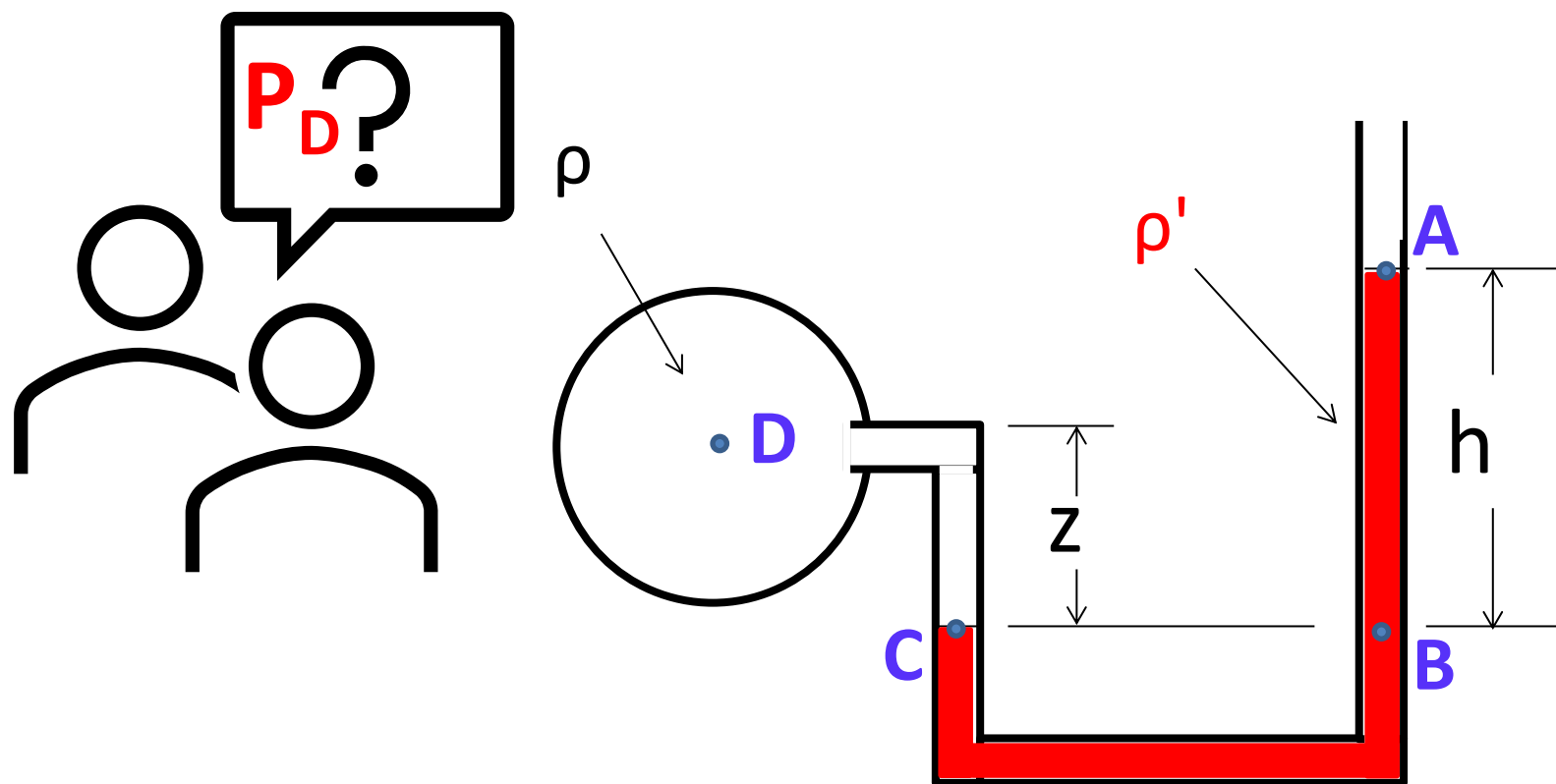
L – comprimento, m;

g – aceleração da gravidade, m/s^2 ;

θ – ângulo de inclinação com a horizontal, °

P_A – pressão em A, Pa.

Manômetro em U



Onde:

ρ - densidade do líquido em D, kg/m^3 ;

ρ' - densidade do líquido indicador, kg/m^3 ;

γ - peso específico, N/m^3 ;

Z e h - alturas do líquido, m;

g - aceleração da gravidade, m/s^2 ;

P_A e P_D - pressão em A e D, Pa.

Pressão em C = Pressão em B (Pascal)

Isso quando o fluido é o mesmo!!!

$$P_C = P_D + \rho \cdot g \cdot z$$

$$P_B = P_A + \rho' \cdot g \cdot h$$

$$P_D + \rho \cdot g \cdot z = P_A + \rho' \cdot g \cdot h$$

$$P_D = P_A + \rho' \cdot g \cdot h - \rho \cdot g \cdot z$$

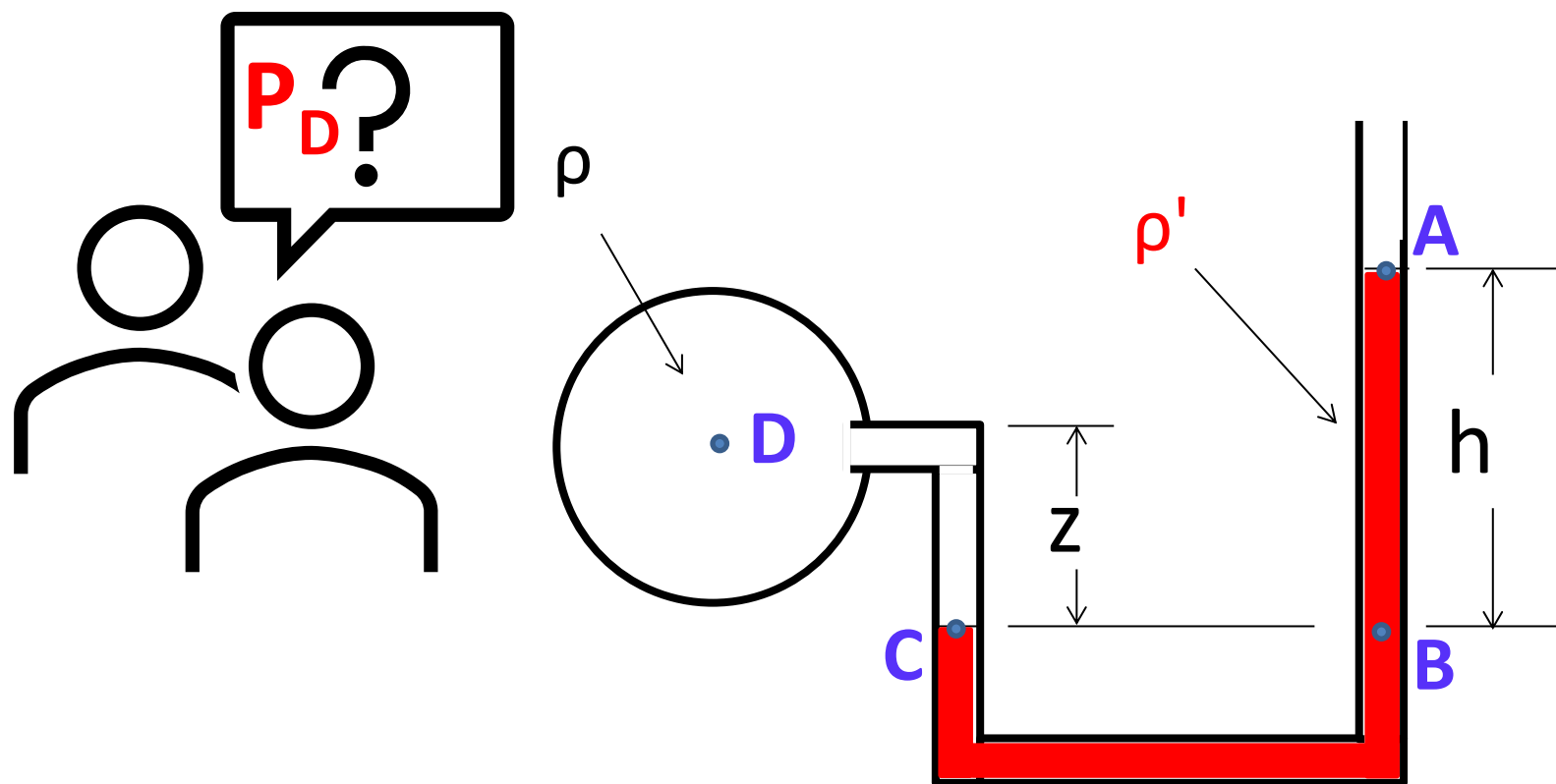
Portanto:

$$P_D = P_A + g \cdot (\rho' \cdot h - \rho \cdot z)$$

Ou

$$P_D = P_A + \gamma' \cdot h - \gamma \cdot z$$

Manômetro em U



$$P_D = P_A + g \cdot (\rho' \cdot h - \rho \cdot z)$$

Exemplo: Determine a pressão em D para o caso de $h = 30 \text{ cm}$, $z = 10 \text{ cm}$, $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$ e $\rho' = 13.600 \text{ kg/m}^3$.

$$P_D = 0 + 9,80 \cdot (13600 \cdot 0,30 - 1000 \cdot 0,10)$$

$$P_D = 39.004,00 \text{ Pa ou } 39,00 \text{ kPa.}$$

Qual a pressão em C?

$$P_C = P_B = 9,80 \cdot 13600 \cdot 0,30$$

$$P_C = 39.984 \text{ Pa ou } 39,98 \text{ kPa.}$$

Onde:

ρ - densidade do líquido em D, kg/m^3 ;

ρ' - densidade do líquido indicador, kg/m^3 ;

γ - peso específico, N/m^3 ;

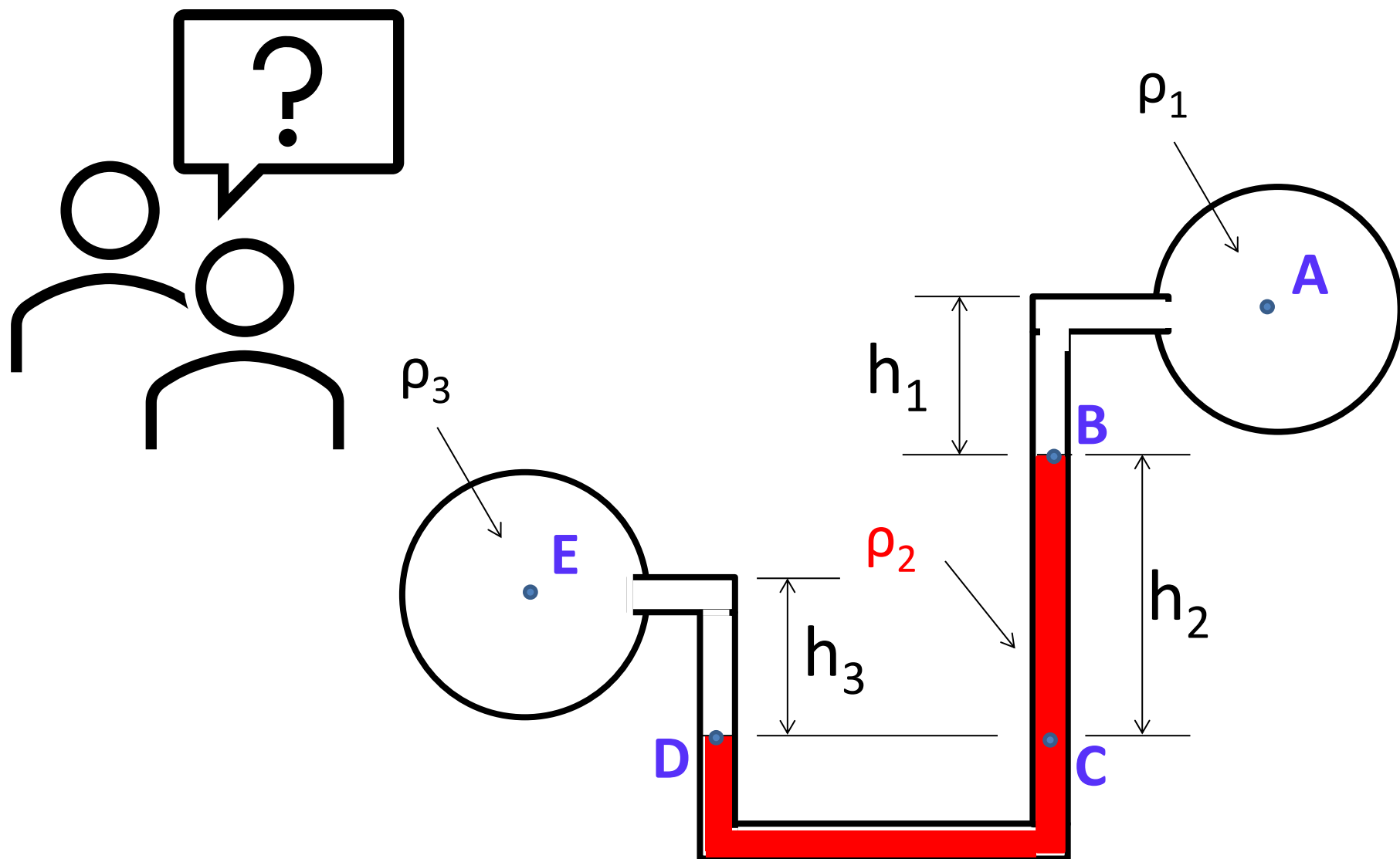
z e h - alturas do líquido, m;

g - aceleração da gravidade, m/s^2 ;

P_A e P_D - pressão em A e D, Pa.

Manômetro Diferencial

$P_A - P_E$?



Onde:

ρ_1 - densidade do líquido em A, kg/m^3 ;

γ_1 - peso específico do líquido em A, N/m^3 ;

h_1 - alturas do líquido no trecho A-B, m;

g - aceleração da gravidade, m/s^2 ;

P_A - pressão no ponto A, Pa.

Pressão em C = Pressão em D (Pascal)

$$P_C = P_A + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 + \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

$$P_D = P_E + \rho_3 \cdot g \cdot h_3$$

$$P_A + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 + \rho_2 \cdot g \cdot h_2 = P_E + \rho_3 \cdot g \cdot h_3$$

$$P_A - P_E = \rho_3 \cdot g \cdot h_3 - \rho_1 \cdot g \cdot h_1 - \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

Portanto:

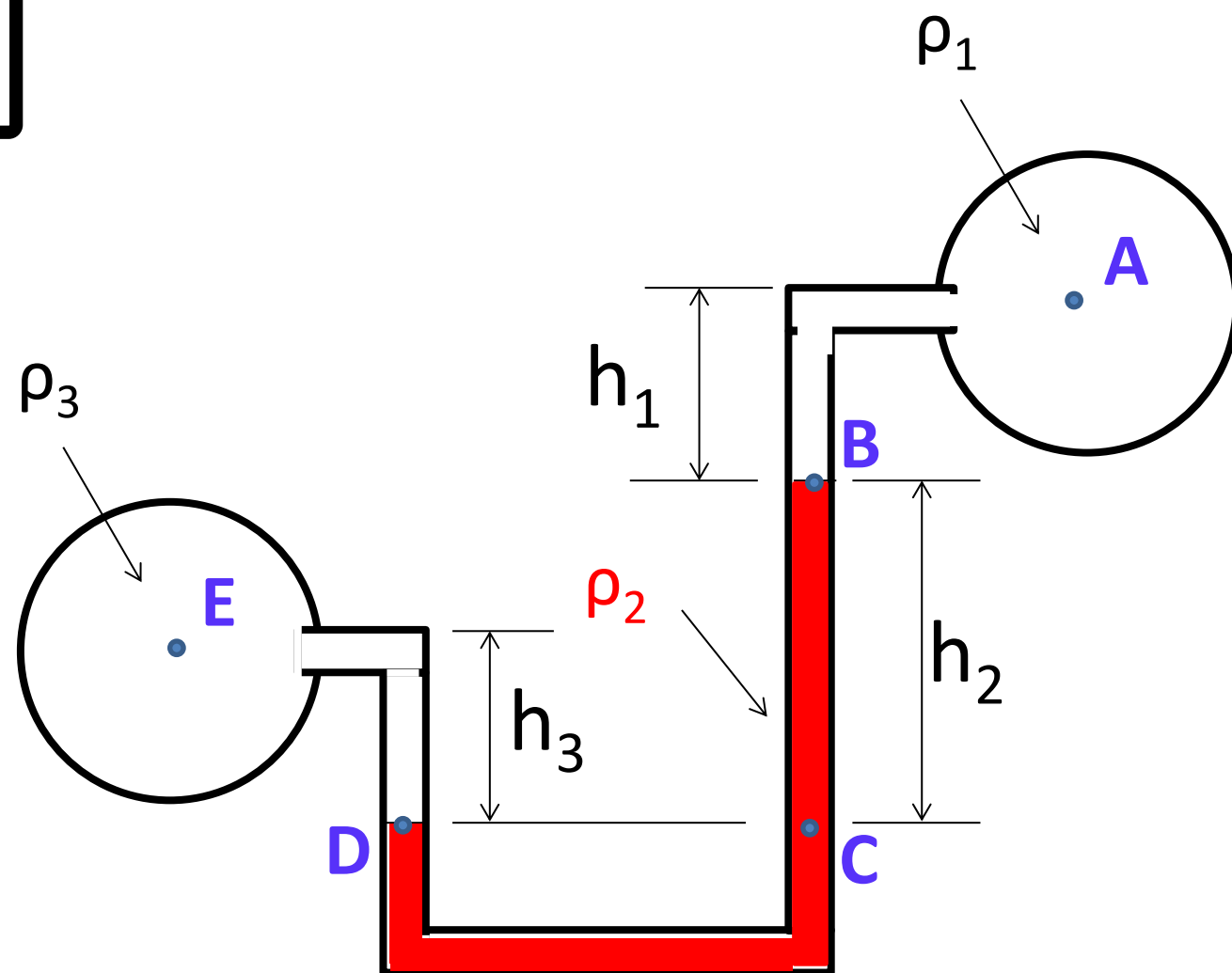
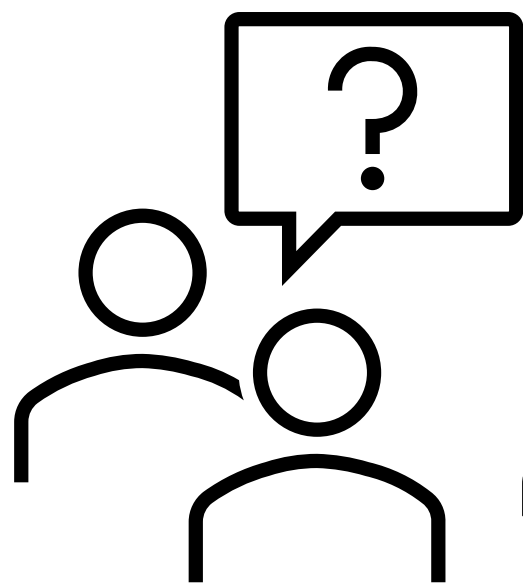
$$P_A - P_E = g \cdot (\rho_3 \cdot h_3 - \rho_1 \cdot h_1 - \rho_2 \cdot h_2)$$

Ou

$$P_A - P_E = \gamma_3 \cdot h_3 - \gamma_1 \cdot h_1 - \gamma_2 \cdot h_2$$

Manômetro Diferencial

$$P_A - P_E ?$$



Onde:

ρ_1 - densidade do líquido em A, kg/m^3 ;

γ_1 - peso específico do líquido em A, N/m^3 ;

h_1 - alturas do líquido no trecho A-B, m;

g - aceleração da gravidade, m/s^2 ;

P_A - pressão no ponto A, Pa.

$$P_A - P_E = \gamma_3 \cdot h_3 - \gamma_1 \cdot h_1 - \gamma_2 \cdot h_2$$

Exemplo: Determine o diferencial de pressão entre os pontos A e E, para o caso de $\gamma_1 = \gamma_3 = 9.800 \text{ N/m}^3$, $\gamma_2 = 133.280 \text{ N/m}^3$, $h_1 = 15 \text{ cm}$, $h_2 = 25 \text{ cm}$ e $h_3 = 15 \text{ cm}$.

$$P_A - P_E = 9800 \cdot 0,15 - 9800 \cdot 0,15 - 133280 \cdot 0,25$$

$$P_A - P_E = -33.320 \text{ Pa ou } -33,32 \text{ kPa.}$$

E qual a pressão em E, se P_A for 25 kPa?

$$P_E = 33,32 + 25,00$$

$$P_E = 58,32 \text{ kPa.}$$

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

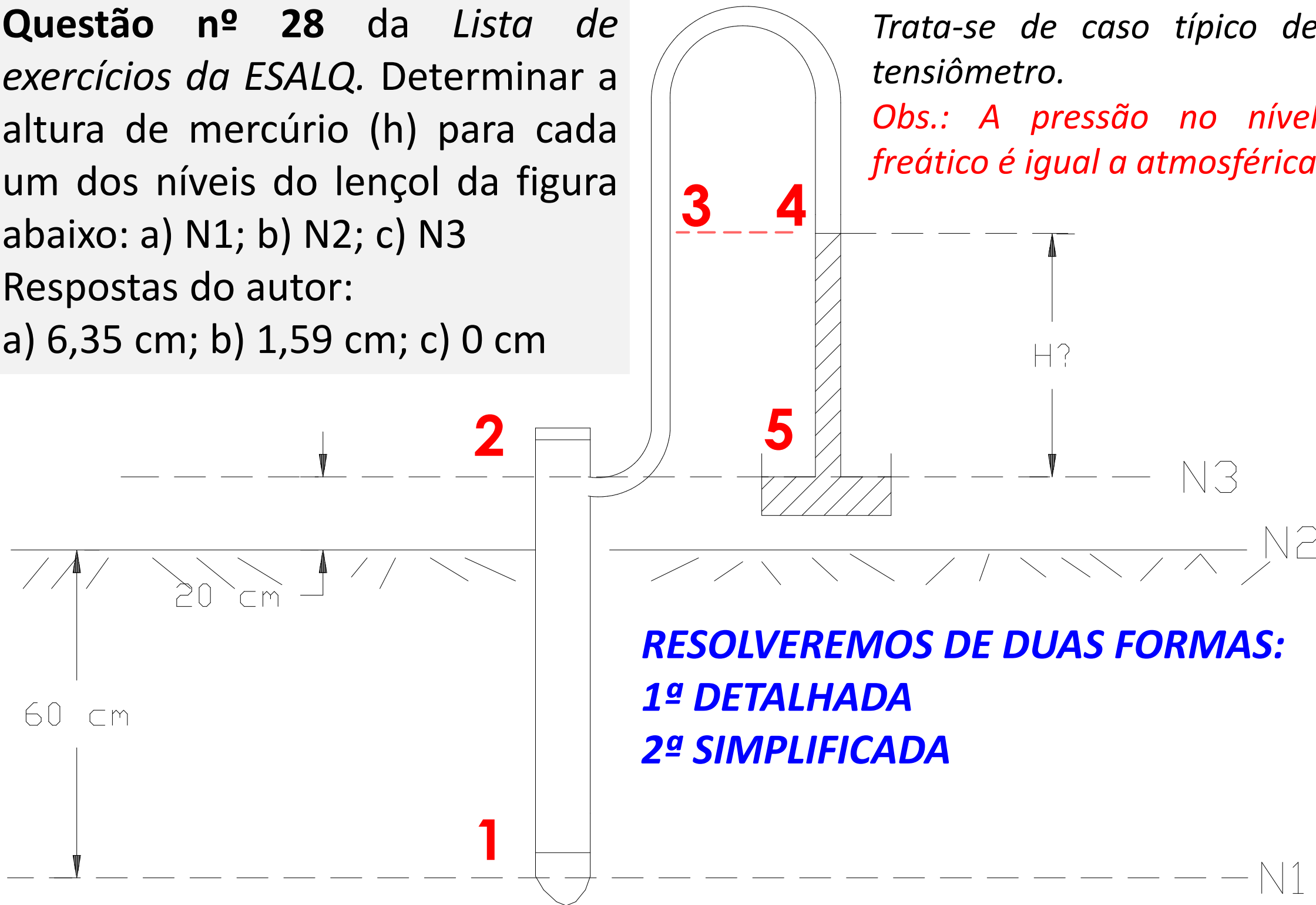
Questão nº 28 da *Lista de exercícios da ESALQ*. Determinar a altura de mercúrio (h) para cada um dos níveis do lençol da figura abaixo: a) N1; b) N2; c) N3

Respostas do autor:

a) 6,35 cm; b) 1,59 cm; c) 0 cm

Trata-se de caso típico de **tensiômetro**.

Obs.: A pressão no nível freático é igual a atmosférica



RESOLVEREMOS DE DUAS FORMAS:
1ª DETALHADA
2ª SIMPLIFICADA

Para o lençol na posição N1

$$P_1 = 0 \text{ (P atmosférica)}$$

$$P_2 = P_1 - \rho \times g \times h_{1-2}$$

$$P_2 = 0 - 1000 \times 9,80 \times 0,80$$

$$P_2 = -7840 \text{ Pa}$$

$$P_3 = P_2 - \rho \times g \times h_{2-3}$$

$$P_3 = -7840 - 1000 \times 9,80 \times h$$

$$P_3 = -7840 - 9800 \times h$$

$$P_3 = P_4$$

$$P_4 = P_5 - \rho \times g \times h_{4-5}$$

$$P_5 = 0 \text{ (P atmosférica)}$$

$$P_4 = 0 - 13600 \times 9,80 \times h$$

$$P_4 = -133280 \times h$$

$$\text{Como } P_3 = P_4$$

$$-7840 - 9800 \times h = -133280 \times h$$

$$(133280 - 9800) \times h = 7840$$

$$123480 \times h = 7840$$

$$h = 7840 / 123480$$

$$h = 0,06349 \text{ m} = 6,35 \text{ cm}$$

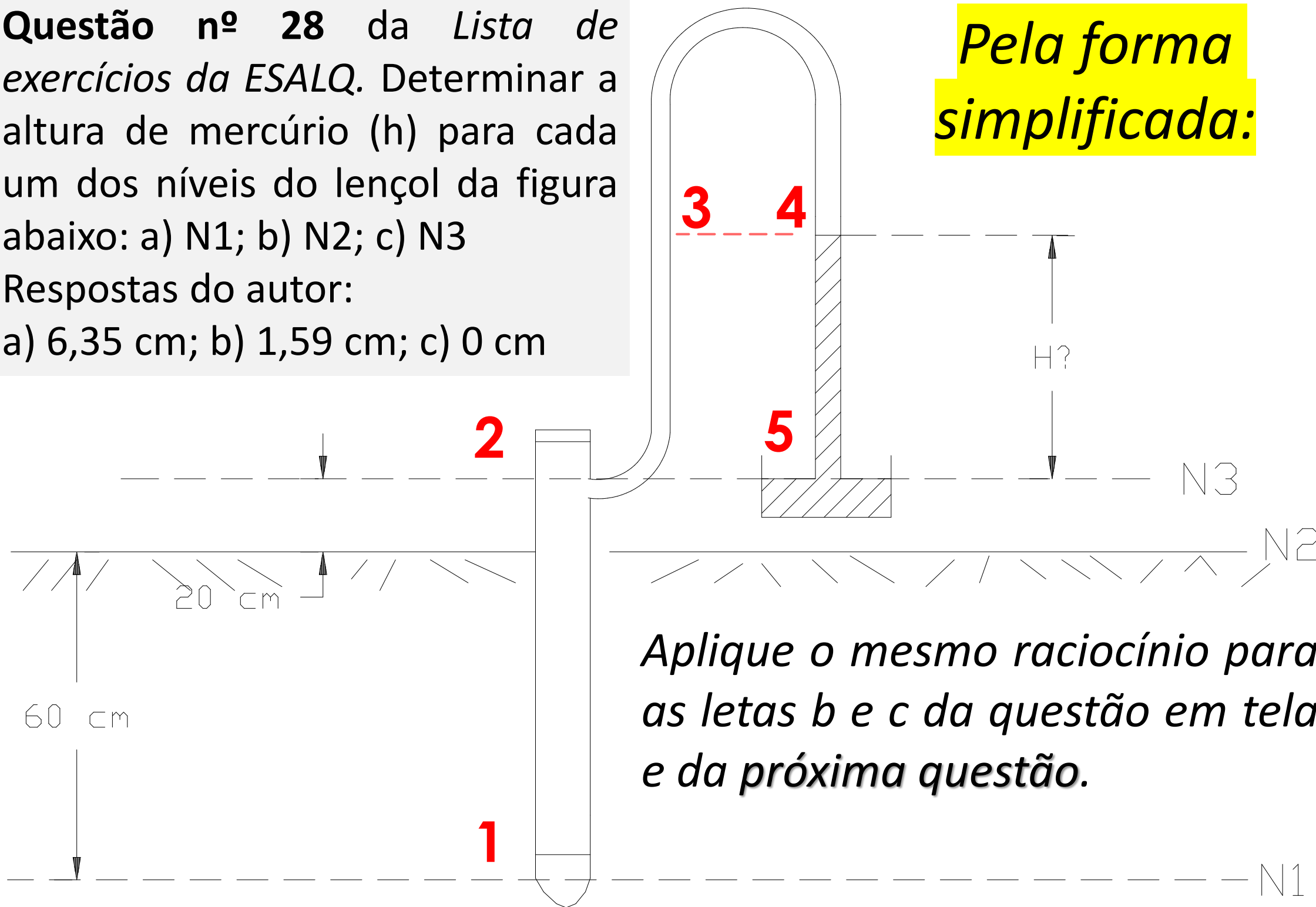
EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Questão nº 28 da *Lista de exercícios da ESALQ*. Determinar a altura de mercúrio (h) para cada um dos níveis do lençol da figura abaixo: a) N1; b) N2; c) N3

Respostas do autor:

a) 6,35 cm; b) 1,59 cm; c) 0 cm

Pela forma simplificada:



Para o lençol na posição N1

Notem que:

A coluna de mercúrio H está equilibrando uma coluna de água de 80 cm + H.

Assim:

$$13600 \cdot 9,80 \cdot H = 1000 \cdot 9,80 \cdot (0,80 + H)$$

Dividindo por 9,80:

$$13600 \cdot H = 800 + 1000 \cdot H$$

Logo:

$$12600 \cdot H = 800$$

$$H = 800 / 12600$$

$$H = 0,06349 \text{ m}$$

$$H = 6,35 \text{ cm.}$$

Vejam, a seguir, equações usadas em trabalhos práticos:

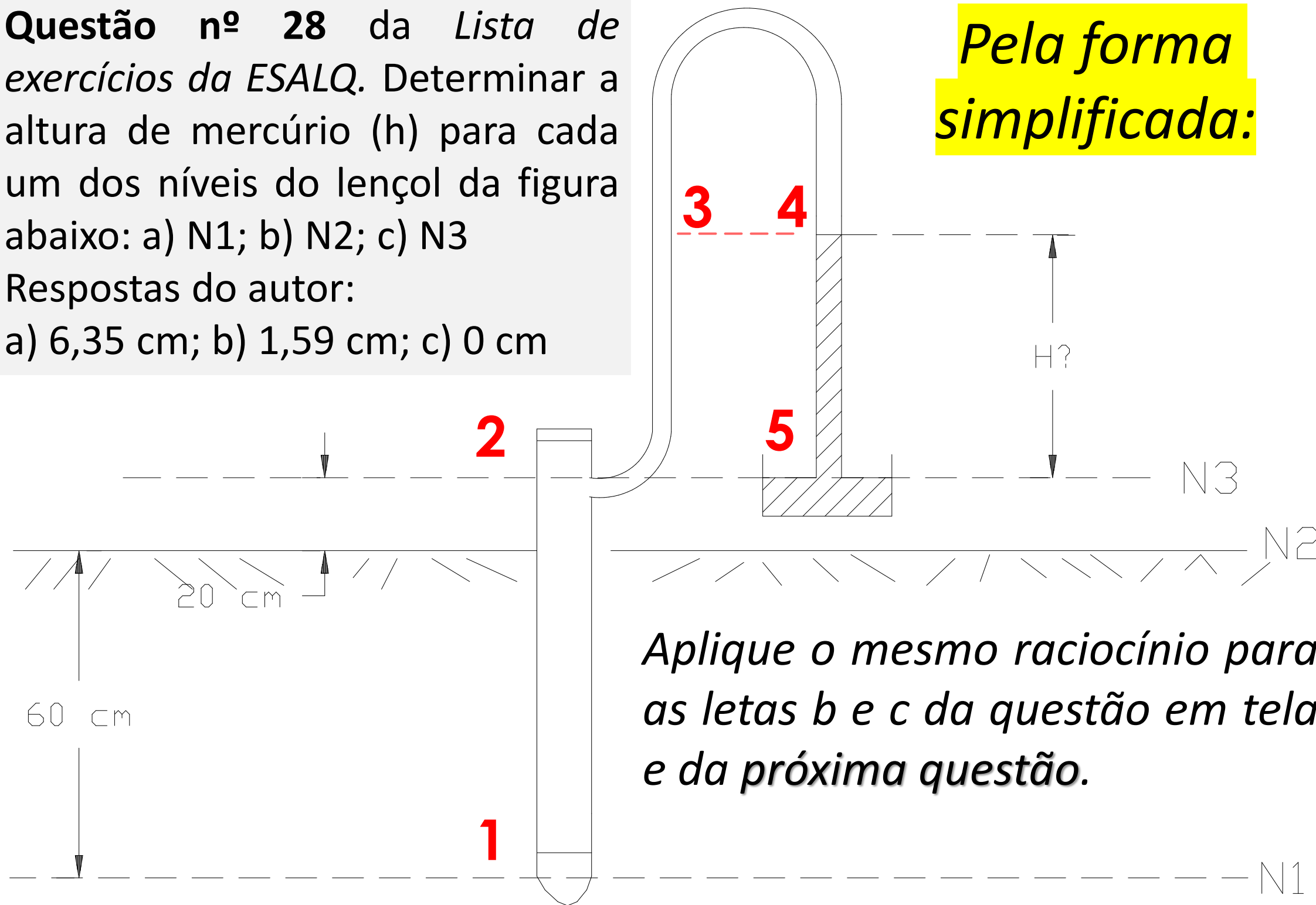
EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Questão nº 28 da *Lista de exercícios da ESALQ*. Determinar a altura de mercúrio (h) para cada um dos níveis do lençol da figura abaixo: a) N1; b) N2; c) N3

Respostas do autor:

a) 6,35 cm; b) 1,59 cm; c) 0 cm

Pela forma simplificada:



Aplique o mesmo raciocínio para as letras b e c da questão em tela e da próxima questão.

$$\phi_m = - 12,6 h_{Hg} + h_c + z$$

em que ϕ_m - potencial mátrico da água no solo, m de água; h_{Hg} - altura da coluna de Hg (leitura do tensiômetro), m; h_c - altura do nível de Hg na cubeta em relação à superfície do solo, m de água; z - profundidade de instalação do centro da cápsula porosa do tensiômetro, m de água

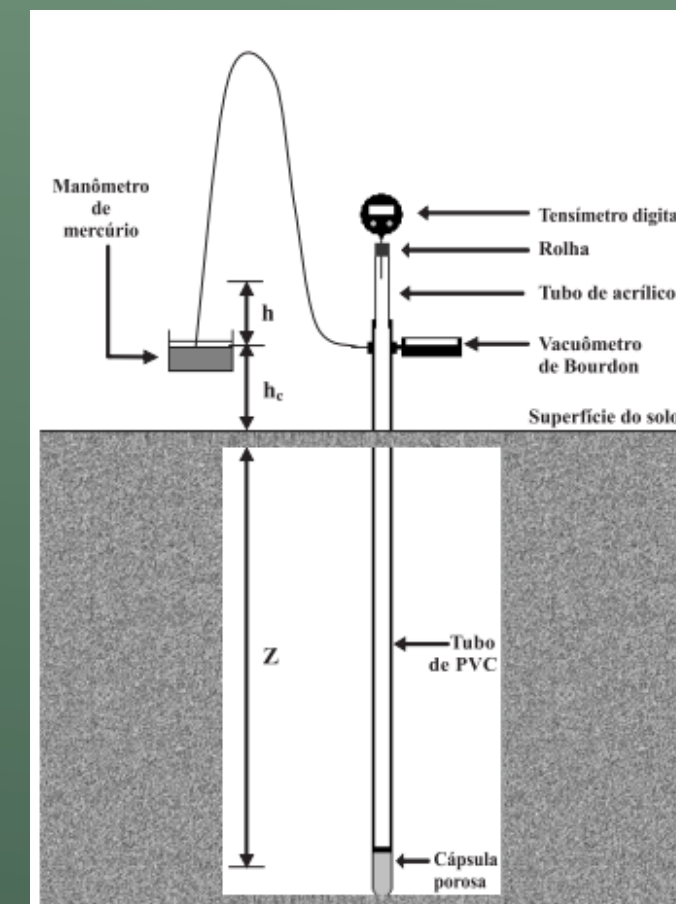
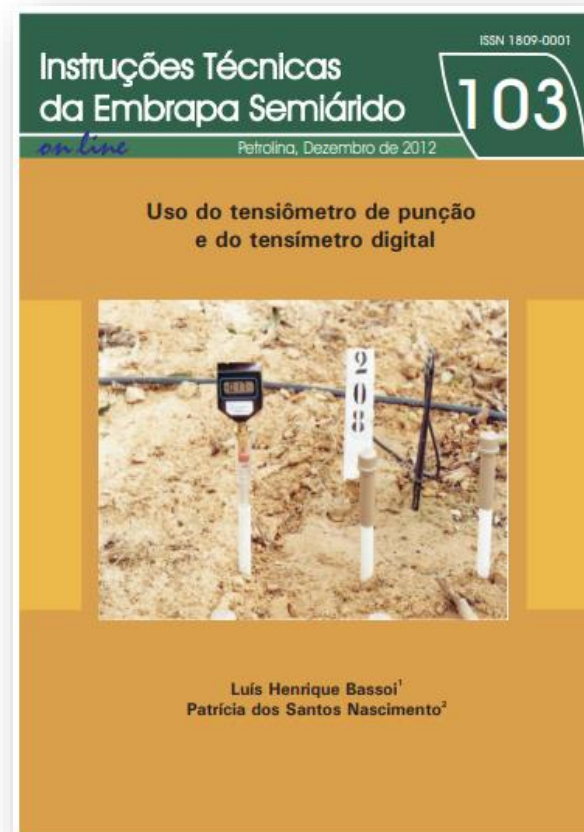


Figura 1. Diagrama esquemático do tensiômetro construído com os três sistemas de leitura acoplados em um tubo de PVC.

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/sY7pbPgm8w7G8mYTkmyPxr/?format=pdf&lang=pt>



Desenho: Luis Henrique Bassoi.

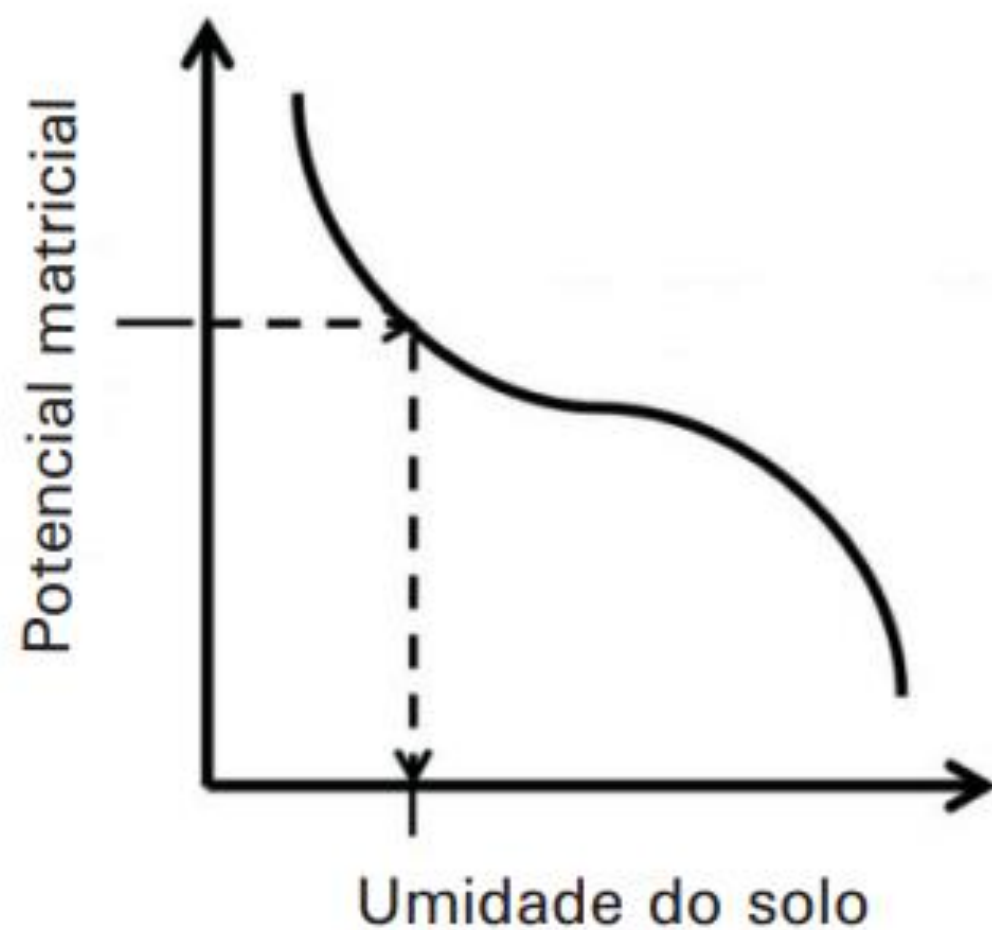


Figura 2. Curva de retenção da água no solo.

Desenho: Luis Henrique Bassoi.

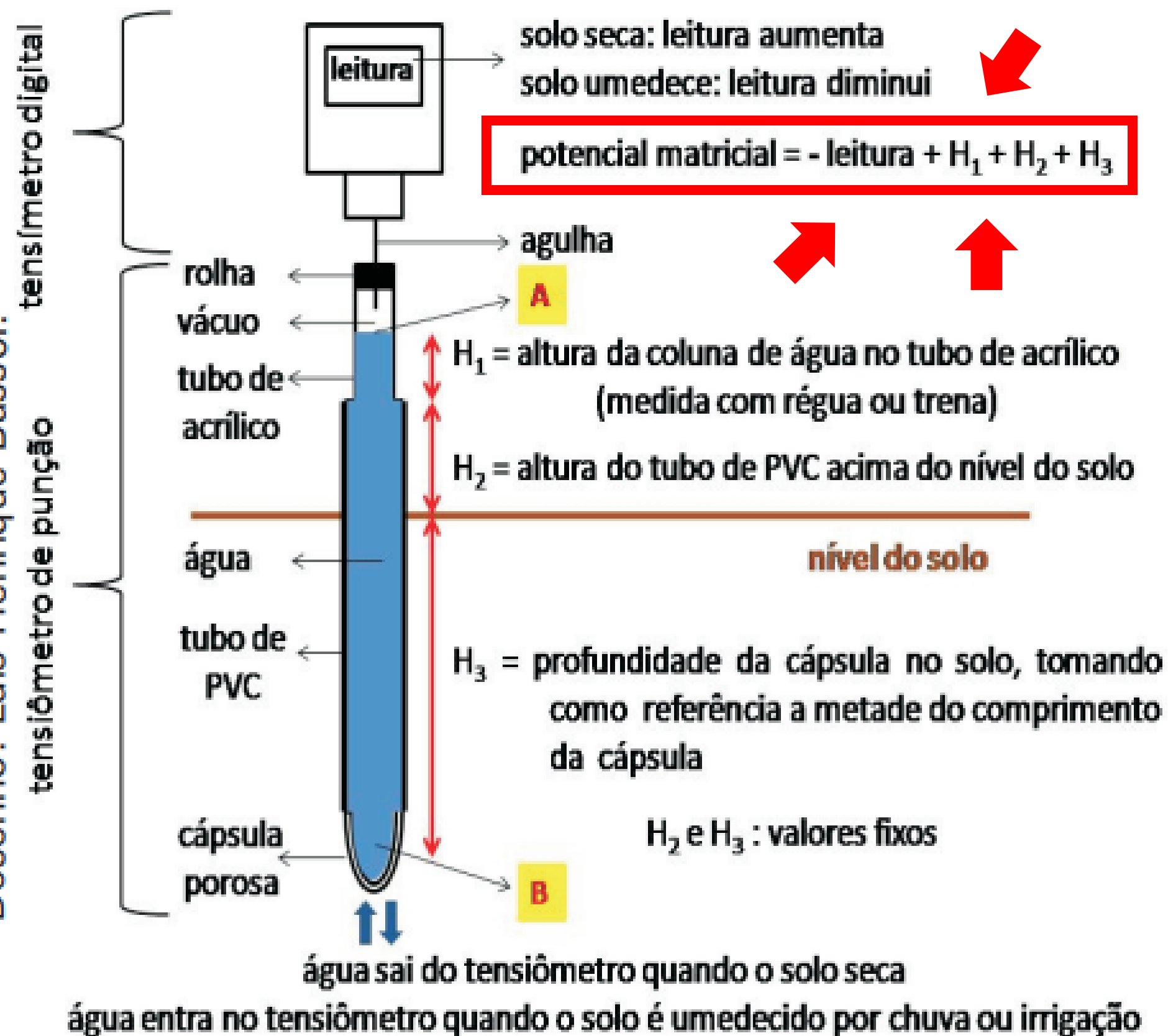


Figura 1. Leitura de um tensiômetro digital para obter a força que o solo retém a água (potencial matricial).

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Questão nº 27 da *Lista de exercícios da ESALQ*.

Dado o tensiômetro esquematizado ao lado, determinar:

a) O potencial matricial (tensão) no ponto A em atmosferas técnicas (atm.).

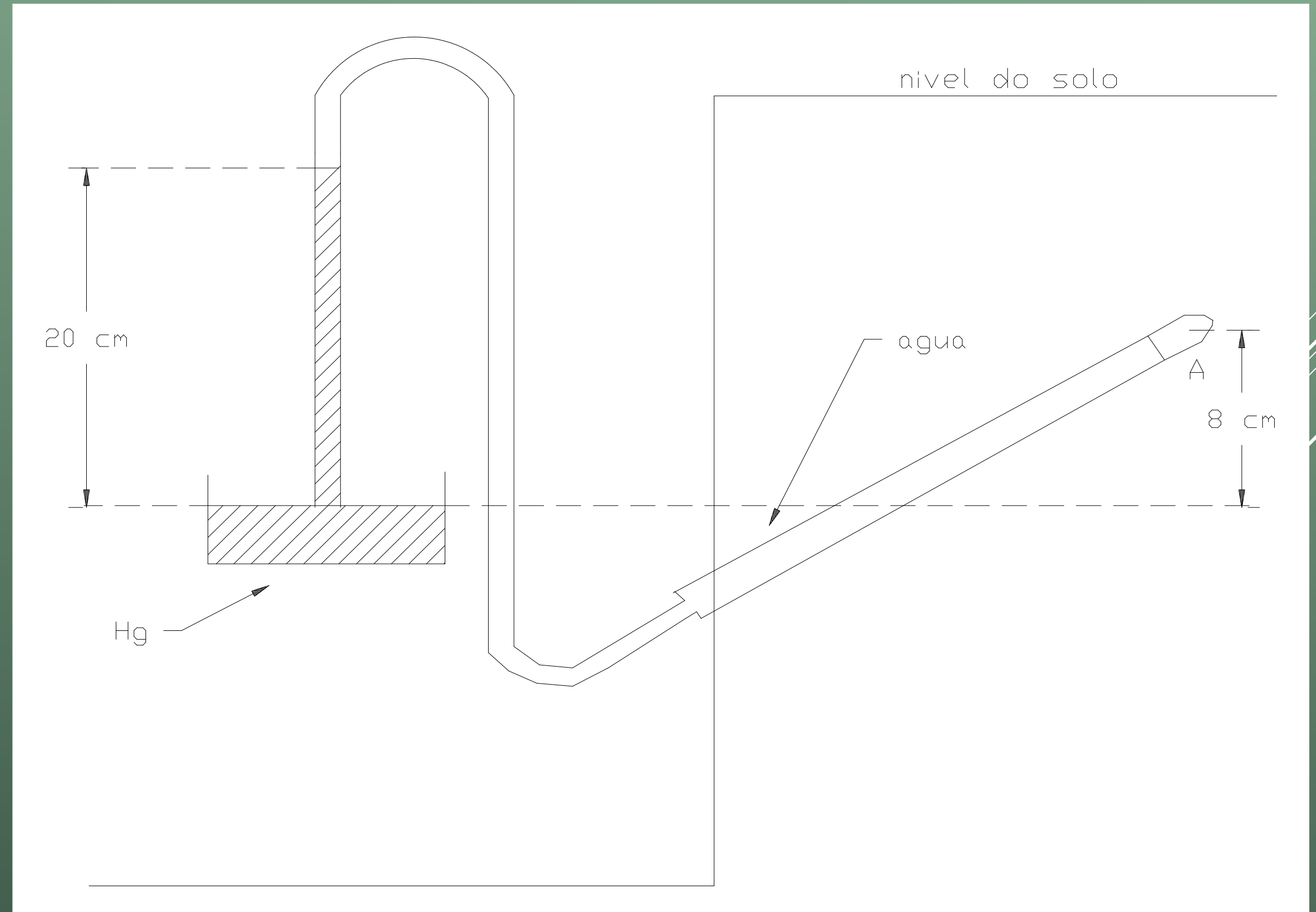
b) Para um potencial matricial igual a tensão de 0,008 atm, qual o valor da leitura da coluna de mercúrio?

Considerar: $d_{H_2O} = 1,0$; $d_{Hg} = 13,6$.

Respostas do autor:

a) -0,26 atm; b) 0 cm

O plano de referência do desenho corta o tubo manométrico e o corpo do tensiômetro como pode ser visto na ilustração. Pergunta-se qual o motivo da pressão no interior dos tubos nestes pontos não ser igual a pressão atmosférica?



Lista de exercícios da ESALQ

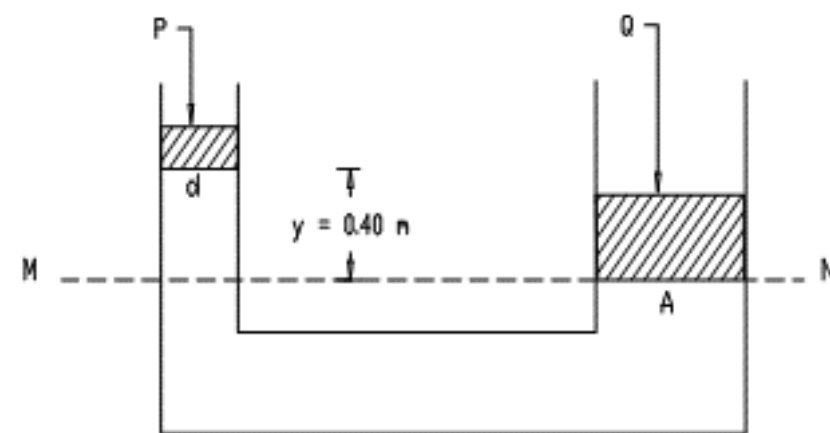
1) Uma caixa d'água de 1,20 m X 0,50 m e altura de 1,00 m pesa 540 Kgf que pressão ela exerce sobre o solo (usar o sistema absoluto, onde $1 \text{ kgf} = 1,00 \text{ kg} \times 1,00 \text{ m/s}^2$):

- vazia
- cheia

2) Um tubo vertical, longo, de 30 m de comprimento e 25 mm de diâmetro, tem sua extremidade inferior aberta e nivelada com a superfície interna da tampa de uma caixa de 0,20 m² de seção e altura de 0,15 m, sendo o fundo horizontal. Desprezando-se os pesos dos tubos da caixa, ambas cheias d'água, calcular:

- a pressão hidrostática total sobre o fundo da caixa
- a pressão total sobre o chão em que repousa a caixa

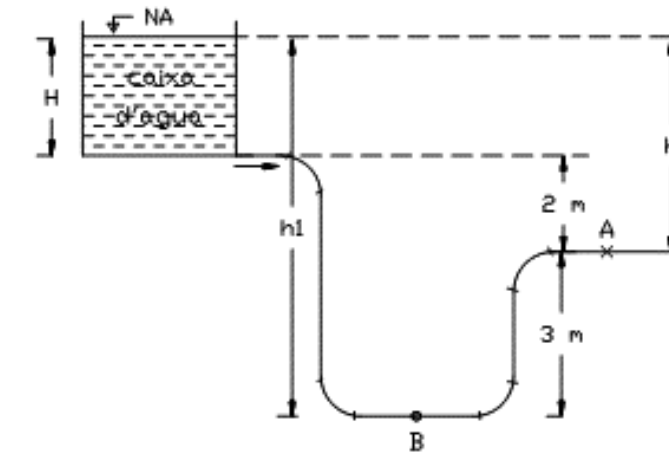
3) Calcular a força P que deve ser aplicado no êmbolo menor da prensa hidráulica da figura, para equilibrar a carga de 4.400 Kgf colocada no êmbolo maior. Os cilindros estão cheios, de um óleo com densidade 0,75 e as seções dos êmbolos são, respectivamente, 40 e 4000 cm².



4) Qual a pressão, em Kgf/cm², no Fundo de um reservatório que contém água, com 3 m de profundidade? idem, se o reservatório contém gasolina (densidade 0,75)?

5) A pressão da água numa torneira fechada (A) é de 0,28 Kgf/cm². Se a diferença de nível entre (A) e o fundo da caixa é de 2m, Calcular:

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



6) Se a pressão manométrica num tanque de óleo (peso específico = 0,80) é de 4,2 Kgf/cm², qual a altura da carga equivalente:

- em metros de óleo
- em metros de água
- em milímetros de mercúrio

7) Um tubo vertical, de 25 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento, aberto na extremidade superior, contém volumes iguais de água e mercúrio. Pergunta-se:

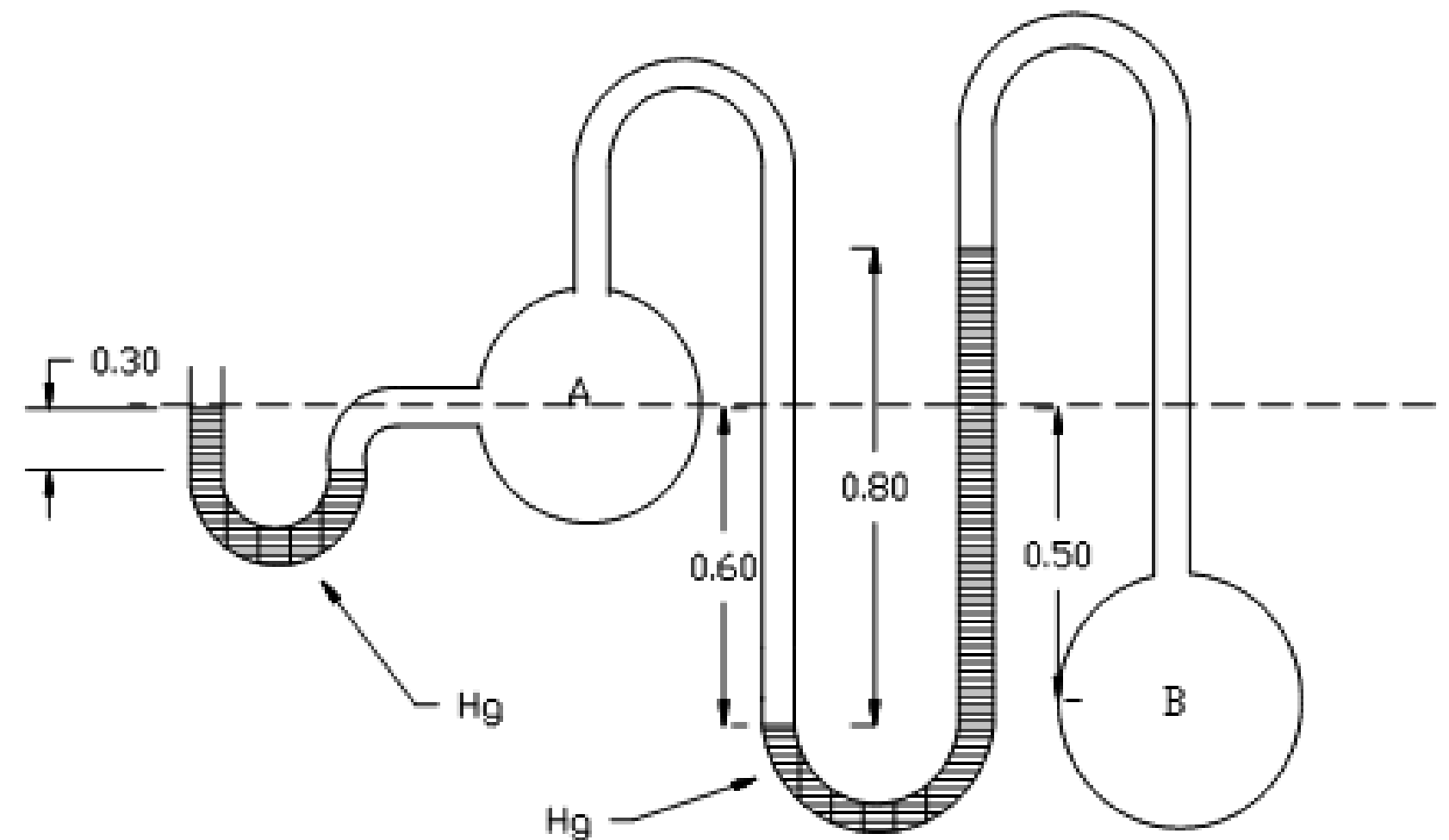
- qual a pressão manométrica, em Kgf/cm², no fundo do tubo?
- qual os pesos líquidos nele contido?

8) Um tubo vertical longo, de 3 m de comprimento com a extremidade superior fechada, tem a inferior aberta e imersa 1,2m num tanque d'água. Desprezando a pressão do vapor, quanto ficará o nível d'água, no tubo, abaixo do nível no tanque? ($P_{at} = 10,33 \text{ m.c.a.}$)

Respostas apresentadas pelo autor: 1) a) 900 Kgf/m² ; b) 1 900 Kgf/m²; 2) a) 30 150 Kgf/m² ; b) 223,5 Kgf/m²; 3) 42,8 Kgf; 4) a) 0,3 kgf/cm² b) 0,225 Kgf/cm²; 5) a) 0,8 m; b) 0,58 Kgf/cm²; 6) a) 52,5 m.c. óleo; b) 42,0 m.c.a.; c) 3088 mm Hg; 7) a) 0,219 Kgf/cm²; b) H₂O (73,6 g*), Hg (1Kgf); 8) 95 cm.

Lista de exercícios da ESALQ

23) Na figura abaixo, o tubo A contém óleo ($d = 0,80$) e o tubo B, água. Calcular as pressões em A e em B.



Respostas apresentadas pelo autor: 23) $P_A = 3\,840 \text{ Kgf/m}^2$; $P_B = -5\,860 \text{ Kgf/m}^2$



FIM
