

acréscimo de pressão de 1 atmosfera técnica (10.000 kgf.m
 de elasticidade volumétrica = $2,09 \cdot 10^8 \text{ Kgf} \cdot \text{m}^{-2}$?

$$dV = -\alpha \cdot V \cdot dp \Rightarrow dV = -\frac{V \cdot dp}{E}$$

$$dV = \frac{-1 \text{ m}^3 \cdot 10.000 \text{ Kgf} \cdot \text{m}^{-2}}{2,09 \cdot 10^8 \text{ Kgf} \cdot \text{m}^{-2}} = -0,0000478 \text{ m}^3$$

↓
 $dV = -47,8 \text{ cm}^3$

- 9) A que altura a água pura subirá em um capilar de vidro de 0,01 cm de diâmetro ?
 Dados:
 a) Peso específico da água a 20 °C = 998,2 kgf/m³ ρ
 b) Coeficiente de tensão superficial a 20 °C = 0,00743 kgf/m σ
 c) Ângulo de contato da água com o vidro do capilar = zero θ

Equação de Jurin $\Rightarrow h = \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{\rho \cdot D/2}$

$$h = \frac{2 \cdot 0,00743 \text{ Kgf} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \cos 0^\circ}{998,2 \text{ Kgf} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \frac{0,0001}{2}} = 0,2977 \text{ m}$$

↓
 $29,77 \text{ cm}$

Fim → Aula 01
 Prof. Rubens Coelho

4) Hidrostática

4.1 Definição

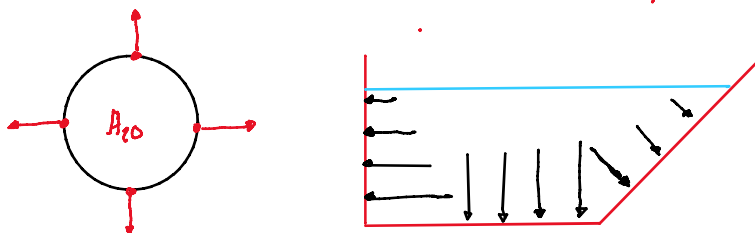
É o estudo dos Fluidos em Repouso

Engloba o estudo das pressões e suas variações através do fluido e o estudo das forças devido à pressão hidrostática sobre as superfícies imersas.

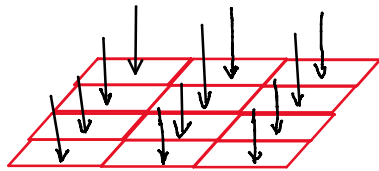
4.2 Pressão e Empuxo

A) Pressão - É a força normal por unidade de área que a massa fluida exerce sobre uma superfície qualquer.

A força é normal pois os fluidos não resistem à tensões de cisalhamento ou esforços tangenciais.



B) EMPUXO - É a força total resultante da ação da pressão sobre uma superfície imersa



$$P = \frac{dF}{dA} \Rightarrow dF = P \cdot dA$$

Pressões no fundo horizontal da piscina é constante

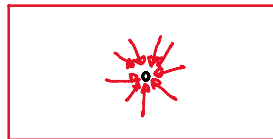
$$F = \text{Empuxo} = \int_0^A dF = \int_0^A P \cdot dA \Rightarrow F = P \cdot \int_0^A dA \Rightarrow \boxed{F = P \cdot A}$$

Empuxo sobre o fundo horizontal de uma piscina

4.3) Princípios Básicos da Hidrostática

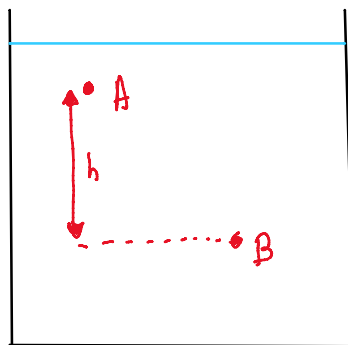
4.3.1 Lei de Pascal

A pressão em um ponto no interior de um líquido qualquer em equilíbrio é igual em todas as direções



4.3.2 Lei de Stevin

A diferença de pressão entre dois pontos em um líquido em equilíbrio, é igual a diferença de profundidade entre os pontos considerados multiplicada pelo peso específico do líquido.



$$P_B - P_A = \rho_{\text{fluidos}} \cdot h$$

$$\frac{\text{kgf/m}^2}{\text{kgf/m}^3} = \text{mca}$$

↑
 Unidade de Pressão.

4.4 Pressão Absoluta e Pressão Relativa

Pressão Relativa - é a pressão medida tendo como "referência zero" a pressão atmosférica local

Pressão Absoluta - é a pressão medida tendo como "referência zero" o vácuo total

Pressão Absoluta - é a pressão medida tendo como "referência zero" o vácuo total

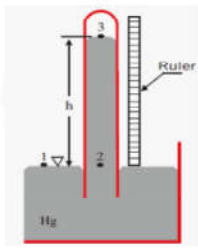
$$P_{\text{ABSOLUTA}} = P_{\text{RELATIVA}} + P_{\text{ATMOSFÉRICA LOCAL}}$$

⊙ $\Delta P \approx -0,12 \text{ mCA} / 100 \text{ m ALTITUDE}$

⊙ $P_{\text{atm nível do mar}} = 760 \text{ mm Hg} = 10,33 \text{ mCA}$

Experiência de Torricelli (Século XVII)

Pressão de vapor do mercúrio $21^\circ\text{C} = 1,82 \times 10^{-6} \text{ atm} \rightarrow 2600 \rightarrow -P_3$



$P_2 = P_1 = P_{\text{ATMOSFÉRICA}}$

$$P_2 - P_3 = \rho_{\text{Hg}} \cdot h \quad \text{como } P_3 \rightarrow 0$$

$$P_2 = \rho_{\text{Hg}} \cdot h \Rightarrow P_2 = 13.600 \text{ kgf/m}^3 \times 0,76 \text{ m}$$

$P_2 = 10.330 \text{ kgf/m}^2$

↓
Ao nível do mar.

$P_{\text{atm}} = 10.330 \text{ kgf/m}^2 = 1,033 \text{ kgf/cm}^2 = 10,33 \text{ mCA}$

OBS -> É comum expressar "pressões" em comprimento de coluna de um líquido (energia de pressão por unidade de peso).

$$\frac{\text{ENERGIA}}{\text{PESO}} = \frac{F \cdot L}{F} = L$$

como $P = \rho \cdot g \cdot h \Rightarrow P/\rho = h \Rightarrow h = \frac{\text{kgf} \cdot \text{m}^{-2}}{\text{kgf} \cdot \text{m}^{-3}} = \text{m}$

Assim: $P_{\text{atm}} = 760 \text{ mm Hg}$. (med de coluna de Hg)

$P_{\text{atm}} = \frac{10.330 \text{ kgf/m}^2}{1000 \text{ kgf/m}^3} = 10,33 \text{ mCA}$. (METROS de coluna de H₂O)

4.5 Unidades de Pressão

UNIDADES DE PRESSÃO

- (A) • Kgf/m^2 (MK²S)
- (B) • $\text{N/m}^2 = \text{PASCAL}$ $\left[\begin{array}{l} 1 \text{ PASCAL} = 0,1019 \text{ Kgf/m}^2 \\ \text{K PASCAL} = 10^3 \text{ PASCAL} \\ \text{M PASCAL} = 10^6 \text{ PASCAL} \end{array} \right.$
- (C) • $\text{DINAS/cm}^2 = \text{BÁRIA}$ $\left[\begin{array}{l} 1 \text{ BÁRIA} = 0,01019 \text{ Kgf/m}^2 \\ 1 \text{ BAR} = 10.193,68 \text{ Kgf/m}^2 \\ \rightarrow (1 \text{ MILHÃO DE BÁRIAS}) \end{array} \right.$
- (D) • Kgf/cm^2 muito usado em sistemas de irrigação $\left[10.000 \text{ Kgf/m}^2 \right.$
- (E) • m.c.a (METROS DE COLUNA D'ÁGUA) $\left[1 \text{ mca} = 1.000 \text{ Kgf/m}^2 \right.$
- (F) • ATMOSFERA FÍSICA (ATM_{FÍS.}) $\left[\begin{array}{l} 1 \text{ ATM}_{\text{FÍS.}} = 10.330 \text{ Kgf/m}^2 \\ \text{OU } 10,33 \text{ mca} \end{array} \right.$
- (G) • ATMOSFERA TÉCNICA (ATM_{Téc.}) $\left[\begin{array}{l} 1 \text{ ATM}_{\text{Téc.}} = 10.000 \text{ Kgf/m}^2 \\ \text{OU } 10,0 \text{ mca} \end{array} \right.$
- (H) • PSI (POUNDS SQUARE INCH LIBRA POR POLGADA QUADRADA) $\left[1 \text{ PSI} = 702,85 \text{ Kgf/m}^2 \right.$
- (I) • mm Hg (mercúrio) $\left[760 \text{ mm Hg} = 1 \text{ ATM}_{\text{FÍSICA}} = 10,33 \text{ mca} \right.$

4.6 Medidores de Pressão

4.6.1 Tipos de Medidores

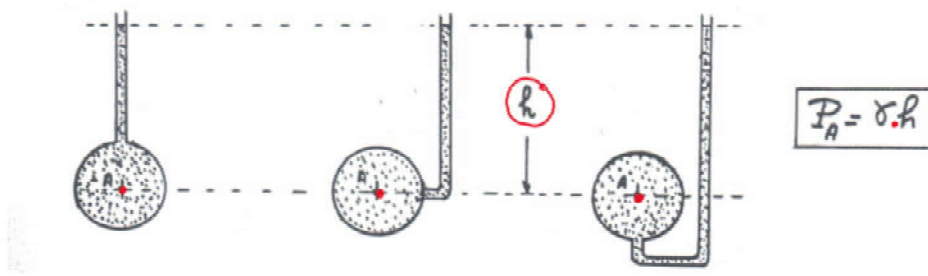
- COLUNA (Piezômetros / Tubos em "U" "PAREÃO + ANILHO")
- METÁLICOS
- PESO MORTO ⇒ "PAREÃO" * ⇒ NOVAS REFERÊNCIAS
- ELETRÔNICOS

4.6.2 Piezômetros

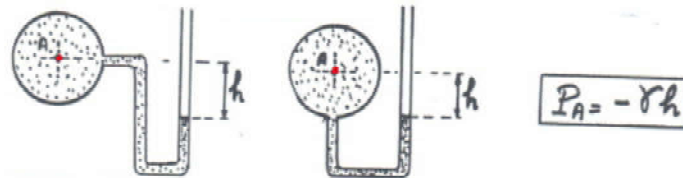
Consiste na inserção de um tubo transparente na canalização ou recipiente aonde deseja se medir a pressão.

- o diâmetro do tubo deve ser maior que 1 cm para evitar capilaridade
- o líquido indicador de pressão é o próprio líquido da canalização
- mede pressão relativa
- dispositivos simples para medição de pequenas pressões

1) Piezômetros para medida direta de pequena pressão positiva



2 - Piezômetros para medida direta de pequena pressão negativa



4.6.3 Manômetros de Tubo em U

Aplicado para medir pressões demasiadamente grandes para piezômetros

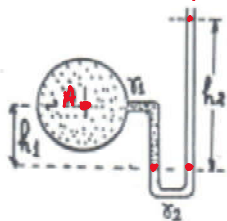
Líquido indicador de elevado peso específico

Pode ser usado também para medir pressão de pequena intensidade quando o líquido indicador apresenta baixo peso específico

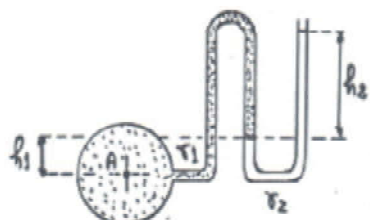
3 - Manômetros com líquido indicador para pressões mais elevadas

a) Manômetros simples para pressões positivas

Regra
 Descer $\Rightarrow +h \cdot \gamma$
 Subir $\Rightarrow -h \cdot \gamma$

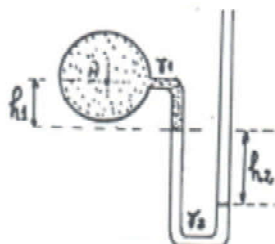


$$P_A + h_1 \gamma_1 - h_2 \gamma_2 = 0$$



$$P_A - h_1 \gamma_1 - h_2 \gamma_2 = 0$$

b) Manômetros simples para pressões negativa



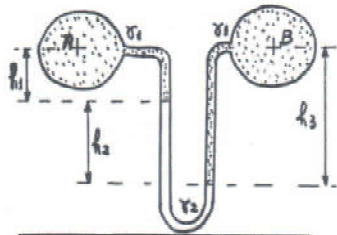
$$P_A + h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_2 = 0$$

4.6.4 Manômetros Diferenciais

Medem a diferença de pressão entre 2 canalizações consideradas

Tomar cuidado pois o tubo transparente tem que ser resistente a pressão de bombeamento das canalizações que está se medindo a diferença de pressão

Manômetros Diferenciais Tipo U

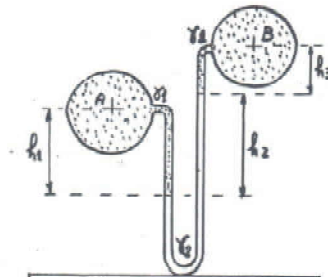


$$P_B + h_3 \gamma_1 - h_2 \gamma_2 - h_1 \gamma_1 = P_A$$

$$P_B - P_A = h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_2 - h_3 \gamma_1$$

$$P_B - P_A = h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_2 - h_1 \gamma_1 - h_2 \gamma_1$$

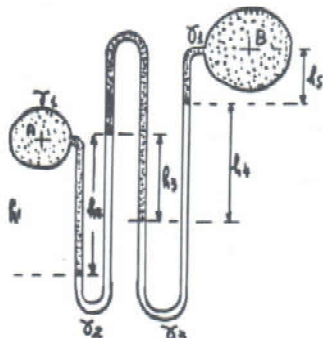
$$P_B - P_A = h_2 (\gamma_2 - \gamma_1)$$



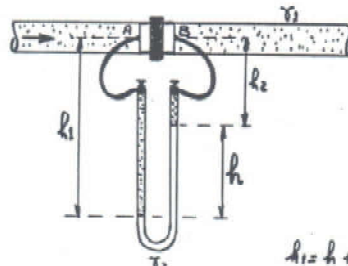
$$P_A + h_1 \gamma_1 - h_2 \gamma_2 - h_3 \gamma_1 = P_B$$

$$P_A - P_B = -h_3 \gamma_1 + h_2 \gamma_2 - h_1 \gamma_1$$

$$P_A - P_B = (-h_3 - h_1) \gamma_1 + h_2 \gamma_2$$



$$P_A + h_1 \gamma_1 - h_2 \gamma_2 + h_3 \gamma_1 - h_4 \gamma_3 - h_5 \gamma_1 = P_B$$



$$P_A + h_1 \gamma_1 - h \gamma_2 - h_2 \gamma_1 = P_B$$

$$P_A - P_B = h \gamma_2 + h_2 \gamma_1 - h_1 \gamma_1$$

$$P_A - P_B = h (\gamma_2 - \gamma_1)$$

4.6.5 Medidores Metálicos (1849) - Tipo Bourdon



Pressão Positiva
Manômetro



Pressão Negativa
Vacuômetro



Pressão Negativa e Positiva
Mano-vacuômetro

Eugène Bourdon



Eugène Bourdon was born in Paris on 8 April 1808, the son of a silk merchant. From elementary school, he showed an interest in mechanical devices. His father sent him to Nuremberg for 2 years to learn German. Back in Paris, he assisted his father in his business until his father died in 1830. Eugène then worked in an optician's shop until 1832, when he set up his own workshop.[1]

Eugène specialized in scientific instruments and model steam engines. While searching for a mechanism to measure gas pressure, without the use of a mercury manometer, he imagined using the bending of a circular tube made of a metal with good elastic properties. From this he developed the Bourdon tube pressure gauge, patented in Paris on 18 June 1849, and he granted a licence to the workshops of Felix Richard (1809-1876). His invention was crowned with the gold medal at the World's Fair in 1849. Two years later, at the World's Fair in 1851, he was awarded the Council Medal, shared with his competitor, Lucien Vidi.



VIDEO - 1 Funcionamento da "Língua de Sogra"

VIDEO - 2 Funcionamento detalhado do manômetro de Bourdon

VIDEO - 3 Processo de Fabricação de um manômetro de Bourdon

VIDEO - 4 Outros 3 tipos de manômetros metálicos

VIDEO - 5 Comparativo manômetro de Bourdon x Manômetro de Diafragma
OBS - Sobre pressão

OBS 1 - Bancada de Calibração - Aferição



OBS 3 - Qualidade da Glicerina / Corrosão do Mecanismo



OBS 2 - Manômetro Blindado / Glicerina - Equilíbrio Pressão



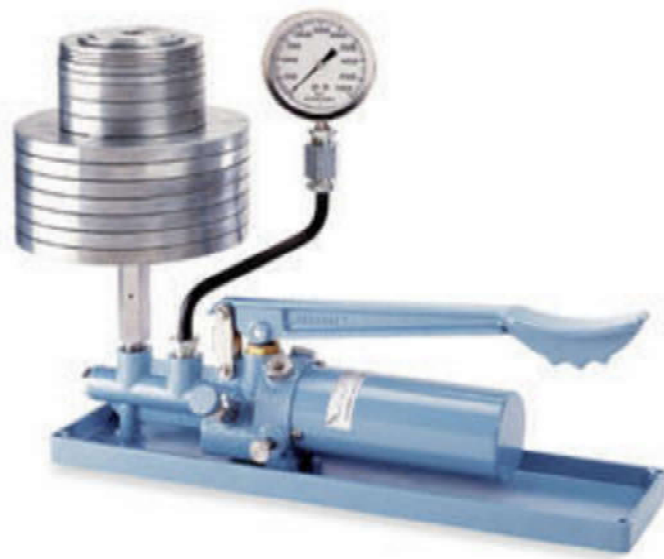
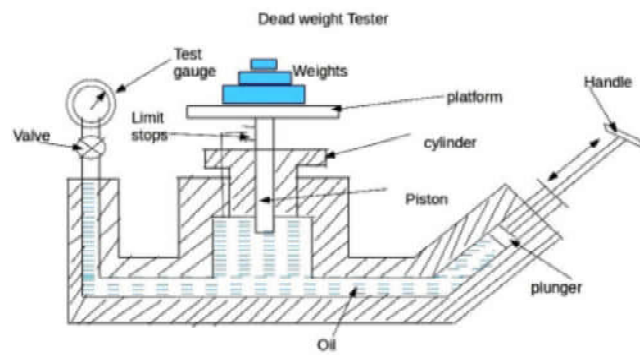
VIDEO - 6

OBS 4 - Kit Sacaponteiro / Calibração



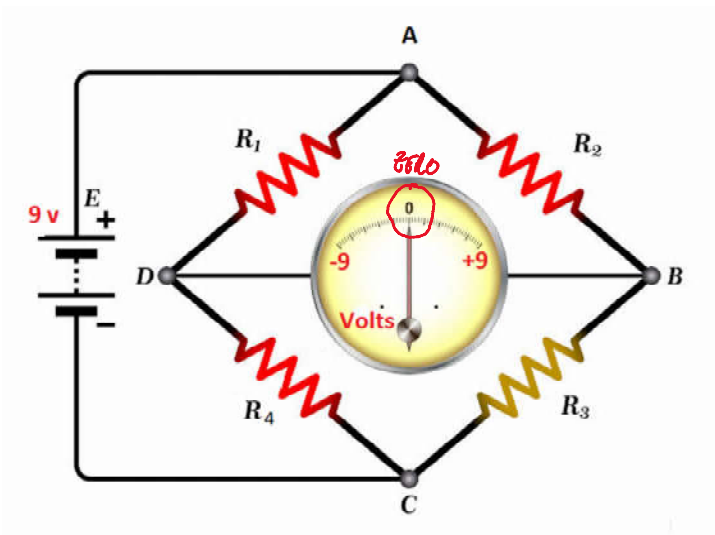
VIDEO - 7

4.6.6 Manômetro de Peso Morto (Dead Weight Tester)

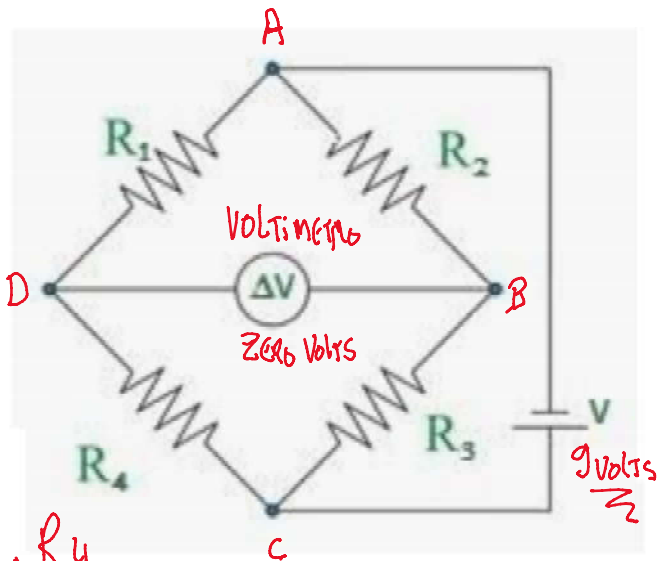


VIDEO - 8

4.6.7. Manômetro Digital - Ponte de Wheatstone (Strain Gage)



Ponte de Wheatstone

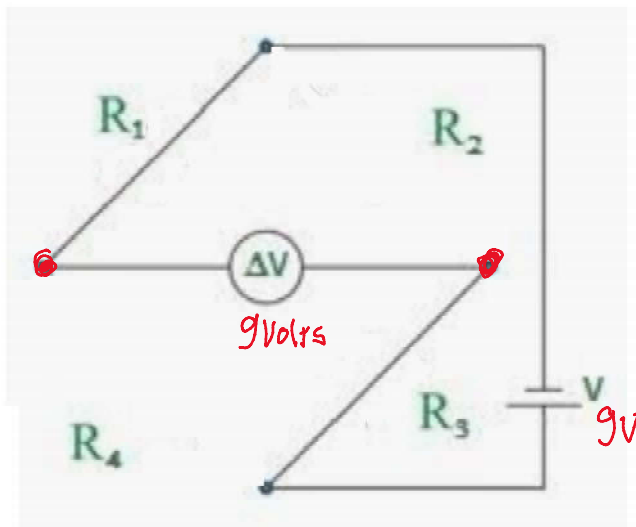


$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

↳ Ponte em equilíbrio

⇒ NÃO EXISTE DIFERENÇA DE VOLTAGEM ENTRE B e D

Ponte de Wheatstone

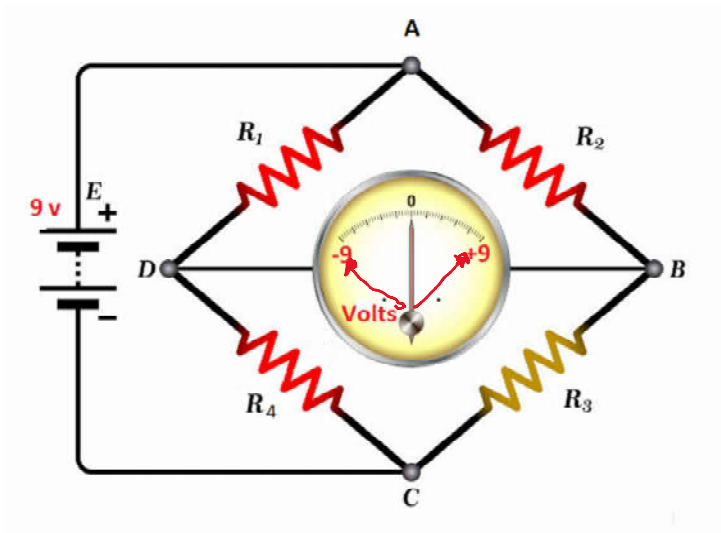


→ Tensão do Infinito

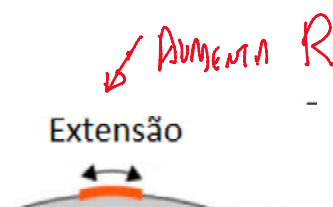
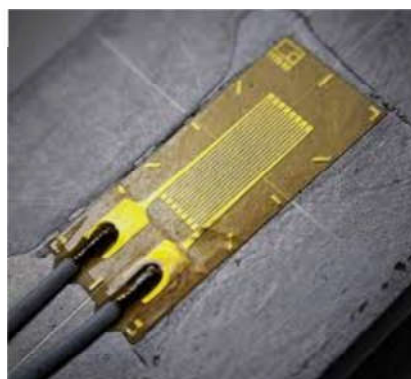
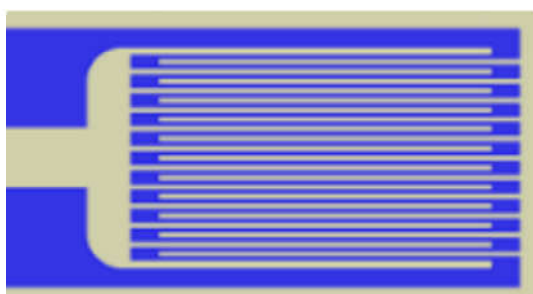
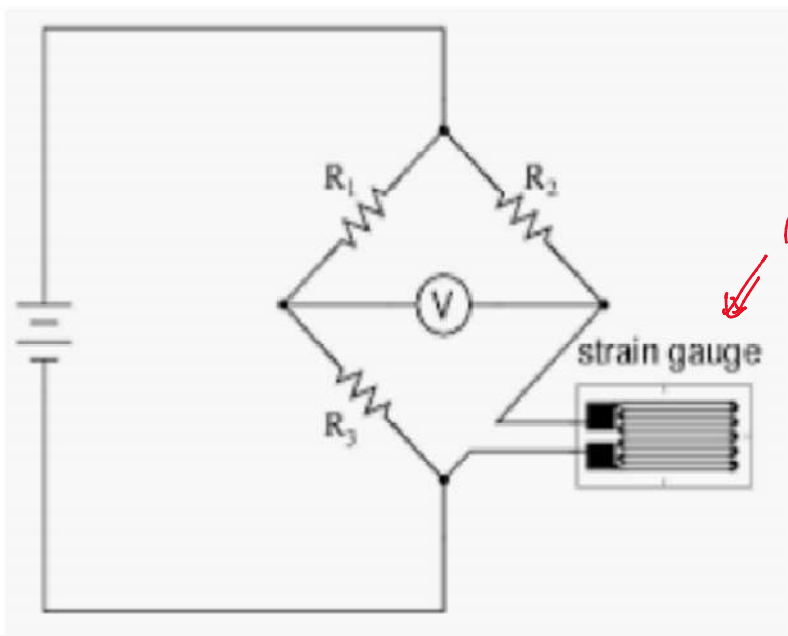
Ponte em
Desequilíbrio
MÁXIMO

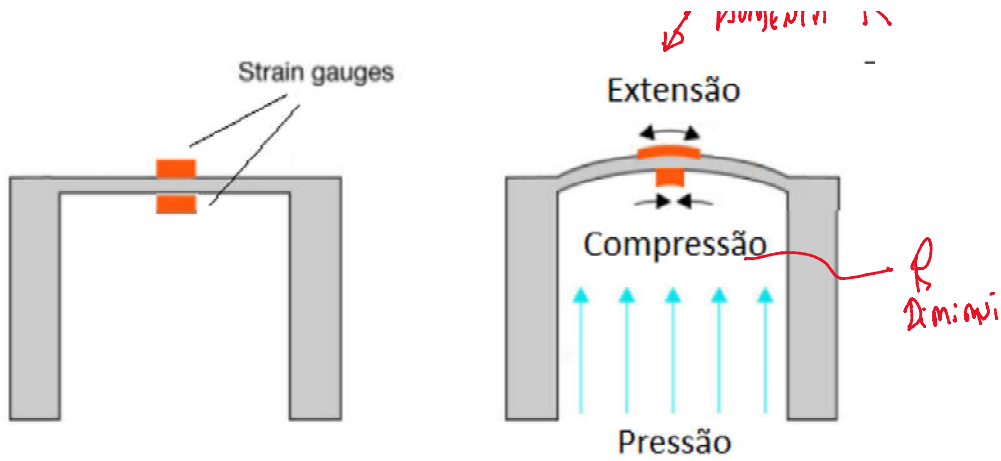
$$R_1 \cdot R_3 \neq R_2 \cdot R_4$$

→ Tensão
A ZERO



VIDEO - 9 Demonstração prática da Ponte de Wheatstone





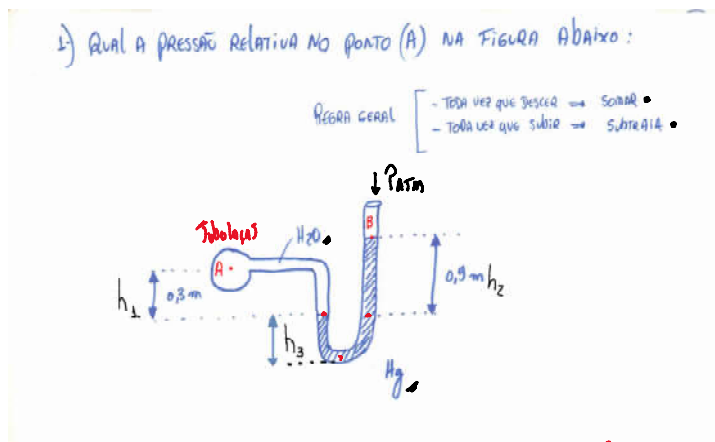
Resistência de um fio $\Rightarrow R = \rho \cdot \frac{L}{A}$

ρ Resistividade do material
 L Comprimento do fio
 A Seção do fio

VIDEO 10 - Strain Gage x manômetro 1, 2 e 3

VIDEO 11 - Configurações de uma manômetro digital TOP de mercado

4.7 EXERCICIOS - MANÔMETROS



$P_A + (h_1 \cdot \gamma_{H_2O}) + (h_2 \cdot \gamma_{Hg}) - (h_1 \cdot \gamma_{Hg}) - (h_2 \cdot \gamma_{Hg}) = P_{atm}$
 Pressão Relativa em B = P_{atm}

• Pressão Relativa em B = P_{atm}

$P_A + (0,3 \text{ m} \cdot 1000 \text{ kgf} \cdot \text{m}^{-3}) - (0,9 \text{ m} \cdot 13600 \text{ kgf} \cdot \text{m}^{-3}) = 0$

P_A $\gamma_{\text{H}_2\text{O}}$

Pressão A + $(h_1 \cdot \gamma_{\text{H}_2\text{O}}) + (h_2 \cdot \gamma_{\text{Hg}}) - (h_2 \cdot \gamma_{\text{Hg}}) - (h_2 \cdot \gamma_{\text{Hg}}) = \text{Pressão B}$
 Relativa Relativa
Zero

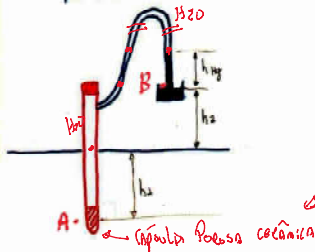
• Pressão Relativa em B = **Zero** (Patm)

$P_A + (0,3 \text{ m} \cdot 1000 \text{ kgf} \cdot \text{m}^{-3}) - (0,9 \text{ m} \cdot 13600 \text{ kgf} \cdot \text{m}^{-3}) = 0$

$P_A + 300 \text{ kgf} \cdot \text{m}^{-2} - 12240 \text{ kgf} \cdot \text{m}^{-2} = 0$

$P_A = 11940 \text{ kgf} \cdot \text{m}^{-2} \Rightarrow \boxed{1,194 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^{-2}}$

2) A Figura abaixo representa um tensiômetro. Achar uma expressão que meça a pressão da água no ponto (A) do solo.



≤ Pressões = zero

• Quando unimos ela nos deixa o ac. P. Igual que ela!



Pressão Relativa Patm Zero

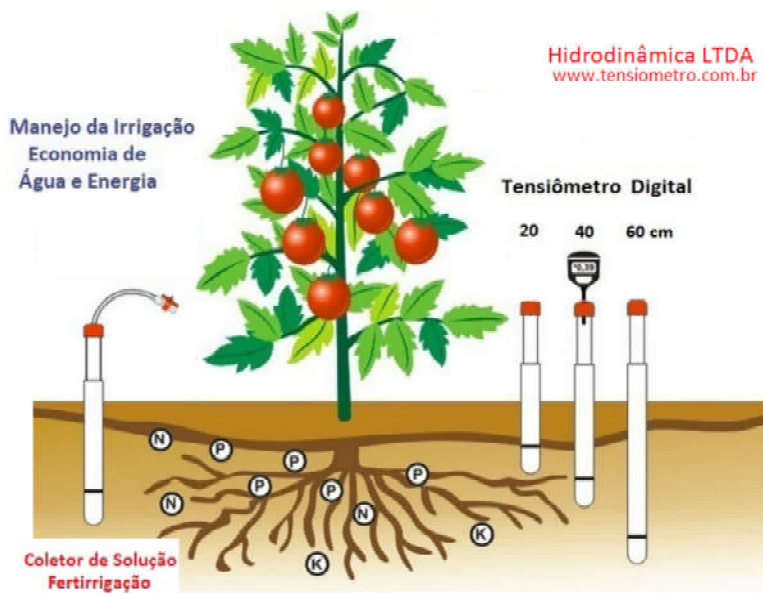
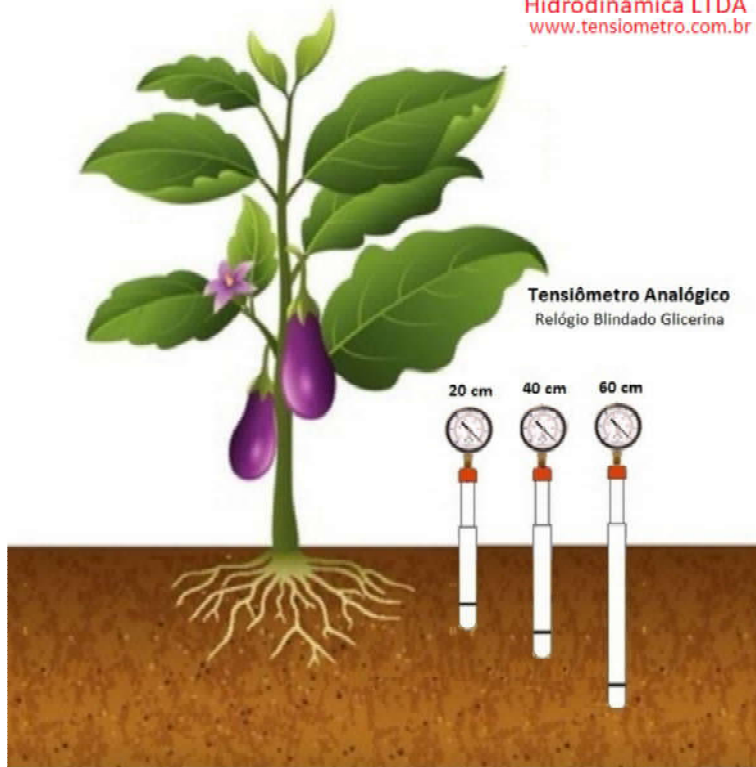
Pressão (A) - $(h_1 \cdot \gamma_{\text{H}_2\text{O}}) - (h_2 \cdot \gamma_{\text{H}_2\text{O}}) - (h_{\text{Hg}} \cdot \gamma_{\text{H}_2\text{O}}) + (h_{\text{Hg}} \cdot \gamma_{\text{Hg}}) - P_B = 0$

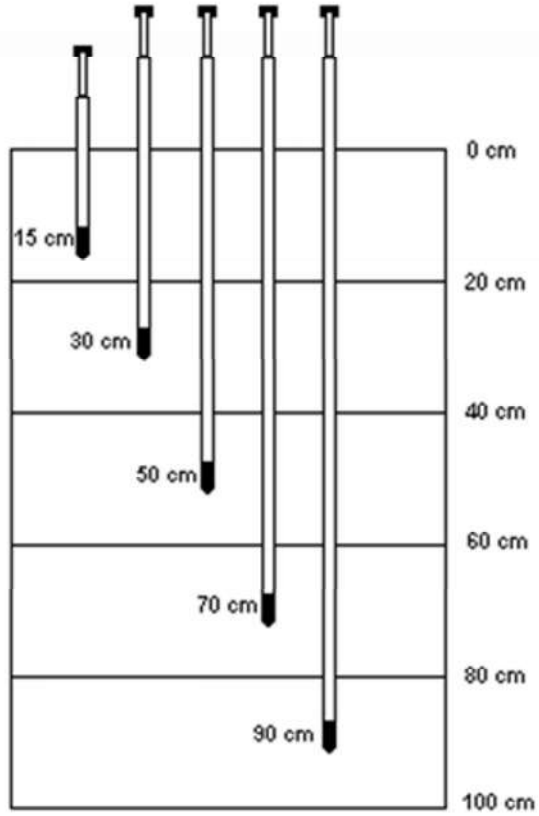
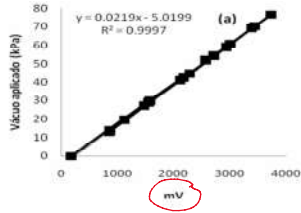
Pressão (A) = $-h_{\text{Hg}} (\gamma_{\text{Hg}} - \gamma_{\text{H}_2\text{O}}) + (h_1 + h_2) \gamma_{\text{H}_2\text{O}}$

Pressão (A) = $-h_{\text{Hg}} \cdot 12600 \text{ kgf/m}^3 + (h_1 + h_2) \cdot 1000 \text{ kgf/m}^3$

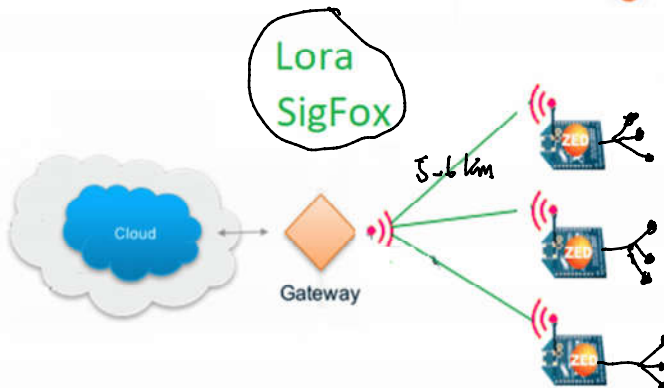
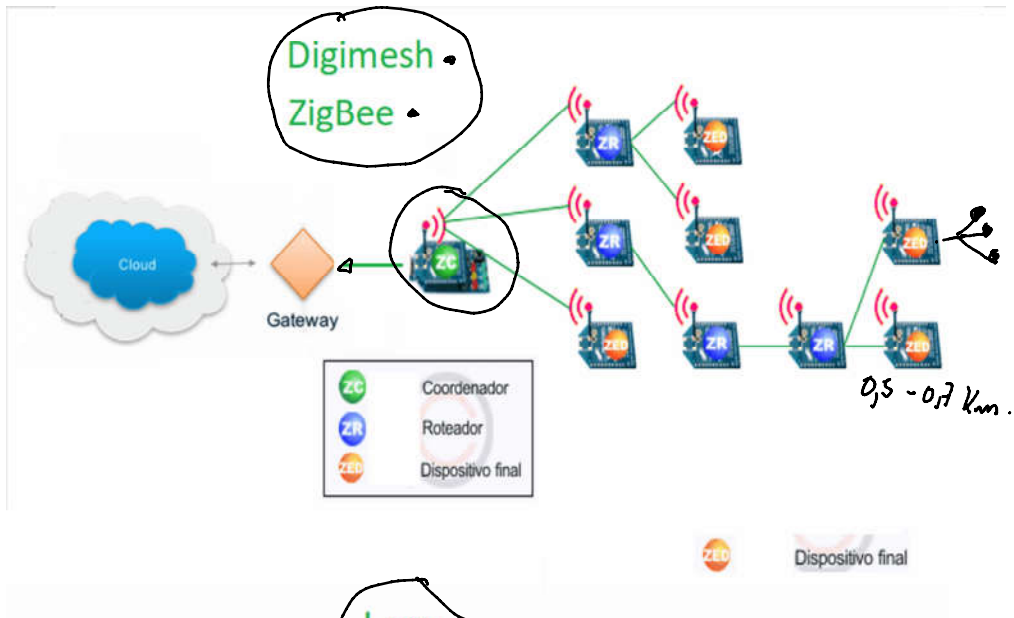
Sabemos que $P = \gamma \cdot h \Rightarrow h_{\text{H}_2\text{O}} = P / \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \Rightarrow h_{\text{H}_2\text{O}} = P / 1000 \text{ kgf/m}^3$

Pressão A = $-12,6 \cdot \frac{h_{\text{Hg}}}{(\text{m})} + \frac{h_1}{(\text{m})} + \frac{h_2}{(\text{m})}$





AGRICULTURA DIGITAL 4.0 IoT





Dispositivo final

