

### MEDIDAS DE PRESSÃO

Prof.<sup>o</sup> Luiz Simão de Andrade Filho

#### 1. OBJETIVO

Apresentação dos principais tipos de medidores de pressão e aferição de um manômetro mecânico.

#### 2. BASE TEÓRICA

Por definição, pressão é uma grandeza derivada de força e área:

$$p = \frac{d\vec{F}}{d\vec{A}} \quad (1)$$

Por outro lado, a equação fundamental da fluidoestática para fluido incompressível, permite relacionar a pressão com a altura de uma coluna de fluido incompressível:

$$p = \rho gh \quad (2)$$

onde:  
 $\rho$  = massa específica  
 $g$  = aceleração da gravidade  
 $h$  = altura da coluna do fluido

Assim, a pressão pode ser medida diretamente determinando-se força e área (medidores de peso morto), medindo-se a deformação de um elemento elástico resultante de um esforço de pressão (medidores de deformação de sólido) ou medindo-se a altura de uma coluna de fluido de densidade conhecida (medidores de líquido).

De maneira similar às medidas de temperatura, a pressão pode ser medida nas escalas relativas (manométricas) ou absoluta. A escala absoluta atribui zero ao vácuo absoluto. Já a manométrica atribui zero à pressão atmosférica local. Portanto, nesta escala, pressões superiores à do ambiente (sobrepressão) são positivas enquanto inferiores (vácuo) são negativas, ou seja:

$$p_{abs} = p_{atm} + p_{man} \quad (3)$$

Os medidores que fornecem a pressão na escala manométrica são ditos manômetros, enquanto os que o fazem na escala absoluta são chamados de barômetros.

#### 2.1. MEDIDORES DE PESO MORTO

Comentado [KM1]: Melhor troca a fórmula. Para ser coesa ao texto, deve ser:

Pabs = Patm + Pman

Os manômetros de peso morto, figura 1, são utilizados principalmente como padrão de calibração[1] de outros medidores. O manômetro a ser aferido, ou a fonte de pressão que se deseja medir é conectado à câmara cheia com óleo apropriado. Quando se está procedendo uma aferição, a pressão pode ser ajustada através da bomba B e da válvula de sangria VS. A câmara é também conectada ao sistema pistão-cilindro vertical PC de modo que vários pesos W podem ser nele aplicados e a pressão resultante calculada dividindo-se o peso total pela área do pistão.

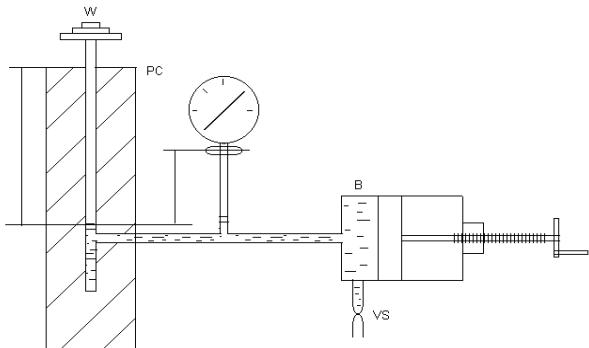


Figura 1 - Manômetro de peso morto

Para melhorar a qualidade da medição alguns cuidados são tomados:

- O atrito entre o pistão e cilindro deve ser reduzido a um mínimo. Para isto, estas superfícies são retificadas e quando se procede uma leitura gira-se o pistão de modo que a rotação reduza o efeito do atrito axial a zero.;
- Através da pequena folga existente entre pistão e cilindro, surge um pequeno fluxo de óleo nesta região, provocando uma força de cizalhamento viscoso sobre o pistão, que suporta parte do peso. Este efeito pode ser estimado através de cálculos teóricos;
- Devido à pequena folga existente entre o pistão e o cilindro, o cálculo da área é geralmente realizado com base no diâmetro médio destes elementos;
- Correções adicionais devem ser feitas com relação à efeitos de temperatura e aceleração da gravidade.

## 2.2. MEDIDORES DE COLUNAS DE LÍQUIDO

Nos manômetros de colunas de líquido, a pressão a ser medida é equilibrada por uma ou mais colunas de fluido. A altura da coluna pode ser uma leitura direta da pressão de coluna de fluido ( $\text{mH}_2\text{O}$ ,  $\text{mmHg}$ , etc.) ou utilizada para o cálculo desta em dimensões naturais ( $\text{N/m}^2$ ,  $\text{lb/in}^2$ , etc.) através da expressão (2).

Na figura 2, são mostrados os principais medidores que usam este princípio.

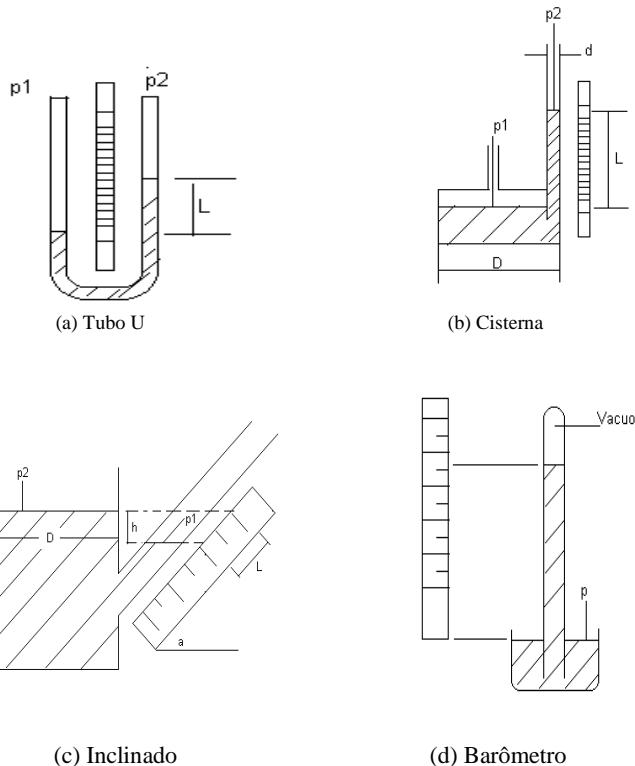


Figura 2- Manômetro de Líquido

- a) **Manômetro de Tubo U:** Este é o mais comum dos manômetros de coluna líquido. Trata-se de um medidor diferencial no qual:

$$p_1 - p_2 = \rho g L \quad (4)$$

Se  $p_2$  (ou  $p_1$ ) é a pressão atmosférica,  $L$  é uma medida direta de  $p_1$  (ou  $p_2$ ) em coluna de fluido ( $p/\rho g$ ). Note que uma possível desuniformidade na seção transversal do tubo não é importante.

b) **Manômetro de cisterna ou de cuba:** É um tipo de tubo U em que um dos ramos possui uma área  $A_1$  muito maior que a do outro  $A_2$ . A deflexão do nível do fluido na cuba faz com que o zero desloque-se um pouco para baixo, quando o manômetro é sujeito à pressão. Este pequeno erro é compensado com uma leve distorção na escala. Tal arranjo proporciona a grande vantagem de requerer a leitura em apenas um dos meniscos. Em contrapartida é sensível a desuniformidade da seção transversal do tubo o que o torna menos confiável que o de tubo U. Uma vez que o fluido manométrico é incompressível, pode se relacionar  $p$  com  $L$  através da expressão:

$$p_1 - p_2 = \rho g L [ 1 + (d/D)^2 ] \quad (5)$$

c) Manômetro inclinado: É uma variante do manômetro de cuba, no qual o tubo de menor diâmetro é inclinado para aumentar a resolução da escala, resultando em leituras  $L = h/\sin\alpha$ . Se por exemplo  $\alpha = 30^\circ$  e o fluido manométrico é água, tem-se  $L = 2h$  e uma leitura de 1 mm (menor valor observável em uma régua milimetrada comum) corresponderá a uma pressão de 0,5 mmH<sub>2</sub>O. De modo geral [2]:

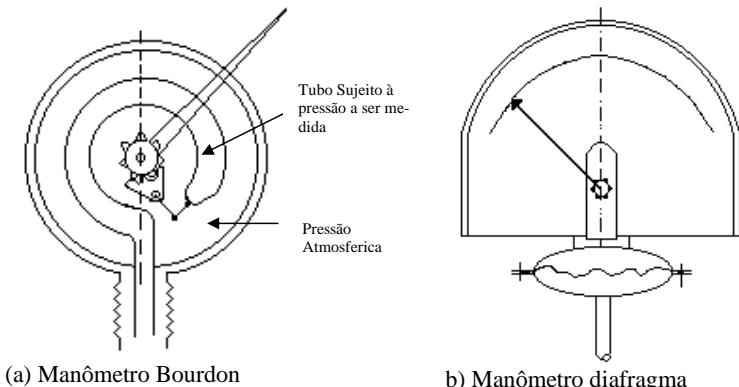
$$p_2 - p_1 = \rho g L [\sin\alpha + (d/D)^2] \quad (6)$$

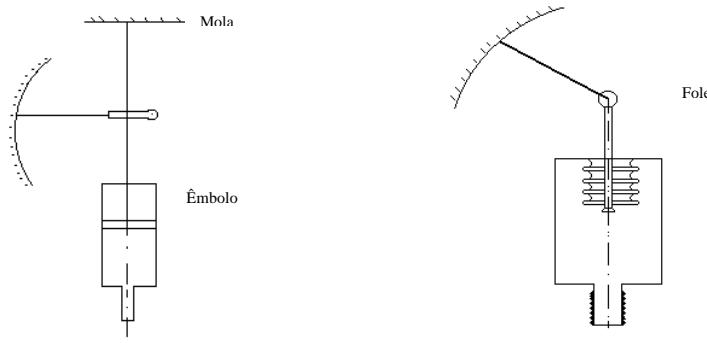
d) Barômetro de Torriceli: Se num manômetro de cuba a extremidade do ramo de menor diâmetro é evacuada e fechada (zero absoluto) a leitura  $h$  indicará a pressão absoluta  $p/\rho g$ . Este é o princípio de funcionamento do Barômetro de Torriceli. A pressão na porção evacuada na verdade não é zero absoluto, mas igual à pressão de vapor do fluido manométrico, mercúrio, à temperatura ambiente. Esta vale 0,00017KN/m<sup>2</sup> ( $10^{-3}$  mmHg) abs a 15°C e é quase sempre desprezível.

### 2.3. MEDIDORES À DEFORMAÇÃO DE SÓLIDO

O princípio de medida destes instrumentos é a relação entre a deformação de um transdutor elástico e a pressão que provoca esta deformação [3]. Os arranjos mais comuns são mostrados na figura 3.

A figura 4 mostra um manômetro de Bourdon, sem dúvida o mais popular dos manômetros, constituindo-se de um tubo metálico de seção transversal semi-elíptica e forma quase circular (transdutor tipo C). Sua extremidade aberta é fixada a um suporte e a extremidade livre é fechada e presa a um mecanismo de relógio. Quando a pressão aumenta o tubo tende a distender-se, este movimento desloca o ponteiro no sentido horário. Se a pressão diminui, o tubo se contrai movimentando o ponteiro em sentido anti-horário. Caso este esteja desconectado, a pressão interna do tubo é igual à externa e o ponteiro acusa zero.





(c) Manômetro de êmbolo  
 (d) Manômetro de fole  
 Figura 3 – Manômetro de sólidos

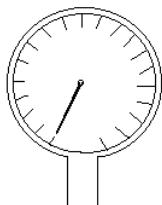


Figura 4 – Manômetro de Bourdon

O transdutor tipo cápsula também é muito utilizado como manômetro ou barômetro. Como manômetro, de maneira similar ao de Bourdon. Quando utilizado como barômetro, a cápsula é evacuada (pressão = 0 abs) e lacrada. Variações da pressão externa provocam deformação da cápsula que é transmitida ao ponteiro. Este tipo de arranjo é utilizado no barômetro aneróide e na maioria dos altímetros.

### 3. AFERIÇÃO DE UM MANÔMETRO DE TRANSDUTOR ELÁSTICO

Para aferição de manômetros normalmente utiliza-se um medidor do tipo peso morto. O procedimento usual é pressurizar o sistema através de uma bomba de pistão de forma ascendente e descendente.

Para medidores de pressão máxima de cerca de 1 Bar (1 atm) é possível proceder a sua aferição, por intermédio de um manômetro de tubo U utilizando mercúrio como fluido manométrico.

Neste experimento será aferido um manômetro de cápsula, pressão máxima de 300 mmHg, do tipo utilizado pelos médicos para verificação de pressão arterial. Para isto, dispõe-se da instalação mostrada na figura 5, constituindo-se basicamente de um manômetro de tubo U (MU) que utiliza Tetrabromoetano ( $d = 2,95$ ) como fluido manométrico, válvulas (V1,V2,V3 e V4), bomba pneumática (B) e um balão de ar (BA). O manômetro a ser aferido MA e o de tubo em U, são pressurizados através do balão de ar, ou despressurizados abrindo-se a válvula V3. Assim MA pode ser calibrado com aplicações de pressões ascendentes e descendentes.

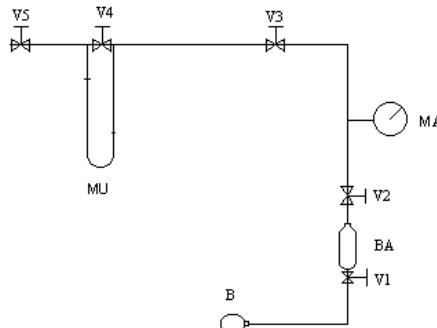


Figura 05- Esquema instalação

#### 4. PROCEDIMENTO

- Encher o balão, BA, com ar usando a bomba pneumática (B), abrindo-se a válvula V1, V3 e V5 e mantendo fechadas as válvulas V2 e V4.
- Fechar a válvula V1.
- Abrir vagarosamente V2 pressurizando o sistema até que MA indique 20mmHg. Fechar V2 e anotar as leituras de MA e MU;
- Abrir V2 e repetir o item b) aumentando a pressão do sistema de 20 em 20 mmHg (40, 60, 80, ...) até a pressão máxima suportada por MA;
- Abrir V4 gradualmente, fechando-a sempre que se atinja os valores verificados nas leituras ascendentes para repeti-las e anotá-las.

#### 5. RESULTADOS

- Encontrar a pressão em MU para cada leitura feita (em Pascal e mmHg);
- Traçar os gráficos das pressões em MU (“verdadeiras”) contra as pressões em MA, para as leituras ascendentes e descendentes;
- Traçar os gráficos dos desvios observados entre as pressões nos dois manômetros, versus as pressões em MU. O desvio entre as pressões será dado por:

$$\text{desvio} = PMA - PMU / PMU$$

onde: PMA = pressão no manômetro a ser aferido  
PMU = pressão no manômetro de tubo U (padrão).

Observe que as leituras em MU são feitas em milímetros.

**Comentado [KM2]:** Um dos resultados também pode ser a determinação a equação da reta, que será equivalente a equação 2

**Comentado [KM3]:** Acrescentar mais um resultado: utilizando as leituras das duas colunas no tubo em U, encontrar um valor de h para uma variação de pressão equivalente.

**Comentado [KM4]:** Seria bom conter uma imagem do gráfico.

**Comentado [GSdS5R4]:** Não entendi.

**Comentado [KM6]:** Colocar a fórmula em módulo

**Comentado [GSdS7R6]:** Acho que pode ser negativo e positivo.

## 6. CONCLUSÕES E DISCUSSÃO

Identificar as possíveis fontes de erro presentes no experimento. Discutir sobre as razões pelas quais as leituras ascendentes de uma mesma pressão fornecidas por MA diferem das descendentes.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. DOEBELIN, Ernest. O. Measurements Systems - Application and Design.  
McGraw Hill Kogakusha. Tokio. 1975.
2. Reglamento de Prueba del PTB, Tomo 15, Physikalish - TchnischBunde  
sanstalt Braunschweig, Braunschweig, GMBH, 1983.
3. TROSKOLANSKI, A . T. "Theorie et Pratique des Mesures Hydraulique".  
Paris. Dunod, Editeur.
4. SILVA, T. H & BRAGA, W. F. Experimentos de Mecânica dos Fluidos e  
Fenômenos de Transportes. Universidade Católica de Minas gerais.  
IPUC.Belo Horizonte. 1981.