



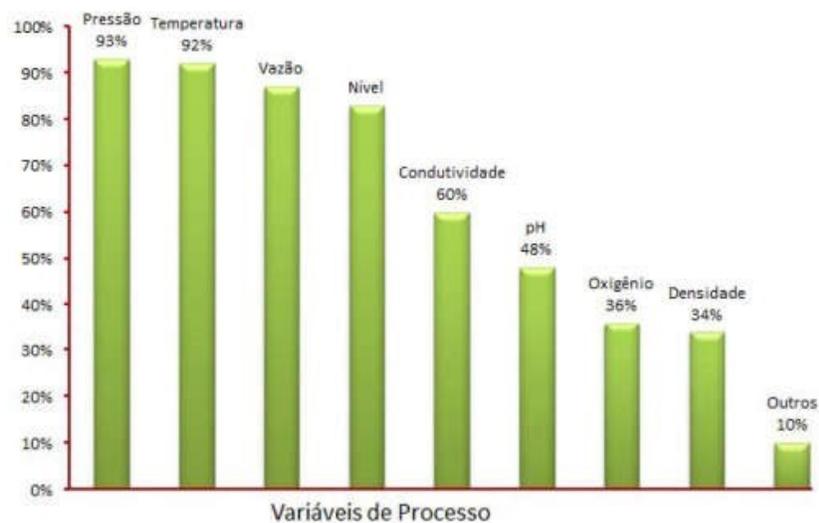
Automação Industrial
Medição de Pressão
Parte III



Profº Engº Hermom Leal, Msc.

Introdução

Grandeza mais medida nos processos industriais



Fonte: Revista *Control Engineering*, 2002



Definições

- ✓ **Pressão** pode ser definida como sendo a relação entre uma força aplicada perpendicularmente ($\angle 90^\circ$) à uma área e é expressa pela seguinte equação

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Lei de Pascal}$$

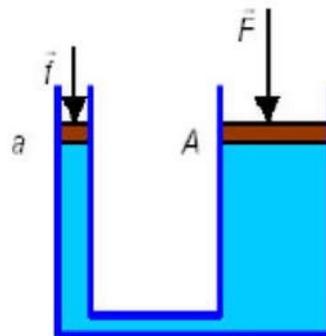
F: força A: área P: pressão



- ✓ A **Pressão** pode ser também expressa como a somatória da Pressão Estática e Pressão Dinâmica e assim chamada de Pressão Total

Exemplo

Para um êmbolo de 10 m^2 e outro de 1 m^2 , qual a força equivalente para levantar um veículo de 700 kg ?



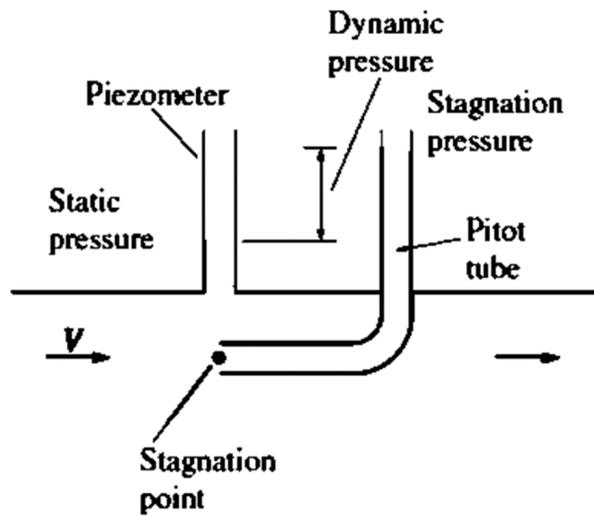
Resp: 70kg

Definições



Tubo de Pitot

Medição da pressão estática usando uma tomada de pressão instalada na parede do duto em uma região onde as linhas de corrente sejam retilíneas

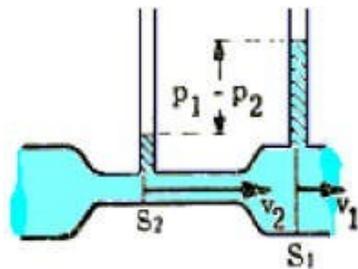


A pressão dinâmica (Dynamic pressure) é a diferença entre a pressão de estagnação – p_2 (Stagnation pressure) e a pressão estática – p_1 (Static pressure).



Aplicação das Equações de Bernoulli

Tubo de Venturi



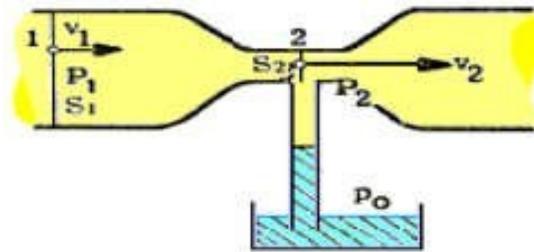
$$v_1 S_1 = v_2 S_2$$

Se $S_1 > S_2$, concluímos que $v_1 < v_2$.

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$v_2 = S_1 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}$$

Exemplo



- Raio do ramo esquerdo do tubo, 20 cm.
- Raio do ramo direito do tubo, está fixado no programa interativo e vale 5 cm.
- Velocidade do fluido no ramo esquerdo, 10 cm/s
- Desnível entre ambos os ramos, 0.0 cm

Se a medida da diferença de pressão no manômetro é de 1275 Pa, determinar a velocidade do fluido em ambos os ramos do tubo.

Os dados são:

$S_1 = \pi (0.2)^2 \text{ m}^2$, $S_2 = \pi (0.05)^2 \text{ m}^2$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, e $p_1 - p_2 = 1275 \text{ Pa}$.

$$v_2 = 1.6 \text{ m/s} \quad v_1 = 0.1 \text{ m/s ou } 10 \text{ cm/s}$$

Definições



- ✓ Em geral mede-se pressão para:
 - Controle ou monitoração de processos
 - Proteção (segurança)
 - Controle de qualidade
 - Transações comerciais de fluidos (transferências de custódia, medição fiscal)
 - Estudos e pesquisas
 - Balanços de massa e energia

- ✓ Esses objetivos devem ser considerados na escolha dos equipamentos

- ✓ Quesitos mais rigorosos de desempenho podem encarecer desnecessariamente o projeto, tais como:
 - Exatidão,
 - Limites de sobre pressão e pressão estática,
 - Estabilidade e outros

- ✓ Todos os fabricantes em geral oferecem ao mercado mais de uma versão de transmissores com características técnicas distintas e, obviamente, com preços também distintos

Definições

✓ Pressão Absoluta

- Pressão total exercida em uma dada superfície, incluindo a pressão atmosférica, quando for o caso
- A pressão absoluta será sempre positiva ou nula

✓ Pressão Atmosférica

- Pressão exercida pela atmosfera e que depende da altitude
- Este valor diminui com o aumento da altitude e ao nível do mar vale 14,696 psi

- PSI - pound force per square inch - lbf/in² (libra-força por polegada quadrada - Sistema Imperial Inglês);
- Pa - pascal (unidade de pressão do Sistema Internacional de Unidades SI);
- bar - unidade de pressão e equivale 100 000 Pascals, muito próximo ao da pressão atmosférica padrão de 101 325 Pa.

✓ Pressão Manométrica (Gauge)

- É aquela que é medida em relação à **Pressão** do ambiente, ou seja, em relação a atmosfera
- É a diferença entre a **Pressão Absoluta** medida em um ponto qualquer e a **Pressão Atmosférica**
- É sempre importante registrar na notação que a medição é relativa
 - Exemplo: 10Kgf/cm² (Pressão Relativa)

✓ Pressão Diferencial

- Pressão tomada em relação a uma referência

Definições



Manômetro



Pressão manométrica (Gauge)

$$p = p_{atm} + \rho gh$$

Princípio de Arquimedes

Medição da pressão em relação à pressão atmosférica existente no local, podendo ser positiva ou negativa

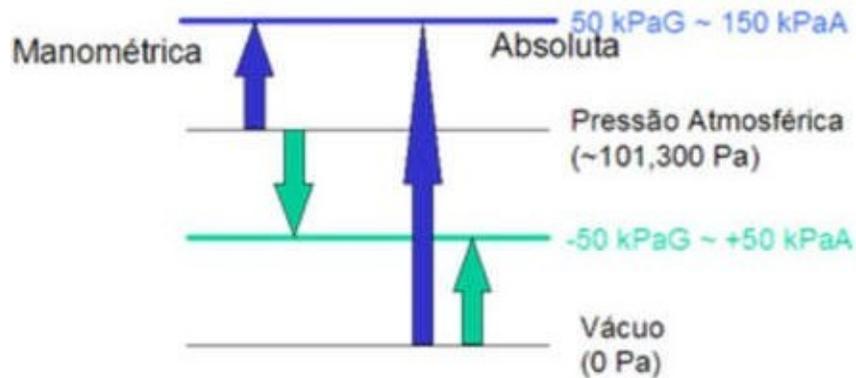
Quando se fala em uma pressão negativa, em relação a pressão atmosférica chamamos pressão de vácuo.

Ex.: Calibrador da pressão dos pneus, esfingomanômetro.

Exemplo

Situação em que há medição de pressão	Valor da pressão em psi	Pressão correspondente no Sistema Internacional de Unidades
Pressão sanguínea — Pressão sanguínea humana média (120 / 80) mmHg	2,32 / 1,55	(16,0 / 10,7) kPa
Turbo automotivo	6 - 15	(41,4 - 103,4) kPa
Pressão atmosférica ao nível do mar (padrão)	14,7	101,4 kPa
Pneus automotivos (alta) (comum)	32	220,6 kPa
Pneus de bicicleta (alta) (comum)	65	448,2 kPa
Aerógrafo ou compressor de ar caseiro	90	620,5 kPa
Freio a ar (alta)(comum)	$90 \leq P_g \leq 120$	$(620,5 \leq P_g \leq 827,4)$ kPa
Pneu de bicicleta de competição (alta) (comum)	120	827,4 kPa
Locomotiva a vapor	$150 \leq P_g \leq 280$	$(1,0 \leq P_g \leq 1,9)$ MPa
Locomotiva a vapor "Union Pacific Big Boy"	300	2,1 MPa
Tubulação de gás natural	800 até 1000	(5,5 até 6,9) MPa
Aparato para respiração autocontida para atmosferas tóxicas	2216	15,3 MPa
Tanque de SCUBA cheio	3000	20,7 MPa
Sistema hidráulico de aviões a jato comerciais	3000	20,7 MPa
Sistema hidráulico do Airbus A380	5000	34,5 MPa
Cortador a jato d'água	40.000 - 100.000	(275,8 - 689,5) MPa
Módulo de Young para o aço	30 000 000	206,8 GPa

Definições



NOTA:

Vácuo é 0 Pa absoluto

Pressão Atmosférica é aproximadamente $1.013 \cdot 10^5$ Pa absolutos.

Vácuo é aproximadamente $-1.013 \cdot 10^5$ Pa Manométricos

Pressão Atmosférica é 0 Pa Manométrico

Não existe valores como $-1.013 \cdot 10^5$ Pa absolutos

Pressão Manométrica não pode ser inferior a $-1.013 \cdot 10^5$ Pa

Grandezas medidas a partir de pressão

- ✓ Pressão manométrica
- ✓ Pressão absoluta
- ✓ Pressão diferencial
- ✓ Outras grandezas inferidas a partir de medições de pressão:
 - Vazão
 - Nível
 - Volume
 - Força
 - Densidade

Unidades de pressão



Unidade	VALOR EQUIVALENTE (Valor equivalente somente na mesma linha) (Ex : 1 atm = 1,0 atm = 101,325 kPa.....=14,69595 PSI					
	atm	kPa	mca	kgf/cm ²	mmHg	PSI
atm	1,0*	101,325*	10,332276	1,03323	760*	14,69595
kPa	0,009869	1,0*	0,1019716	0,010197	7,50062	0,145038
mca	0,096784	9,80665*	1,0*	0,10*	73,55592	1,422334
kgf/cm ²	0,967841	98,0665*	10,0*	1,0*	735,55924	14,22334
mmHg	0,00132	0,133322	0,0135951	0,0013595	1,0*	0,019337
PSI	0,06805	6,89476	0,70307	0,07031	51,71493	1,0*

Relação entre tipos de pressão medidas

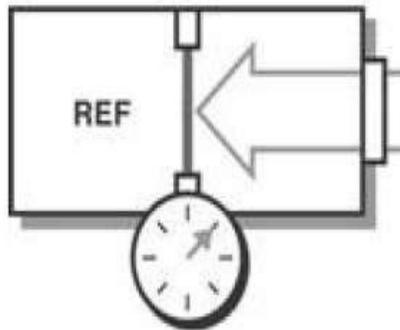
- ✓ As medições de pressão abaixo da atmosférica não necessariamente requerem transmissores de pressão absoluta
- ✓ Os transmissores de pressão absoluta são recomendados apenas para evitar as influências das variações da pressão atmosférica
- ✓ Essa influência só será crítica quando se mede pressões muito próximas (acima ou abaixo) da pressão atmosférica
- ✓ Nos demais casos podem ser usados sem problemas transmissores de pressão manométrica

Métodos de medição de pressão



✓ Medidores de Pressão Absoluta

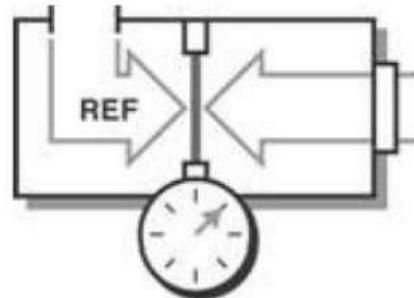
- Medem a Pressão com relação ao vácuo perfeito (0 Pa), ou seja, é a diferença da pressão em um determinado ponto de medição pela pressão do vácuo (zero absoluto)
- Normalmente quando se indica esta grandeza usa-se a notação ABS
- Ex.: A pressão absoluta que a atmosfera exerce ao nível do mar é de 760mmHg



O milímetro de mercúrio (mmHg) é uma unidade de pressão definida em termos da pressão gerada por uma coluna de mercúrio de um milímetro com densidade $13\,595,1\text{ kg/m}^3$ a $273,15\text{ K}$ sob influência da aceleração padrão da gravidade de $9,80665\text{ m/s}^2$.

✓ Medidores de Pressão Absoluta

- Medidores por métodos de medição manométrica e diferencial são relativos a alguma outra pressão dinâmica
- No método manométrico, a referência é a P_{atm} do ambiente
- Isso significa que tanto a referência como a pressão de interesse são na prática realizada por pressões atmosféricas
- Portanto, medição de pressão manométrica exclui os efeitos da pressão atmosférica
- Estes tipos de medidas são fáceis de identificar
- Ex.: medidas da pressão dos pneus e da pressão arterial

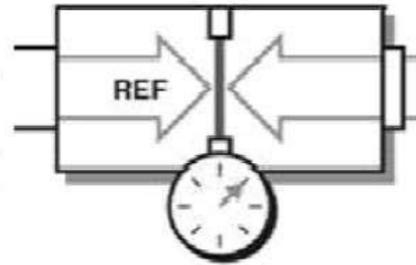


Métodos de medição de pressão

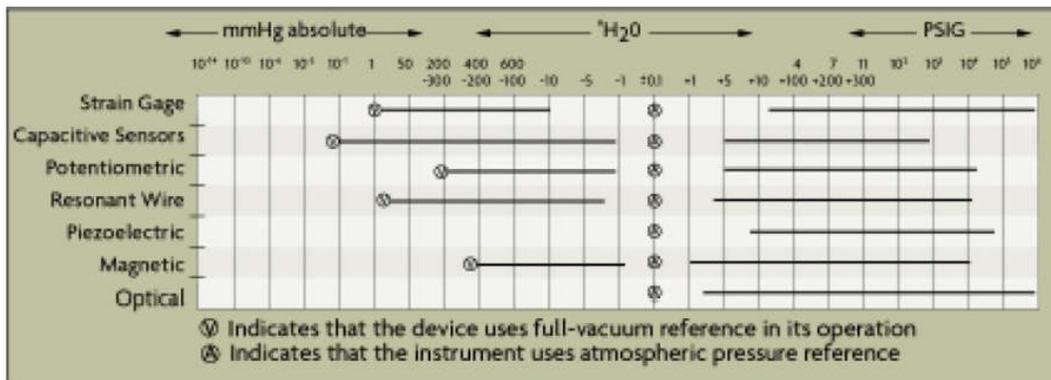


✓ Medidores de Pressão Diferencial

- Pressão diferencial é muito similar a pressão manométrica
- A referência é outra pressão em outro ponto do sistema
- A leitura é obtida como a diferença de pressão medida entre dois pontos
- Quando qualquer ponto diferente do vácuo ou da atmosfera é tomado como referência diz-se medir pressão diferencial
- Usa-se esse método para manter uma pressão relativa entre dois recipientes, tais como de um tanque e sua linha de alimentação associada, ou a pressão diferencial encontrada numa placa de orifício



Diagramas de medição de pressão para diferentes métodos de medida



Manômetros



- ✓ São dispositivos utilizados para indicação local de pressão e em geral divididos em duas categorias principais
 - Manômetro de Líquidos
 - Utilizam um líquido como meio para se medir a pressão
 - Manômetro tipo Elástico
 - Utilizam a deformação de um elemento elástico como meio para medir a pressão

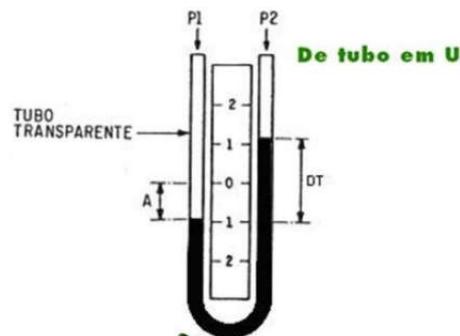
TIPOS DE MANÔMETRO	ELEMENTOS DE RECEPÇÃO
MANÔMETROS DE LÍQUIDOS	TIPO TUBO EM "U" TIPO TUBO RETO TIPO TUBO INCLINADO
MANÔMETRO ELÁSTICO	TIPO TUBO DE BOURDON TIPO C TIPO ESPIRAL TIPO HELICOIDAL TIPO DIAFRAGMA TIPO FOLE TIPO CÁPSULA

Manômetros de Líquidos

- ✓ É um instrumento de medição e indicação local da pressão, baseado na equação manométrica
- ✓ De construção simples e de baixo custo
 - Basicamente é constituído por tubo de vidro com área seccional uniforme, uma escala graduada, um líquido de enchimento e suportados por uma estrutura de sustentação
- ✓ O valor de pressão medida é obtida pela leitura da altura de coluna do líquido deslocado em função da intensidade da referida pressão aplicada



- ✓ É um instrumento de medição e indicação local da pressão, baseado na equação manométrica
- ✓ De construção simples e de baixo custo
 - Basicamente é constituído por tubo de vidro com área seccional uniforme, uma escala graduada, um líquido de enchimento e suportados por uma estrutura de sustentação
- ✓ O valor de pressão medida é obtida pela leitura da altura de coluna do líquido deslocado em função da intensidade da referida pressão aplicada
- ✓ Faixa de medição
 - No mercado é de 2m
 - P_{MAX} medida é de 2mH₂O (água destilada) ou 2mHg (mercúrio)
- ✓ Líquido de enchimento
 - Qualquer líquido com baixa viscosidade, e não volátil nas condições de medição (H₂O e Hg)

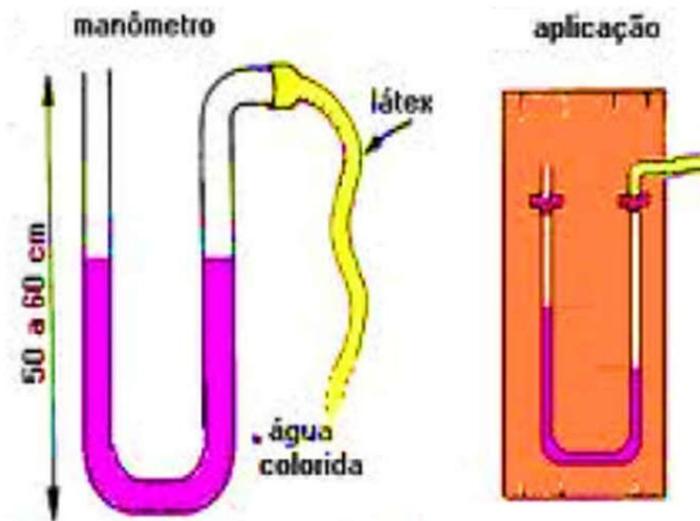


VEJA A FÓRMULA

$$P1 - P2 = h \cdot \rho$$

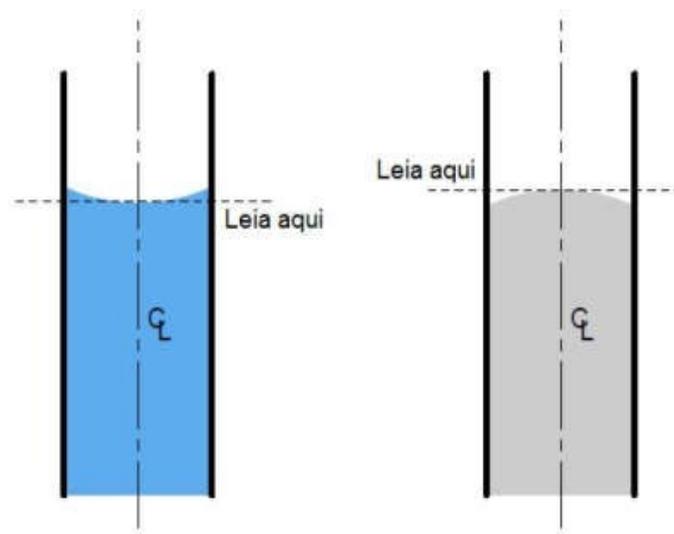
Onde $\rho = \rho$

h = altura da coluna deslocada = valor da pressão medida



Medidas de pressões em várias posições

- ✓ A altura da coluna de líquido deve sempre ser interpretada na linha de centro, independentemente da forma de menisco (interface líquido/ar bombeado)



Manômetros de líquidos (Tubo em U)



Exemplo



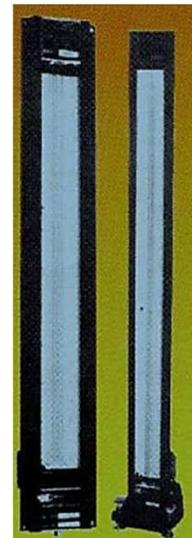
- ✓ Com fluido manométrico

$$P = \gamma_{Man} \cdot h_1 - \gamma_{Trab} \cdot h_1$$



Manômetros de líquidos (Coluna Reta Vertical)

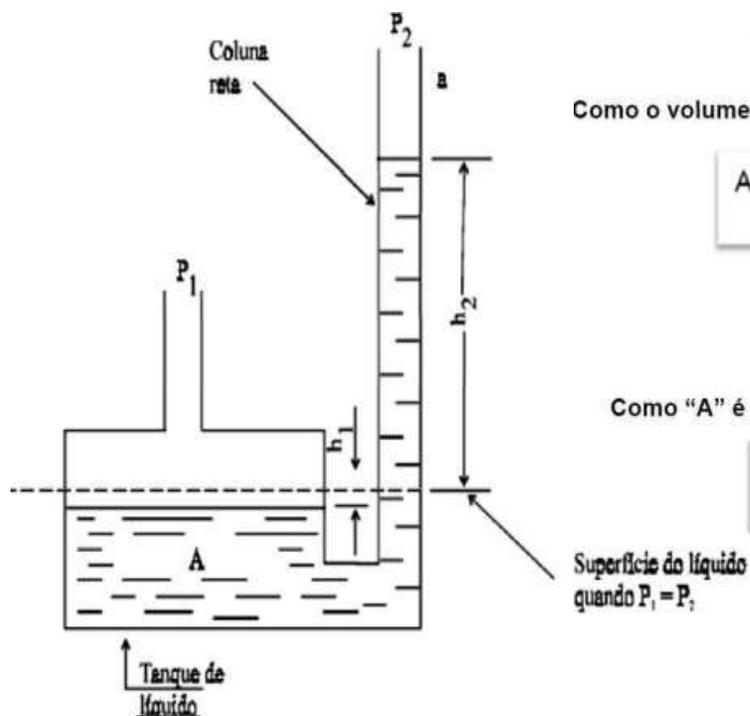
- ✓ O emprego deste manômetro é idêntico ao do tubo em “U”
- ✓ Nesse manômetro as áreas dos ramos da coluna são diferentes, sendo a pressão maior aplicada normalmente no lado da maior área
- ✓ A pressão, aplicada no ramo de área maior provoca um pequeno deslocamento do líquido na mesma, fazendo com que o deslocamento no outro ramo seja bem maior, face o volume deslocado ser o mesmo e sua área bem menor



Manômetros de líquidos (Coluna Reta Vertical)



- ✓ Chamando as áreas do ramo reto e do ramo de maior área de “a” e “A” respectivamente e aplicando pressões P_1 e P_2 em suas extremidades teremos pela equação manométrica



$$P_1 - P_2 = \delta \cdot (h_2 + h_1)$$

Como o volume deslocado é o mesmo, teremos:

$$A \cdot h_1 = a \cdot h_2 \therefore h_1 = \frac{a}{A} \cdot h_2$$

$$P_1 - P_2 = \delta \cdot h_2 \left(1 + \frac{a}{A}\right)$$

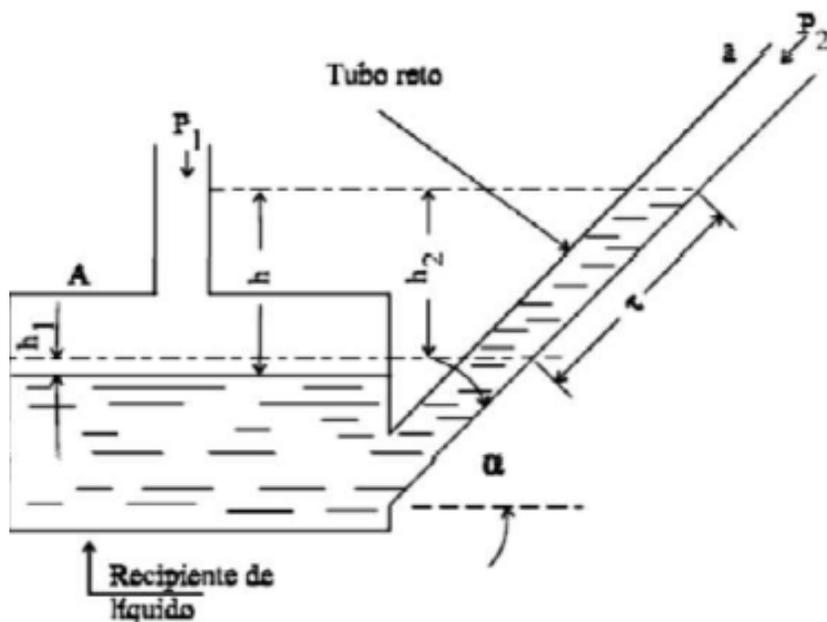
Como “A” é muito maior que “a”, obtemos:

$$P_1 - P_2 = \delta \cdot h_2$$

Manômetros de líquidos (Cluna Inclinação)



- ✓ Utilizado para medir baixas pressões de $\sim 50 \text{ mmH}_2\text{O}$
- ✓ Sua construção é feita inclinando um tubo reto de pequeno diâmetro, de modo a medir com boa precisão pressões em função do deslocamento do líquido dentro do tubo
- ✓ A vantagem adicional é a de expandir a escala de leitura o que é muitas vezes conveniente para medições de pequenas pressões com boa precisão ($\pm 0,02 \text{ mmH}_2\text{O}$)



$$P_1 - P_2 = \delta \cdot l \left(\frac{a}{A} + \text{sen } \alpha \right) \text{ pois } h_2 = l \cdot \text{sen } \alpha$$

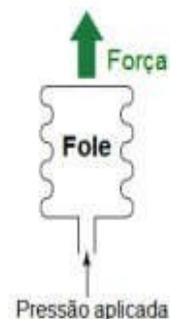
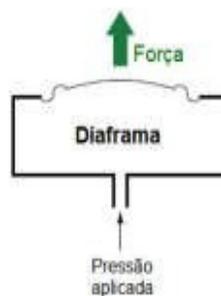
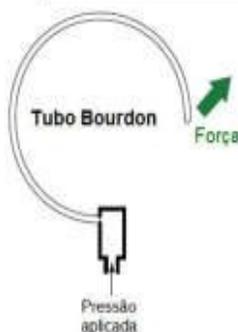
Manômetros do Tipo Elástico



- ✓ Baseiam-se na Lei de Hooke sobre elasticidade dos materiais
- ✓ O elemento de recepção de pressão tipo elástico sofre deformação tanto maior quanto a pressão aplicada
- ✓ A deformação é medida por dispositivos mecânicos, elétricos ou eletrônicos
- ✓ A deformação provoca um deslocamento linear, que é convertido de forma proporcional a um deslocamento angular através de mecanismo específico
- ✓ Ao deslocamento angular é anexado um ponteiro que percorre uma escala linear e cuja faixa representa a faixa de medição do elemento de recepção

✓ Principais elementos de recepção de Manômetros do Tipo Elástico

ELEMENTO RECEPÇÃO DE PRESSÃO	APLICAÇÃO / RESTRIÇÃO	FAIXA DE PRESSÃO (MÁX)
Tubo de Bourdon	Não apropriado para micropressão	~ 1000 kgf/cm ²
Diafragma	Baixa pressão	~ 3 kgf/cm ²
Fole	Baixa e média pressão	~ 10 kgf/cm ²
Cápsula	Micropressão	~ 300 mmH ₂ O

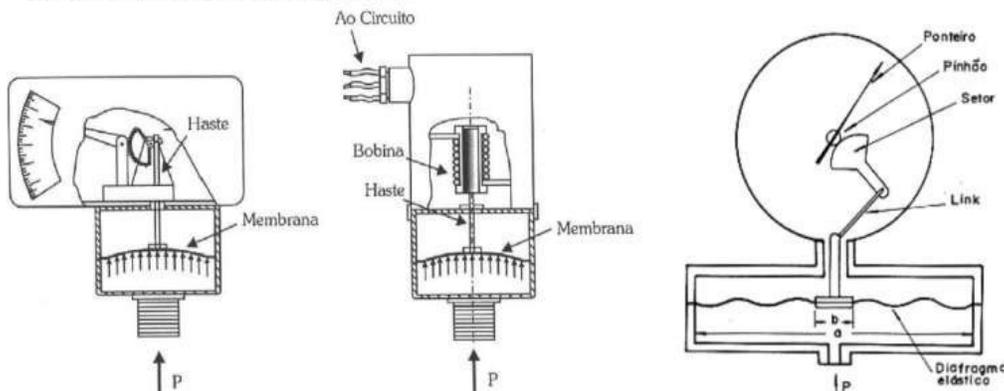


Manômetros Elástico de Tubos de Bourdon



Manômetros Elástico Diafragma

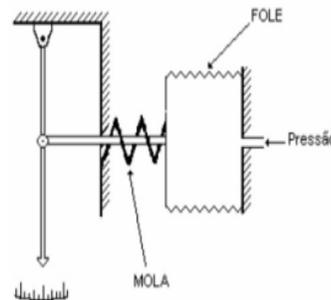
- ✓ É constituído por um disco de material elástico (metálico ou não) fixo pela borda
- ✓ Uma haste fixa ao centro do disco está ligada a um mecanismo de indicação
- ✓ Quando uma pressão é aplicada, a membrana se desloca, e esse deslocamento é proporcional à pressão aplicada





Manômetros Elástico Diafragma

- ✓ É um cilindro metálico, corrugado ou sanfonado
- ✓ Quando uma pressão é aplicada no interior do fole, provoca sua distensão, e, como ela tem que vencer a flexibilidade do material e a força de oposição da mola, o deslocamento é proporcional à pressão aplicada à parte interna



Equipamentos Industriais para Medição de pressão

- ✓ Na indústria, dentre os diversos equipamentos usados para medir pressão, podemos destacar dois deles: o **MANÔMETRO** e o **TRANSMISSOR DE PRESSÃO**
- ✓ O **MANÔMETRO** é usado para leituras locais da pressão, possuindo normalmente uma conexão com o processo e um display (quando eletrônico) ou ponteiro (quando mecânico) para que se possa ler a pressão localmente
- ✓ Normalmente são dispositivos de baixo custo e são usados quando a pressão não precisa ser transmitida para um sistema de controle e não se precisa exatidão
- ✓ Por exemplo, pressões estáticas, pressões de bomba, etc.
- ✓ Existem também modelos diferenciais, vacuômetros, sanitários, etc.

Equipamentos Industriais para Medição de pressão



- ✓ Um **TRANSMISSOR DE PRESSÃO** combina a tecnologia do sensor mais sua eletrônica
- ✓ Tipicamente, deve prover as seguintes características:
 - Sinal digital de saída
 - Interface de comunicação: Analógica/Elétrica, digital (HART/4-20mA, F-Fieldbus, Profibus-PA)
 - Compensação de pressão e de temperatura
 - Estabilidade
 - Deve permitir fácil e amigável calibração
 - Auto diagnósticos
 - Fácil instalação e calibração

Bibliografia

[1] BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner J.. Instrumentação e Fundamentos de Medidas. 2a ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2010, v.1.

Créditos

Material desenvolvido por

Profº Engº Hermom Leal, Msc.

Doutorando em Eng.ª Elétrica pela
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo –
USP hermom.moreira@fatec.sp.gov.br
hermom.leal@usp.br

