

## FLUIDOS - Propriedades

### Características de um fluido

Gases e líquidos podem ambos ser considerados fluidos. Há certas características partilhadas por todos os fluidos que podem usar-se para distinguir líquidos e gases:

- Compressibilidade – os líquidos são só ligeiramente compressíveis e assumem-se incompressíveis na maioria das situações; os gases são muito compressíveis;
- Resistência ao corte – líquidos e gases não resistem ao corte e deformam-se continuamente para minimizar forças de corte aplicadas;
- Forma e Volume – como consequência do ponto anterior, líquidos e gases tomam as formas dos seus recipientes; só os líquidos têm superfícies livres; os líquidos têm volume fixo relativo ao do seu recipiente, e estes volumes não são afectados significativamente pela temperatura e pressão; os gases tomam os volumes dos seus recipientes; se lhe permitirem o volume do gás muda com a variação da temperatura e da pressão;
- Resistência ao movimento – devido à viscosidade os líquidos resistem a mudanças instantâneas na velocidade, mas a resistência para quando o movimento do líquido para; os gases têm viscosidade muito baixa;
- Espaço molecular – as moléculas dos líquidos estão muito próximas e estão ligadas entre si com forças de atracção elevadas; elas têm baixa energia cinética; a distância percorrida por uma molécula de água entre colisões é pequena; nos gases, as moléculas estão relativamente afastadas e as forças atractivas são fracas; a energia cinética das moléculas é elevada; as moléculas de um gás percorrem grandes distâncias entre colisões;
- Pressão – a pressão num ponto de um fluido é a mesma em todas as direcções; a pressão exercida por um fluido numa superfície sólida (p.ex. parede de um recipiente) é sempre normal aquela superfície.

## Tipos de Fluidos – 2 categorias para efeitos de cálculo:

- IDEAIS – não têm viscosidade, ou seja, não resistem ao corte, são incompressíveis e tem distribuições de velocidade uniforme quando fluem; não existe fricção entre camadas que se movimentam no fluido, não existe turbulência;
- REAIS – exibem viscosidade finita e distribuição de velocidade não-uniforme; são compressíveis e experimentam fricção e turbulência ao fluirem. Os reais ainda podem dividir-se em fluidos Newtonianos e fluidos não-Newtonianos.

Por conveniência, a maioria dos problemas com fluidos assumem fluidos reais com propriedades Newtonianas.

## VISCOSIDADE de um fluido

- Propriedade pela qual um fluido oferece resistência ao corte;
- É a medida da resistência do fluido à fluência quando sobre ele actua uma força exterior como por exemplo um diferencial de pressão ou gravidade;
- A maioria dos líquidos viscosos fluem facilmente quando as suas temperaturas aumentam; o comportamento de um fluido quando varia a temperatura, pressão ou tensão depende do tipo de fluido:

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dy} \text{ ou } \tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad \text{Lei de Newton da Viscosidade} \quad (1)$$

$$\frac{F}{A}, \tau - \text{tensão de corte do fluido}$$

$\mu$  - viscosidade absoluta, ou coeficiente de viscosidade (o seu recíproco,  $1/\mu$  é a fluidez)

$\frac{dv}{dy}$  - taxa de deformação, taxa de corte, gradiente de velocidade, taxa de deformação em corte

- ... mas nem todos os fluidos são newtonianos; exemplos fluidos newtonianos – gases, água, álcool, benzeno, etc.; todos os líquidos com uma fórmula química simples são newtonianos; nestes fluidos a viscosidade aumenta proporcionalmente com a taxa de deformação;
- outro tipo de fluidos não-newtonianos:
  - fluidos pseudoplásticos – lamas, óleos de motor, soluções poliméricas, etc. – exibem viscosidade que diminui com um crescente gradiente de velocidade;
  - fluidos Bingham ou plásticos – pasta de dentes, geleias, etc. – são capazes de resistir indefinidamente a pequenas tensões de corte, mas movem-se facilmente quando a tensão se torna maior;
  - fluidos dilatantes – exibem viscosidade que aumenta com o aumento do gradiente de velocidade.
- A viscosidade pode mudar com o tempo (todas as outras condições ficam constantes);
- A coesão molecular é a causa dominante da viscosidade nos líquidos; à medida que a temperatura de um líquido aumenta, estas forças coesivas diminuem, resultando numa diminuição da viscosidade;
- Nos gases, a causa dominante são as colisões aleatórias entre as moléculas do gás; esta agitação molecular aumenta com a temperatura; assim a viscosidade dos gases aumenta com a temperatura;
- Apesar da viscosidade dos líquidos aumentar ligeiramente com a pressão, o aumento é insignificante num intervalo de pressões considerável; assim, a viscosidade absoluta dos gases e líquidos é usualmente considerada independente da pressão;
- Unidades – viscosidade absoluta

dimensões primárias  $F\theta/L^2$  ou  $M/L\theta$

sistema internacional Pa.s ou N.s/m<sup>2</sup> ou Kg/m.s

sistema inglês lbf.sec/ft<sup>3</sup> ou slug/ft.sec ou *poise* p=1dyne.sec/cm<sup>2</sup> (usa-se o cp)

- Viscosidade Cinemática -  $\nu$  - é o nome dado a uma combinação de variáveis que ocorre frequentemente – rácio da viscosidade absoluta relativo à densidade; é muito dependente da temperatura e da pressão, visto que estas variáveis afectam a densidade do fluido:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

dimensões primárias  $L^2/\theta$

sistema internacional  $m^2/s$

sistema inglês  $ft^2/sec$  e  $Stoke=cm^2/sec$  (usa-se o *centiStoke*)

## ESTÁTICA DOS FLUIDOS

Considera-se na estática dos fluidos duas partes:

- o estudo da pressão e a sua variação no interior de um fluido;
- o estudos das forças de pressão em superfícies finitas

### Pressão num ponto

- a pressão média é calculada dividindo-se a força normal, que age contra uma superfície plana pela área desta;
- a pressão num ponto é o limite da relação entre a força normal e a área quando fazemos a área tender para zero em torno do ponto;
- a pressão é a mesma em todas as direcções num ponto de um fluido em repouso

Equação fundamental da estática dos fluidos; variação da pressão num fluido em repouso; num fluido em repouso não há tensões de corte: as forças de pressão equilibram a acção da gravidade;

A lei da variação de pressão num fluido em repouso (na forma de componentes) é dada por

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

As derivadas parciais, que dão a variação nas direcções horizontais, são uma forma da lei de Pascal que afirma ser a mesma a pressão em dois pontos no mesmo nível de uma massa contínua de um fluido em repouso (os planos horizontais são planos de pressão constante).

Como  $p$  é apenas função de  $z$

$$\partial p = -\rho g \partial z \quad (4)$$

Esta equação diferencial simples relaciona a variação de pressão com o peso específico ( $\rho g$ ) e a variação decota, sendo válida tanto para fluidos compressíveis como para incompressíveis.

Para fluidos que possam ser considerados homogéneos e incompressíveis,  $\rho g$  é constante e a equação 4 integrada passa a  $p = -\rho g z + c$  na qual  $c$  é uma constante de integração.

A LEI HIDROSTÁTICA da variação de pressão é escrita frequentemente na forma

$$p = \rho g h \quad (5)$$

na qual  $h$  é medido verticalmente para baixo ( $h=-z$ ) a partir da superfícies livre de um líquido e  $p$  é o aumento da pressão em relação àquela superfície livre.

MANÓMETROS – dispositivos de medição de pressão

Dispositivos que utilizam colunas de líquidos para determinar diferenças de pressões;

Regras a seguir em problemas com manómetros:

1. Começar numa extremidade (ou em qualquer menisco se o circuito for contínuo) e escrever a pressão do local numa unidade apropriada (Pa, p.ex.) ou indicá-la por um símbolo apropriado se a mesma fôr incógnita;
2. Somar à mesma a variação de pressão, na mesma unidade, de um menisco até ao próximo (com sinal positivo se estiver mais baixo e negativo se estiver mais alto) – usando Pascals a pressão será o produto da diferença de cotas em metros pelo peso específico do fluido em  $N/m^3$ ;
3. Continuar desta forma até alcançar a outra extremidade do manómetro (ou o menisco inicial) e igualar a expressão à pressão neste ponto, seja a mesma conhecida ou incógnita;

Para um manómetro simples, a expressão irá conter uma incógnita ou, no caso de um manómetro diferencial, dará uma diferença de pressões; na forma de equação,

$$p_0 - (z_1 - z_0)\rho_0 g - (z_2 - z_1)\rho_1 g - (z_3 - z_2)\rho_2 g - \dots - (z_n - z_{n-1})\rho_{n-1} g = p_n \quad (6)$$

onde  $z_0, z_1, \dots, z_{n-1}, z_n$  são as cotas de cada menisco em unidades de comprimento e  $\rho_0 g, \rho_1 g, \dots, \rho_{n-1} g$  são os pesos específicos dos fluidos nas colunas.

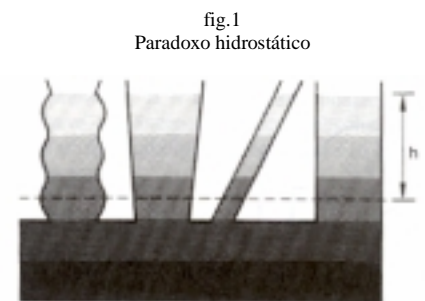
A expressão fornece a resposta em unidades de força por área, que pode ser convertida para outras unidades pelas relações próprias.

## PRESSÃO HIDROSTÁTICA

É a pressão exercida por um fluido no objecto submergido ou numa parede de um recipiente; é igual à força por unidade de área da superfícies –  $p=F/A$ .

A pressão hidrostática num fluido estacionário e incompressível comporta-se de acordo com as seguintes características – CARACTERÍSTICAS PRESSÃO HIDROSTÁTICA:

- É apenas função da profundidade vertical (e da densidade); a pressão será a mesma em dois pontos à mesma profundidade;
- Varia linearmente com a profundidade (vertical);
- É independente da área, do tamanho do objecto e do peso (massa) de água sobre o objecto – paradoxo hidrostático, fig.1 – a pressão na profundidade  $h$  é a mesma em todas as quatro colunas porque depende da profundidade e não do volume;
- a pressão num ponto tem a mesma intensidade em qualquer direcção (lei de Pascal); a pressão é uma quantidade escalar;
- é sempre normal à superfície, independentemente da sua forma ou orientação (isto deve-se à incapacidade de o fluido resistir a tensões de corte);
- a resultante da distribuição de pressões actua no centro de pressões;



A distribuição das forças resultantes da acção do fluido, numa superfície de área finita, pode ser substituída por uma força resultante conveniente; pode determinar-se a intensidade e a linha de acção (centro de pressões) da força resultante por integração, por fórmula e pelo conceito de prisma das pressões.

### *Superfícies Horizontais*

Uma superfície plana horizontal, mergulhada num fluido em repouso, estará sujeita a uma pressão constante em que a intensidade da força resultante é dada por -  $F_{res} = \int p dA = p \int dA = pA$  (7)

Linha de acção da resultante – ponto da área onde é nulo o momento das forças distribuídas em relação a um eixo qualquer que passa por este ponto; numa superfície horizontal sujeita à pressão estática de um fluido, a resultante passará pelo centro de gravidade da mesma.

### *Superfícies Inclinadas*

Considerando uma superfície plana com inclinação  $\theta$  em relação à horizontal, podemos dizer que a intensidade da força que age de um lado de uma superfície submersa num líquido é igual ao produto da área da superfície pela pressão que actua no seu centro de gravidade; deve notar-se que não é necessária a existência de uma superfície livre e que pode ser utilizado qualquer meio para determinar a pressão no centro de gravidade; se  $p_G$  (pressão no centro gravidade) for positiva, a força está a comprimir a superfície:

$$F_{res} = \int p dA = \rho g \sin \theta \int y dA = \rho g \sin \theta \bar{y} A = \rho g \bar{h} A = p_G A \quad (8)$$

com  $\bar{y}$  a distância no eixo da inclinação do ponto 0 até ao centro de gravidade da superfície e  $\bar{h}$  a distância vertical da superfície livre ao centro de gravidade da superfície.

O centro de pressões é o ponto (de coordenadas  $x_p, y_p$ ) por onde passa a linha de acção da força resultante; ao contrário das superfícies horizontais, o centro das pressões de uma superfície inclinada não coincidirá com o seu centro de gravidade.

Outro método: a força  $F$  exercida por um líquido numa área plana  $A$  é igual ao produto do peso específico  $\rho g$  do líquido, profundidade do centro de gravidade da área  $h_{cg}$ , e a área – a equação é

$$F = \rho g h_{cg} A \quad (9)$$

Note que o produto do peso específico e a profundidade do centro de gravidade da área corresponde à intensidade da pressão naquele ponto.

A linha de acção da força passa através do centro de pressão, que pode ser localizada através da fórmula:

$$y_{cp} = \frac{I_{cg}}{y_{cg} A} y_{cg} \quad (10)$$

com  $I_{cg}$  o momento de inércia da área no seu centro de gravidade; as distâncias  $y$  são medidas ao longo de um plano localizado na intersecção do plano da área e a superfícies do líquido, ambos extendidos se necessário.