

FLUIDOS

S.R. Vieira

2018.2

Fluidos – uma nomenclatura que inclui líquidos e gases. Os fluidos desempenham um papel importante no nosso cotidiano. Nós os respiramos e bebemos, um fluido vital circula no sistema cardiovascular. Existem o fluido dos oceanos, os da atmosfera, etc.

O que é um fluido?

- ✓ Um **fluido**, em contraste com um sólido, é uma substância que escoa (flui).
- ✓ Os fluidos se moldam a qualquer recipiente que os contenha.
- ✓ Um fluido é uma substância que não oferece resistência à tensão de cisalhamento.
- ✓ Muitos fluidos, como é o caso dos líquidos resistem a tensões compressivas.

DENSIDADE E PRESSÃO

Ao estudarmos fluidos estamos mais interessados em propriedades que variam ponto a ponto na extensão da substância, que em propriedades de amostras localizadas. É mais útil falarmos em **densidade** e **pressão**, que em massa e força.

Para encontrar a **densidade** (massa específica) ρ , em qualquer ponto, isolamos um pequeno elemento de volume ΔV ao redor do ponto e medimos a massa Δm do fluido contido no elemento. A densidade é dada por:

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}$$

Densidade Uniforme: $\rho = \frac{m}{V}$.

Unidade no S.I - kg/m^3

Tabela - Densidade

<i>Material ou Objeto</i>	<i>Densidade (kg/m³)</i>
Espaço interestelar	10^{-20}
Melhor vácuo de laboratório	10^{-17}
Ar: 20°C e 1 atm	1,21
20°C e 50 atm	60,5
Espuma	1×10^2
Água: 20°C e 1 atm	$0,998 \times 10^3$
20°C e 50 atm	$1,000 \times 10^3$
Água do mar: 20°C e 1 atm	$1,024 \times 10^3$
Sangue	$1,060 \times 10^3$
Gelo	$0,917 \times 10^3$
Ferro	$7,9 \times 10^3$
Mercúrio	$13,6 \times 10^3$
A Terra: média	$5,5 \times 10^3$
núcleo	$9,5 \times 10^3$
crosta	$2,8 \times 10^3$
O Sol: média	$1,4 \times 10^3$
núcleo	$1,6 \times 10^5$
Estrela anã branca (núcleo)	10^{10}
Núcleo de urânio	3×10^{17}
Estrela de nêutrons (núcleo)	10^{18}
Buraco negro (de 1 massa solar*)	10^{19}

*Na realidade, um objeto com massa igual à do Sol nunca se tornará um buraco negro. O limite inferior de massa, descoberto pelo físico indiano S. Chandrasekhar, Prêmio Nobel, é de 1,4 massa solar. (N. do R.)

PRESSÃO

Definimos a pressão exercida pelo fluido por.

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

Se a força sobre a área plana A é uniforme, podemos escrever: $p = \frac{F}{A}$

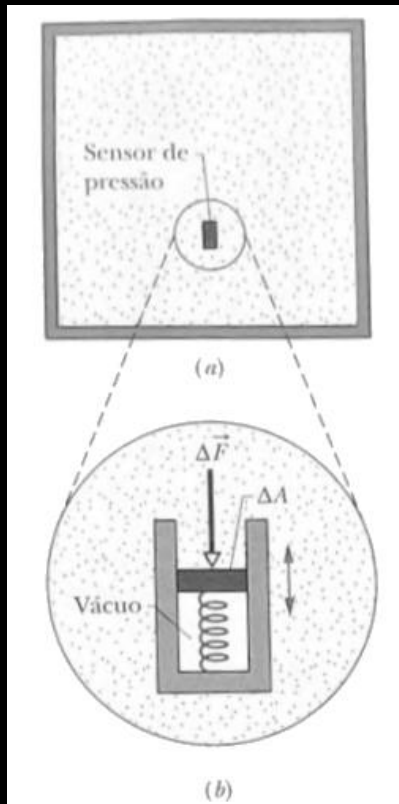


Fig.1 – (a) Um recipiente cheio de fluido contém um sensor de pressão, cujas detalhas são mostrados em (b). A pressão é medida pela posição relativa do pistão no sensor. Em qualquer localização, a pressão é independente da orientação do sensor.

Pressão é um grandeza escalar, não tendo propriedades direcionais.

Unidade no SI: $\text{N/m}^2 = \text{pascal (Pa)}$

$$1 \text{ atm} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ torr} = 14,7 \text{ lb/pol}^2 \text{ (psi)}$$

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg}$$

Fig. 1

Tabela - Pressão

	<i>Pressão (Pa)</i>
Centro do Sol	2×10^{16}
Centro da Terra	4×10^{11}
Pressão mais alta obtida em laboratório	$1,5 \times 10^{10}$
Fossa oceânica mais profunda	$1,1 \times 10^8$
Pressão dos saltos altos de sapatos sobre uma pista de dança	1×10^6
Pneu de automóvel ^a	2×10^5
Atmosfera ao nível do mar	$1,0 \times 10^5$
Pressão sangüínea normal ^{a, b}	$1,6 \times 10^4$
Som mais alto tolerável ^{a, c}	30
Som mais baixo detectável ^{a, c}	3×10^{-5}
Melhor vácuo de laboratório	10^{-12}

^aPressão que excede a atmosférica.

^bPressão sistólica, correspondendo a 120 torr de pressão manométrica no medidor usado pelos médicos.

^cPressão no tímpano, a 1.000 Hz.

FLUIDOS EM REPOUSO

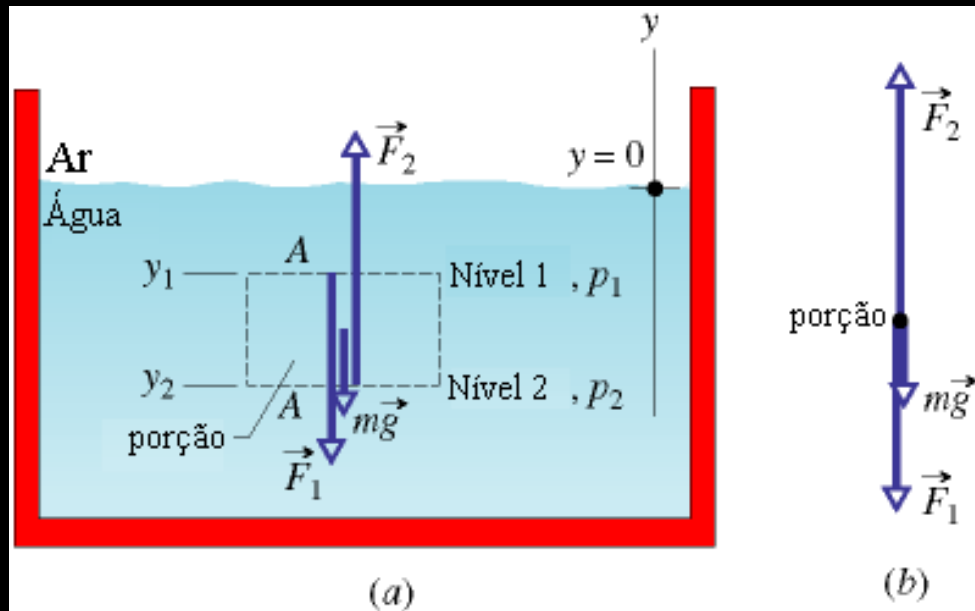
As pressões encontradas por mergulhadores e alpinistas são usualmente chamadas de pressões hidrostáticas, porque são devidas a fluidos estáticos.

Atenção: Um fluido pode ser considerado estático quando não está sujeito a nenhuma força de cisalhamento; isso acontece em duas situações:

- quando o fluido está parado;
- quando o fluido está em movimento mas seu comportamento pode ser aproximado pelo de um corpo rígido.

Aqui estudaremos, a princípio, o aumento de pressão com a profundidade abaixo da superfície da água. Colocando um eixo vertical y , com a sua origem na interface água-ar e seu sentido crescente para cima.

Fig. 2



Das figuras: $F_2 = p_2 A$ e $F_1 = p_1 A$

$$F_2 = F_1 + mg,$$

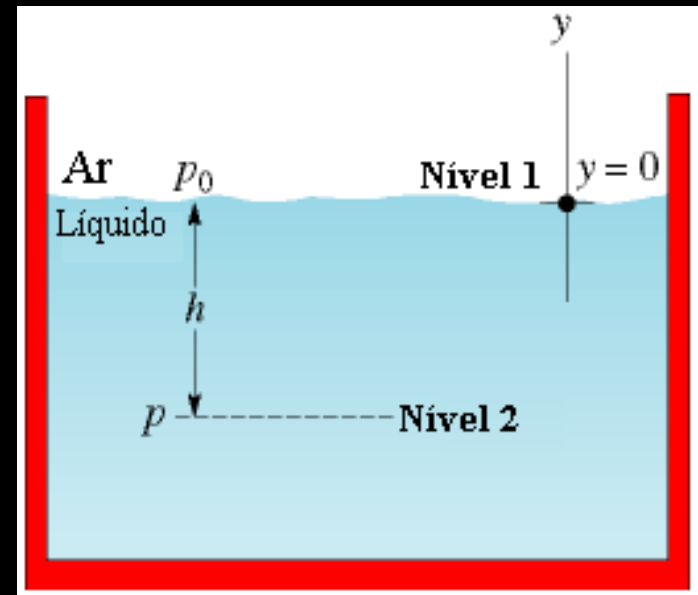
Como $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V$ e $V = A(y_1 - y_2)$

Temos: $p_2 A = p_1 A + \rho A g (y_1 - y_2)$

Ou

$$p_2 = p_1 + \rho g (y_1 - y_2) \quad (\text{Eq. 1})$$

Fig. 3



Presentando a pressão atmosférica por p_0 , substituindo

$$\begin{aligned} y_1 &= 0, & p_1 &= p_0 \\ y_2 &= -h, & p_2 &= p \end{aligned}$$

A Eq. 1, pode ser reescrita por:

$$p = p_0 + \rho g h \quad (\text{Eq.2})$$

Eq. 2 - A pressão aumenta com a profundidade.

$\Delta p = \rho g h$ (pressão manométrica)

MEDINDO A PRESSÃO – O Barômetro de Mercúrio

O barômetro de mercúrio é um instrumento usado para medir a pressão da atmosfera. O tubo de vidro está cheio de mercúrio e o espaço acima da coluna de mercúrio contém apenas vapor de mercúrio, cuja pressão pode ser desprezada. Se a pressão atmosférica é p_0 e ρ é a densidade (massa específica) do mercúrio, então:

$$p_0 = \rho g h$$

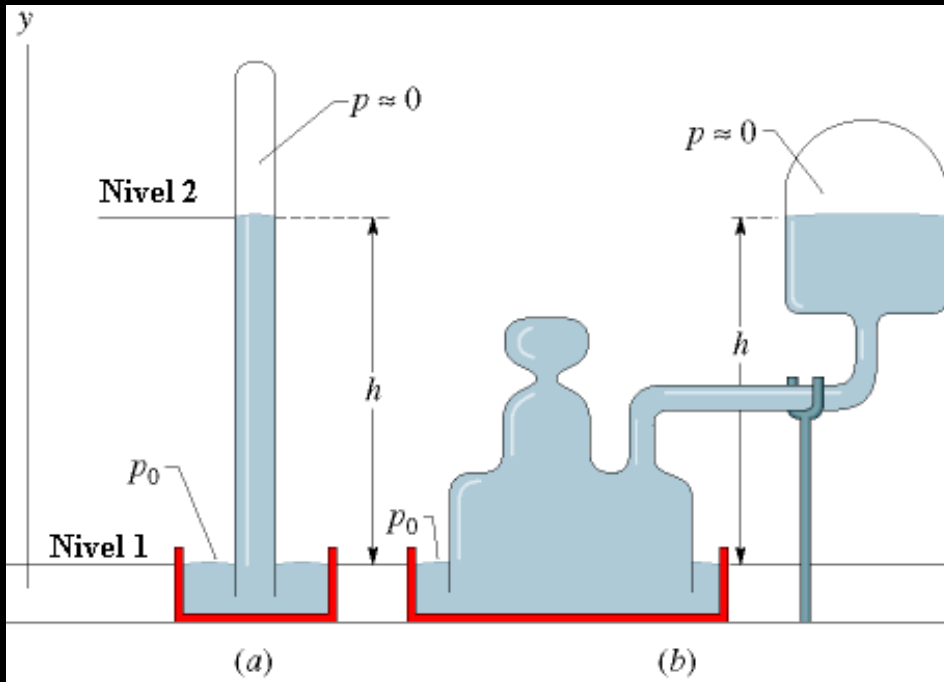


Fig. 4 – (a) Um barômetro de mercúrio. (b) Outro barômetro de mercúrio. A distância h é a mesma nos dois casos.

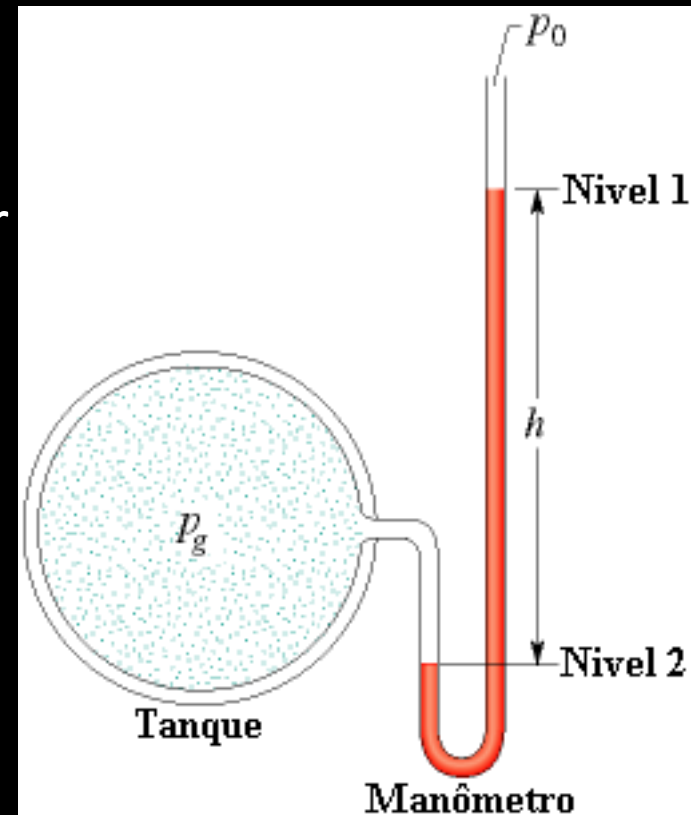
MEDINDO A PRESSÃO – O Manômetro de Tubo Aberto

O manômetro de tubo aberto usado para medir a pressão manométrica p_m de um gás, é formado por um tubo em forma de U contendo um líquido (de densidade ρ), com uma das extremidades ligada a um recipiente, cuja pressão manométrica se deseja medir, e a outra aberta para a atmosfera.

$$p_m = p - p_0 = \rho gh$$

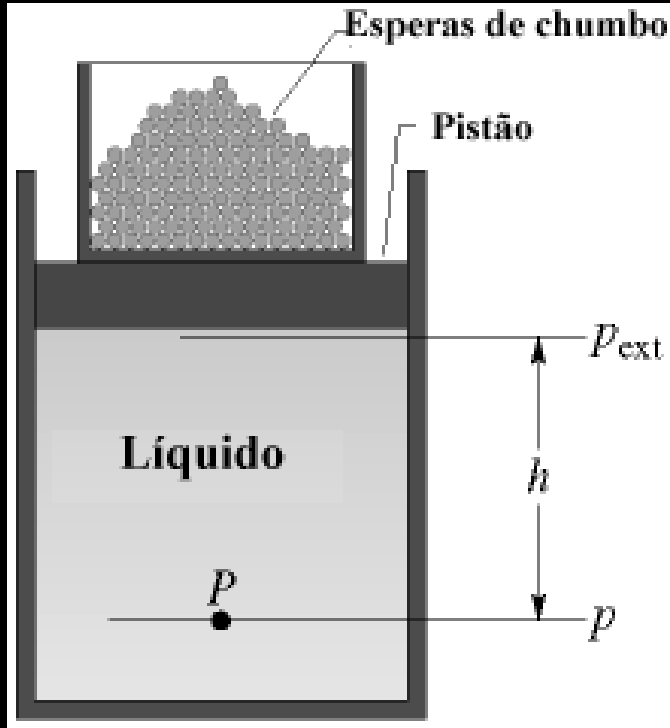
sendo p_0 a pressão atmosférica, p a pressão no nível 2. A pressão manométrica pode ser positiva ($p > p_0$) ou negativa ($p < p_0$).

Fig. 5 – Um manômetro de tubo aberto, conectado para medir a pressão manométrica do gás no recipiente da esquerda (tanque). O braço direito do tubo, em forma de U, está aberto para a atmosfera.



O PRINCÍPIO DE PASCAL

Uma variação na pressão aplicada a um fluido confinado é transferida completamente para todas as porções do fluido e para as paredes do recipiente que o contém.



A pressão p em qualquer ponto P do líquido é dado por:

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

Fig. 6 – Os pesos colocados sobre o pistão criam uma pressão p_{ext} sobre o líquido (incompressível) retido no recipiente. Se p_{ext} for aumentada, por adição de pesos, a pressão aumentará em igual valor em todos os pontos dentro do líquido.

$$\Delta p = \Delta p_{ext}$$

O PRINCÍPIO DE PASCAL E O ELEVADOR HIDRÁULICO

A força $\vec{F}_e$ aplicada ao êmbolo da esquerda (entrada) e a força $\vec{F}_s$ aplicada pela carga ao êmbolo da direita (saída) produzem uma variação Δp da pressão do líquido (óleo) que é dada por:

$$\Delta p = \frac{F_e}{A_e} = \frac{F_s}{A_s} \Rightarrow F_s = F_e \frac{A_s}{A_e}$$

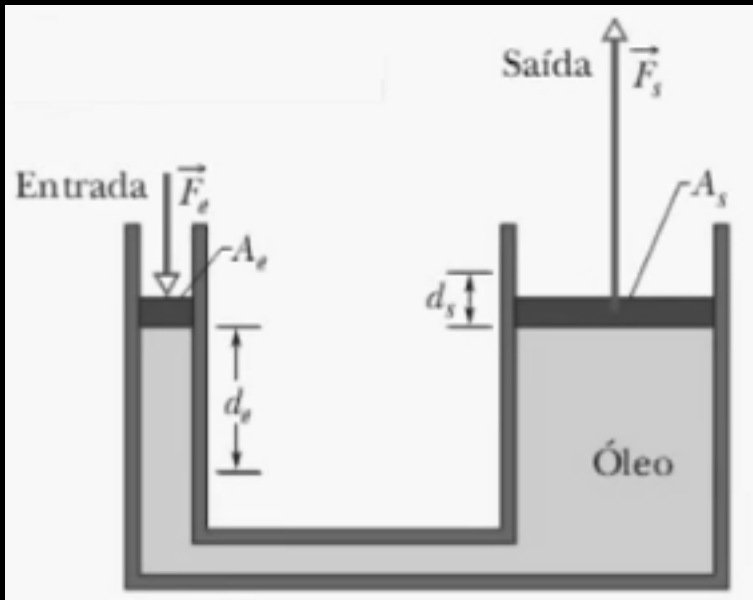
Quando deslocamos o êmbolo de entrada para baixo de uma distância d_e , o êmbolo da saída é deslocado para cima de uma distância d_s tal que o mesmo volume V é deslocado pelos dois êmbolos.

$$V = A_e d_e = A_s d_s \Rightarrow d_s = d_e \frac{A_e}{A_s}$$

Fig. 7 – Um aparelho hidráulico, usado para multiplicar a força $\vec{F}_e$. O trabalho realizado por $\vec{F}_e$, entretanto, não se altera e é o mesmo para as forças na entrada e na saída.

Combinando estas expressões, podemos deduzir o trabalho.

$$W = F_s d_s = F_e d_e$$



O PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

Um corpo completo ou parcialmente imerso em um fluido receberá a ação de uma força para cima igual ao peso do fluido que o corpo descola.

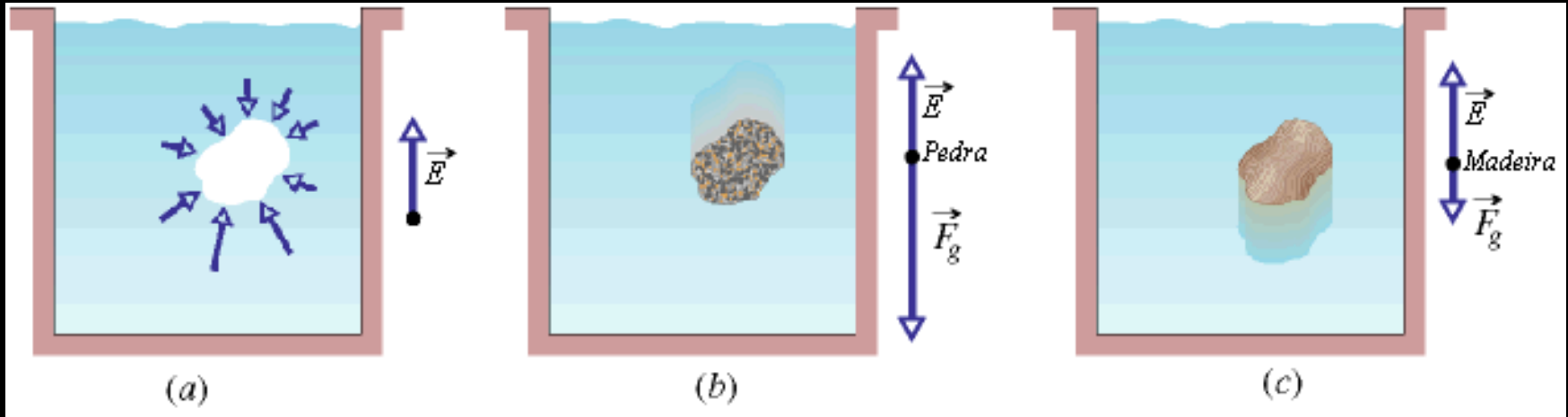


Fig.8 – (a) A água vizinha ao vazio exerce forças sobre suas fronteiras, a resultante delas sendo o **empuxo** ($\vec{E}$) para cima que atua em qualquer coisa que o preencha. (b) Para uma pedra de volume igual ao vazio, o peso é maior que o empuxo. (c) Para um pedaço de madeira de mesmo volume, o peso é menor que o empuxo.

O módulo da força de empuxo é dado pela expressão:

$$E = m_f g$$

onde m_f é a massa do fluido deslocado pelo corpo.

O PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES – Flutuação e Peso Aparente

Quando um corpo flutua em um fluido, o módulo E do empuxo que age sobre o corpo é igual ao módulo F_g da força peso a que o corpo está sujeito.

$$E = m_f g$$

Isso significa que quando um corpo flutua em um fluido, o módulo F_g da força peso que age sobre o corpo é igual ao peso $m_f g$ do fluido deslocado pelo corpo, onde m_f é a massa do fluido deslocado.

$$F_g = m_f g$$

O peso aparente de um objeto em um fluido é menor que o peso real do corpo e é igual à diferença entre o peso real e o empuxo que o fluido exerce sobre o corpo.

$$\left(\begin{array}{c} \text{peso} \\ \text{aparente} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{peso} \\ \text{real} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{módulo do} \\ \text{empuxo} \end{array} \right)$$

FLUIDOS IDEAIS EM MOVIMENTO

Um fluido ideal é aquele que não tem viscosidade e é incompressível, e cujo escoamento é uniforme e não-rotacional. A considerações:

1. **Escoamento uniforme (estacionário)** - No escoamento uniforme, a velocidade do fluido em um ponto qualquer não varia com o tempo.
2. **Escoamento incompressível** – supomos, como no caso dos fluidos em repouso, que o fluido ideal é incompressível, ou seja, que a densidade (massa específica) tem um valor constante.
3. **Escoamento não viscoso** – A viscosidade de um fluido é uma medida da resistência que o fluido oferece ao escoamento. Um objeto imerso em um fluido não viscoso não experimenta uma força de arrasto viscoso e, se não está sujeito a uma força, se move com velocidade constante no interior do fluido.
4. **Escoamento irrotacional** – No escoamento irrotacional, um corpo de prova em suspensão no fluido não gira em torno de um eixo que passa pelo centro de massa.



Fig. 9 – A certa altura, o escoamento do gás aquecido que sobe de um cigarro aceso muda de uniforme (estacionário) para turbulento .

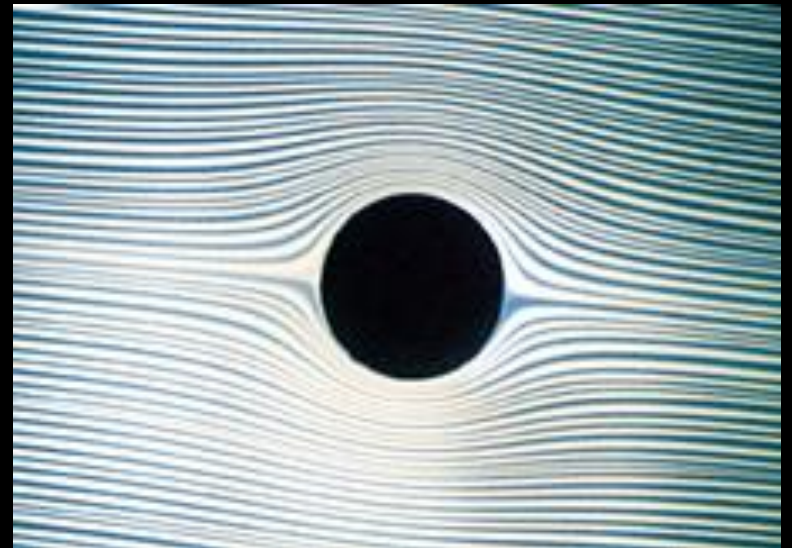


Fig. 10 – O escoamento uniforme de um fluido em torno de um cilindro, revelado por um rastreador colorido.

LINHAS DE CORRENTE E A EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Uma **linha de corrente** é o caminho traçado por um pequeno elemento de fluido, que podemos chamar de “partícula” de fluido. O vetor velocidade será sempre tangente á linha de corrente. Uma consequência desta definição é que as linhas de corrente nunca se cruzam, pois caso o fizessem o elemento de volume poderia ter uma das duas velocidades com diferentes direções, simultaneamente.



Fig. 11 – A “fumaça” revela as linhas de escoamento do ar passando por um automóvel, em um túnel de vento.

Continuação – Linhas de corrente e a Equação da continuidade

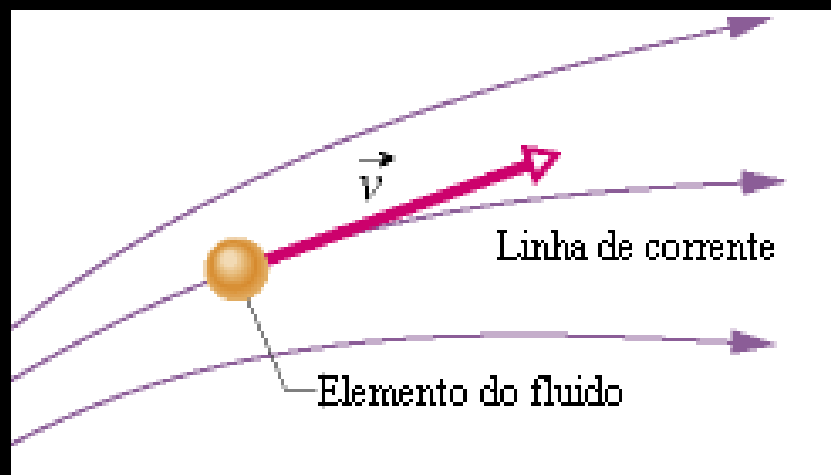


Fig. 12 – Um elemento do fluido traça uma linha de corrente ao descrever a sua trajetória. A velocidade do elemento do fluido é tangente à linha de corrente em cada ponto.

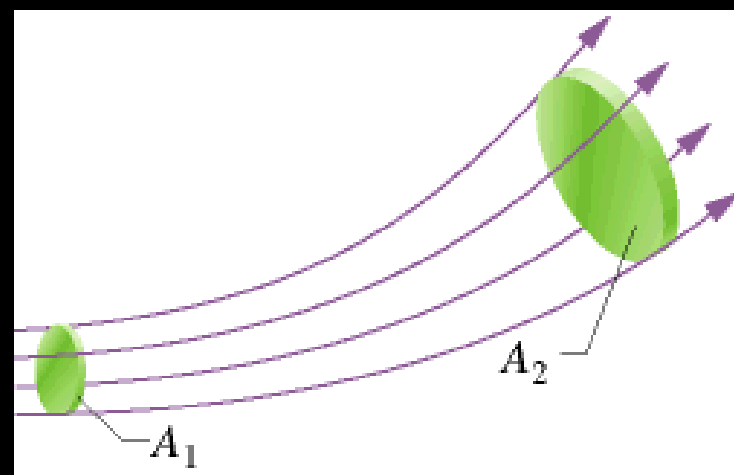


Fig. 13 – Um tubo de corrente é definido pelas linhas de corrente que o delimitam. A vazão do fluido tem de ser a mesma para todas as seções transversais do tubo de corrente.

Continuação – Linhas de corrente e a Equação da continuidade

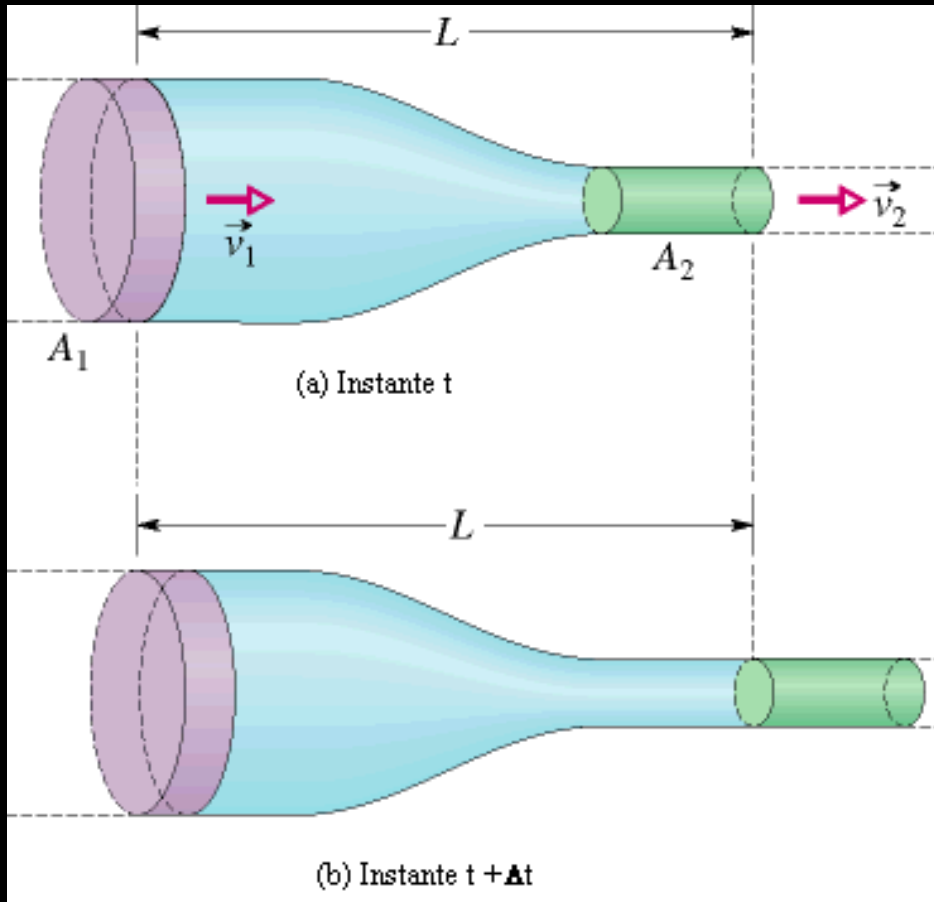


Fig. 14 – Um fluido esco da esquerda para direita com vazão constante através de um segmento de tubo de comprimento L . A velocidade do fluido é v_1 , na área A_1 (lado esquerdo) e v_2 , na área A_2 (lado direito). Do instante t em (a) até o instante $t + \Delta t$ em (b).

$$\Delta V = A\Delta x = Av\Delta t$$

$$\Delta V = A_1v_1\Delta t = A_2v_2\Delta t$$

$$\underline{A_1v_1 = A_2v_2}$$

(Equação de Continuidade)

$$R_V = Av = \text{constante} \quad (\text{vazão})$$

$$\underline{R_m = \rho R_V = \rho Av = \text{constante}}$$

(vazão de massa)

A EQUAÇÃO DE BERNOULLI

Um fluido escoar com vazão constante através de um comprimento L de um tubo, da extremidade de entrada (esquerda) até a extremidade de saída (direita). Do instante t em (a) ao instante $t + \Delta t$ em (b), uma quantidade de fluido (azul) entra no tubo e uma quantidade igual (verde) sai na direita.

Aplicando a lei de conservação da energia ao fluido, temos

$$\underbrace{p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y}_{\text{(Equação de Bernoulli)}} = \text{constante}$$

Se a velocidade de um fluido aumenta enquanto o fluido se move horizontalmente ao longo de uma linha de fluxo, a pressão do fluido diminui, e vice-versa.

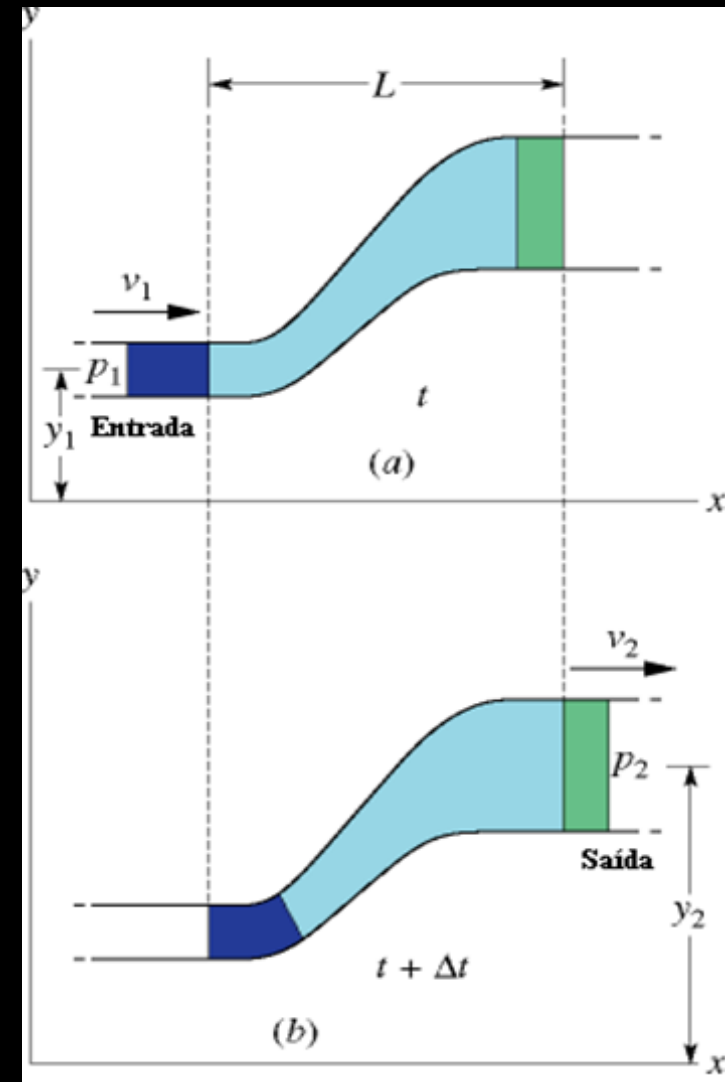


Fig. 15 – Um fluido escoar através de um tubo a uma vazão constante. Durante um intervalo de tempo Δt , a quantidade de fluido indicada pela área escura em (a) é transferida da entrada para a extremidade de saída, como mostrado em (b).

Equação de Bernoulli - Demonstração

Teorema trabalho-energia cinética

$$W_{total} = \Delta K \Rightarrow W_g + W_p = \Delta K$$

$$W_{total} = -\Delta mg(y_2 - y_1) + pA\Delta x = -\rho g\Delta V(y_2 - y_1) + p\Delta V$$

$$W_{total} = -\rho g\Delta V(y_2 - y_1) - (p_2 - p_1)\Delta V \quad (\text{D.1})$$

$$\Delta K = \frac{1}{2}\Delta m(v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2}\rho\Delta V(v_2^2 - v_1^2) \quad (\text{D.2})$$

De (D.1) e (D.2), obtemos:

$$\underbrace{p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2}_{(\text{Equação de Bernoulli})}$$

Questão De acordo com o critério de que “o avião é uma máquina que pode decolar por seus próprios meios de propulsão”, Santos Dumont ficou conhecido como o inventor do avião quando o seu **14-Bis**, utilizando um motor com menos de 50 HP (cavalos) de potência, voou em Bagatelle, na França, em frente a uma multidão. Tal ocorreu em 23 de outubro de 1906. Em 1971 o “Pai da Aviação”, foi proclamado “Patrono da Aeronáutica Brasileira”. A figura à direita ilustra as forças que atuam sobre um avião. A força **peso** é sempre vertical e voltada para baixo. A força **empuxo** é aquela que move o avião para frente, sendo resultado da ação das suas turbinas. Ao consumirem o combustível, as turbinas geram gases a alta velocidade. Esses gases são expelidos para trás, fazendo que o avião se desloque para frente. É o mesmo princípio físico que faz com que uma bexiga (balão ou bola) de aniversário se mova quando permitimos que o ar no seu interior escape através do seu bico. À medida que o avião se desloca à frente, aparece a força de **arrasto**. Ela resulta da resistência que a atmosfera terrestre oferece ao movimento dos corpos e atua no sentido contrário ao movimento do avião. Quando você está andando, você quase não percebe esta força. Entretanto, ao correr com a sua bicicleta você já deve ter experimentado a resistência do ar sobre o seu corpo. Além do arrasto, a interação do ar atmosférico com as asas do avião dá origem a uma força de sentido oposto à força peso. Trata-se da força de **sustentação**. É a mesma força que faz o papagaio (pipa) voar. Você já deve ter percebido que soltar uma pipa quando está ventando é muito mais fácil do que quando o ar está “parado.” Aliás, quando o ar está “parado” temos que sair correndo com a pipa na mão, tentando fazê-la voar. No caso do avião, quem o faz se movimentar em relação à atmosfera são as suas turbinas. Quanto maior a velocidade do avião em relação ao ar atmosférico, maior será a força de sustentação.



Pergunta: Sabendo que quanto maior for a velocidade do avião em relação ao ar, maior será a força de sustentação, qual das alternativas abaixo é a mais indicada para a decolagem de um avião?

- a) () Decolar a favor do vento (no mesmo sentido do vento)
- b) (x) Decolar contra o vento (no sentido oposto)
- c) () Decolar em uma direção que faça um ângulo de 90^0 com a direção do vento
- d) () O sentido do vento não interfere na decolagem do avião

Justificativa: Decolando contra o vento soma-se a velocidade do vento e do avião, favorecendo assim a decolagem.