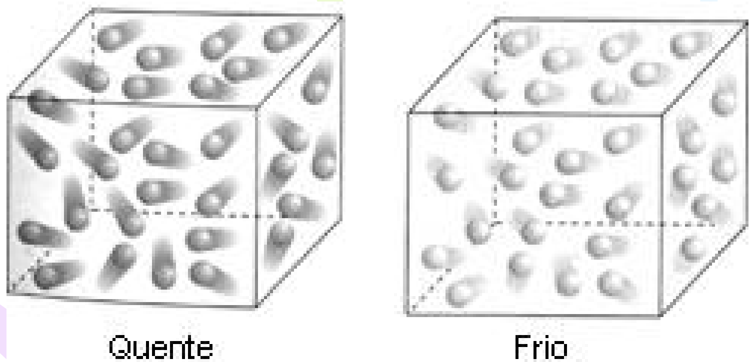
1.5 Lei dos Gases Ideais

► O volume e, portanto, a massa específica (ρ = massa/volume) dos gases são sensíveis às variações da pressão e Temperatura.

► Buscando nos cursos de física básica o conceito básico de pressão e temperatura.

Temperatura

► Grandeza física relacionada com o grau de agitação térmica dos átomos e das moléculas de um sistema (corpo).



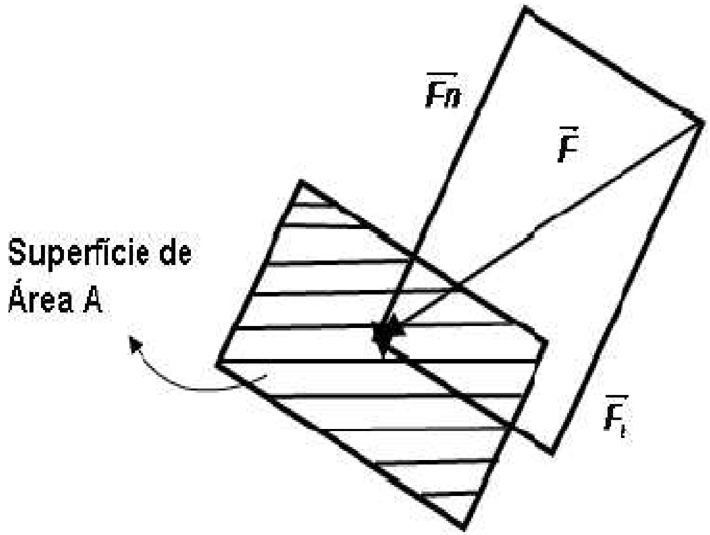
Pressão:

► É a razão entre a força normal por unidade de área exercida sobre uma superfície, real ou imaginária, imersa em um fluido.

► É o resultado do bombardeamento das moléculas do fluido a esta superfície.

Símbolo: ***p*** **(minúsculo)**
Unidade (SI): N/m^2 = *Pa* (Pascal)
Dimensão: $ML^{-1}S^{-2}$ ou FL^{-2}

$$p = \frac{F_n}{A}$$



► **Grandeza Escalar.**

Pressão Atmosférica

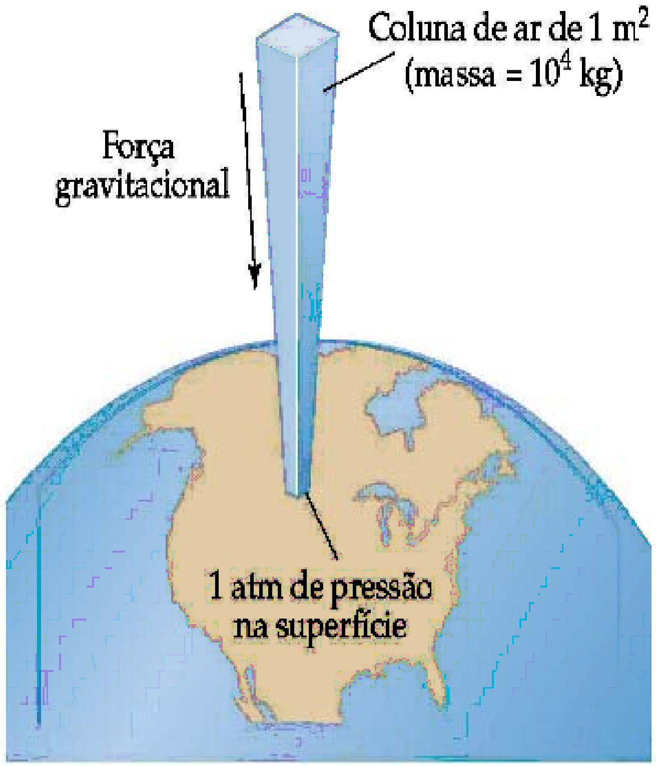
► É a pressão exercida pela força peso de uma coluna de ar atmosférico sobre uma área de $1m^2$ ao nível do mar.

Valor padrão:

$$p_o = 101{,}3\ kN/m^2$$

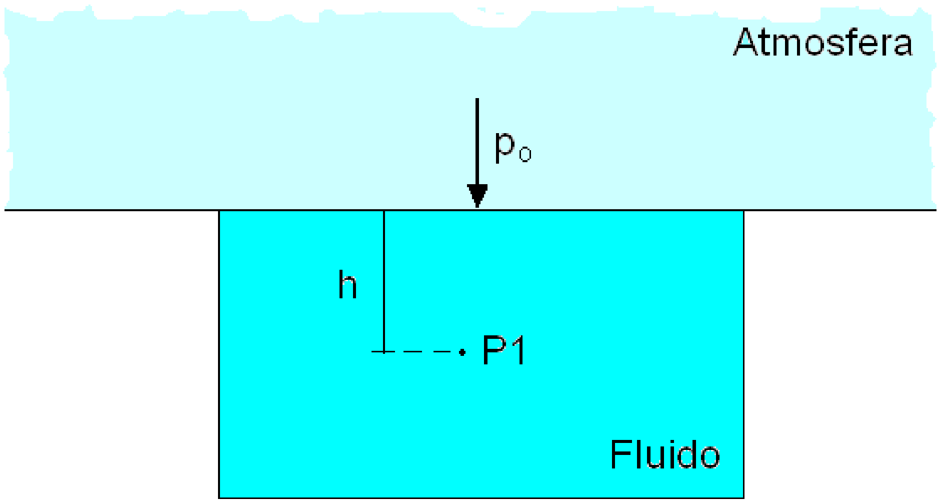
ou

$$101{,}3\ kPa$$



Pressão Absoluta:

► É pressão medida em relação à pressão absoluta zero, isto é, à pressão que ocorreria no alto vácuo.



Pressão absolta em ponto P1 do fluido:

$$p_1 = p_o + \varphi(h)$$

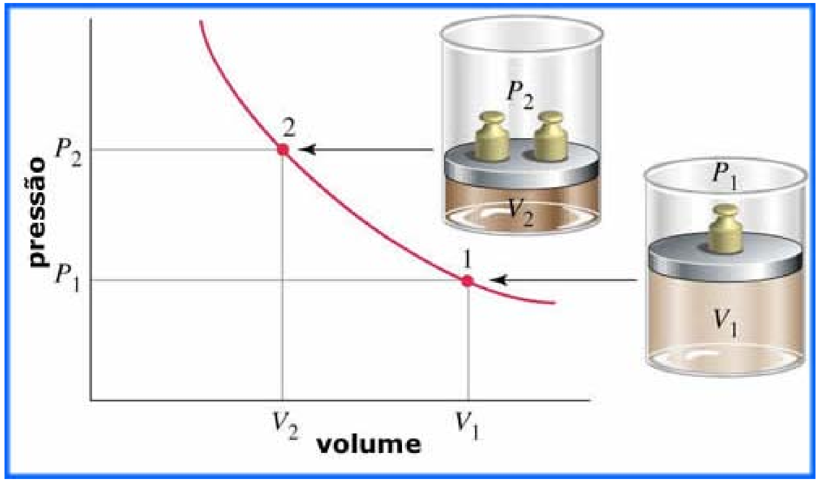
$\varphi(h)$ -> pressão relativa

...Voltando à lei dos gases ideais,

► Lei de Boyle-Maariotte

$$V \propto \frac{1}{p}$$

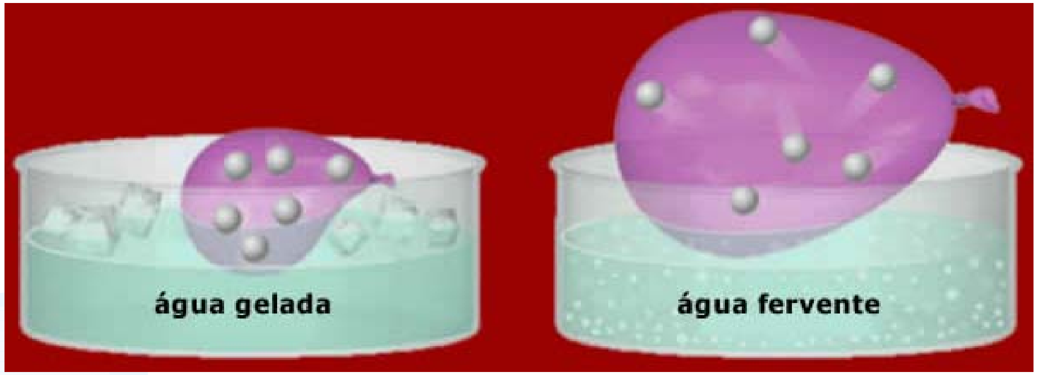
$$V = \frac{k_1}{p} \quad (k_1\, é\, uma\, constante)$$

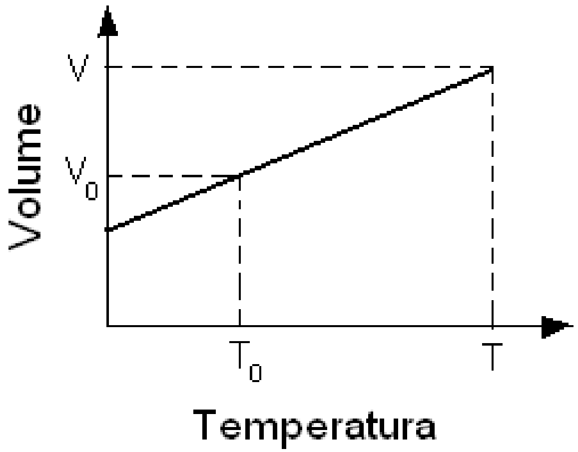


Se *p_o* e *V_o* representam a pressão e o volume iniciais de um estado inicial de uma certa massa da gás, e *p* e *V* a pressão e o volume de outro estado instantâneo do gás, então,

$$\left.\begin{array}{l} p_o V_o = k_1 \\ pV = k_1 \end{array}\right\} \Rightarrow pV = p_o V_o$$

► Lei de Charles





$$V \propto T$$

$$V = k_2 T \ \ (k_2 \ é \ uma \ constante)$$

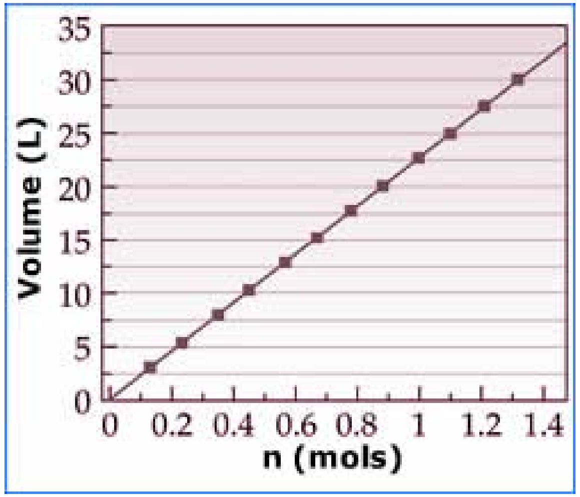
Se T_o e V_o representam a temperatura e o volume iniciais de um estado inicial de uma certa massa da gás, e *T* e *V* *a* temperatura e o volume de outro esta-do instantâneo do gás, então,

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{V_0}{T_0} = k_2 \\ \dfrac{V}{T} = k_2 \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0}$$

► Lei de Avogadro

"Volumes iguais de gases diferentes às mesmas condições de temperatura e pressão conterão o mesmo número de moléculas."

	He	N_2	CH_4
Volume	22,4 L	22,4 L	22,4 L
Pressão	1 atm	1 atm	1 atm
Temperatura	0 °C	0 °C	0 °C
Massa do gás	4,00 g	28,0 g	16,0 g
Número de moléculas do gás	$6{,}02 \times 10^{23}$	$6{,}02 \times 10^{23}$	$6{,}02 \times 10^{23}$



$$V \propto n$$

$$V = k_3 n \ (k_3 \ \acute{e} \ uma \ constante \ e \ n \ \acute{e} \ o \ n\acute{u}mero \ de \ mol\acute{e}culas)$$

▶ **Combinando as leis de Boyle-Mariotte, Charles e Avogadro, obtemos.**

$$V \propto n\frac{T}{p}$$

$$pV = nRT$$

$$p = \frac{1}{V}\frac{m}{M}RT = \frac{m}{V}\frac{R}{M}T \rightarrow p = \rho\Re T$$

m *é a massa do gás,*

M *é a massa molar do gás,*

ρ *é a massa específica do gás,*

$\Re$ *é a constante específica do gás (ver tabela da página* 15).

Tensão de Cisalhamento

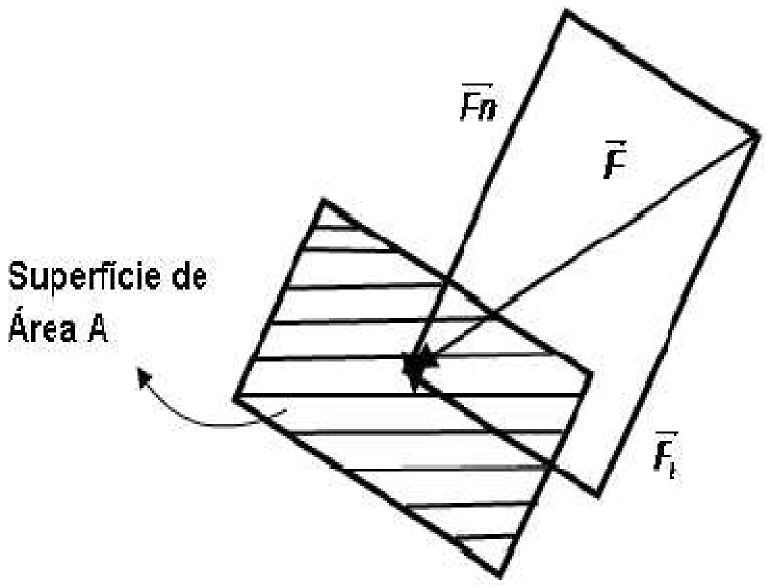
► **Razão entre a magnitude da força tangente por unidade de área exercida sobre uma superfície, real ou imaginária, imersa num fluido.**

Símbolo: τ

Unidade (SI): N/m²

Dimensão: $ML^{-1}T^{-2}$ ou FL^{-2}

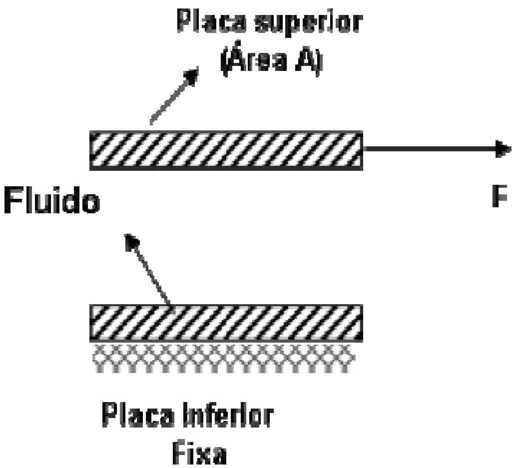
$$\tau = \frac{F_t}{A}$$

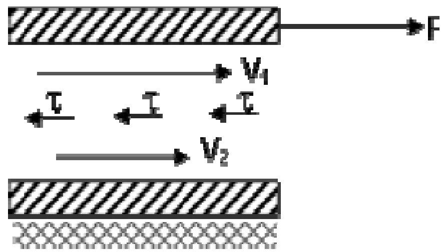


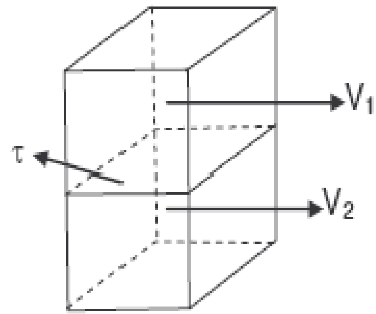
Princípio da Aderência

► **Partículas de um fluido, quando juntas a superfícies, sólidas adquirem as velocidades dos pontos destas superfícies.**

► **Entre as partículas de uma camada superior do fluido e uma imediatamente inferior, existirá atrito, que por ser uma força tangente ao fluido gera tensões de cisalhamento entre as camadas do fluido.**



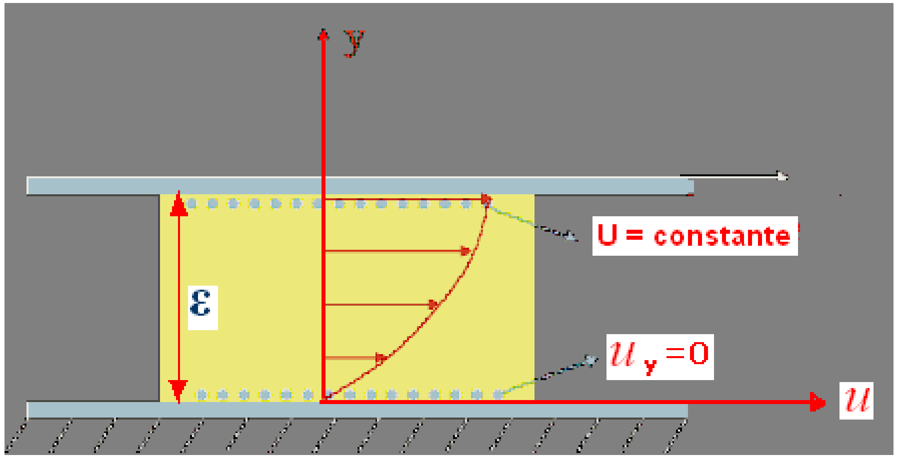




Universidade Federal do ABC

► **Quando F_t = F, a placa superior irá adquirir movimento uniforme com velocidade U.**

► **A velocidade ao longo do fluido, u_y, é, em geral, dada por,**



$$u_y = ay^2 + by + c \quad (eq.\ parábola)$$

como:

$$\left.\begin{array}{l} para\ y = 0,\ u_y = 0 \Rightarrow c = 0 \\ para\ y = \varepsilon,\ u_y = U = a\varepsilon^2 + b\varepsilon = cte. \\ também,\ para\ y = \varepsilon,\ \dfrac{du_y}{dy} = 0\ (já\ que\ u_y = U = cte.) \end{array}\right\} \Rightarrow condições\ de\ contorno$$

▶ Das condições de contorno:

$$\frac{du_y}{dy} = 2ay + b = 0 \quad e$$

$$\left.\frac{du_y}{dy}\right|_{y=\varepsilon} = 2a\varepsilon + b = 0$$

$$2a\varepsilon + b = 0$$

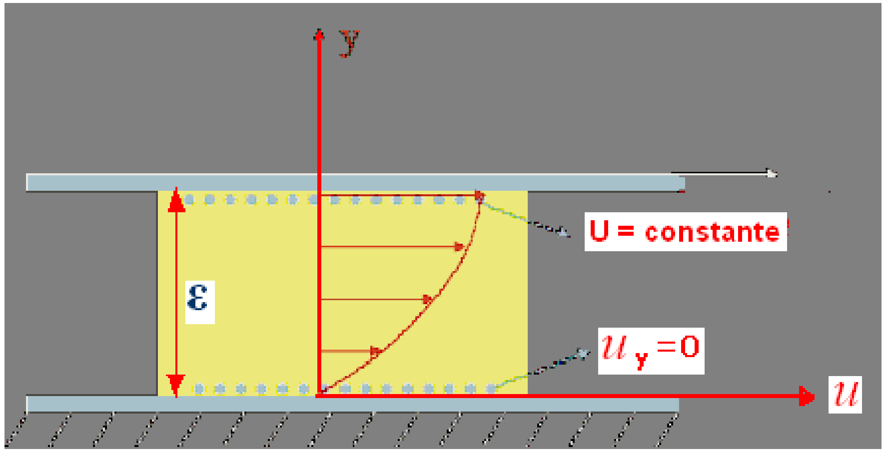
$$b = -2a\varepsilon$$

$$Daí, obtém-se:$$

$$a = -\frac{U}{\varepsilon^2} \quad e \quad b = 2\frac{U}{\varepsilon}$$

$$Logo:$$

$$u_y = -\frac{U}{\varepsilon^2}y^2 + 2\frac{U}{\varepsilon}y \qquad e \qquad \frac{du_y}{dy} = -\frac{2U}{\varepsilon^2}y + 2\frac{U}{\varepsilon}$$



► A quantidade du_y/dy é chamada de **gradiente de velocidade** e é diretamente proporcional à velocidade U e inversamente proporcional à distância entre as placas.

► De acordo com a discussão anterior, quanto maior for a velocidade, maior será o atrito entre as camadas do fluido. Isto nos permite escrever,

$$\tau \propto \frac{du_y}{dy} \quad \Rightarrow \quad \tau = \mu \frac{du_y}{dy}$$

► μ é uma constante de proporcionalidade e chamada de viscosidade dinâmica do fluido **(varia com a temperatura)**.

► **du_y/dy também é chamada de taxa de deformação de cisalhamento.**

Fluidos Newtonianos

► **São todos aqueles que obedecem a equação**

$$\tau = \mu \frac{du_y}{dy}$$

► **É comum em Mecânica dos Fluidos definir a viscosidade cinemática por,**

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Onde *ρ* é a massa específica do fluido.

Propriedade Físicas de alguns gases na pressão atmosférica padrão

	Temperatura T (ºC)	Massa específica P (kg/m^3)	Viscosidade dinâmica μ (Ns/m^2)	Constante do Gás R (J/kgK)	Razão entre os Calores específicos *K*
Ar (padrão)	15	1,23 E+0	1,79 E-5	2,869 E+2	1,40
Dióxido de Carbono	20	1,83 E+0	1,47 E-5	1,889 E+2	1,30
Hélio	20	1,66 E-1	1,94 E-5	2,077 E+3	1,66
Hidrogênio	20	8,38 E-2	8,84 E-6	4,124 E+3	1,41
Metano (gás natural)	20	6,67 E-1	1,10 E-5	5,183 E+2	1,31
Nitrogênio	20	1,16 E+0	1,76 E-5	2,968 E+2	1,40
Oxigênio	20	1,33 E+0	2,04 E-5	2,598 E+2	1,40

- Unidade e dimensão da viscosidade.

	Unidade (SI)	Dimensão
μ	$N.s/m^2$	$MT^{-1}L^{-1}$
ν	m^2/s	$L^2\ T^{-1}$

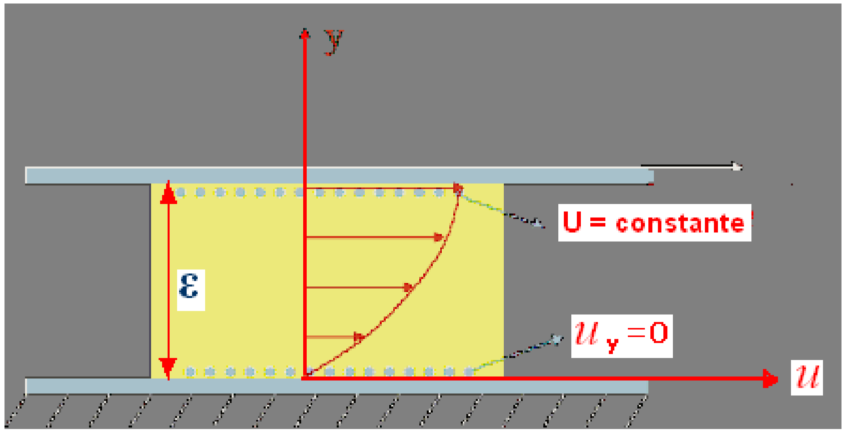
- Tabelas 1.4, 1.5, B.1 e B.2 trazem valores das viscosidade dinâmica para alguns líquidos e gases. Tabelas entregues na sala.

Exercício

1) Um fluido newtoniano, densidade e viscosidade cinemática respectivamente iguais a 0,92 e $4x10^{-4}$ m^2/s, escoa entre duas superfícies, uma fixa (inferior) e outra (superior) que se move com velocidade constante ***U***. O perfil de velocidade deste escoamento corresponde a uma parábola $u_y = ay^2 + by + c$ e está mostrado na figura abaixo.

a) Determine os valores de a, b e c e reescreva a equação $u_y = ay^2 + by + c$.

B) Determine a tensão de cisalhamento nas superfícies inferior e superior.



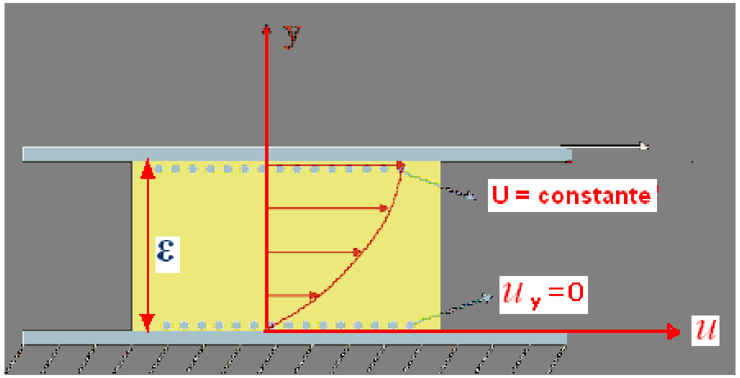
Filme 6.1

Solução

$$u_y = ay^2 + by + c$$

a) Cálculo de a, b e c.

Aplicando as condições de contorno,



$$u_y = 0, \; para \;\; y = 0. \; Logo, \; 0 = a \times 0 + b \times 0 + c \Rightarrow c = 0$$

$$u_y = U = cte., \; para \;\; y = \varepsilon. \; Logo, \; U = a\varepsilon^2 + b\varepsilon$$

$$\frac{du_y}{dy} = 0, \; para \;\; y = \varepsilon. \; Isto \; é, \; 2a\varepsilon^2 + b = 0$$

$$Daí, \; temos: \begin{cases} U = a\varepsilon^2 + b\varepsilon \\ 2a\varepsilon^2 + b = 0 \end{cases}$$

Continuando,

$$Resolvndo\ o\ sistema\ \begin{cases} U = a\varepsilon^2 + b\varepsilon \\ 2a\varepsilon^2 + b = 0 \end{cases},\ vem\ que,$$

$b = -2a\varepsilon.$ *Assim,*

$$U = a\varepsilon^2 - 2a\varepsilon\varepsilon = a\varepsilon^2 - 2a\varepsilon^2 = -a\varepsilon^2 \Rightarrow a = -\frac{U}{\varepsilon^2}$$

$$e\ b = -2a\varepsilon = -2\left(-\frac{U}{\varepsilon^2}\right)\varepsilon = 2\frac{U}{\varepsilon}$$

Efetuando as devidas substituições, chegamos a

$$u_y = -\frac{U}{\varepsilon^2}y^2 + 2\frac{U}{\varepsilon}y \qquad e \qquad \frac{du_y}{dy} = -\frac{2U}{\varepsilon^2}y + 2\frac{U}{\varepsilon}$$

Universidade Federal do ABC

$b)$ *tensão de cisalhamento,*

$$\tau = \mu \frac{du_y}{dy}. \quad \mu = ?\ (viscosidade)$$

Foram dados :

$$Densidade,\ SG = 0{,}92 = \frac{\rho}{\rho_{água\ 4^oC}} \Rightarrow \rho = 0{,}92 \times 1000 = 920\ \frac{kg}{m^3}$$

$$Viscosidade\ cinemátca,\ \nu = 4\times 10^{-4}\ \frac{m^2}{s} = \frac{\mu}{\rho} \Rightarrow \mu = 4\times 10^{-4} \times 920 = 0{,}368\ \frac{Ns}{m^2}$$

$$Agora,\ em\ y = \varepsilon,\ temos:\ \left.\frac{du_y}{dy}\right|_{y=\varepsilon} = -\frac{2U}{\varepsilon^2}\varepsilon + 2\frac{U}{\varepsilon} = 0$$

$$e\ em\ y = 0,\ temos:\ \left.\frac{du_y}{dy}\right|_{y=0} = -\frac{2U}{\varepsilon^2}0 + 2\frac{U}{\varepsilon} = 2\frac{U}{\varepsilon}$$

Finalmente :

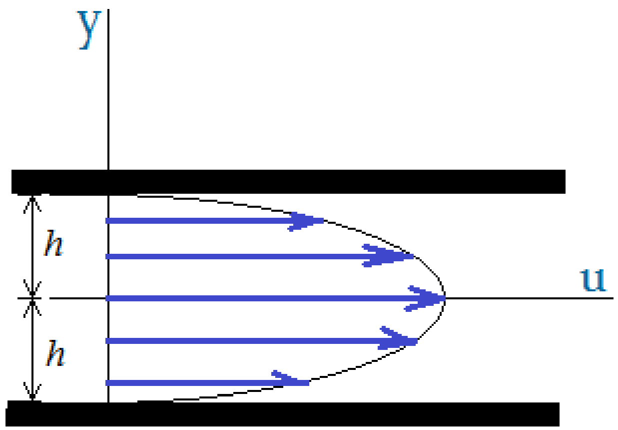
$$Na\ placa\ superior,\ y = \varepsilon\ e\ \tau = \mu \left.\frac{du_y}{dy}\right|_{y=\varepsilon} = 0$$

$$Na\ placa\ inferior,\ y = 0\ e\ \tau = \mu \left.\frac{du_y}{dy}\right|_{y=0} = 0{,}368 \times 2\frac{U}{\varepsilon} = 0{,}736\frac{U}{\varepsilon}\ (N/m^2)$$

Exercício

2) Uma distribuição de velocidade do escoamento de um fluido newtoniano num canal formado por duas placas paralelas e largas (veja figura) é dada pela equação,

$$u_y = \frac{3V_{med}}{2}\left[1-\left(\frac{y}{h}\right)^2\right]$$



V_{med} é a velocidade média de escoamento. O fluido apresenta μ = 1,92 Ns/m². Admitindo que V_{med} = 0,6m/s e h = 5mm, determine a Tensão de cisalhamento na: a) parede inferior do canal. b) no plano central do canal. c) na parede superior.

Solução

$$\tau = \mu \frac{du_y}{dy}$$

$$u_y = \frac{3V_{méd}}{2}\left[1-\left(\frac{y}{h}\right)^2\right] \rightarrow \frac{du_y}{dy} = -\frac{3yV_{méd}}{h^2}$$

$$a)\ Na\ \ parede\ inferior, y = -h.\ Daí,$$

$$\left.\frac{du_y}{dy}\right|_{y=-h} = -\frac{3(-h)V_{méd}}{h^2} = \frac{3V_{méd}}{h}$$

$$Assim,\ \tau_{\text{sup.inf.}} = \mu\left.\frac{du_y}{dy}\right|_{y=-h} = 1{,}92\times\frac{3\times 0{,}6}{5\times 10^{-3}} = 691{,}2\,\frac{N}{m^2}$$

$b)$ *Na plano médio*, $y = 0$. *Daí*,

$$\left.\frac{du_y}{dy}\right|_{y=0} = -\frac{3(0)V_{méd}}{h^2} = 0$$

Assim, $\tau_{plano\ médio} = 0$

$c)$ *Em*, $y = +h$,

$$\left.\frac{du_y}{dy}\right|_{y=h} = -\frac{3(h)V_{méd}}{h^2} = -\frac{3V_{méd}}{h},$$

$$\tau_{y=h} = 1{,}92 \times \left(-\frac{3\times 0{,}6}{5\times 10^{-3}}\right) = -691{,}2\ \frac{N}{m^2}$$

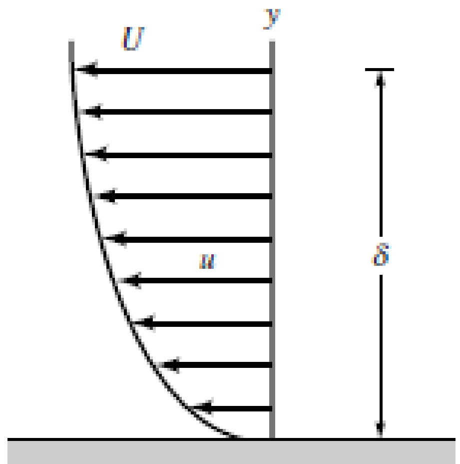
Interpretação:

No plano médio, a tensão de Cisalhamento é nula, variando para o valor máximo, em módulo, nas paredes de 691,2 N/m². Mas tem sentidos opostos. Positivo na placa inferior e negativo no plano superior, (y = +h).

Exercício

3) Um fluido newtoniano, densidade e viscosidade cinemática iguais a 0,92 e $4x10^{-4}$ m²/s, escoa sobre uma superfície imóvel. O perfil de velocidade deste escoamento, na região próxima à superfície está mostrado na figura abaixo. Determine o valor a direção e o sentido da tensão de cisalhamento que atua na placa. Expresse o resultado em função de U (m/s) e δ (m).

$$\frac{u}{U} = \frac{3}{2}\frac{y}{\delta} - \frac{1}{2}\left(\frac{y}{h}\right)^3$$



Solução

$$\frac{u}{U} = \frac{3}{2}\frac{y}{\delta} - \frac{1}{2}\left(\frac{y}{\delta}\right)^3$$

$$u = \frac{3U}{2\delta}y - \frac{U}{2\delta}y^3 \rightarrow \frac{du}{dy} = \frac{3U}{2\delta} - \frac{3U}{2\delta}y^2$$

$$Para \;\; y = 0, \; \frac{du}{dy} = \frac{3U}{2\delta}$$

Calculando a tensão de cisalhamento em $y = 0$

$$\tau = \mu\frac{du}{dy} = 0{,}368 \times \frac{3}{2}\frac{U}{\delta}$$

$$\tau = 0{,}552\frac{U}{\delta} \;\; (N/m^2)$$

Foram dados:

$$SG = 0{,}92 = \frac{\rho}{\rho_{água\,4\,^oC}}.\; Daí,\; \rho = 0{,}92 \times 1000 = 920\frac{kg}{m^3}$$

$$\nu = 4\times 10^{-3} = \frac{\mu}{\rho}.\; Daí,\; \mu = 4\times 10^{-3} \times 920 = 0{,}368\frac{Ns}{m^2}$$

4) Uma combinação de variáveis muito importante no estudo dos escoamentos viscosos em tubos é o número de Reynolds (*Re*). Este número é definido por $\rho VD/\mu$, onde ρ é a massa específica do fluido que escoa, V é a velocidade média do escoamento, D é o diâmetro do tubo e μ é a viscosidade dinâmica. Um fluido Newtoniano, que apresenta $\mu = 0{,}38$ Ns/m^2 e densidade 0,91, escoa num tubo de 25 mm de diâmetro interno. Sabendo que a velocidade média do escoamento é igual a 2,6 m/s, determine o valor de Re.

Solução

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{água\,4\,^oC}} = 0{,}91$$

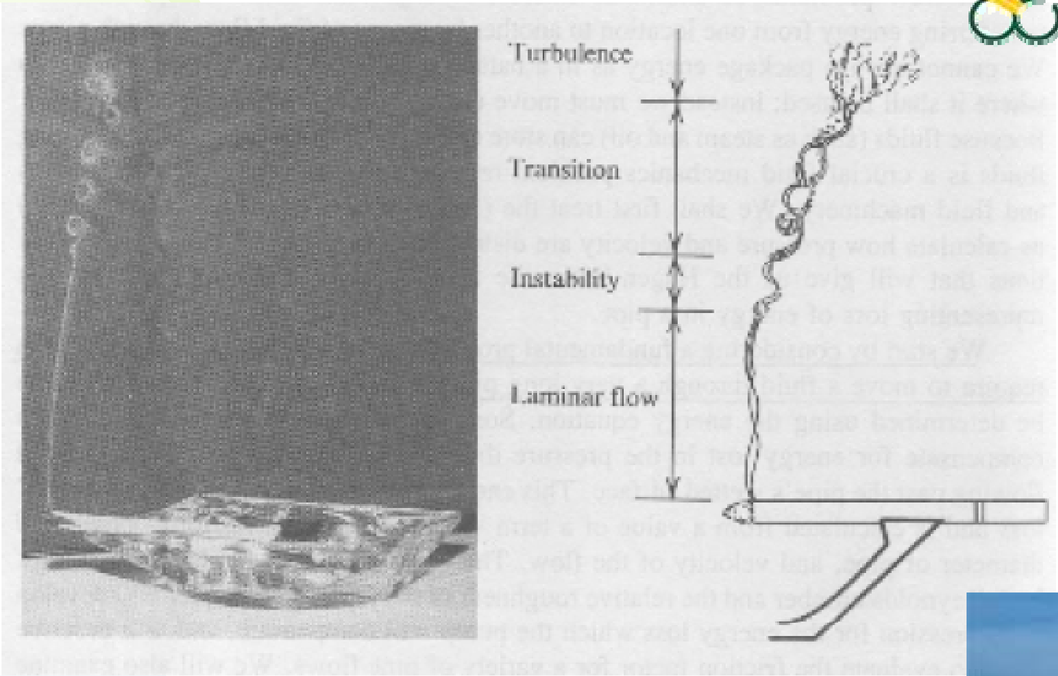
$$\rho = 0{,}91 \times 1000 = 910\ \frac{kg}{m^3}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{(910\,kg/m^3)\times(2{,}6\,m/s)\times(25\times10^{-3}\,m)}{(0{,}38\,Ns/m^3)}$$

$$\mathrm{Re} = 156\,\frac{kgm/s^2}{N} = 156.$$

O número de Reynolds é adimensional.

Universidade Federal do ABC



Turbulência está presente em inúmeros fenômenos.

Filmes 9.1 e 9.3

http://www.youtube.com/watch?v=cA-zJwVqzxg&NR=1

1.7 Compressibilidade de um fluido

Módulo de elasticidade volumétrico (coeficiente de compres-sibilidade)

► **Define a capacidade de se comprimir um fluido quando este está sob pressão. Em outras palavras, determina o quão compressível é um fluido. É dado por,**

$$E_V = -\frac{dp}{d\mathcal{V}/\mathcal{V}}$$

► **d*p* é a variação diferencial da pressão capaz de provocar uma variação diferencial $d\mathcal{V}$ em um volume $\mathcal{V}$.**

► **Sinal (-) => aumento de pressão provoca diminuição do volume.**

► **Alterações no volume implicam em alterações na massa específica. Daí,**

$$E_V = -\frac{dp}{d\rho / \rho}$$

Unidade de E_V (SI): N/m^2

Dimensão: FL^{-2}

► **Em geral, E_V, varia com a pressão para os líquidos, mas seu valor mais importante é medido à pressão atmosférica.**

► **Tabelas 1.4 e 1.5 trazem os valores de E_V para pressão atmosférica.**

Compressão e Expansão de Gases

- **Relação entre a massa específica e a pressão,**

$$\frac{p}{\rho^{k}} = constante$$

Onde k é a razão entre o calor específico à pressão constante, c_p, e o calor específico a volume constante, c_V,

$$k = \frac{c_p}{c_V}$$

$c_p - c_v = R$, R é constante dos gases (8,31433 J/Kmol)

▶ **Para uma transformação (processo) isotérmico (temperatura constante), *k* = 1,**

$$\frac{p}{\rho} = constante$$

▶ **Para uma transformação (processo) isoentrópica (sem atrito e troca de energia), *k* ≠ 1,**

$$\frac{p}{\rho^k} = constante$$

Exercício

Um metro cúbico de hélio a pressão absoluta de 101,3k*Pa* é comprimido isoentropicamente até que seu volume se torne igual à metade do volume inicial. Qual o valor da pressão no estado final?

Solução

Para uma transformação (processo) isoentrópico, isto é, sem atrito e sem troca de calor,

$$\frac{p}{\rho^k} = constante \rightarrow \left\{ \frac{p_i}{\rho_i^k} = \frac{p_f}{\rho_f^k} \right.$$

i e f correspondem aos estados inicial e final, respectivamente.

Daí,

$$p_f = \left(\frac{\rho_f}{\rho_i}\right)^k p_i.$$

Da tabela do slide 15, k = 1,66. Assim,

$$Como \quad \left.\begin{array}{l} V_f = \dfrac{V_i}{2} \\ \rho_i = \dfrac{m}{V_i} \\ \rho_f = \dfrac{m}{V_f} \end{array}\right\} \Rightarrow \rho_f = 2\rho_i$$

$$p_f = \left(\frac{2\rho_i}{\rho_i}\right)^{1,66} (101{,}3\,kPa)$$

$$p_f = 3{,}16 \times (101{,}3\,kPa) = 320\,kPa$$

Velocidade do Som

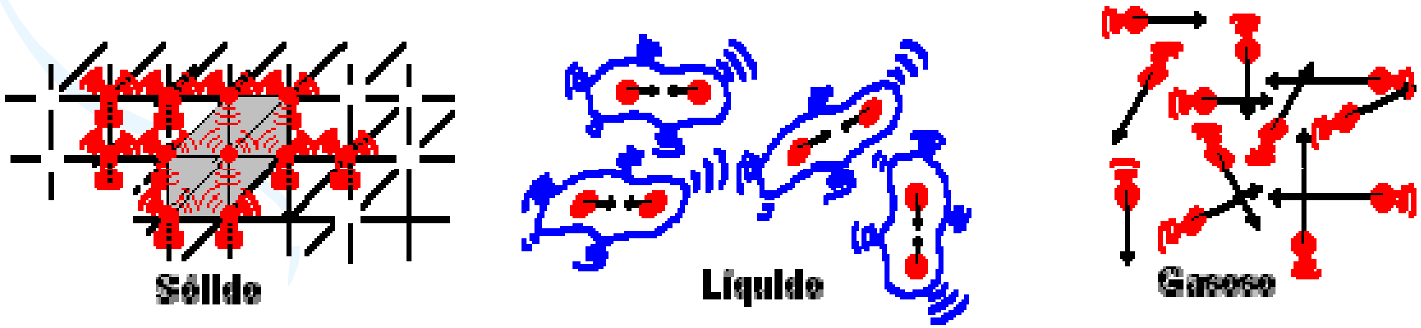
► Uma consequência importante da compressibilidade dos fluidos, é que as perturbações induzidas num ponto do fluido se propagam com velocidade finita.

► Esta é uma propriedade macroscópica resultante de uma propriedade microscópica do fluido, como a intensidade das forças entre as moléculas.

... Entendendo

► **Gases -> forças coesivas entre as moléculas são menores -> maior liberdade de movimento -> maior tempo de propagação das perturbações induzidas por diferenças de pressão.**

► **Líquidos -> forças coesivas entre as moléculas são maiores do que nos gases -> menor liberdade de movimento do que os gases -> menor tempo de propagação das perturbações induzidas por diferenças de pressão.**



Estados de agregação da matéria

► **Em geral, a velocidade do som nos líquidos é maior do que nos gases.**

► **Para o ar,**

$$c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$$

► **Utilizando a definição de E_v, e que as perturbações de pressão sejam pequenas, o processo pode ser considerado isoentrópico. Daí,**

$$c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} = \sqrt{\frac{E_V}{\rho}} = \sqrt{\frac{kp}{\rho}}$$

Logo,

$$c = \sqrt{kRT}$$

Exercício

Um avião a jato voa com velocidade de 890 km/h numa altitude de 10700 m (onde a temperatura do ar é de -55ºC). Determine a razão entre a velocidade do avião, V, e a do som no ar, *c*. Admita que no ar, k = 1,40.

$$c = \sqrt{kRT}$$

$$k = 1{,}40\ (enunciado)$$

$$R = 286{,}9\ J/kg\,K$$

$$T = 273 + T_{Célsius} = 273 - 55 = 218\,K$$

$$c = \sqrt{1{,}4 \times 286{,}9 \times 218} = 296\,m/s$$

$$Razão\ \frac{V}{c} = 0{,}84$$

► **A razão V/c define o número Mach, Ma.**

- **Se Ma <1 o avião está voando com velocidade subsônica.**
- **Se Ma = 1, V = c e o avião voa com a velocidade do som.**
- **Se Ma > 1, o avião voa com velocidade maior que a do som.**

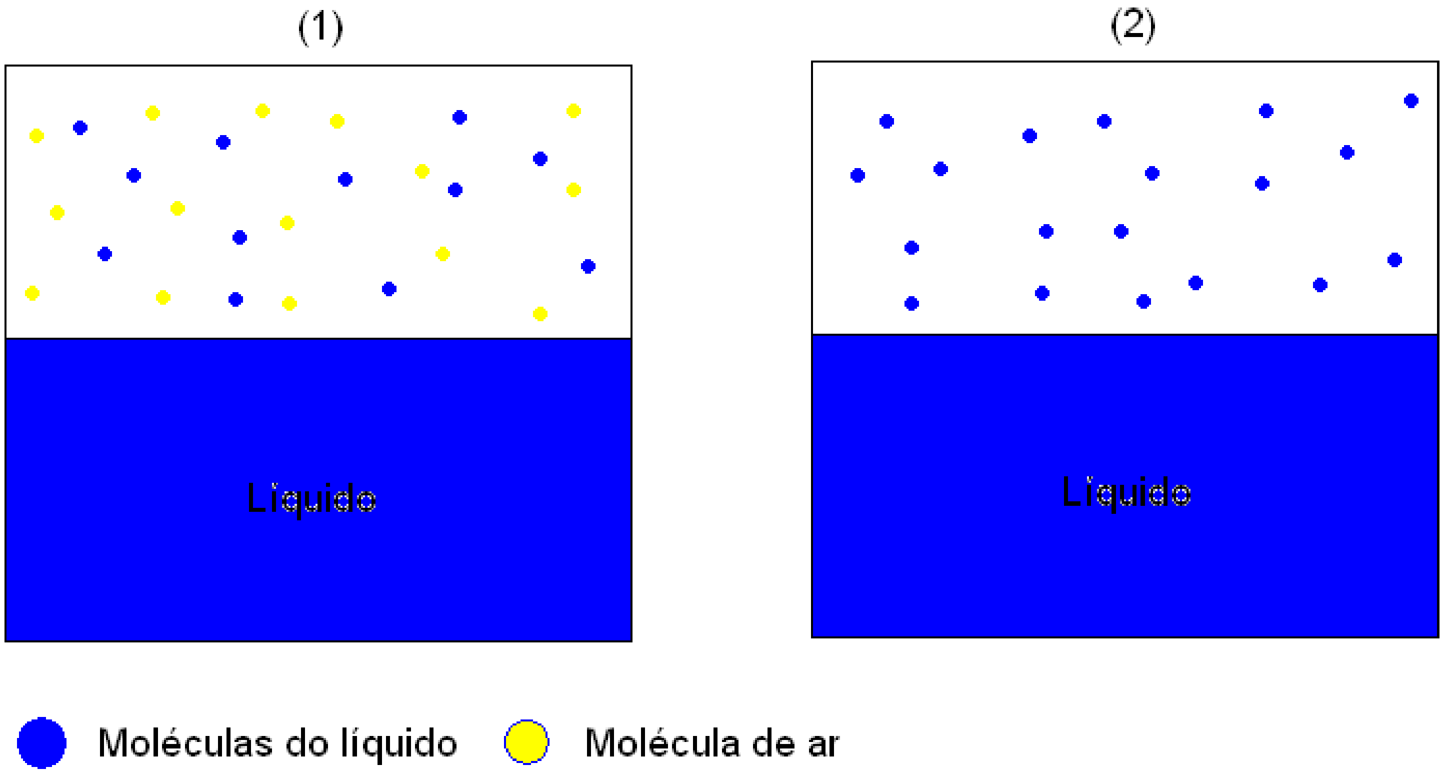
1.8 Pressão de Vapor

Evaporação

► Ocorre porque algumas moléculas do líquido, localizadas na superfície livre do fluido, apresentam quantidade de movimento suficiente para superar as forças coesivas entre as moléculas.

► Se o ar sobre a superfície do líquido for removido, nota-se o desenvolvimento de uma pressão sobre o líquido devido ao vapor formado pelas moléculas do fluido que evaporaram.

► Se o número de moléculas que evaporam (deixam o fluido) se igualar ao número de moléculas que são absorvidas pelo fluido, o vapor é dito **saturado**.



▶ A partir do instante que o vapor se torna saturado, **a pressão sobre o líquido é chamada de pressão de vapor (2).**

1.9 Tensão Superficial

► **Entre um líquido e um gás, ou entre dois líquidos imiscíveis (água e óleo, por exemplo), existe uma interface .**

► **Na interface, ocorrem forças superficiais que fazem a superfície do líquido ficar mais "densa" e se comportar como uma "membrana".**

► **O resultado: essa tensão consegue suportar alguns objetos feitos de material mais denso.**

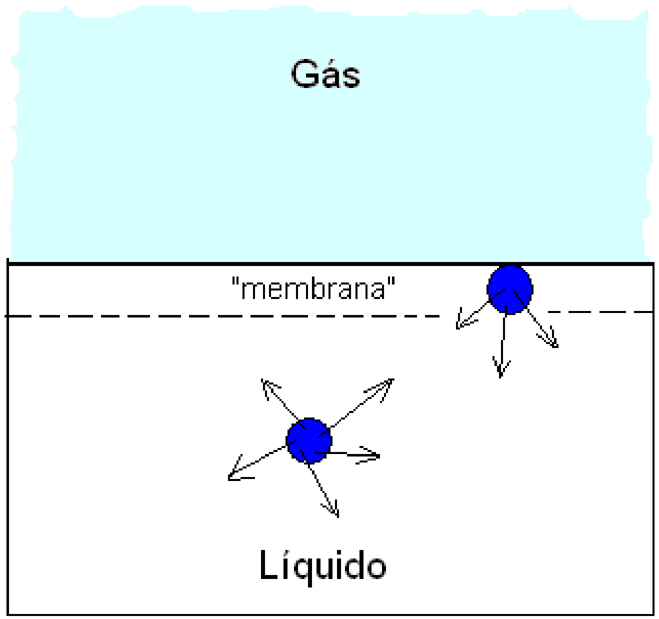
FILME (1.5).

► **A tensão superficial surge devido ao "desbalanço" das forças coesivas:**

● **Moléculas no interior do fluido estão envolvidas por outras e se atraem mutuamente.**

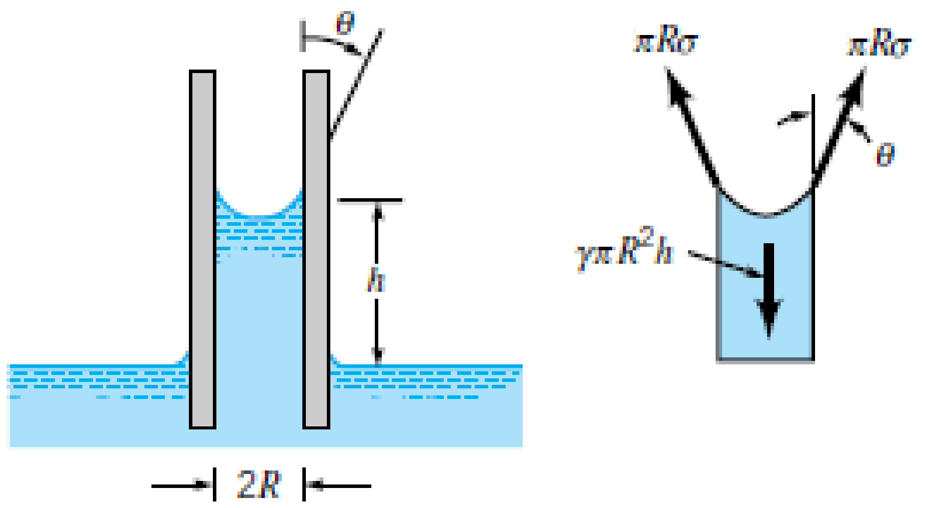
● **Moléculas na interface líquido-gás, ou líquido-líquido (imiscíveis) estão sujeitas a forças que apontam para o interior.**

► **A consequência física e macroscópica desse des-balanceamento é a criação dessa "membrana".**



Filme 1.5

Alguns fenômenos associados à tensão de cisalhamento.



► Na interface líquido-gás, a adesão das moléculas do líquido às paredes do capilar é o resultado de uma atração forte suficiente para sobrepujar a atração mútua (coesão) das moléculas do líquido.

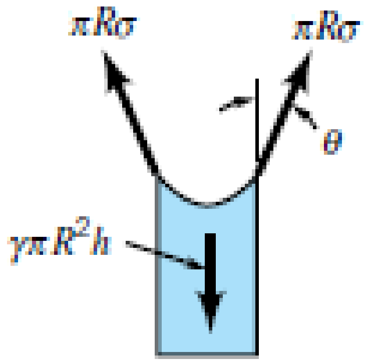
► Como o fluido sobe, diz-se que ele molha o tudo.

► **Analisando o diagrama do corpo livre abaixo, é possível concluir que**

$$2\pi R\sigma\cos\theta = \gamma\pi R^2 h$$

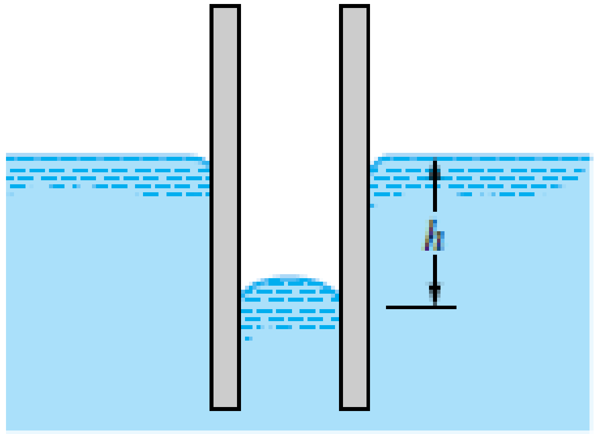
$$Logo,$$

$$h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\gamma R}$$



► **Se a adesão entre as moléculas do líquido e a superfície sólida é fraca, quando comparada à coesão entre as próprias moléculas do líquido, então o líquido não molhará o tubo.**

► **Neste caso, o nível do líquido no tubo imerso será mais baixo que a superfície do líquido-gás.**



Exercício

A pressão pode ser medida a partir da coluna de líquido num tubo vertical. Qual o diâmetro de um tubo limpo de vidro necessário para que o movimento de água promovido pela ação capilar (que se opõe ao movimento provocado pela pressão no tubo) seja menor do que 1 mm? Admita que a temperatura é constante e igual a 20 ºC.

$$\textit{Como vimos, } h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\gamma R}$$

$$h = 1\times10^{-3}\,m = \frac{2\times(0{,}0728\,N/m^2)\times1}{(9{,}789\,kN/m^3)R}$$

Logo,

$$R = \frac{2\times(0{,}0728\,N/m^2)\times1}{(9{,}789\,kN/m^3)(1\times10^{-3}\,m)} = 0{,}0149\,m$$

O diâmetro mínimo é $D = 2R = 0{,}0298\,m$

Universidade Federal do ABC

Outros problemas relacionados à Tensão Superficial importantes em Mecânica dos Fluidos.

► **Escoamento de líquidos através do solo e de outro meios porosos.**

► **Escoamentos de líquidos em filmes finos.**

► **Formação de gotas e na quebra de jatos líquidos.**

Tais fenômenos devem ser abordados em cursos mais avançados de Mecânica dos Fluidos.