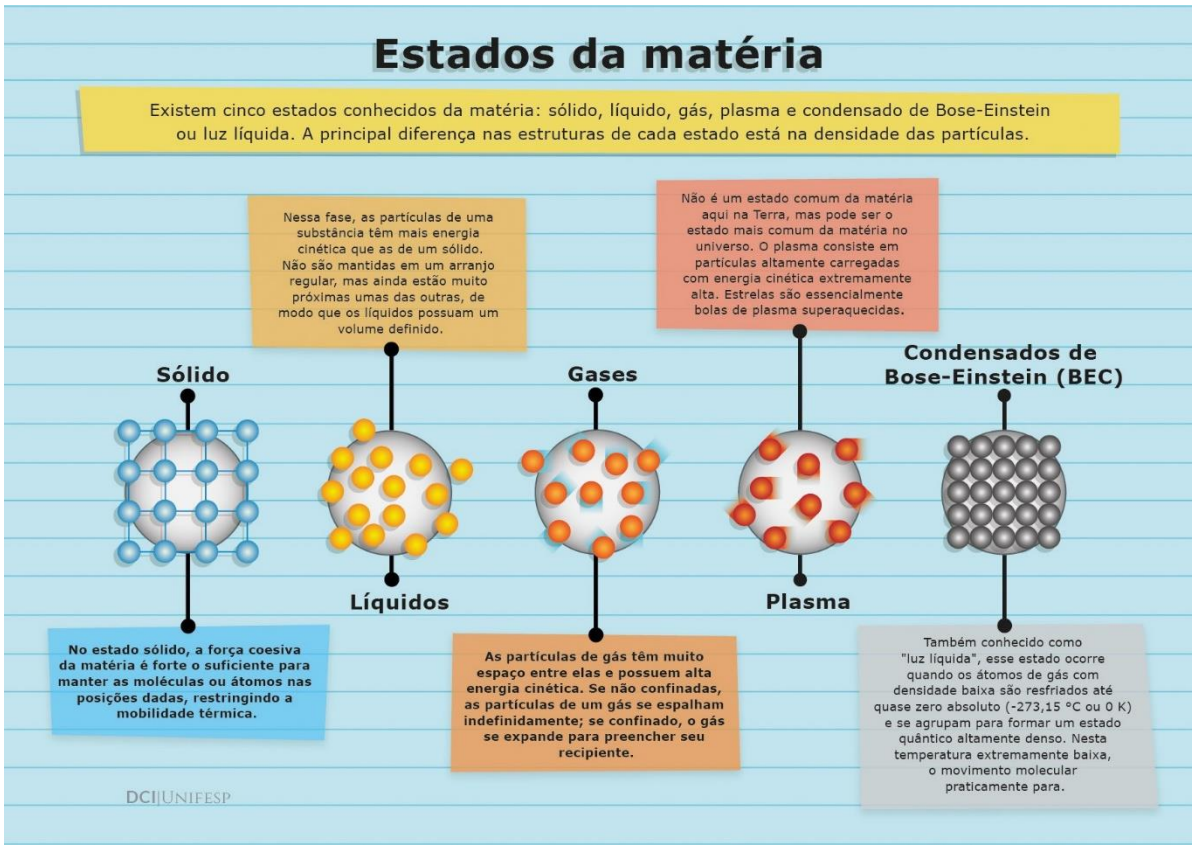
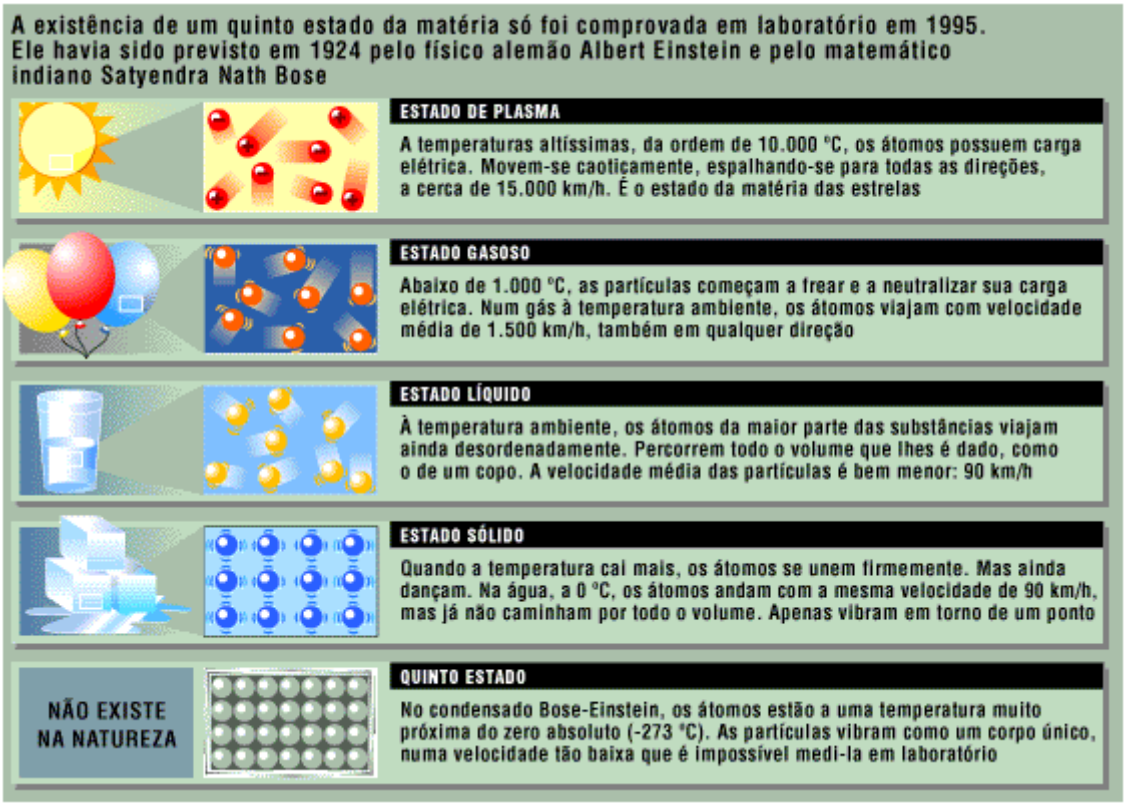
FENÔMENOS DE TRANSPORTE AULA 2

CONCEITOS FUNDAMENTAIS

A)FLUIDO

As substâncias podem ser classificadas em função de seu estado de agregação como:





Considera-se um fluido, as substâncias que estejam no estado líquido ou gasoso/vapor. As características fundamentais de um fluido são:
a)não possui forma própria;
b)quando em repouso, não resistem a tensões de cisalhamento.

No estudo da mecânica dos fluidos é conveniente assumir que ambos, gases e líquidos, são distribuídos continuamente pela região de interesse, isto é, o fluido é tratado como um contínuo. A propriedade primária usada para determinar se a ideia de contínuo é apropriada é a massa específica ρ, definida por:

$$\rho = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta m}{\Delta V}$$

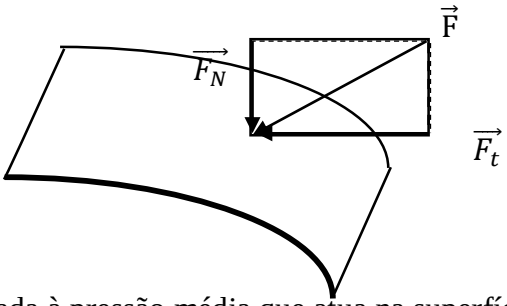
Na qual Δm é a massa incremental contida no volume ΔV. A massa específica do ar nas condições da atmosfera padrão, ou seja, à pressão de 101,3 kPa (14,7 psi) e à temperatura de 15 ºC (59 ºF), é 1,23 kg m^{-3}. Para a água, o valor normal da massa específica é de 1000 kg m^{-3}.

Líquidos:
a)tomam a forma do recipiente em que estão confinados;
b)apresentam uma superfície livre;
c)volume varia pouco com a pressão (incompressíveis);
d)volume varia pouco com a temperatura (indiatevies).

Gases/Vapores:
a)ocupam todo o volume do espaço de confinamento;
b)muito compressíves;
c)altamente dilatáveis.

B)TENSÃO DE CISALHAMENTO:

Consideração: uma superfície livre com área S na qual se aplica uma força $\vec{F}$



A força $\vec{F}$ se decompõe em:

$\overrightarrow{F_N}$ = força normal = associada à pressão média que atua na superfície.

$\frac{\vec{F}_N}{S} = p$ (pressão; no Sistema Internacional – SI: unidade é N/m^2 = Pa)

$\overrightarrow{F_t}$ = força tangencial = associada à tensão de cisalhamento.

$\frac{\vec{F}_t}{S} = \tau$ (tensão de cisalhamento; no Sistema Internacional – SI: unidade é N/m^2 = Pa)

Um fluido deforma-se continuamente sob ação de uma tensão de cisalhamento. Comparando-se:

-para um sólido:

Ao se aplicar uma força na placa móvel, aderida à superfície do sólido:

$\overrightarrow{F_t} = \tau . S$ (S=área da placa móvel)

O sólido se deforma de um ângulo α característico que é proporcional à deformação apresentada. Uma vez cessada a força $\overrightarrow{F_t}$,, não sendo excedido o limite de escoamento do sólido, este retorna à sua forma original.

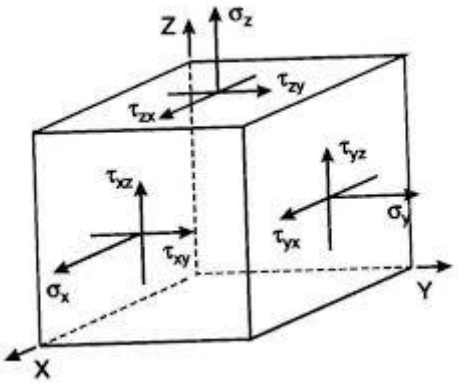
-para um líquido, por exemplo:

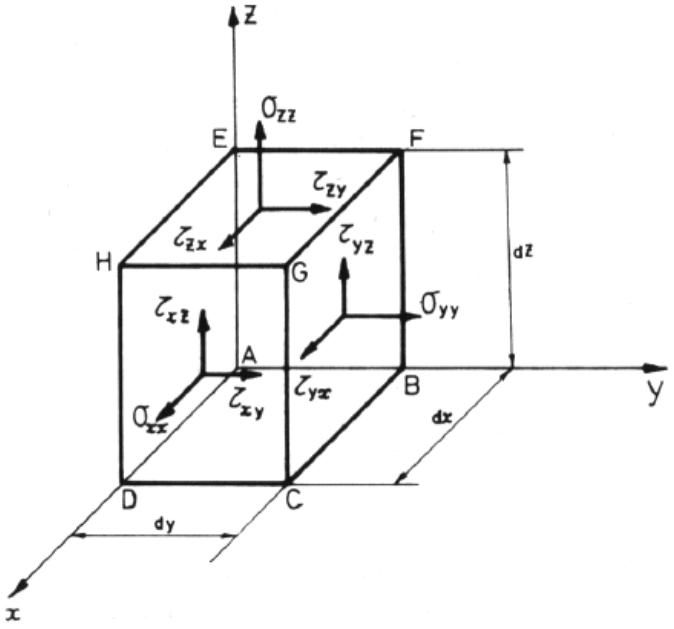
Ao se aplicar uma força na placa móvel, aderida à superfície do líquido:

$\overrightarrow{F_t} = \tau . S$ (S=área da placa móvel), velocidade $\vec{v}$ cte

A camada de líquido em contato com a placa móvel adquire a velocidade da placa e a camada de fluido que está em contato coma placa fixa permanece parada, com velocidade nula. Assim, da camada superior à camada inferior, a movimentação do fluido decresce com a profundidade, chegando a zero. Este é o chamado princípio da Aderência ou do não-escorregamento. O fluido adquire as características de movimento da superfície com a qual está em contato.

Para caracterizar a Tensão de Cisalhamento:
-escalar: grandeza representada apenas por um valor (5kg, 25ºC...)
-vetor: grandeza caracterizada por um valor e uma direção: ($\vec{v} = 5\vec{\imath}\,(\frac{m}{s})$; $\vec{F} = 3\overrightarrow{k}\,(N)$...)
-tensor de segunda ordem: grandeza caracterizada por um valor e duas direções; representado por nove componentes ordenadas cada uma das quais está associada a duas direções.



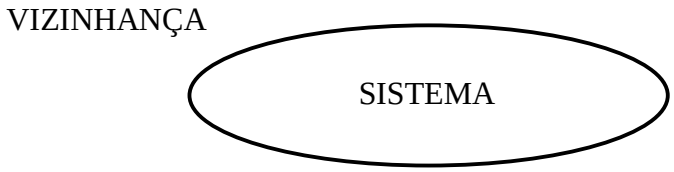


τ_{yz} = tensão de cisalhamento que age numa superfície cuja direção aponta para a direção z e a atua na direção y.

Pode-se generalizar, então, dizendo que um escalar é um tensor de ordem zero, um vetor é um tensor de ordem 1

C)SISTEMA

Sistema: quantidade de matéria ou região do espaço escolhida para observação.
O que está fora do SISTEMA é a VIZINHANÇA.



Fronteira: superfície rela ou imaginária que separa o sistema de sua vizinhança. Pode ser fixa ou móvel; real ou imaginária. Tem espessura nula, não tem massa e nem volume.

Os sistemas podem ser fechados ou abertos:
<u>Sistema fechado</u>: nenhuma quantidade de massa cruza a fronteira. Energia em trânsito pode atravessar sua fronteira (calor e trabalho). A sua massa é constante. Um sistema fechado é denominado de MASSA DE CONTROLE.
<u>Sistema aberto</u>: massa pode entrar e/ou sair do sistema pela sua fronteira. Energia em transito (calor e trabalho) e energia acumulada (energia potencial, energia cinética, energia interna) podem cruzar a fronteira. Pode ser fixo em tamanho (fronteira fixa) ou

pode ter tamanho variável (fronteira móvel). Um sistema aberto é denominado de VOLUME DE CONTROLE.

D)TIPOS DE OBSERVAÇÃO

Considere que se deseja observar a variação de uma dada propriedade φ, por exemplo, de um rio. E considere que essa propriedade φ seja contínua e, e portanto, diferenciável em todos os pontos.
Considere que a propriedade φ seja expressa por uma função do tipo:

$$\varphi = \varphi(t, x, y, z)$$

Diferenciando-se essa equação, para se obter a variação de φ, obtém-se:

$$d\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial t}dt + \frac{\partial\varphi}{\partial x}dx + \frac{\partial\varphi}{\partial y}dy + \frac{\partial\varphi}{\partial z}dz$$

Para a variação total de φ com o tempo, tem-se:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\partial\varphi}{\partial t} + \frac{\partial\varphi}{\partial x}\frac{dx}{dt} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\frac{dy}{dt} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\frac{dz}{dt}$$

a)Primeira situação: considere que as coordenadas de observação (x,y,z) seja fixadas no espaço (x_o, y_o, z_o). Desta forma, as derivadas dx/dt = dy/dt = dz/dt = 0. Tem um espaço fixado no espaço onde apenas se observa a variação da propriedade φ como função do tempo:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\partial\varphi}{\partial t}$$

Esta observação é chamada de PONTO DE VISTA DE EULER, OBSERVAÇÃO EULERIANA ou OBSERVAÇÃO DE EULER.

b)Segunda situação: considere que o observador da propriedade φ do rio, agora entra no rio e move-se no rio, deslocando sua posição e observando a propriedade φ nessas posições. Nesta situação, as coordenadas (x, y, z) agora variam com a movimentação do observador. Desta forma, os termos dx/dt, dy/dt, dz/dt representam a variação temporal das coordenadas (x, y, z) do observador. Assim:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\partial\varphi}{\partial t} + \frac{\partial\varphi}{\partial x}\frac{dx}{dt} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\frac{dy}{dt} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\frac{dz}{dt}$$

Onde dx/dt, dy/dt, dz/dt são as variações temporais das coordenadas do observador que se movo nomeio dfe observação.

c)Terceira situação: considere agora que o observador desloca-se no meio de observação, por exemplo, num barco que se move com a velocidade do rio. Nesta situação tem-se que as posições em que o observador se encontra para observar a propriedade φ depende da velocidade com que o rio se movimenta:

$$\vec{v} = v(v_x, v_y, v_z) = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}$$

$dx = v_x dt$
$dy = v_y dt$
$dz = v_z dt$

Substituindo-se tais termos, na equação:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\partial\varphi}{\partial t} + \frac{\partial\varphi}{\partial x}\frac{dx}{dt} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\frac{dy}{dt} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\frac{dz}{dt}$$

Chega-se a:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\partial\varphi}{\partial t} + \frac{\partial\varphi}{\partial x}v_x + \frac{\partial\varphi}{\partial y}v_y + \frac{\partial\varphi}{\partial z}v_z$$

Tal derivada é denominada de Derivada material ou substancial:

$$\frac{D\varphi}{Dt} = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\partial\varphi}{\partial t} + \frac{\partial\varphi}{\partial x}v_x + \frac{\partial\varphi}{\partial y}v_y + \frac{\partial\varphi}{\partial z}v_z$$

Este é chamado de PONTO DE VISTA DE LAGRANGE, OBSERVAÇÃO LAGRANGEANA ou OBSERVAÇÃO DE LAGRANGE.
Pode-se representar essa derivada de outro modo, considerando-se que:

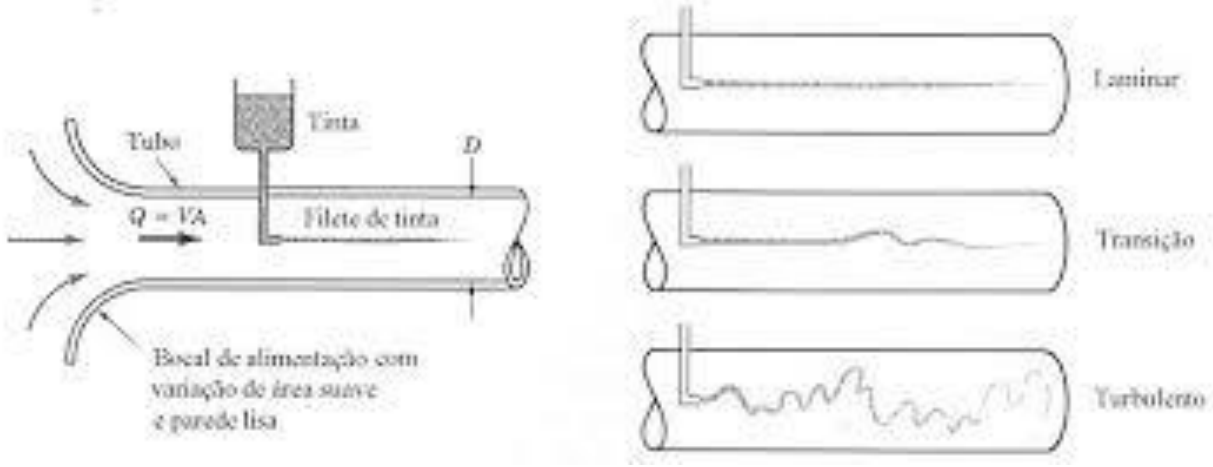
$$\vec{v} = v(v_x, v_y, v_z) = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}$$

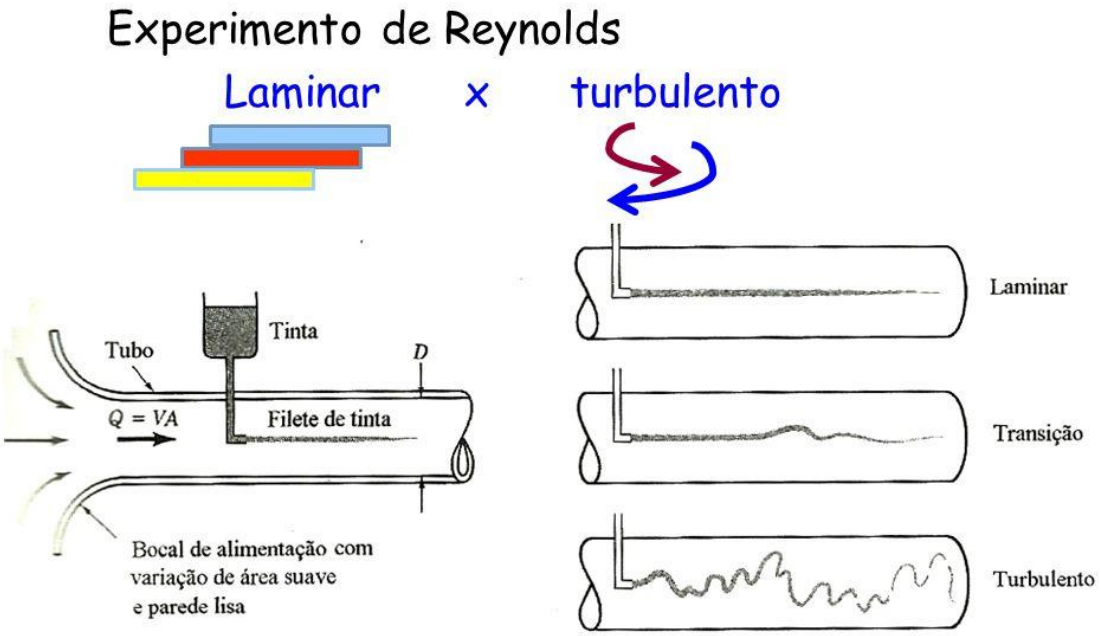
e

$$\text{grad}\varphi = \nabla\varphi = +\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}$$

$$\frac{D\varphi}{Dt} = \frac{d\varphi}{dt} = \vec{v}.\text{grad}\varphi = \vec{v}.\nabla\varphi$$

E)TIPOS DE ESCOAMENTO





$$Re = \frac{\rho U D_h}{\mu} = \frac{U D_h}{\nu}$$

ν baixa → U tem que ser baixa para o escoamento ser laminar

Considerando-se o escoamento de um fluido, alguns são suaves e outros são "caóticos". Movimento altamente ordenado, caraterizado por camadas de fluidos que se movem umas sobre as outras sem perturbação de uma na outra. As partículas se deslocam como lâminas de fluidos individualizadas: escoamento LAMINAR.
Movimento aleatório de partículas, macroscópico, velocidade apresenta componentes transversais ao movimento geral: escoamento TURBULENTO.
Caracterização: adimensional denominado NÚMERO DE REYNOLDS

$$Re = \frac{D v_b \rho}{\mu}$$ (para tubos)

Em que:

D = diâmetro interno da tubulação;
v_b = velocidade média do escoamento;
μ = viscosidade dinâmica do fluido;
ρ = densidade do fluido.

Se for utilizado o sistema internacional de unidades, SI, tem-se:

[D] = diâmetro interno da tubulação = m
[v_b] = velocidade média do escoamento = m/s
[μ] = viscosidade dinâmica do fluido = kg/m.s
[ρ] = densidade do fluido = kg/m^3.

Com essas unidades na expressão do número de Reynolds, verifica-se que:

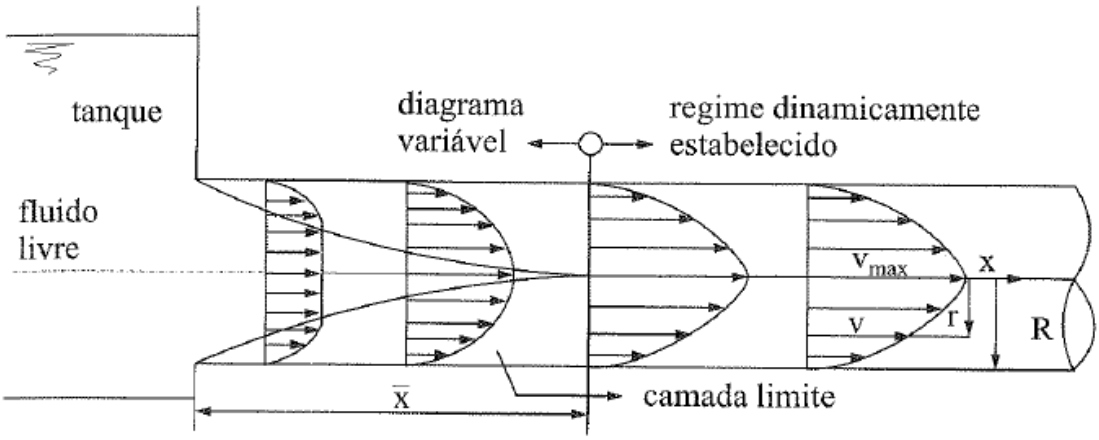
$$\mathrm{Re} = \frac{\mathrm{D}v_b\rho}{\mu} = \frac{[\mathrm{m}]\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]\left[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\right]}{\left[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m.s}}\right]} = \text{adimensional}$$

O número de Reynolds apresenta uma relação entre forças inerciais (Dv_b) e forças viscosas (μ/ ρ) que atuam no escoamento.
Para tubos, tem-se a seguinte caracterização:

$$\mathrm{Re} \leq 2100 = \text{escoamento laminar}$$
$$2100 < \mathrm{Re} < 4000 = \text{escoamento de transição}$$
$$\mathrm{Re} \geq 4000 = \text{escoamento turbulento}$$

F)O ESCOAMENTO

A interferência da parede do espaço de confinamento onde o fluido escoa tem papel importante no escoamento. Considerando-se um tubo ou superfície sólida não porosos, observa-se que:



Na parede o fluido é freado: o fluido "gruda" na parede devido aos efeitos viscosos → não há escorregamento, tem-se a aderência da camada de fluido imediatamente vizinha à

superfície de contato. a camada que adere à superfície desacelera a camada subjacente e esta, por sua vez, desacelera a seguinte e assim por diante. A condição de aderência (não escorregamento) é responsável pelo desenvolvimento de um perfil de velocidades. A região adjacente à parede onde os efeitos viscosos são mais significativos é denominada de CAMADA LIMITE (que será tema de discussão posterior).
O CAMPO DE ESCOAMENTO é caracterizado pela distribuição de velocidades.
A distribuição de velocidades define o escoamento como unidimensional, bidimensional ou tridimensional. Um escoamento típico é tridimensional e é representado matematicamente pelo sistema de coordenados adotado como:

$\vec{v} = \vec{v}(x, y, z)$ (coordenadas cartesianas)
$\vec{v} = \vec{v}(r, \theta, z)$ (coordenadas cilíndricas)

A variação de $\vec{v}$ em algumas direções pode ser desprezível frente a outras e, dessa forma, tem-se uma redução da dimensão do escoamento. A dimensionalidade fica definida pelo sistema de coordenadas empregado.
Quando o perfil de velocidades fica inalterado, não ocorre mais perturbação da velocidade, diz-se que o escoamento é completamente desenvolvido nesse situação, em coordenadas cilíndricas, a velocidade torna-se função apenas da coordenada radial.

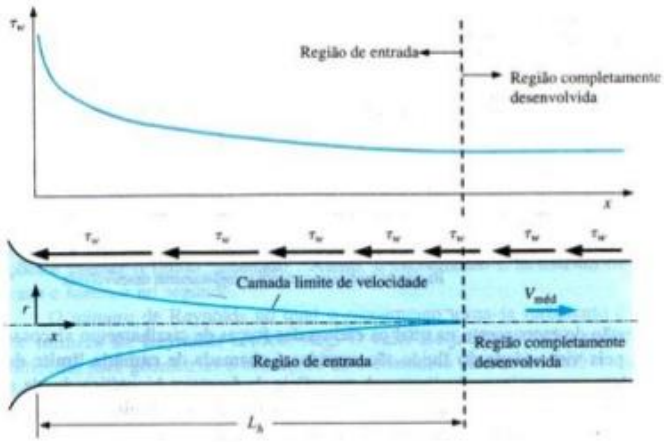


FIGURA 8–10
A variação da tensão de cisalhamento da parede na direção do escoamento de um tubo para a região de entrada na região completamente desenvolvida.

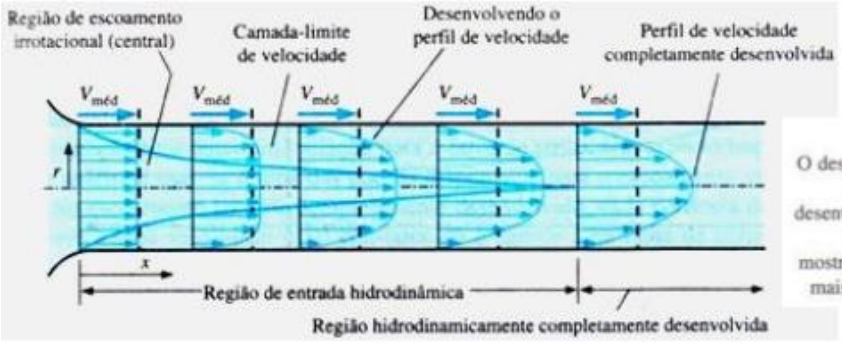
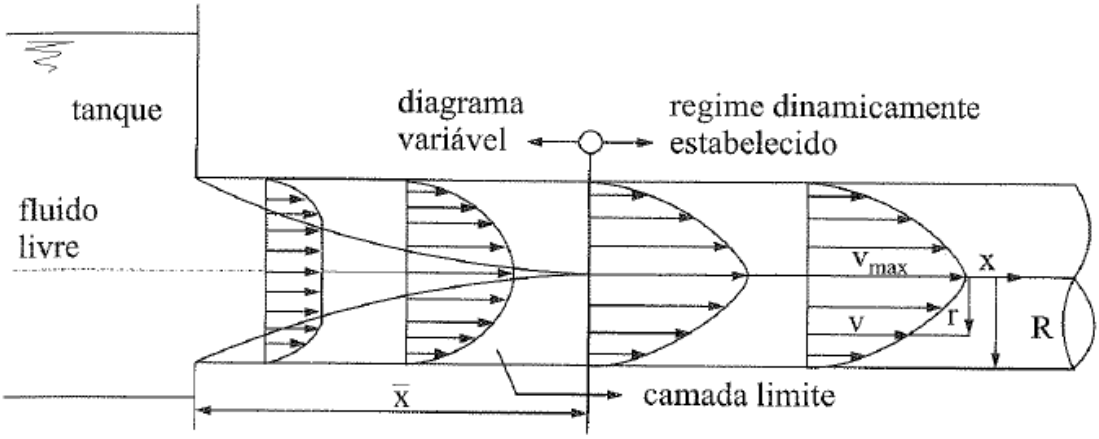


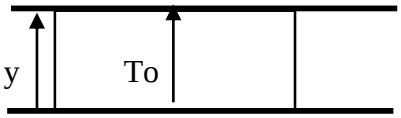
FIGURA 8–8
O desenvolvimento de camada limite da velocidade em um tubo. (O perfil desenvolvido de velocidade é parabólico no escoamento laminar, como foi mostrado, mas um pouco mais plano ou mais cheio no escoamento turbulento.)



G)TRANSPORTE MOLECULAR

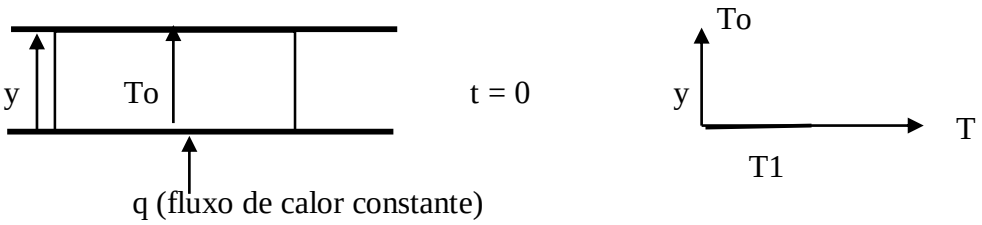
TRANSPORTE MOLECULAR DE CALOR E "LEI" DE FOURIER

Fato: materiais conduzem calor (uns melhores que outros).
Propriedade: condutibilidade térmica.
Condução de calor em fluidos: o mecanismo básico é pelo movimento molecular (nível microscópico).
Exemplo: condução de calor num sólido – barra de metal.



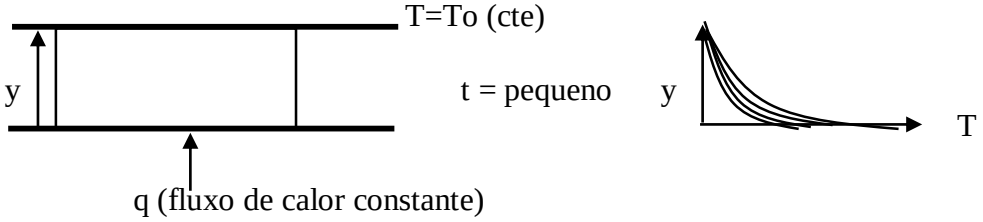
Considere para um t<0 (antes de se iniciar a observação) que todo o sólido está a uma temperatura To em toda a espessura y da barra de metal.

Considere-se que na parte, a barra pode ser aquecida por um fluxo d calor constate fornecido e que a parte superior da barra é mantida à temperatura constante To.



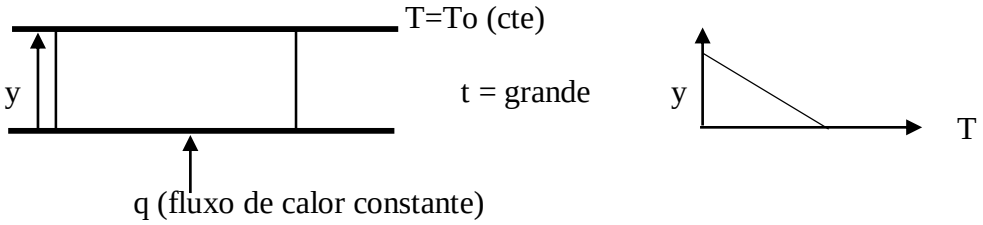
em y = 0; T = T1 (aquecimento pelo fluxo de calor iniciado)
para y≠0; T = To

com a continuação do fluxo de calor, pra um $t_{pequeno}$:



A temperatura torna-se uma função do tipo T = T(y, t) em que cada curva representa a temperatura em y, para um t crescente.

Para um tempo t considerado grande:



A temperatura se estabiliza em toda a espessura da barra, de forma que: T = T(y). a diferença de temperatura entre a parte inferior e a parte superior da placa é ΔT = T1 – To.

Verifica-se que:

$$q = \frac{Q}{A} = -k\frac{\Delta T}{\Delta y}$$

em que q é o fluxo de calor (energia/área.tempo); Q é a taxa de calor (energia/tempo); A é a área da superfície que recebe a taxa de calor Q; k é a condutibilidade térmica do material; ΔT = T1 – To; Δy é a espessura da barra de metal.

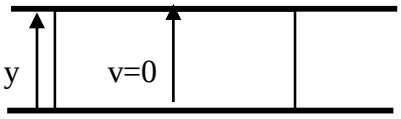
Para uma espessura infinitesimal dy, a expressão torna-se, no limite:

$$q = -k\frac{dT}{dy}$$

que é a "Lei" de Fourier para a condução de calor. A expressão foi empregada para se definir a condutibilidade térmica, k, não é uma "Lei" da natureza, mas uma sugestão que se demonstrou ser um empirismo útil, sem base teórica.
Foi empregada uma barra de metal, mas o raciocínio é válido para líquidos e gases (fluidos) sem qu haja movimento do fluido.

TRANSPORTE MOLECULAR DE QUANTIDADE DE MOVIMENTO

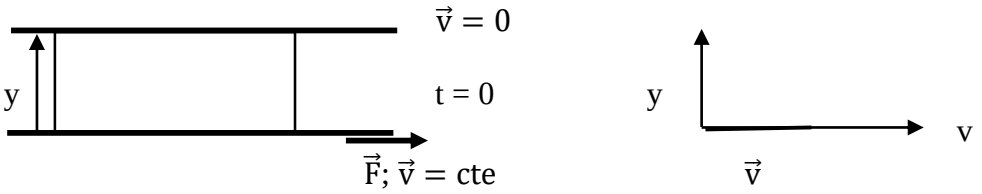
Será empregado o mesmo raciocínio que o utilizado para o transporte de calor num sólido. Nesta situação, no lugar de se ter uma barra de um sólido, considerar-se-á uma fluido situado entre duas placas:



t < 0 (fluido parado, sem escoamento)

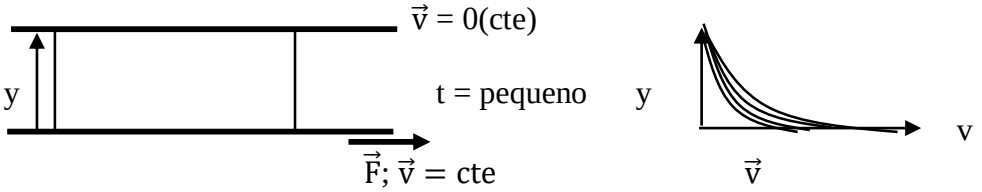
A placa inferior é móvel e a placa superior é fixa.

Para t = 0, a placa inferior e movimentada com uma força $\vec{F}$ cte, de forma a manter a velocidade dessa placa igual a $\vec{v}$ cte

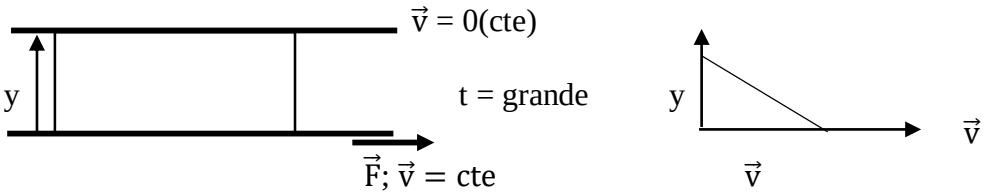


Para t = 0, apenas as moléculas de fluido que estão em contato com a placa inferior adquirem a velocidade $\vec{v}$. O restante do fluido permanece com velocidade nula. Isto ocorre pelo princípio da aderência.

Para um tempo t pequeno, o efeito do movimento da placa inferior se faz sentir por mais camadas de moléculas acima. Impõe-se, aqui que o movimento da placa inferior, imprime ao fluido um movimento em escoamento **Laminar**.



Para t pequeno, verifica-se que a velocidade $\vec{v} = \vec{v}(y, t)$.
Para um tempo t considerado grande, o efeito do movimento da placa inferior já se propagou por todo o fluido, de modo que se tem:



A semelhança do que foi feito com o transporte de calor, busca-se associar a força aplicada à superfície do fluido por unidade de área com variação de velocidade na espessura y de fluido:

$$\tau = \frac{F}{A} = -\mu \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

em que τ é a tensão de cisalhamento; F é a força tangencial aplicada ao fluido; A é a área da superfície do fluido na qual a força F atua; Δv é a variação de velocidade experimentada pelo fluido na espessura Δy. Surge a propriedade μ que é a viscosidade dinâmica do fluído.
Para uma espessura infinitesimal de fluido, no limite, tem-se:

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dy}$$

Esta é a denominada de “Lei” de Newton da viscosidade, à semelhança da “Lei” de Fourier para o calor.