

INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
SÃO PAULO

# Mecânica dos Fluidos

## Aula 10 – escoamento laminar e Turbulento

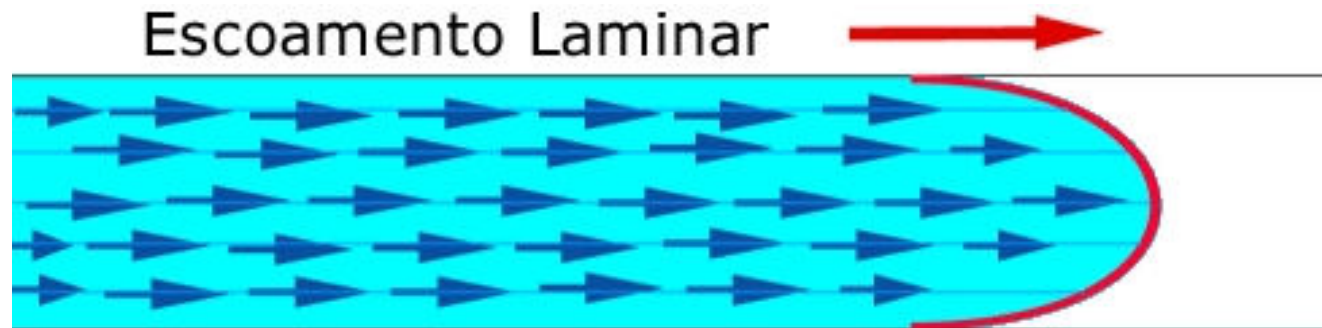
Prof. MSc. Luiz Eduardo Miranda J. Rodrigues

# Tópicos Abordados Nesta Aula

- Escoamento Laminar e Turbulento.
- Cálculo do Número de Reynolds.

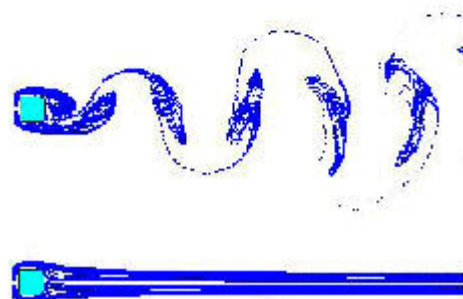
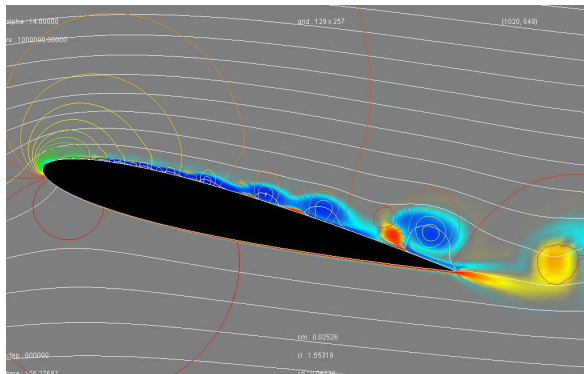
# Escoamento Laminar

- Ocorre quando as partículas de um fluido movem-se ao longo de trajetórias bem definidas, apresentando lâminas ou camadas (daí o nome laminar) cada uma delas preservando sua característica no meio. No escoamento laminar a viscosidade age no fluido no sentido de amortecer a tendência de surgimento da turbulência. Este escoamento ocorre geralmente a baixas velocidades e em fluidos que apresentem grande viscosidade.

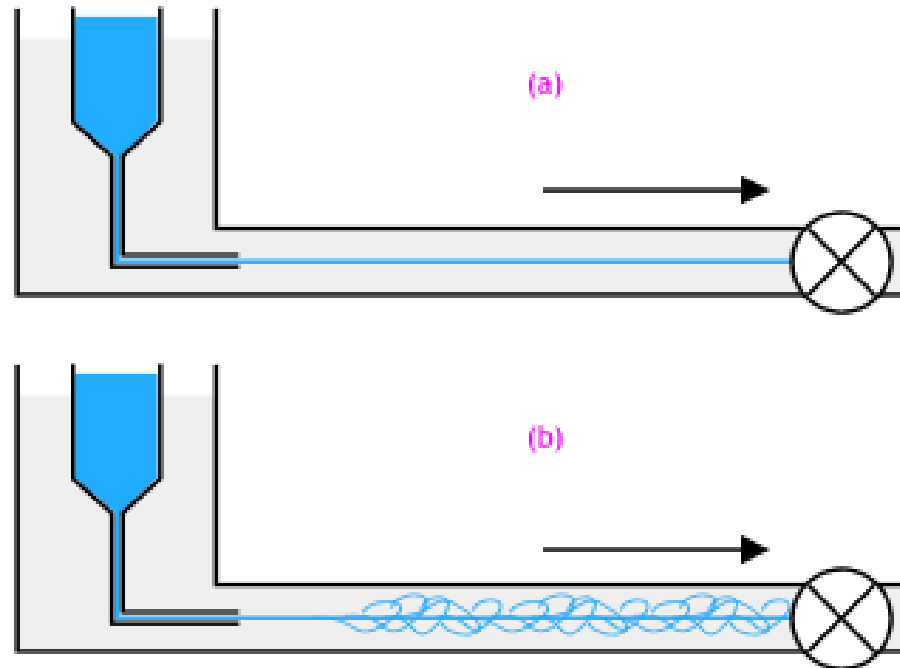


# Escoamento Turbulento

- Ocorre quando as partículas de um fluido não movem-se ao longo de trajetórias bem definidas, ou seja as partículas descrevem trajetórias irregulares, com movimento aleatório, produzindo uma transferência de quantidade de movimento entre regiões de massa líquida. Este escoamento é comum na água, cuja a viscosidade é relativamente baixa.



# Visualização de Escoamentos Laminar e Turbulento em Tubos Fechados



# Número de Reynolds

- O número de Reynolds (abreviado como  $Re$ ) é um número adimensional usado em mecânica dos fluidos para o cálculo do regime de escoamento de determinado fluido dentro de um tubo ou sobre uma superfície. É utilizado, por exemplo, em projetos de tubulações industriais e asas de aviões. O seu nome vem de Osborne Reynolds, um físico e engenheiro irlandês. O seu significado físico é um quociente entre as forças de inércia e as forças de viscosidade.

# Número de Reynolds em Tubos

- $Re < 2000$  – Escoamento Laminar.
- $2000 < Re < 2400$  – Escoamento de Transição.
- $Re > 2400$  – Escoamento Turbulento.

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

- $\rho$  = massa específica do fluido
- $\mu$  = viscosidade dinâmica do fluido
- $v$  = velocidade do escoamento
- $D$  = diâmetro da tubulação

# Tabelas de Viscosidade Dinâmica

<b>gases</b>	<b>viscosidade (Pa·s)</b>
<b>hidrogênio</b>	$8,4 \times 10^{-6}$
<b>ar</b>	$17,4 \times 10^{-6}$
<b>xenônio</b>	$21,2 \times 10^{-6}$

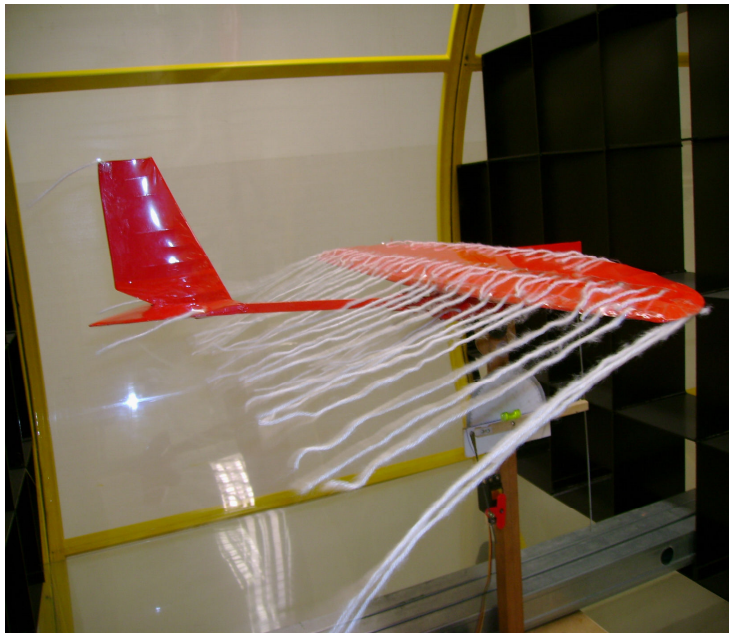
<b>Líquidos a 20°C</b>	<b>viscosidade (Pa·s)</b>
<b>álcool etílico</b>	$0,248 \times 10^{-3}$
<b>acetona</b>	$0,326 \times 10^{-3}$
<b>metanol</b>	$0,597 \times 10^{-3}$
<b>benzeno</b>	$0,64 \times 10^{-3}$
<b>água</b>	$1,0030 \times 10^{-3}$
<b>mercúrio</b>	$17,0 \times 10^{-3}$
<b>ácido sulfúrico</b>	$30 \times 10^{-3}$



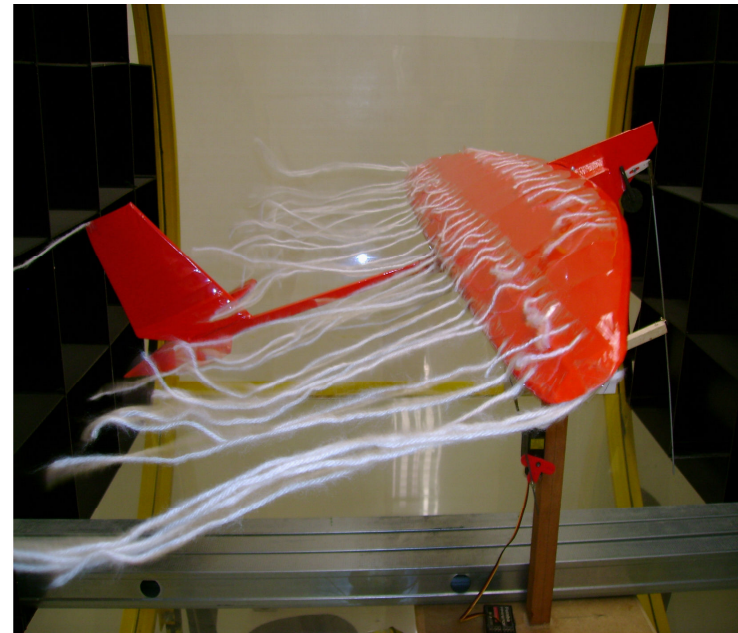
# Importância do Número de Reynolds

- A importância fundamental do número de Reynolds é a possibilidade de se avaliar a estabilidade do fluxo podendo obter uma indicação se o escoamento flui de forma laminar ou turbulenta. O número de Reynolds constitui a base do comportamento de sistemas reais, pelo uso de modelos reduzidos. Um exemplo comum é o túnel aerodinâmico onde se medem forças desta natureza em modelos de asas de aviões. Pode-se dizer que dois sistemas são dinamicamente semelhantes se o número de Reynolds, for o mesmo para ambos.

# Exemplo de Escoamento laminar e Turbulento em um Ensaio de Túnel de Vento



Laminar



Turbulento

## Número de Reynolds em Perfis Aerodinâmicos

- Para aplicações em perfis aerodinâmicos, o número de Reynolds pode ser expresso em função da corda média aerodinâmica do perfil da seguinte forma.

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot \bar{c}}{\mu}$$

- onde:  $v$  representa a velocidade do escoamento,  $\rho$  é a densidade do ar,  $\mu$  a viscosidade dinâmica do ar e  $\bar{c}$  a corda média aerodinâmica do perfil.

## Fluxo Turbulento em Perfis Aerodinâmicos

- A determinação do número de Reynolds representa um fator muito importante para a escolha e análise adequada das características aerodinâmicas de um perfil aerodinâmico, pois a eficiência de um perfil em gerar sustentação e arrasto está intimamente relacionada ao número de Reynolds obtido. Geralmente no estudo do escoamento sobre asas de aviões o fluxo se torna turbulento para números de Reynolds da ordem de  $1 \times 10^7$ , sendo que abaixo desse valor geralmente o fluxo é laminar.

# Exercício 1

- 1) Calcular o número de Reynolds e identificar se o escoamento é laminar ou turbulento sabendo-se que em uma tubulação com diâmetro de 4cm escoava água com uma velocidade de 0,05m/s.

Solução do Exercício:

Viscosidade Dinâmica da água:

$$\mu = 1,0030 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$$

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

$$R_e = \frac{1000 \cdot 0,05 \cdot 0,04}{1,003 \cdot 10^{-3}}$$

$$R_e = 1994 \quad \longrightarrow \quad \text{Escoamento Laminar}$$

## Exercício 2

- 2) Determine o número de Reynolds para uma aeronave em escala reduzida sabendo-se que a velocidade de deslocamento é  $v = 16$  m/s para um vôo realizado em condições de atmosfera padrão ao nível do mar ( $\rho = 1,225$  kg/m<sup>3</sup>). Considere  $\bar{c} = 0,35$  m e  $\mu = 1,7894 \times 10^{-5}$  kg/ms.

Solução do Exercício:

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot \bar{c}}{\mu}$$

$$R_e = \frac{1,225 \cdot 16 \cdot 0,35}{1,7894 \cdot 10^{-5}}$$

$$R_e = 3,833 \cdot 10^5$$

# Exercícios Propostos

- 1) Calcular o número de Reynolds e identificar se o escoamento é laminar ou turbulento sabendo-se que em uma tubulação com diâmetro de 4cm escoava água com uma velocidade de 0,2m/s.
- 2) Um determinado líquido, com  $\rho = 1200,00 \text{ kg/m}^3$ , escoava por uma tubulação de diâmetro 3cm com uma velocidade de 0,1m/s, sabendo-se que o número de Reynolds é 9544,35. Determine qual a viscosidade dinâmica do líquido.
- Obs: Para solução dos exercícios ver propriedades nas tabelas das aulas 2 e 10.

# Exercícios Propostos

- 3) Acetona escoar por uma tubulação em regime laminar com um número de Reynolds de 1800. Determine a máxima velocidade do escoamento permissível em um tubo com 2cm de diâmetro de forma que esse número de Reynolds não seja ultrapassado.
- 4) Benzeno escoar por uma tubulação em regime turbulento com um número de Reynolds de 5000. Determine o diâmetro do tubo em mm sabendo-se que a velocidade do escoamento é de 0,2m/s.
- Obs: Para solução dos exercícios ver propriedades nas tabelas das aulas 2 e 10.



# Próxima Aula

- Equação da Continuidade para Regime Permanente.