

Escoamentos sobre corpos imersos

Prof. Marcos Tadeu Pereira

PME3222 – 2019

Escoamentos ao redor de aviões, carros, edifícios, estruturas, navios, submarinos, cabos, peixes, plantas, etc

Informações obtidas por meios teóricos (limitadas por causa da complexidade dos fenômenos) e experimentais (túneis de vento, tanques de prova, túneis de cavitação) e ensaios em modelos com escala reduzida. Uso abundante de coeficientes levantados experimentalmente

Características gerais dos escoamentos externos

Força que atua nos corpos imersos é resultado da interação entre o corpo e o fluido.

O sistema de coordenadas é sempre fixado no corpo (independente de ele estar se movimentando ou não avião, edifício)

Admite-se velocidade ao longe constante no tempo e no espaço.

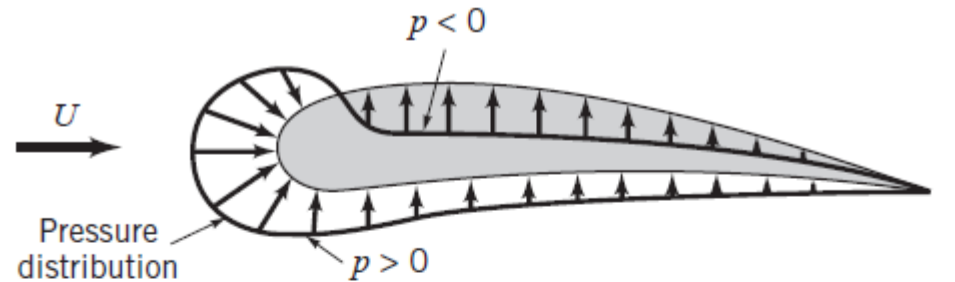
Tomar cuidado com os efeitos de borda.

Arrasto e Sustentação

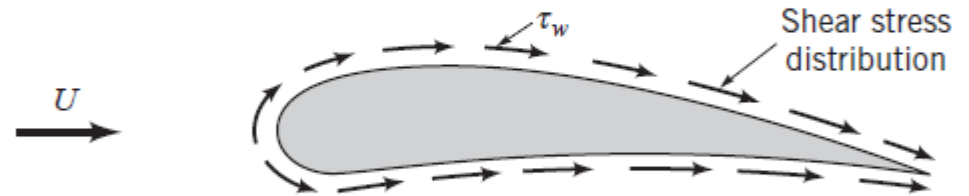
Movimento
fluido/corpo imerso:

Tensão de
cisalhamento na
parede τ_p provocada
pelos efeitos viscosos.

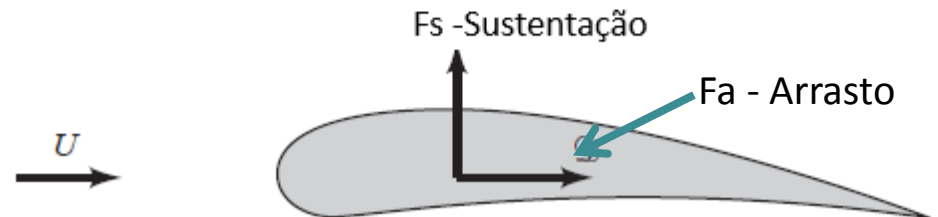
Tensão normal devida
a pressão



(a)



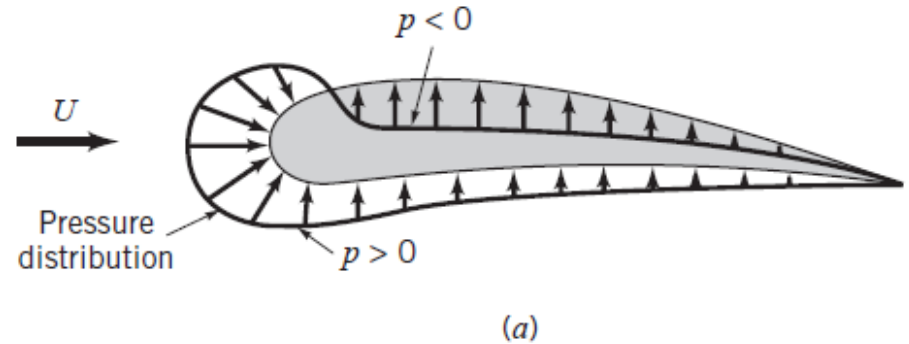
(b)



Arrasto e Sustentação

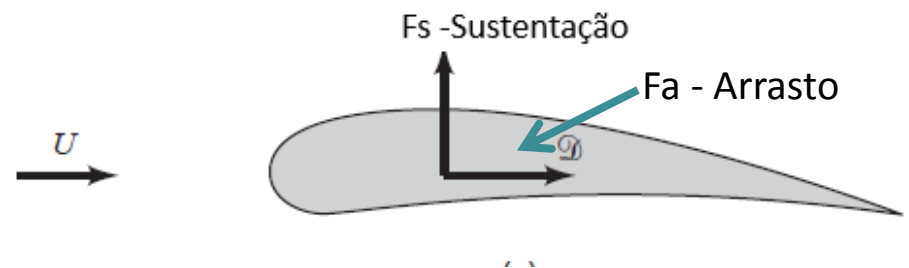
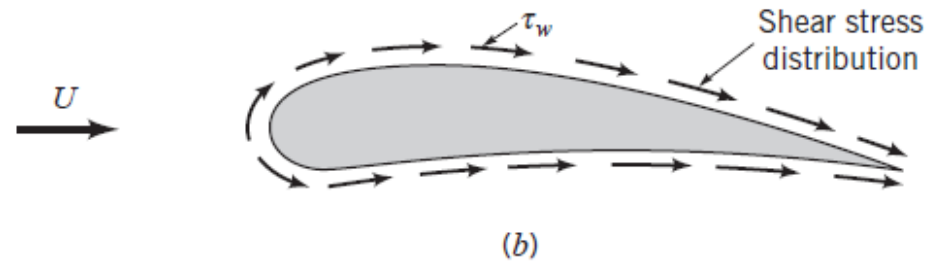
Na direção escoamento:

Força de Arrasto F_A
(ou F_D drag force)

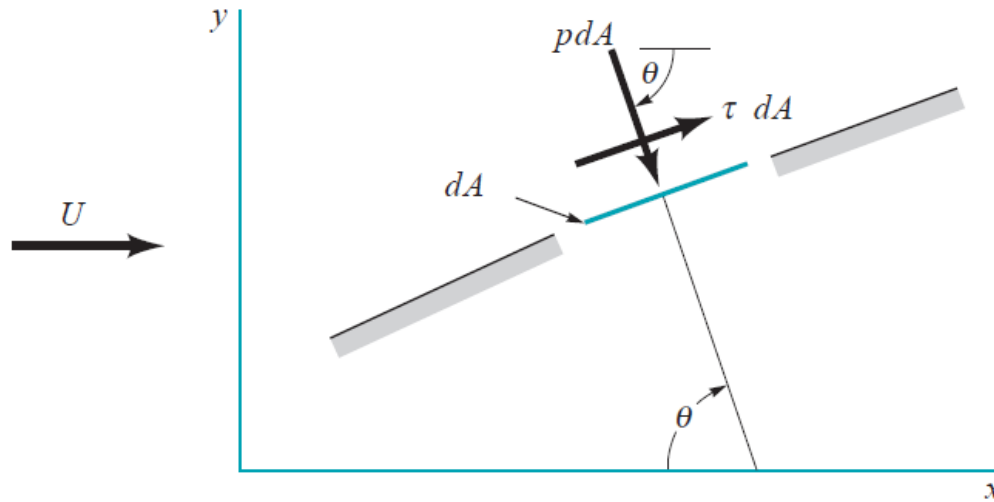


Na direção normal ao escoamento:

Força de Sustentação F_s
(ou F_L lift force)



Ambas obtidas pela integração das tensões normais e de cisalhamento mostradas nas figuras



$$dF_x = (p dA) \cos \theta + (\tau dA) \sin \theta$$

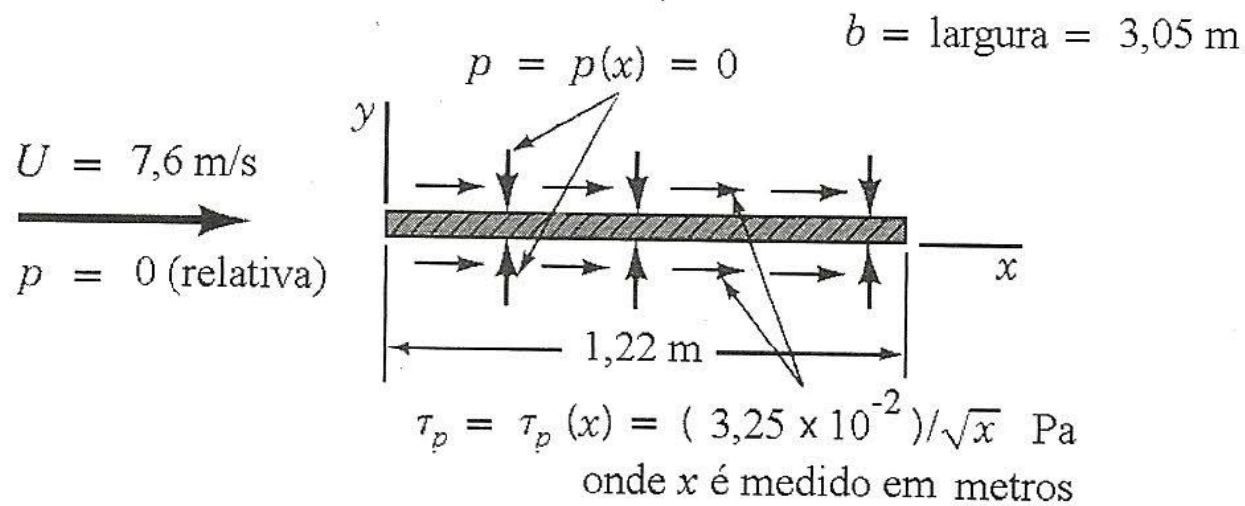
$$dF_y = -(p dA) \sin \theta + (\tau dA) \cos \theta$$

$$F_A = \int dF_x = \int p \cos \theta dA + \int \tau \sin \theta dA$$

$$F_S = \int dF_y = -\int p \sin \theta dA + \int \tau \cos \theta dA$$

equações 1

Observar que o arrasto, por ex., pode ser tanto de pressão quanto de viscosidade!



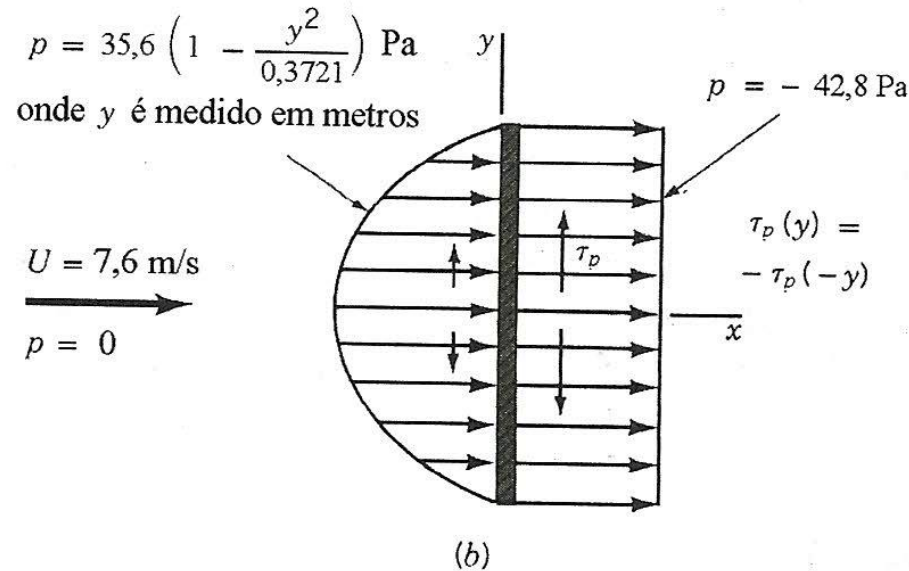
(a)

$$F_A = \int dF_x = \int p \cos \theta dA + \int \tau \sin \theta dA$$

Notar que $\theta = 90^\circ$ na face superior e $\theta = 270^\circ$ na inferior:

$$\begin{aligned}
 F_A &= \int_{sup} \tau_p dA + \int_{inf} \tau_p dA = 2 \int_{sup} \tau_p dA = \\
 &= 2 \int_0^{1,22} \frac{3,25 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{x}} \cdot 3,05 dx = 0,198 [2\sqrt{x}] (0 \leq x \leq 1,22) = 0,44 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$F_S = - \int_{sup} p dA + \int_{inf} p dA = 0 \text{ não há sustentação.}$$



Neste caso, $\theta = 0^\circ$ na posição frontal e $\theta = 180^\circ$ na posterior

$$\begin{aligned}
 F_A &= \int_{frente} p dA + \int_{post} p dA = \\
 &\int_{y=-0,61}^{y=0,61} \left[35,6 \left(1 - \frac{y^2}{0,3721} \right) - (-42,8) \right] (3,05) dy = 247,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

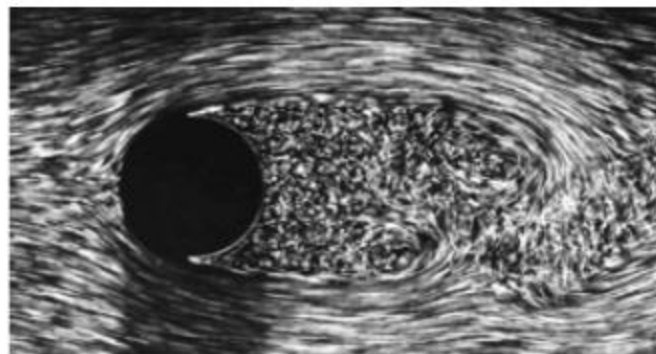
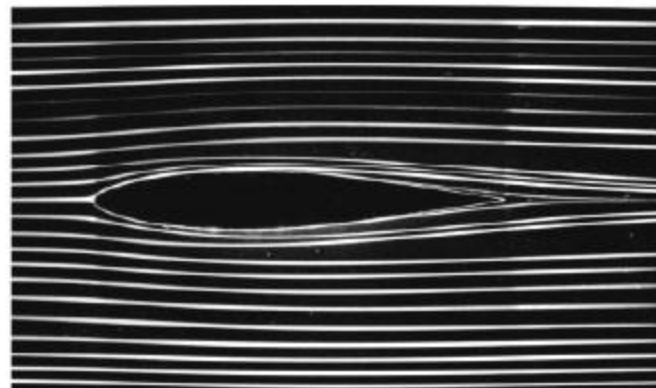
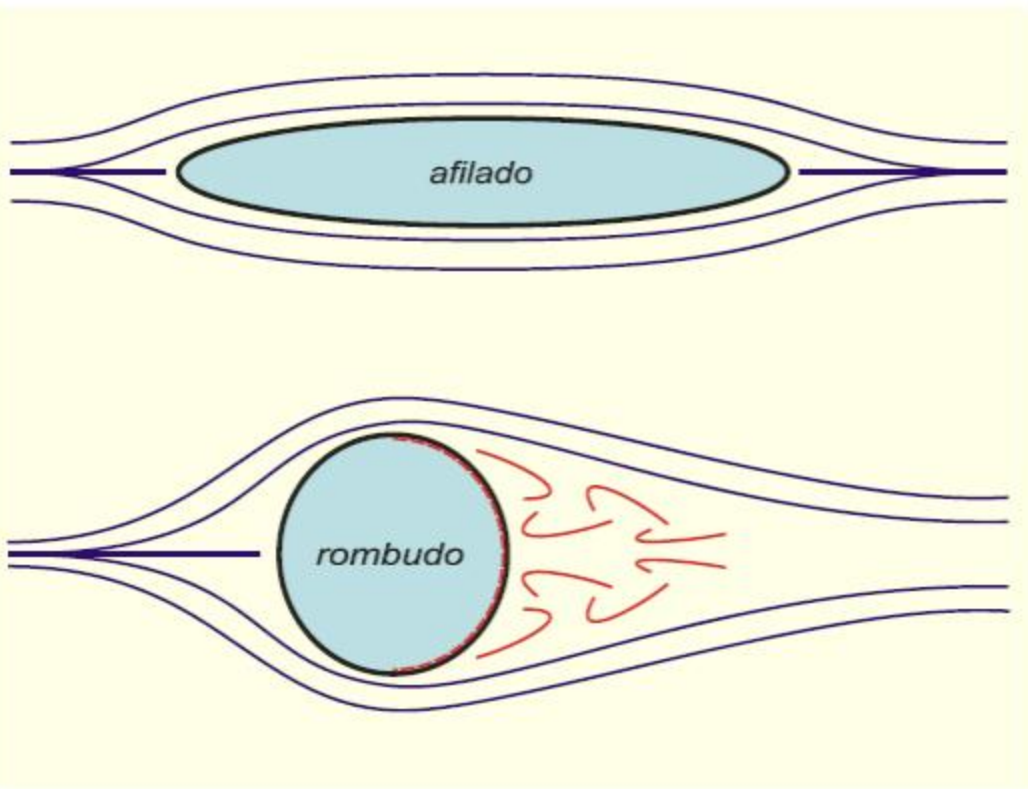
$$F_s = \int_{frente} \tau_p dA + \int_{post} \tau_p dA = 0$$

As equações 1 são difíceis de utilizar porque normalmente não conhecemos as distribuições de pressão e de tensões de cisalhamento. Para contornar, definem-se **coeficientes adimensionais de arrasto e de sustentação**, determinados por meio de técnicas experimentais auxiliadas por técnicas numéricas

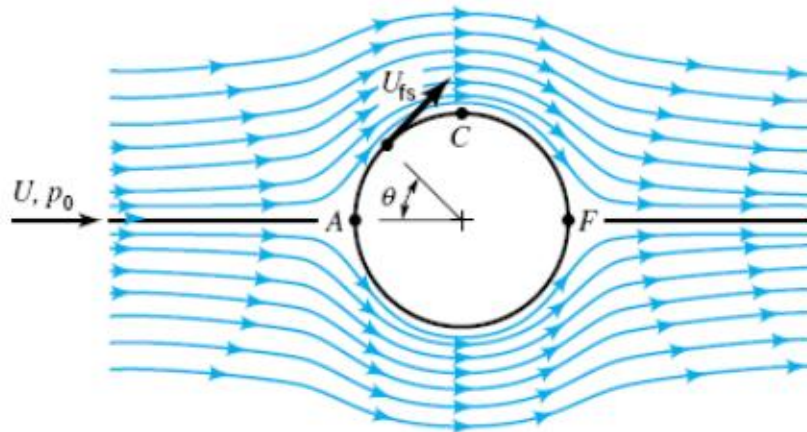
$$C_a = \frac{F_a}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad \text{e} \quad C_s = \frac{F_s}{\frac{1}{2}\rho V^2}$$

A é uma área característica do corpo, normalmente a área frontal, como vista por um observador que olha na direção paralela à do escoamento.

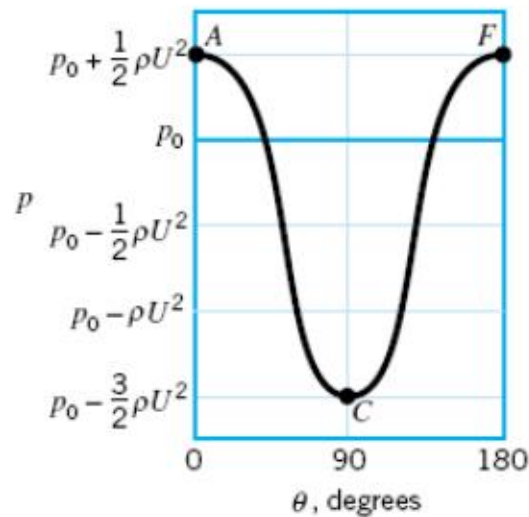
$$C_{A \text{ ou } S} = \phi \left(\text{fator de forma}, Re, Ma, Fr, \frac{\varepsilon}{l} \right)$$



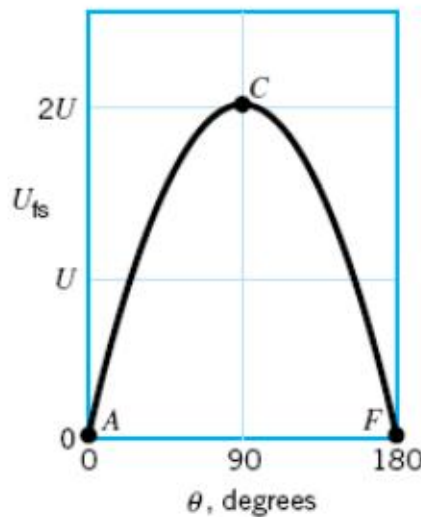
Escoamento ideal (invíscido)



(a)



(b)

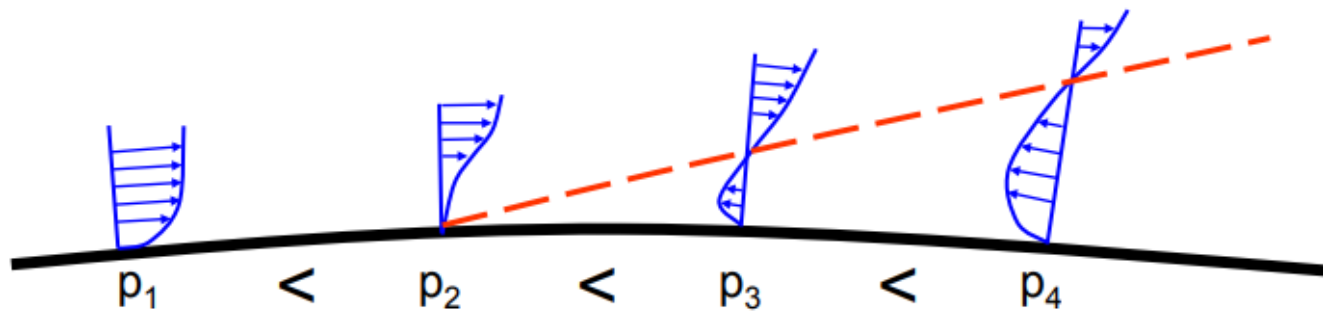
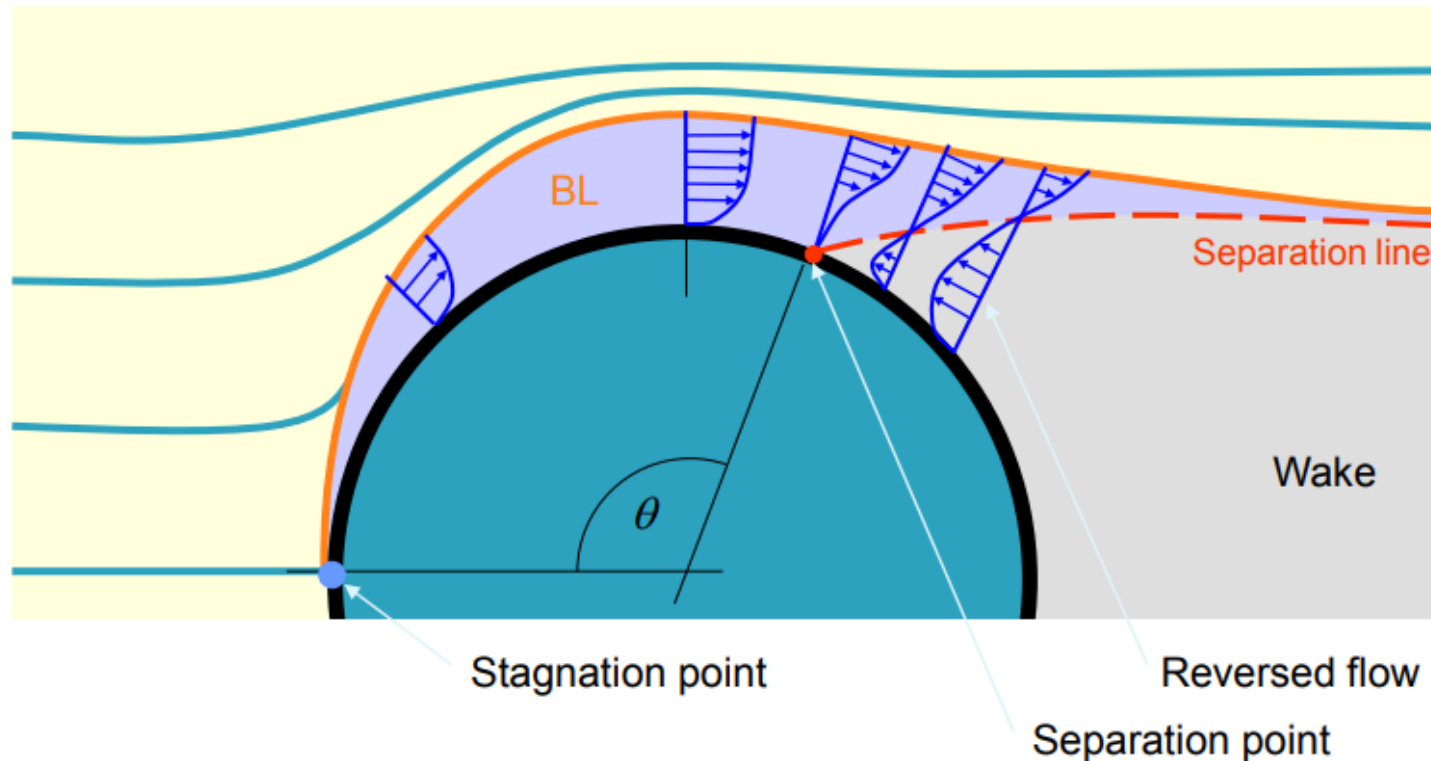


(c)

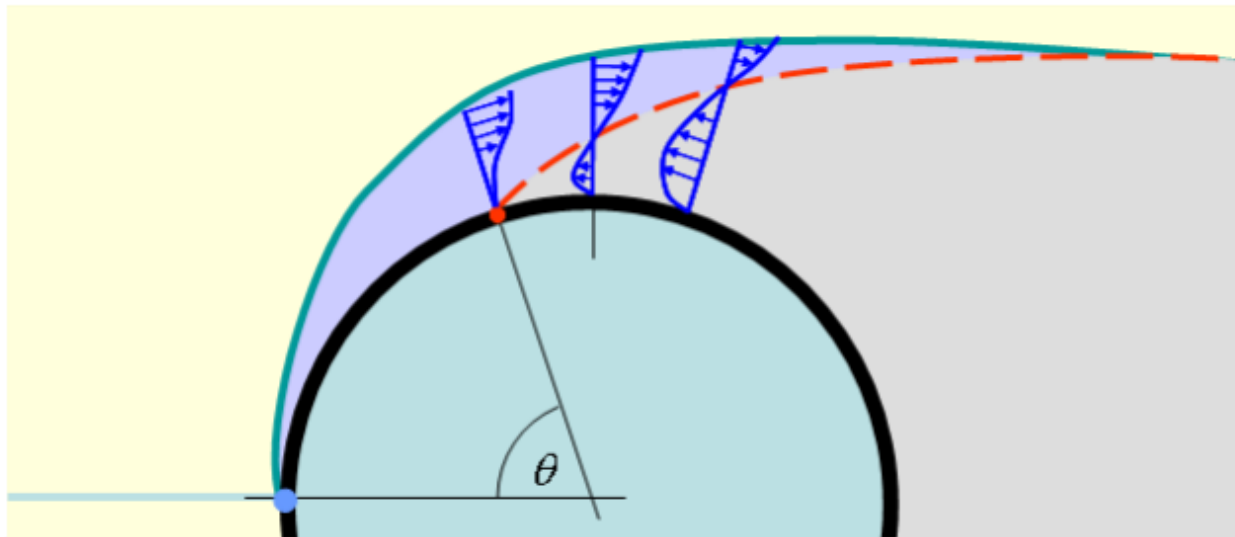
■ FIGURE 9.16

Inviscid flow past a circular cylinder: (a) streamlines for the flow if there were no viscous effects, (b) pressure distribution on the cylinder's surface, (c) free-stream velocity on the cylinder's surface.

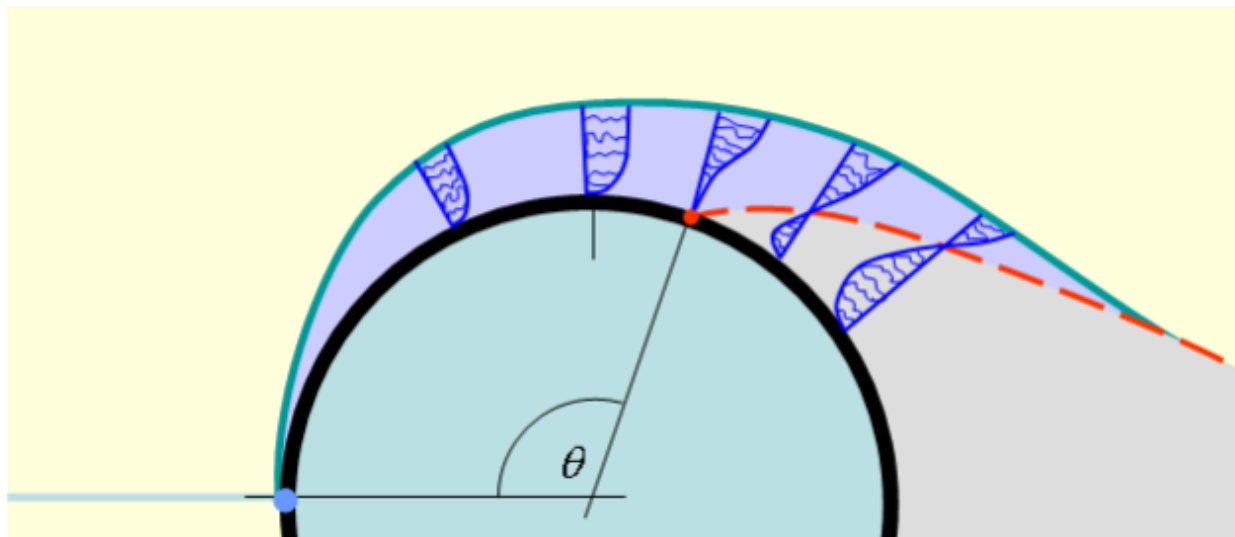
Separação do escoamento



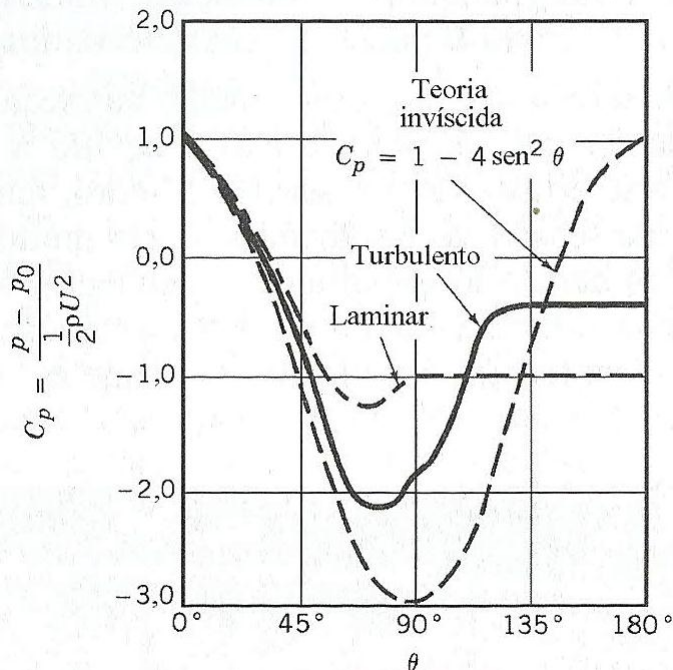
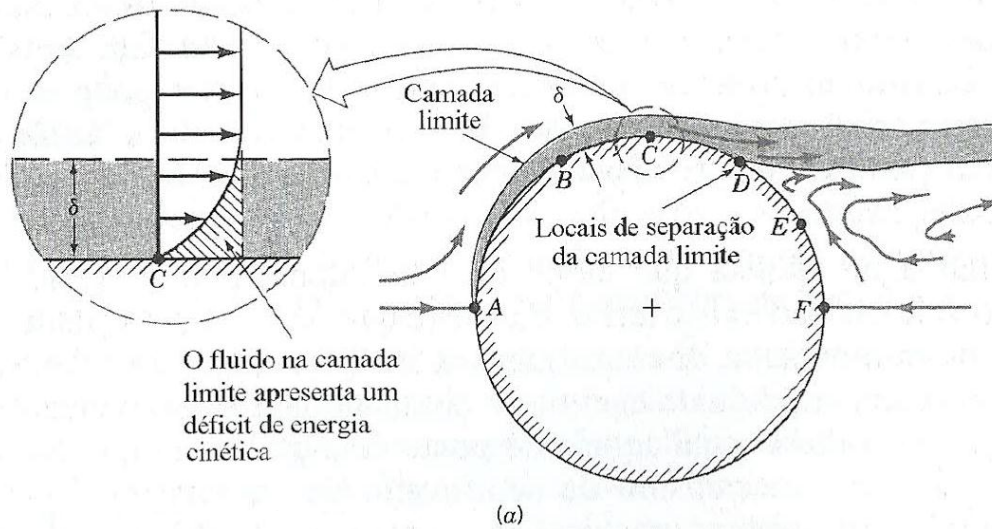
Separação em regimes laminar e turbulento



Laminar
Boundary Layer



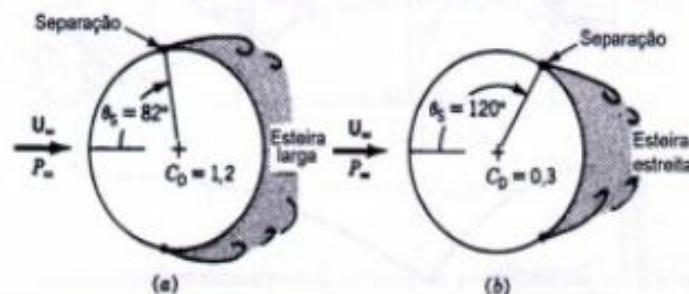
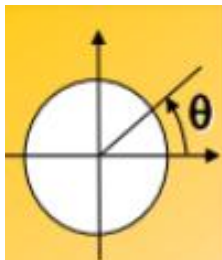
Turbulent
Boundary Layer



Coeficiente de pressão

Se há μ , a partícula que sai de A não chega a F: gasta energia com atrito e não consegue vencer o gradiente de pressão. C.L. separa

Paradoxo d'Alembert: arrasto é zero num escoamento invíscido, mas com viscosidade muito pequena não é zero.



Distribuição de Pressão Em Cilindros para escoamento Laminar, Turbulento e Potencial

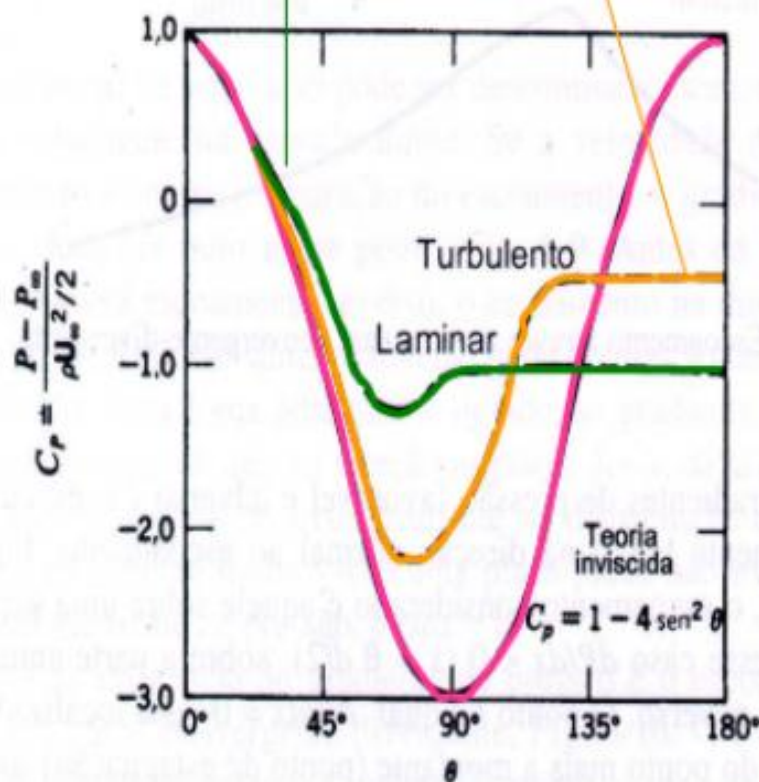
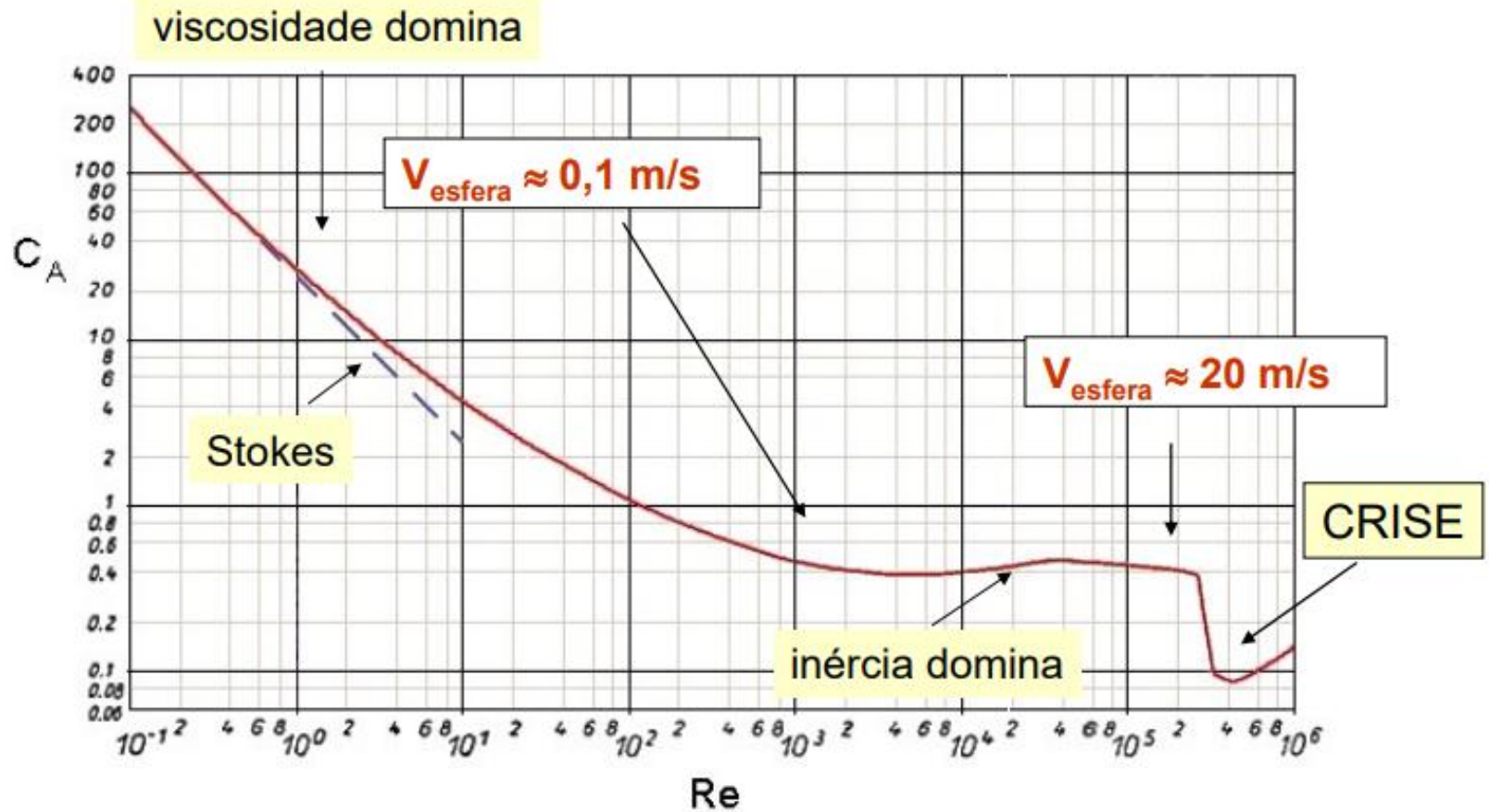


Figura 6-11 Pressão de escoamento e de superfície sobre um cilindro circular infinito normal ao escoamento. (a) Escoamento laminar, (b) Escoamento turbulento.

Coeficiente de Arrasto de uma Esfera Lisa

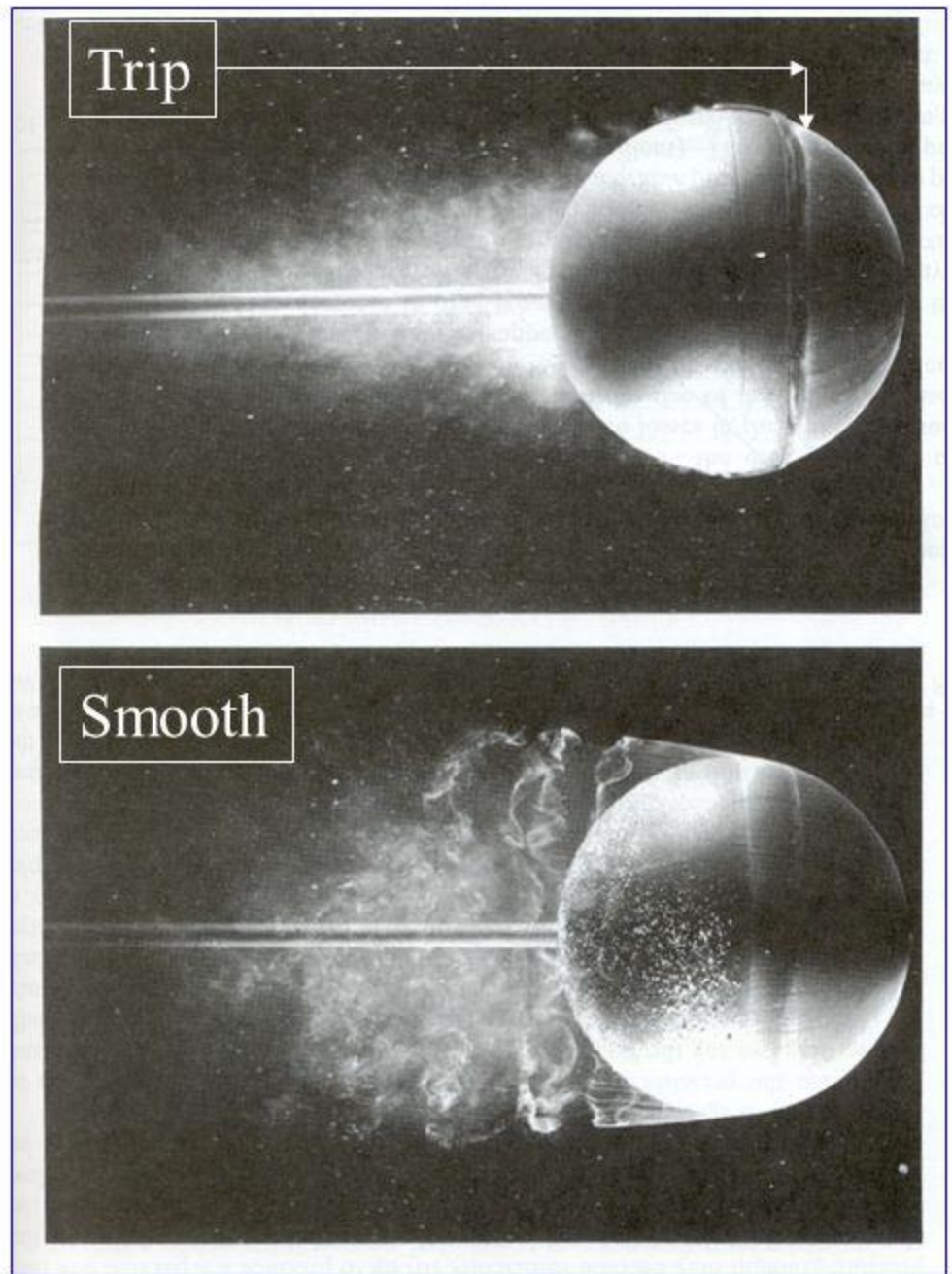


Flow over a sphere.

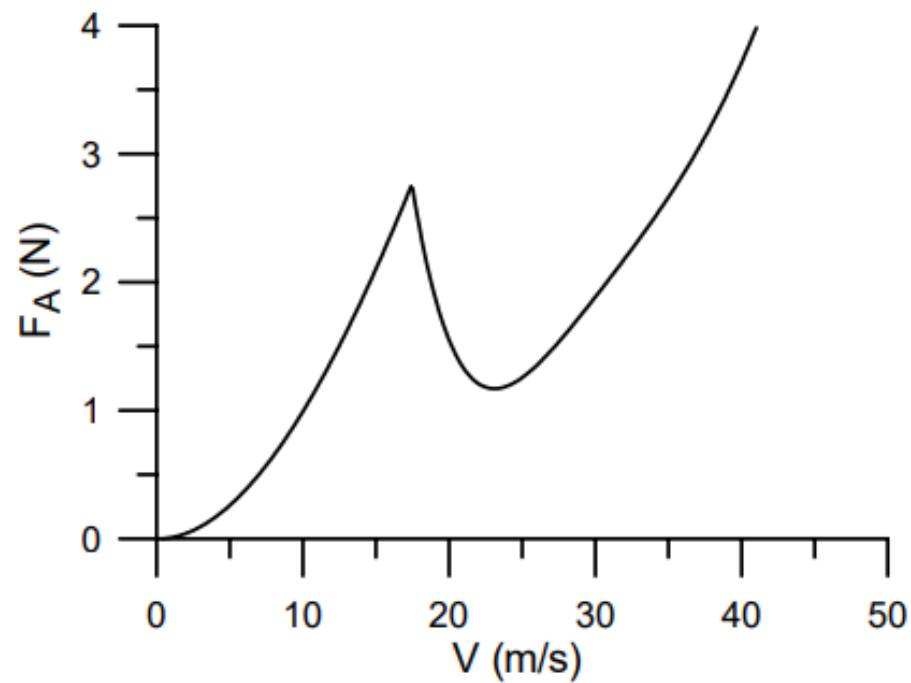
Trip: $Re = 30,000$
(with trip wire
turbulent separation)

Smooth: $Re = 15,000$
(laminar separation)

From Van Dyke,
Album of Fluid Motion
Parabolic Press, 1982
Original photographs by
Werle, ONERA, 1980

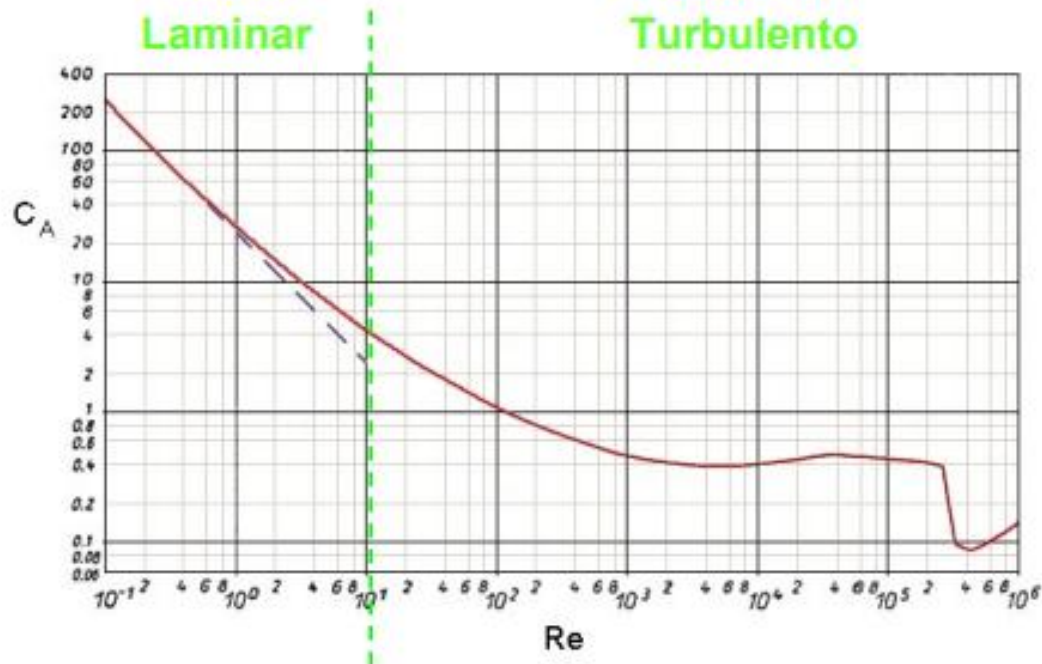


Crise Aerodinâmica



Esfera lisa

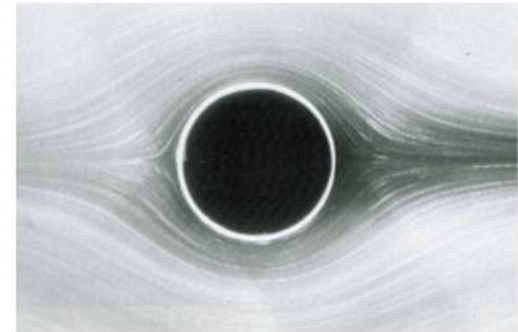
Escoamento Laminar e Turbulento



Escoamento Laminar

$$Re \ll 1 \Rightarrow C_a = 24/Re \Rightarrow F_a = (3\pi\eta D) V$$

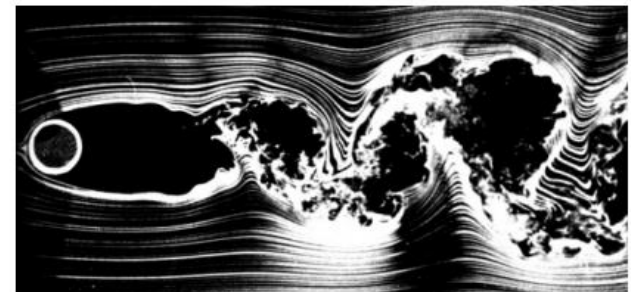
“atrito linear”

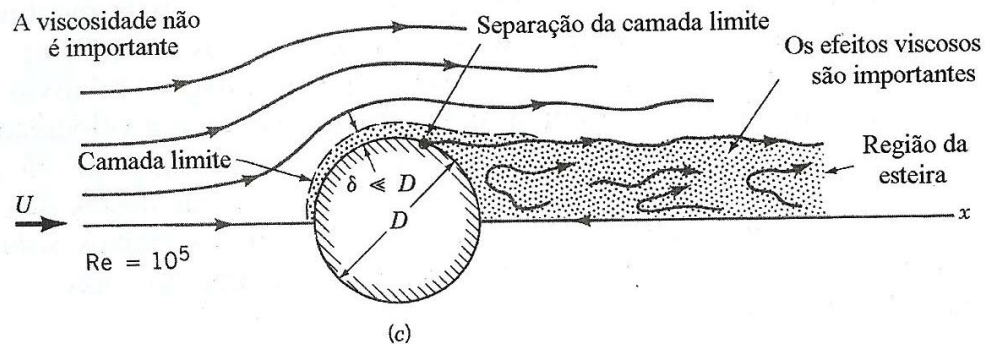
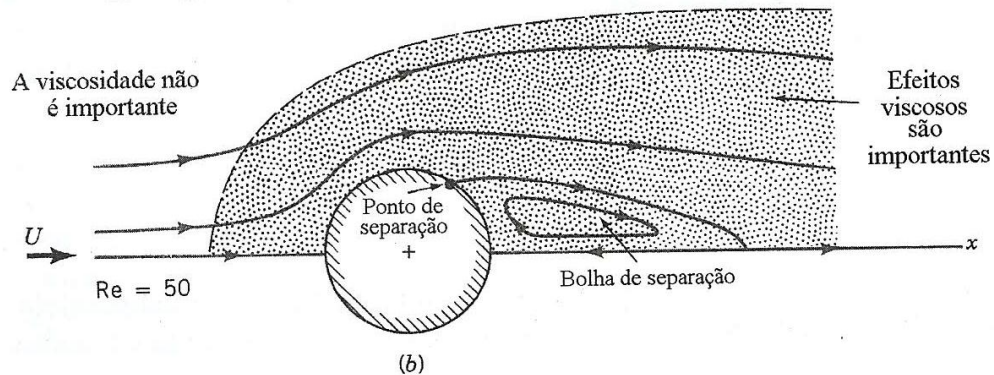
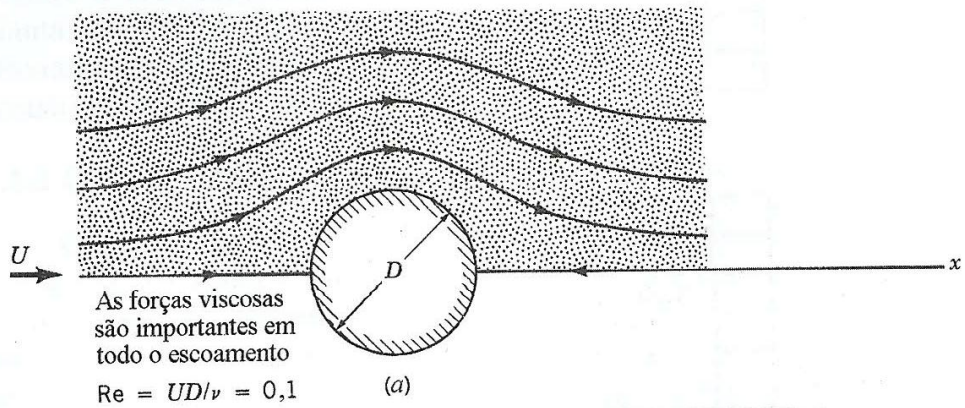


$Re = 0.16$
(cilindro)

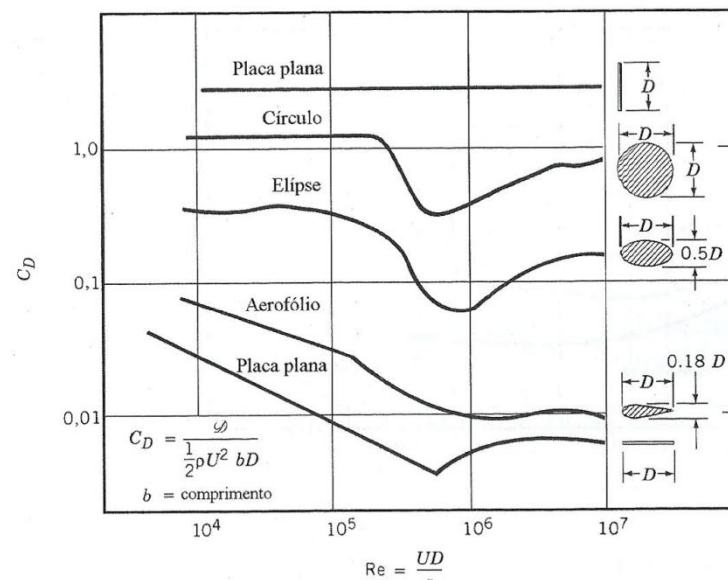
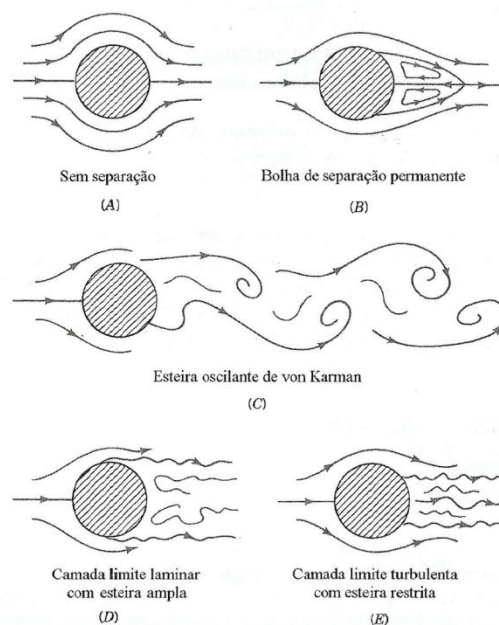
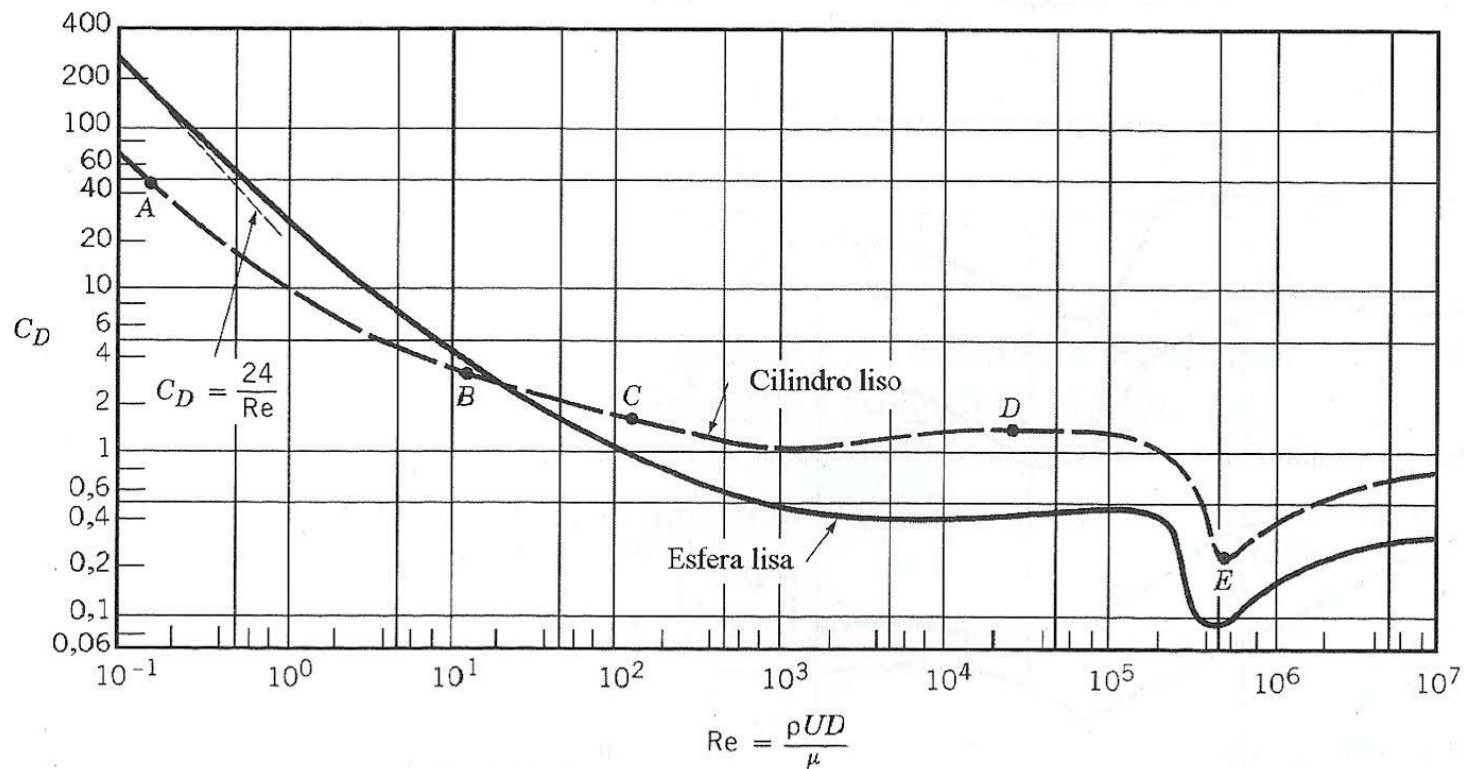
Escoamento Turbulento

$$10^3 < Re < 10^5 \Rightarrow C_a \approx 0,4 - 0,5 \Rightarrow F_a \approx 0,2 \rho AV^2$$





Escoamento viscoso: baixo, médio e alto numero de Reynolds



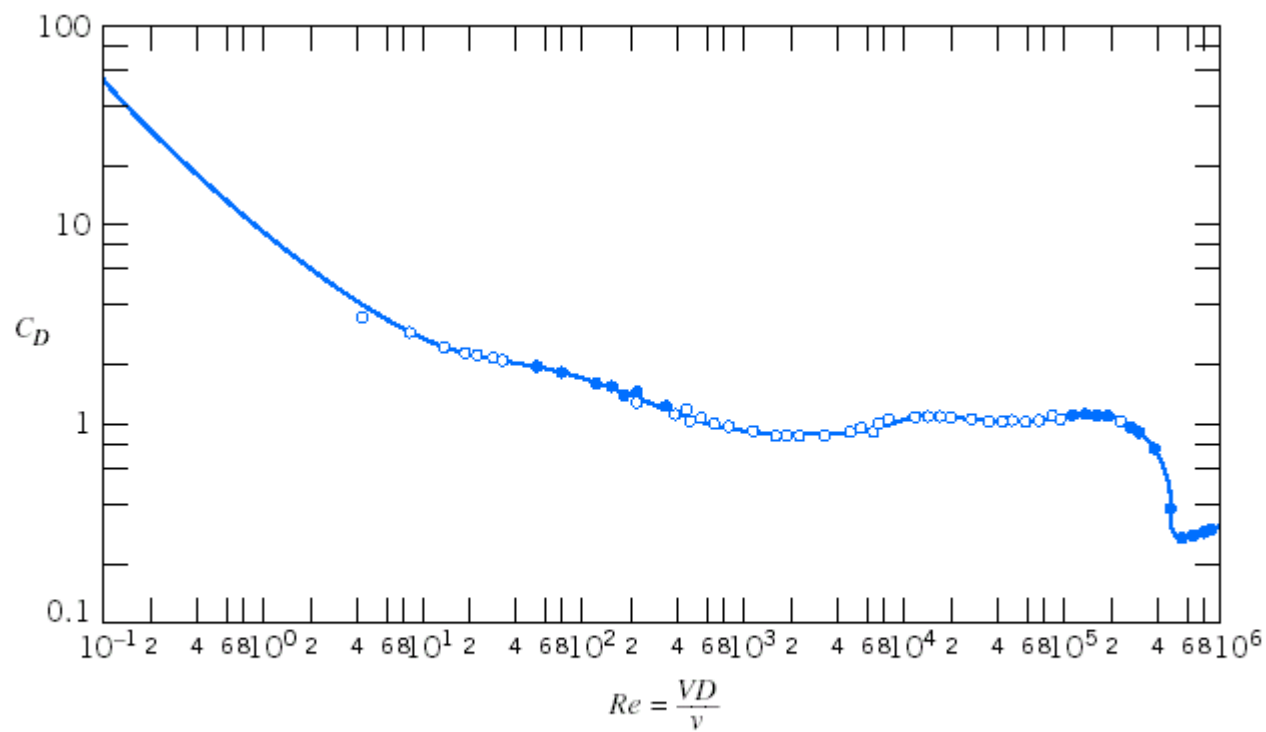


Fig. 9.13 Drag coefficient for a smooth circular cylinder as a function of Reynolds number [3].

- Examples: NACA 23015; NACA 66₂-215

