Hidrodinâmica I

Resistência friccional do casco

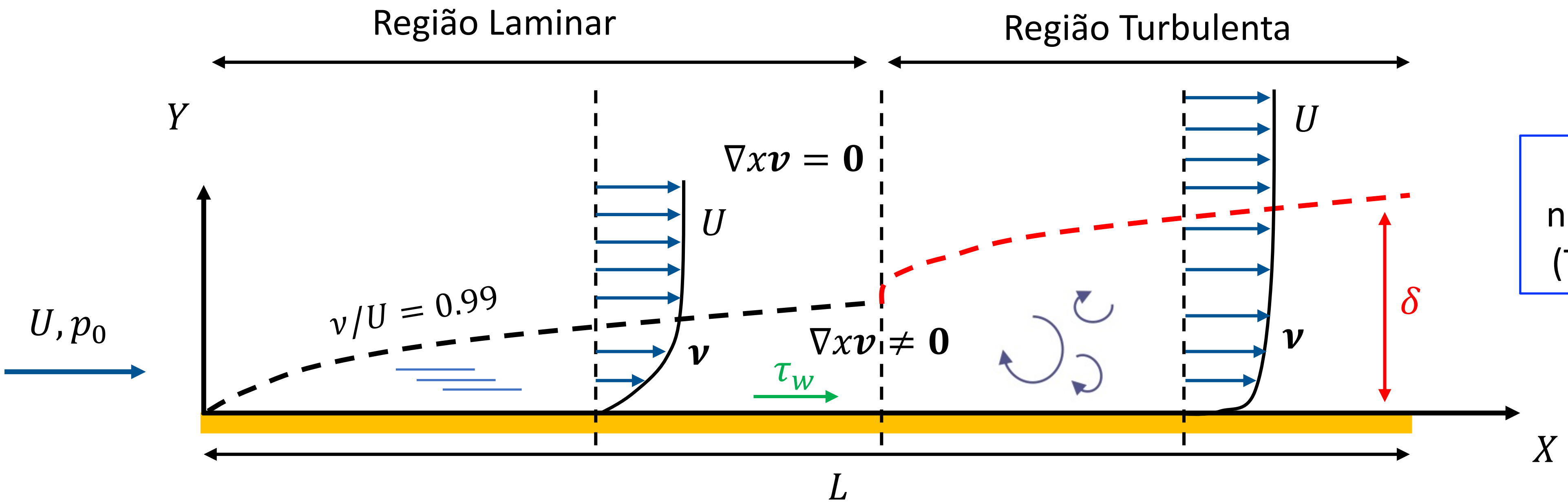
PNV USP

PNV3323 – Hidrodinâmica I

Resistência Friccional (R_f)

Duas abordagens principais:

1. Coeficiente de atrito em palca-plana + correções empíricas.
2. Solução numérica do escoamento turbulento baseada no método RANSE (Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations).



Aplicações navais Re>10^6 (Turbulência)

Resistência Friccional (R_f)

Região Turbulenta

Escoamento transiente, 2D?:

$$\boldsymbol{v}(x_1, x_2, t) = \boldsymbol{v}_1(x_1, x_2, t)\ \bar{e_1} + \boldsymbol{v}_2\ (x_1, x_2, t)\bar{e_2}, \qquad \text{e} \qquad p(x_1, x_2, t)$$

Retomamos as Equações de Prandtl para a CL para placa plana, mas com a variação do tempo:

$$\boxed{\begin{gathered}\frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0 \\[2ex] \rho\left(\frac{\partial v_1}{\partial t} + v_1\frac{\partial v_1}{\partial x_1} + v_2\frac{\partial v_1}{\partial x_2}\right) \simeq \frac{\mu \partial^2 v_1}{\partial x_2^2}\end{gathered}}$$

2 equações
p/ 2 incógnitas
(v_1, v_2)

Resistência Friccional (R_f)

Região Turbulenta

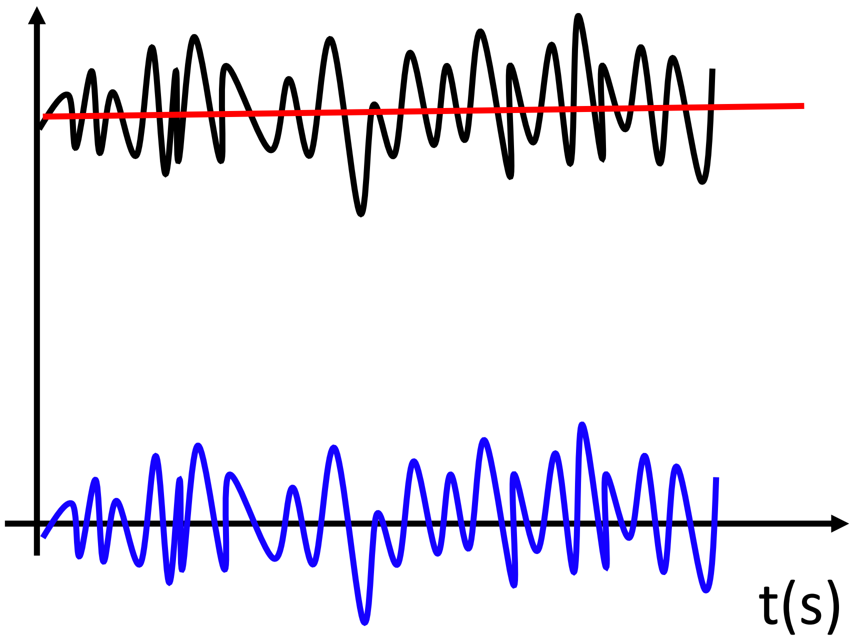
Necessitamos uma estratégia para tratar as variações no tempo. Reynolds propõe:

$$\boldsymbol{v_1}(x_1, x_2, t) = \overline{\boldsymbol{v}_1}(x_1, x_2) + \boldsymbol{v}_1{}'(x_1, x_2, t)$$

$$\boldsymbol{v_2}(x_1, x_2, t) = \overline{\boldsymbol{v}_2}(x_1, x_2) + \boldsymbol{v_2}'(x_1, x_2, t)$$

$$\boldsymbol{p}(x_1, x_2, t) = \overline{\boldsymbol{p}}(x_1, x_2) + \boldsymbol{p}'(x_1, x_2, t)$$

$$\bar{Q}(x_1, x_2) = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} Q(x_1, x_2, t)\, dt$$



Resistência Friccional (R_f)

Equações Médias de Reynolds para CL turbulenta (RANSE)

Necessitamos uma estratégia para tratar as variações no tempo. Reynolds propõe:

$$\boxed{\begin{gathered}\frac{\partial \overline{v_1}}{\partial x_1} + \frac{\partial \overline{v_2}}{\partial x_2} = 0 \\ \rho\left(\overline{v_1}\frac{\partial \overline{v_1}}{\partial x_1} + \overline{v_2}\frac{\partial \overline{v_1}}{\partial x_2}\right) \simeq \frac{\partial}{\partial x_2}\left(\frac{\mu \partial \overline{v_1}}{\partial x_2} - \rho \overline{v_1 v_2}\right)\end{gathered}}$$

2 equações
p/ 3 incógnitas
$(\overline{v_1}, \overline{v_2}, \overline{v_1 v_2})$

Requer modelo adicional para as tensões aparentes de Reynolds

$$\overline{v_1 v_2} = f(x_1, x_2, \overline{v_1}, \overline{v_2})$$

Modelos de Turbulência

PNV USP

Resistência Friccional (R_f)

Reynolds propoe que a **velocidade** instantânea é dada pela soma da **velocidade média** e **flutuações**. Essa hipótese, junto com algumas consideraçoes adicionais (ver, p. ex., *White, F.M., Viscous Fluid Flow*, pgs. 453-55), permite chegar nas Equações Médias de Reynolds para a CL turbulenta (*Reynolds- Averaged Navier-Stokes Eqs - RANSE*):

$$\frac{\partial \boldsymbol{v}_1}{\partial x_1} + \frac{\partial \boldsymbol{v}_2}{\partial x_2} = 0$$

$$\rho\left(\boldsymbol{v}_1 \frac{\partial \boldsymbol{v}_1}{\partial x_1} + \boldsymbol{v}_2 \frac{\partial \boldsymbol{v}_1}{\partial x_2}\right) = \frac{\partial}{\partial x_2}\left(\mu \frac{\partial^2 \boldsymbol{v}_1}{\partial x_2^2} - \rho\, \overline{\boldsymbol{v}_1 \boldsymbol{v}_2}\right)$$

Modelo de turbulência

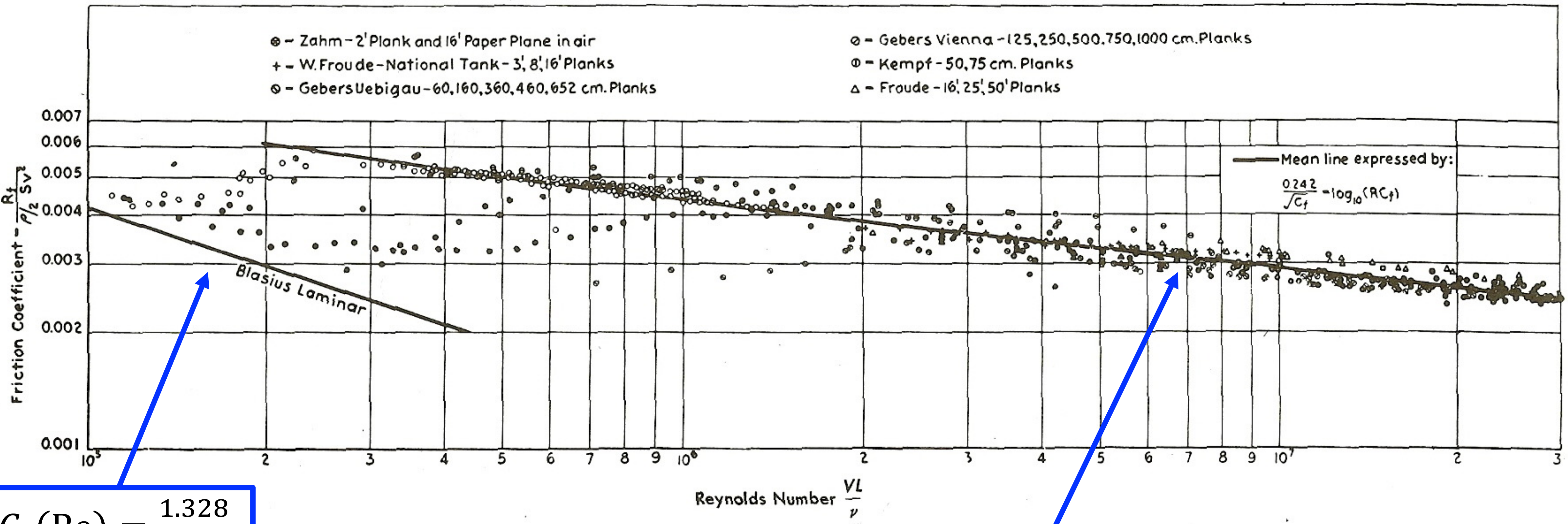
$$\overline{\boldsymbol{v}_1 \boldsymbol{v}_2} = f(x_1, x_2, \boldsymbol{v}_1, \boldsymbol{v}_2)$$

Requer modelo adicional para as tensões aparentes de Reynolds: Modelo de comprimento de mistura (Prandtl)+perfil logarítmico de velocidades na camada-limite (von Kárman)

$$\frac{0.242}{\sqrt{C_f(Re)}} = \log_{10}(Re \cdot C_f(Re))$$

PNV USP

Resistência Friccional (R_f)



$$C_f(\mathrm{Re}) = \frac{1.328}{\sqrt{Re}}$$

Lewis, 1988 (PNA)

$$\frac{0.242}{\sqrt{C_f(Re)}} = \log_{10}(Re \cdot C_f(Re))$$

PNV USP