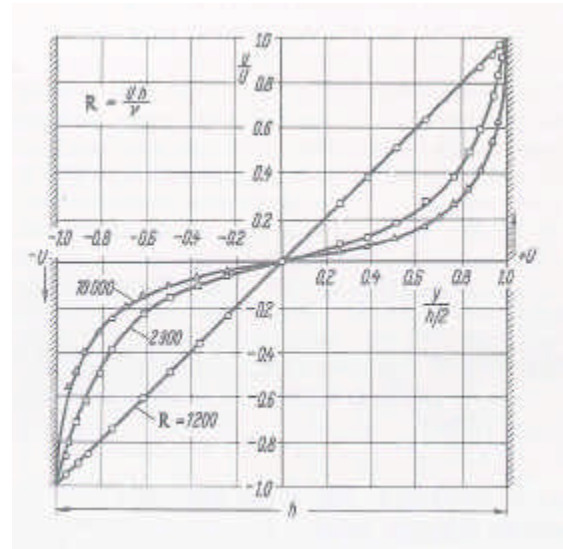
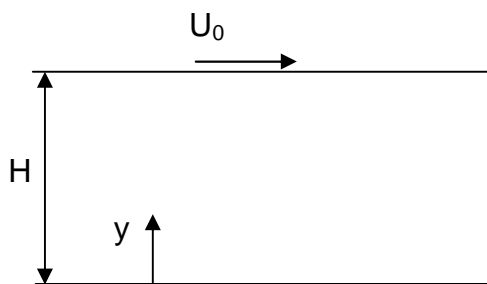


Lista de Exercícios N. 5 – Lei de Parede de Velocidade

- 1) Considere o escoamento turbulento entre duas placas paralelas que deslizam entre si com ausência de gradiente de pressão, também conhecido como escoamento de Couette. Uma representação esquemática do canal é dada na figura abaixo onde h é a distância entre as placas, U_0 é a velocidade da placa superior enquanto que a parede inferior está estacionária. O escoamento hidrodinamicamente desenvolvido tem somente a componente de velocidade média U não nula e os perfis são mostrados na figura anexa (Reichardt):



- a) Lembrando que o atrito na parede é proporcional à diferença entre a velocidade na parede e a do fluido (invariança de referencial) escreva a lei log para cada parede, considerando o referencial o eixo 'y' indicado na representação esquemática;
- b) Em termos das coordenadas internas, a velocidade da placa deslizante e a distância entre as placas, U_0^+ e h^+ são dependentes entre si. Considerando que o perfil de velocidades é simétrico, faça um casamento entre as leis log que se desenvolvem de cada parede e mostre que:

$$U_0^+ = 2 \cdot \left[\frac{1}{\kappa} \text{Ln} \left(\frac{h^+}{2} \right) + C \right]$$

onde κ e C são (0.41 e 5.0) respectivamente.

- c) Mostre que o coeficiente de atrito é dado pela expressão:

$$\sqrt{\left(\frac{2}{C_f} \right)} = 2 \cdot \left[\frac{1}{\kappa} \text{Ln} \left(\text{Re}_h \sqrt{\left(\frac{C_f}{8} \right)} \right) + C \right]$$

- d) Faça uma representação gráfica dos perfis de velocidade, $u/U_0 \times y/H$, para H^+ assumindo os valores: 100, 1000 e 10000.

- f) Mostre que a velocidade média do escoamento entre placas é dada por:

$$\overline{U}^+ = \frac{U_0^+}{2} \rightarrow \overline{U}^+ = U_0^+ - \left[\frac{1}{\kappa} \text{Ln} \left(\frac{H^+}{2} \right) + C \right] \quad \text{ou} \quad \overline{U}^+ = \left[\frac{1}{\kappa} \text{Ln} \left(\frac{H^+}{2} \right) + C \right]$$

- 2) O experimento de Clauser (1954), escoamento 2200 de Coles e Hirst (1968), utilizou ar a 24 °C e 1 atm ($\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ & $\nu = 0.000015 \text{ m}^2/\text{s}$). Na primeira estação de medida, $x = 2.1 \text{ m}$, o perfil de velocidade da camada limite turbulenta foi determinado experimentalmente com os valores dados na tabela abaixo. A espessura da camada limite é de 88.9 mm e o gradiente de velocidade externo a camada limite é de $dUe/dx = -1.06 \text{ s}^{-1}$. Analise os dados com gráficos e fórmulas apropriados para estabelecer: a) a camada log; b) a camada externa e o parâmetro de Coles P, c) a tensão na parede. Determine também se os dados do perfil de velocidade podem ser bem representados pelo perfil de potência $u/Ue = (u/\delta)^{(1/n)}$. Explique suas conclusões.

y	U	y	U
(m)	(m/s)	(m)	(m/s)
2.54E-03	4.92	2.03E-02	6.97
3.81E-03	5.19	2.29E-02	7.22
5.08E-03	5.35	2.54E-02	7.43
6.35E-03	5.54	3.18E-02	8.08
7.62E-03	5.70	3.81E-02	8.69
1.02E-02	5.97	5.08E-02	9.52
1.27E-02	6.25	6.35E-02	9.84
1.52E-02	6.47	7.62E-02	9.89
1.78E-02	6.71	8.89E-02	9.91

- 3) Leis de parede são extensivamente utilizadas em métodos numéricos para se fazer uma ‘ponte’ entre a parede e a região vizinha sem a necessidade de se empregar uma malha excessivamente refinada. Por meio dela pode-se estimar o coeficiente de atrito (tensão) no primeiro nó, adjacente a parede, desde que ele esteja na região logarítmica do perfil de velocidades. Considerando que U_w seja a velocidade do fluido no primeiro nó adjacente à parede e v^* , a velocidade de atrito, mostre que a) o coeficiente de atrito local pode ser expresso por:

$$\sqrt{\frac{2}{C_f}} = \frac{1}{\kappa} \text{Ln} \left[\text{Re}_\delta \sqrt{\frac{C_f}{2}} \right] + B \quad \text{Re}_\delta = \frac{U_w \delta}{\nu} \quad \text{e} \quad C_f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho U_w^2}$$

onde δ é a distância do primeiro nó à parede, κ é a constante de Von Kàrmàn e B a constante da lei log, (0.41 e 5.0).

b) É freqüente o emprego de uma relação equivalente onde a constante B é incorporada dentro do argumento do logaritmo. Ela é dada pela expressão abaixo:

$$C_f = \frac{0.435}{\frac{1}{\kappa} \text{Log}_{10} \left[9 \times \text{Re}_d \sqrt{C_f} + 1.01 \right]^{0.2}}$$

faça uma comparação direta entre as expressões e comente seus resultados.

- c) Para o escoamento de ar do exercício (2), considere que a tensão na parede seja de $\tau_w = 0.1299 \text{ N/m}^2$, determine a distância do centro do primeiro nó adjacente a parede para que ele fique dentro da região log do perfil de velocidades