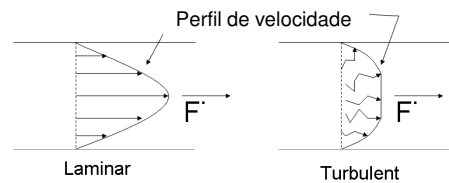
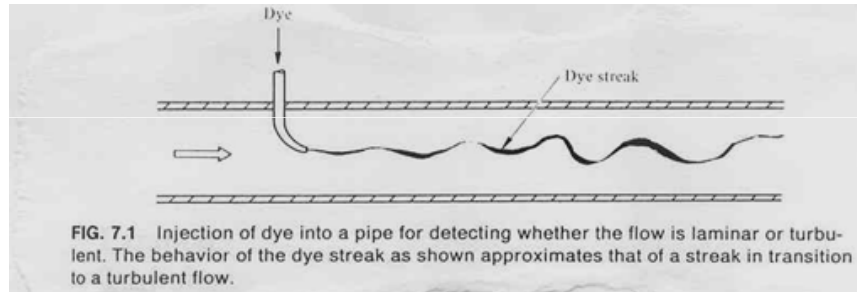


Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição no escoamento em tubos

Experiência de Reynolds



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição no escoamento em tubos

Experiência de Reynolds



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição no escoamento em tubos
Experiência de Reynolds

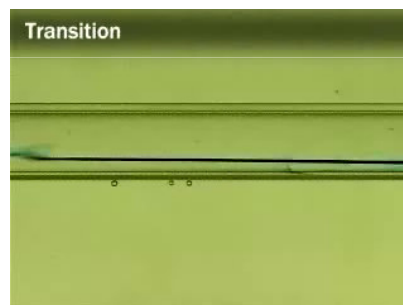


Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição no escoamento em tubos
Experiência de Reynolds

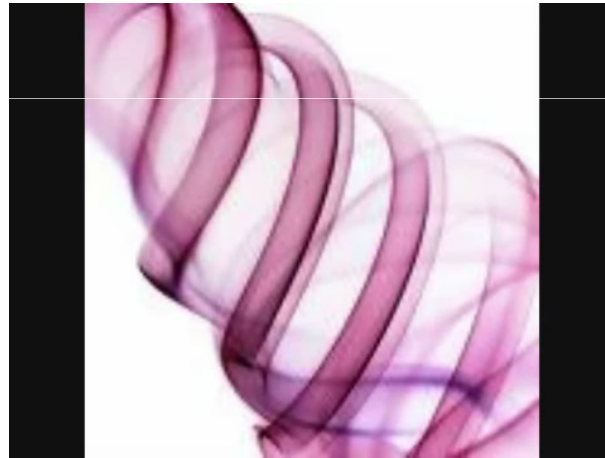


Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição no escoamento em tubos
- ### Experiência de Reynolds

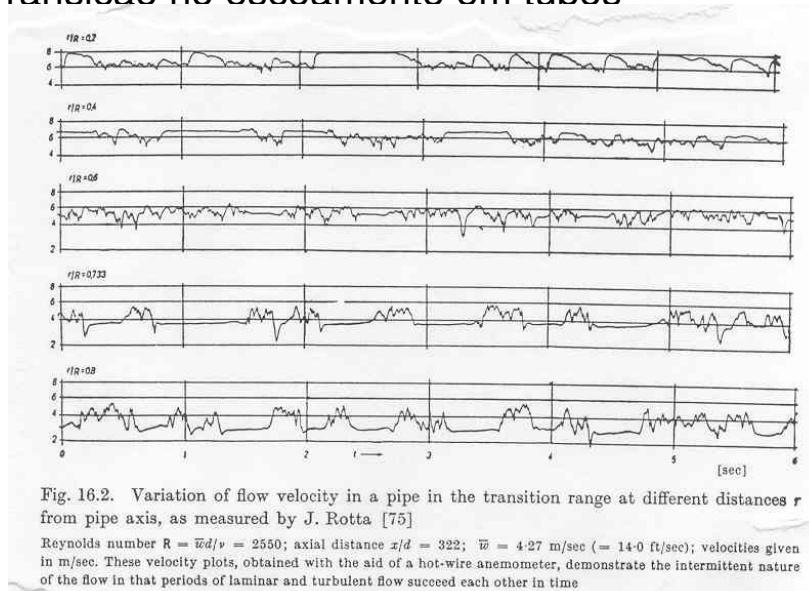


Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição no escoamento em tubos



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

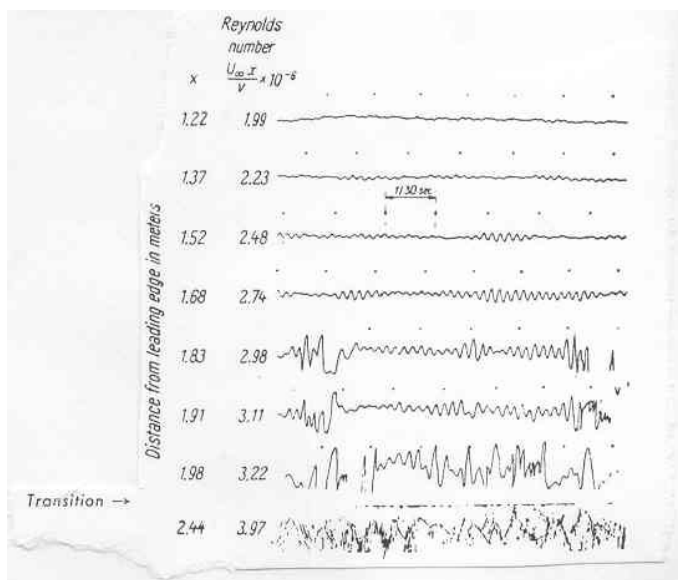
- Transição em camada limite
 - Parâmetros que influenciam mais a transição
- Gradiente de pressão
- Características da parede (rugosidade)
- Natureza das perturbações exteriores (intensidade de turbulência do escoamento exterior)

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição em camada limite



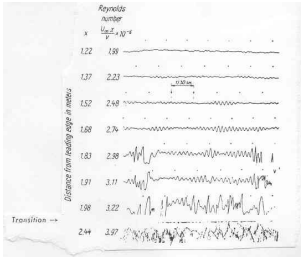
Reynolds crítico

Reynolds de transição

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Fases do processo de transição de uma camada limite

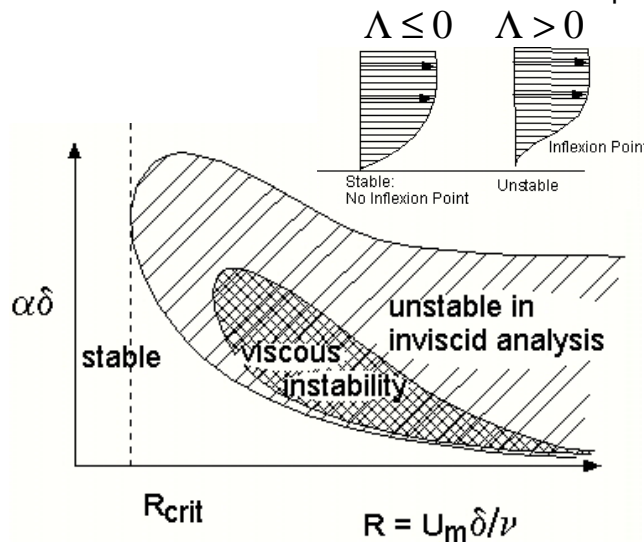


1. Instabilidade da camada limite a perturbações essencialmente bi-dimensionais. Ondas de Tollmien-Schlichting
2. Aparecimento de perturbações secundárias produzindo tri-dimensionalidade
3. Formação aleatória de erupções turbulentas
4. Degerescência em regime turbulento

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição em camada limite

Curva de estabilidade neutra de um perfil de camada limite



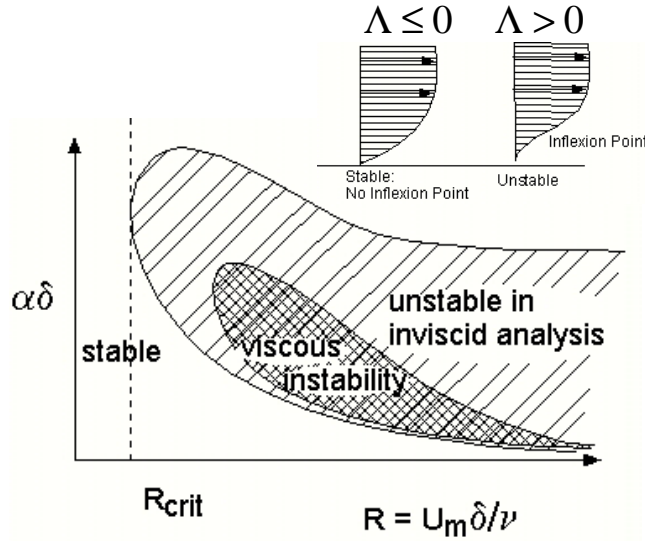
- α é o número de onda da perturbação (comprimento de onda = $\frac{2\pi}{\alpha}$)
- R_{crit} corresponde ao número de Reynolds mínimo que separa as zonas estável e instável do diagrama
- R_{trans} corresponde ao número de Reynolds a partir do qual temos regime turbulento $R_{trans} > R_{crit}$

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição em camada limite

Curva de estabilidade neutra de um perfil de camada limite



Perfil sem ponto de inflexão

$$R_e \rightarrow \infty \Rightarrow \alpha \rightarrow 0$$

Instabilidade viscosa

Perfil com ponto de inflexão

$$R_e \rightarrow \infty \Rightarrow \alpha \rightarrow \alpha_\infty$$

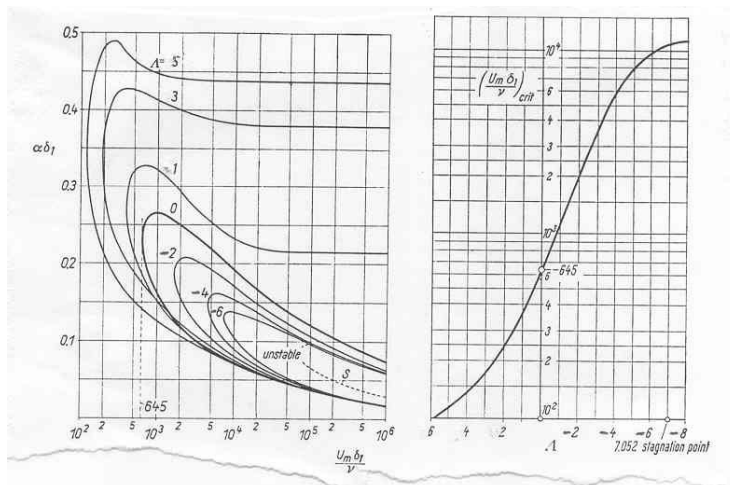
Instabilidade invíscida

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição em camada limite



$$\Lambda = -\frac{\delta^2}{\nu} \frac{dU_e}{dx}$$

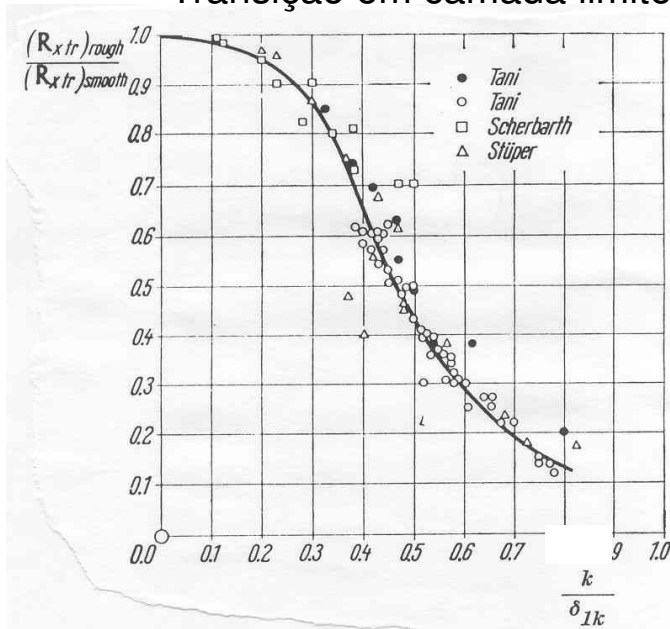
- Gradiente de pressão adverso, $\Lambda > 0$, favorece a ocorrência de transição
- Gradiente de pressão favorável, $\Lambda < 0$, contraria a ocorrência de transição

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição em camada limite



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Efeito de um elemento de rugosidade no Reynolds de transição de uma camada limite numa placa plana

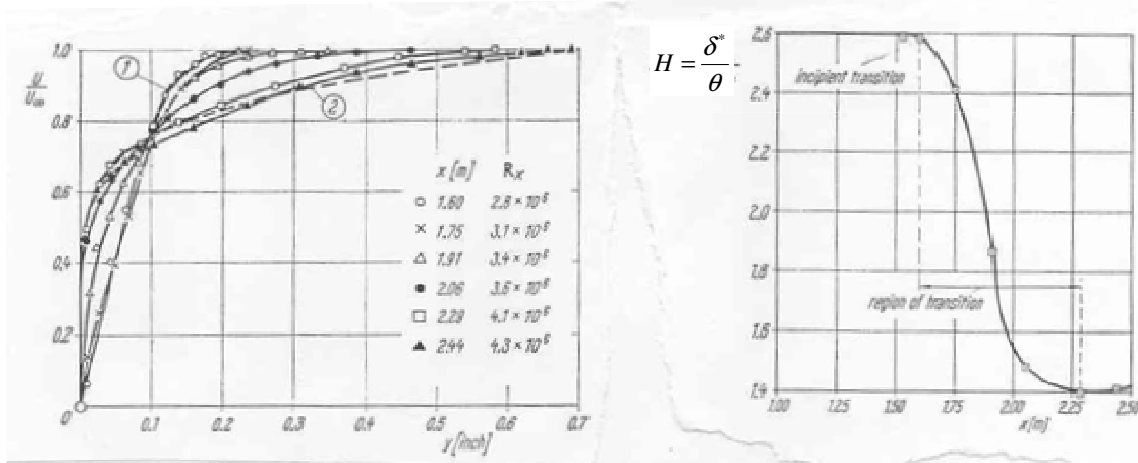
- O aumento da rugosidade favorece a ocorrência de transição

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição em camada limite

Evolução do perfil de velocidade



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição em camada limite

Evolução do perfil de velocidade

- O factor de forma, H , diminui
- A espessura de quantidade de movimento, θ , é aproximadamente constante, se $x_{crit} \simeq x_{trans}$
- A espessura de deslocamento, δ^* , diminui
- O coeficiente de tensão de corte superficial, C_f , aumenta
- Expressão empírica para a determinação de H após a transição

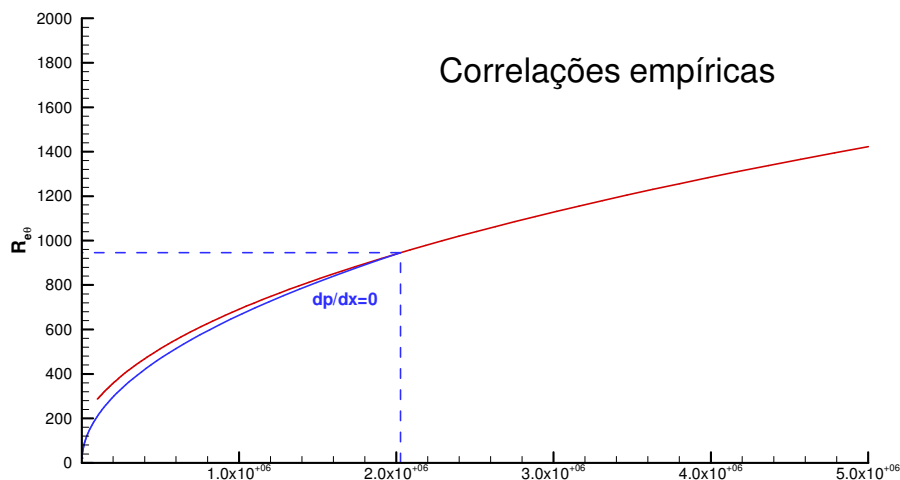
$$H = \frac{1,4754}{\log_{10}(R_{e\theta_{trans}})} + 0,9698$$

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição em camada limite



Cebeci
&
Smith

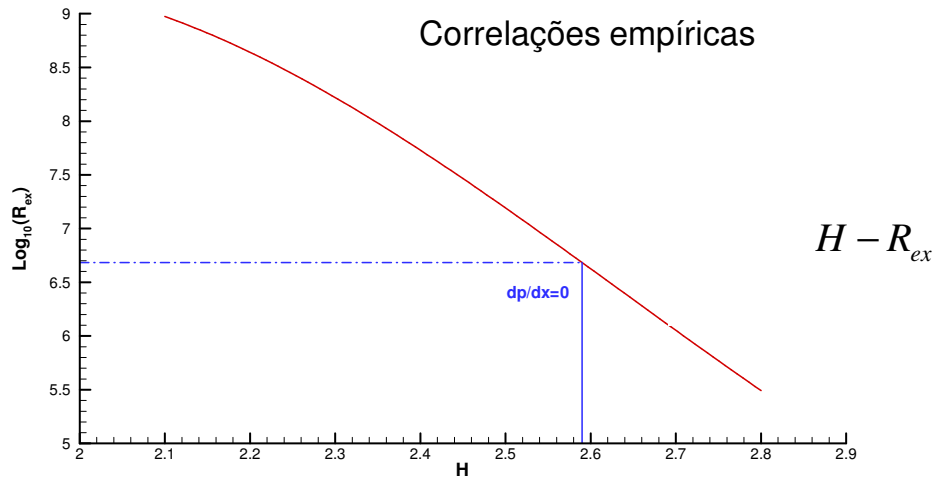
$$R_{e\theta} = 1,174 \left(1 + \frac{22400}{R_{ex}} \right) R_{ex}^{0,46} \quad \text{com } 10^5 < R_{ex} < 4 \times 10^7$$

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aerodinâmica

Transição de Regime Laminar a Turbulento

- Transição em camada limite



$$\log_{10}(R_{ex}) = -40,4557 + 64,8066H - 26,7538H^2 + 3,3819H^3 \quad \text{com} \quad 2.1 < H < 2.8$$

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica