



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PQI 5871 Fluidodinâmica Computacional

Ardson dos Santos Vianna Júnior - ASVJ
e-mail: ardson@usp.br





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Aula 9

Turbulência – Modelos

PQI 5871 Fluidodinâmica computacional



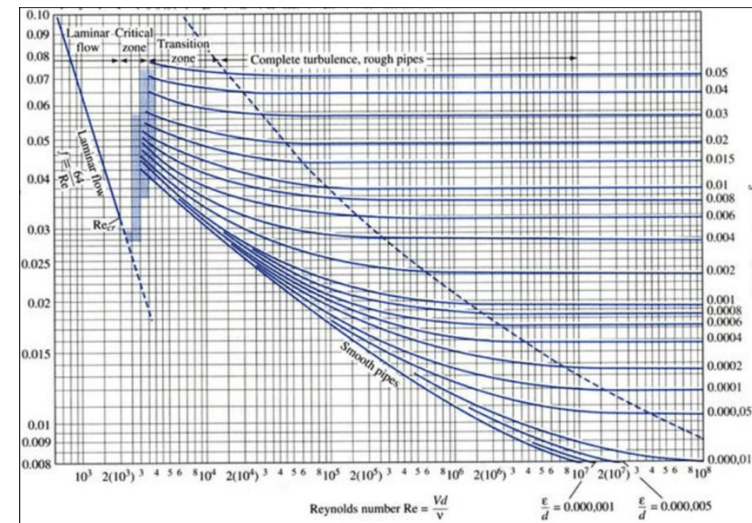
Roteiro

- Correlações
- Métodos integrais
- Médias de Reynolds
- Simulação de grandes escalas (LES)
- Simulação numérica direta (DNS)



Modelagem - correlações

- Calculam o coeficiente de atrito como função dos números de Reynolds, Nusselt e Prandtl;
- Modelo semi-empírico.





Modelagem – Met. integrais

- Integram, ao menos em uma coordenada, as equações de governo da dinâmica dos fluidos;
- Utiliza muito os dados experimentais e a física do problema;
- Refazer quando um novo tipo de escoamento é calculado.





Modelagem – Média Reynolds

- *Reynolds Average Navier-Stokes Equations* (RANS), média das equações de Navier-Stokes;
- Reynolds propôs decompor as propriedades em uma parcela média e outra de flutuação.






Modelagem – LES

- Médias sobre um pequena região espacial;
- É uma metodologia intermediária à simulação numérica direta (DNS);
- O efeito dos pequenos vórtices sobre os outros turbilhões é modelado.





Modelagem – DNS

- *Direct Numerical Simulation* (DNS), simulação numérica direta;
 - Solução numérica das equações de Navier-Stokes, sem simplificações;
 - Limitada a baixos números de Reynolds e a geometrias simples.
- 



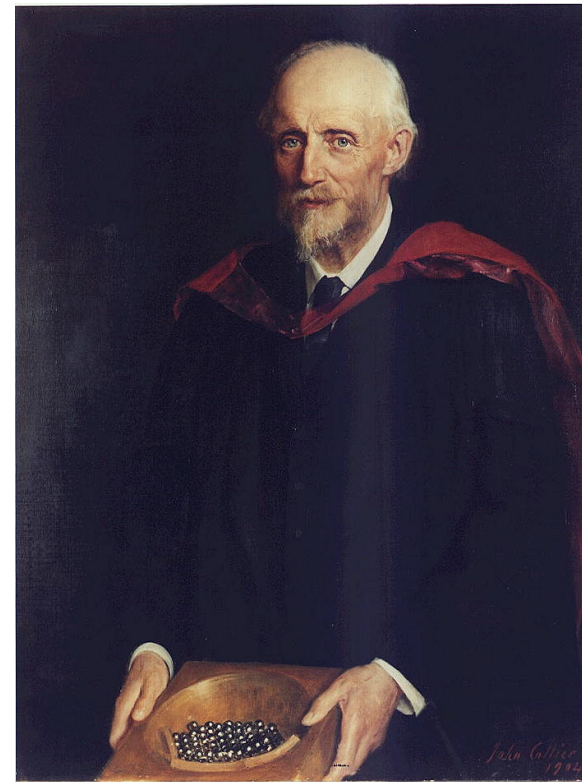
Modelagem - RANS

- Reynolds (1886)
- Boussinesq (1877)
- Taylor (1915)
- Prandtl (1925)
- Von Karmam (1911)
- Kolmogorov (1941)



RANS

- Reynolds (1886)
- equações médias para escoamentos turbulentos



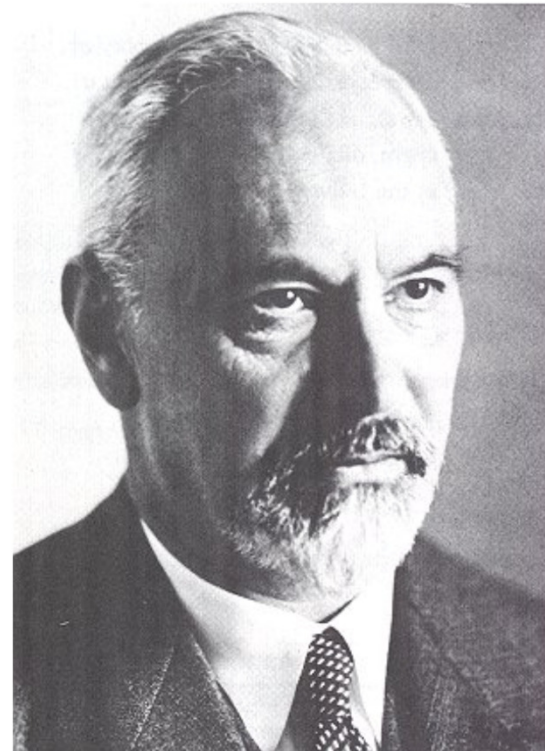
RANS

- Boussinesq (1877)
- tensões turbulentas de Reynolds são proporcionais às taxas de deformação



RANS

- Prandtl (1875-1953)
- Conceito de comprimento de mistura



RANS

- Geoffrey Ingram Taylor (1886-1975)
- C. de mistura em termos de afastamento médio de uma partícula em relação à linha de corrente média



RANS

- von skolloskislaki Kármán Todor (1881-1963)
- Denvolvimento de soluções dos perfis médios de velocidade



RANS

- Kolmogorov (1903-1987)
- A teoria estatística de turbulência



Conclusões

- A turbulência é um problema em aberto;
- Várias formas de modelagem;
- RANS, LES, DNS,...
- Evolução



Referências

- Wilcox, D.C., *Turbulence Modeling for CFD*, 3rd ed., 2006;
- Hinze, J.O., 1975, *Turbulence*, McGraw-Hill;
- TENNEKES, H., and, LUMLEY, J. L., *A first course in turbulence*, 1972, The MIT Press;

