

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Aerodinâmica
1º Semestre 2019/20

Exame de 3ª época, 7 de Setembro de 2020

Hora : 18:30

Duração : 3 horas

1ª Parte : Sem consulta

2ª Parte : Consulta livre

Nome :

Número:

1ª Parte

Em cada alínea, assinale com verdadeiro (V) ou falso (F) cada um dos quadrados, sabendo que podem existir todas as combinações possíveis de verdadeiro e falso. A cotação das respostas é a seguinte:

Quadrado correctamente preenchido 0,25 valores.

Quadrado em branco 0

Quadrado incorrectamente preenchido -0,15 valores.

1. Nos modelos matemáticos para simular escoamentos **turbulentos**:

- Em simulação numérica directa (DNS) as variáveis dependentes variam no espaço e no tempo.
- A Simulação das Grandes Escalas (LES) tem variáveis dependentes que só variam no espaço.
- A conservação da massa depende apenas do campo de velocidades se o fluido for incompressível.
- Quando se resolvem as equações em média temporal de Reynolds (RANS), o efeito das flutuações de velocidade é desprezado.

2. As equações de conservação da massa e balanço de quantidade de movimento para um escoamento bi-dimensional de um fluido incompressível podem-se escrever da seguinte forma:

$$\frac{\partial \rho u_x}{\partial x} + \frac{\partial \rho u_y}{\partial y} = 0 \quad (1);$$

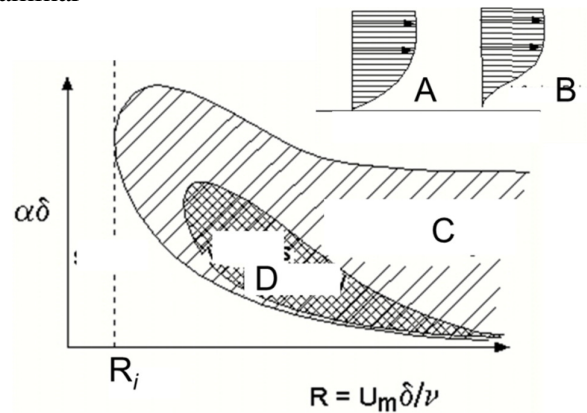
$$\frac{\partial \rho u_x u_x}{\partial x} + \frac{\partial \rho u_y u_x}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \right) \quad (2);$$

$$\frac{\partial \rho u_x u_y}{\partial x} + \frac{\partial \rho u_y u_y}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \left(\frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial y} \right) \right) \quad (3).$$

x e y são as coordenadas de um referencial Cartesiano, u_x e u_y são as componentes da velocidade, p é a pressão relativa, ρ é a massa específica do fluido e μ é a viscosidade dinâmica do fluido.

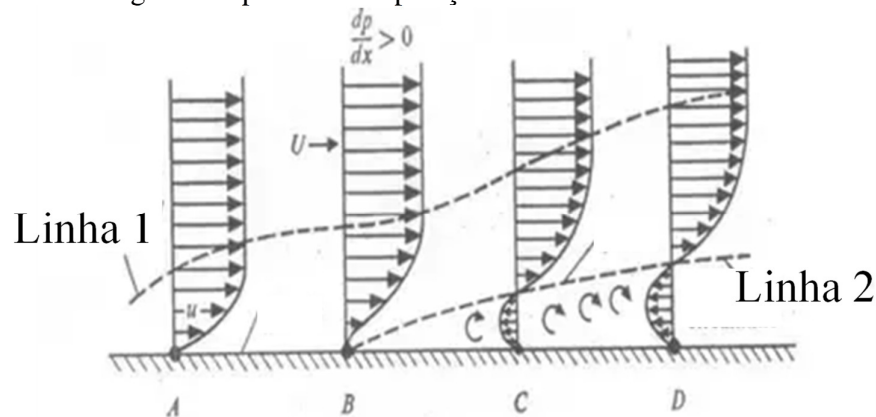
- As equações só são válidas para escoamento permanente/estacionário.
- Os termos da equação (1) representam caudais mássicos Kg/s.
- As equações apresentadas são iguais às equações em média temporal de Reynolds (RANS) se u_x , u_y e p representarem valores médios e μ for a viscosidade efectiva.
- São satisfeitas pela solução exacta de um escoamento permanente (estacionário), incompressível e irrotacional de um fluido perfeito

3. A figura em baixo representa as curvas de estabilidade neutra de perfis de velocidade de camadas limite laminar



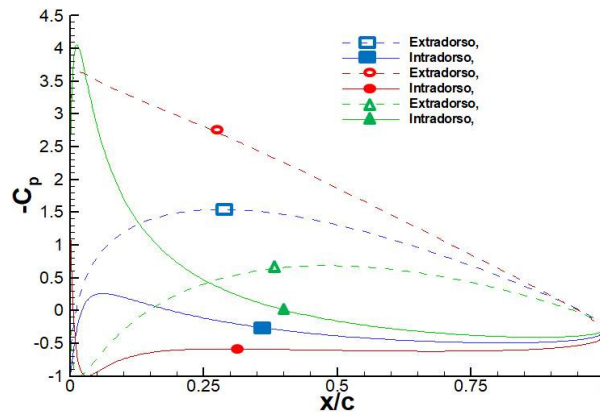
- O escoamento é laminar para números de Reynolds inferiores a R_i .
- A região C corresponde à região instável do perfil de velocidade A.
- A região D é típica de escoamentos em gradiente de pressão favorável.
- A variável representada no eixo das ordenadas está relacionada com a frequência das perturbações aplicadas ao perfil de velocidade.

4. A figura em baixo retirada da WEB ilustra os perfis de velocidade de uma camada limite numa região em que ocorre separação.



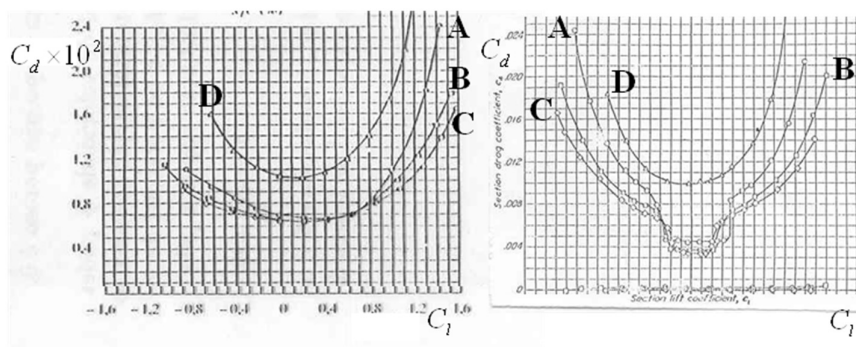
- A linha 2 não corresponde a uma linha de corrente.
- O desenho está mal feito porque a velocidade do escoamento exterior em A tem de ser maior do que em B.
- A linha 1 ilustra uma linha de corrente do escoamento exterior à camada limite.
- Em B, o coeficiente de tensão de corte superficial é nulo, $C_f = 0$.

5. A figura em baixo apresenta as distribuições de pressão de um perfil de Joukowski determinadas em fluido perfeito a ângulos de ataque $\alpha=0^\circ$, $\alpha=10^\circ$ e $\alpha=-10^\circ$.



- O perfil não tem espessura e tem curvatura positiva.
- O centro de pressão coincide com o centro aerodinâmico para $\alpha = 0^\circ$.
- O coeficiente de força na direcção x (paralela à corda) é nulo para a distribuição identificada com um rectângulo (a azul).
- O coeficiente de momento em torno do centro do perfil é maior do que zero para a distribuição identificada com um triângulo (a verde).

6. A figura em baixo apresenta o coeficiente de resistência C_d em função do coeficiente de sustentação C_l de dois perfis sustentadores a três números de Reynolds entre 10^6 e 10^7 e para um dos números de Reynolds com rugosidade na superfície dos perfis.

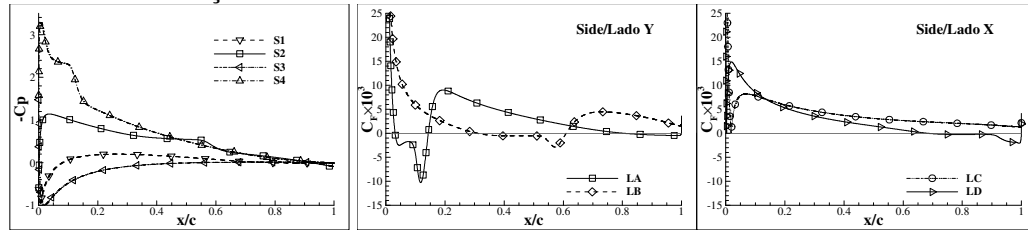


Perfil 1

Perfil 2

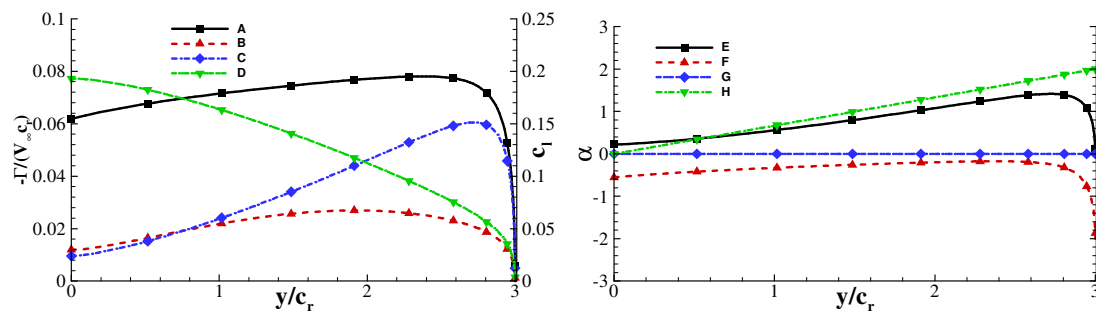
- O perfil 2 tem uma gama de ângulos de ataque para a qual não existe pico de sucção.
- O número de Reynolds mais baixo corresponde às linhas C.
- O aumento de C_d com a aplicação de rugosidade deve-se exclusivamente à resistência de atrito.
- Se a gama de número de Reynolds diminuir para 10^5 a 10^6 , a forma das curvas obtidas para os dois perfis não se alteraria significativamente.

7. A figura em baixo apresenta as distribuições do (simétrico) do coeficiente de pressão ($-C_p$) e do coeficiente de tensão de corte superficial ($C_{fo} = \tau_w / (1/2 \rho U_\infty^2)$) ao longo da corda (x/c) do perfil NACA 0015 a ângulos de ataque de cinco e dez graus ($\alpha = 5^\circ$ e $\alpha = 10^\circ$) a um número de Reynolds baseado na corda c , velocidade do escoamento de aproximação V_∞ e viscosidade cinemática do fluido ν igual a $Re = 1,8 \times 10^5$. Os resultados foram obtidos com as equações de Navier-Stokes em média temporal de Reynolds suplementadas pelo modelo de viscosidade turbulenta $k-\omega$ SST com um modelo de transição.



- A linha S2 corresponde ao extradorso do perfil para um ângulo de ataque de 5° .
- O lado X corresponde ao extradorso do perfil.
- A camada limite do extradorso do perfil a um ângulo de ataque de 10° exhibe separação.
- A linha LA corresponde ao ângulo de ataque de 5° .

8. A figura em baixo apresenta a distribuição de circulação Γ , coeficiente de sustentação C_l , ângulo de ataque geométrico α_{geom} e ângulo de ataque efectivo α_e ao longo da semi-envergadura (raíz da asa em $y=0$) de duas asas finitas com o mesmo alongamento $\Lambda = 10$ ao mesmo ângulo de ataque. Uma das asas tem uma secção simétrica e a outra tem uma secção com curvatura positiva. c_r é a corda na raíz da asa.



- As duas asas são retangulares.
- A linha B corresponde ao coeficiente de sustentação da asa que tem uma secção com curvatura positiva.
- As asas estão a um ângulo de ataque $\alpha = 0^\circ$.
- A linha F corresponde ao ângulo de ataque efectivo da asa que tem a distribuição de circulação D.

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Aerodinâmica
1º Semestre 2019/20

Exame de 3ª época, 7 de Setembro de 2020

Hora : 18:30

Duração : 3 horas

1ª Parte : Sem consulta

2ª Parte : Consulta livre

2ª Parte

1. O escoamento de um fluido incompressível sobre uma placa plana hidraulicamente lisa foi calculado utilizando as equações da continuidade e de balanço de quantidade de movimento em média temporal de Reynolds. As tensões de Reynolds são determinadas com o modelo de viscosidade turbulenta $k-\omega$ SST. O número de Reynolds baseado na velocidade à entrada V_∞ , comprimento da placa L e viscosidade do fluido ν é igual a $Re = 10^7$. A malha utilizada tem uma distância do primeiro ponto de cálculo à parede constante e igual a $\Delta y = 4,2 \times 10^{-4}L$.
 - a) Como foi determinada a tensão de corte na parede? **Justifique quantitativamente a sua resposta.**

Para $x = 0,5L$ e $y = 0,1\delta$, em que δ é a espessura da camada limite:
 - b) Estime o valor da componente da velocidade média paralela à parede V_x/V_∞ ;
 - c) Estime a energia cinética da turbulência k e a viscosidade turbulenta ν_t . Apresente os resultados em coordenadas da parede, k^+ e ν_t^+ .
2. Considere o escoamento permanente, bi-dimensional, potencial de um fluido incompressível em torno de um perfil de Joukowski que tem um coeficiente de momento em torno do centro aerodinâmico igual a $C_{m_{ca}} = \pi^2/180$ e um ângulo de sustentação nula igual a $\alpha = -2^\circ$. O escoamento de aproximação uniforme tem um ângulo de ataque α e um módulo da velocidade igual a U_∞ . O perfil é obtido a partir da transformação conforme de um cilindro circular de raio 1m que satisfaz a condição de Kutta.
 - a) Determine a espessura relativa e a flecha relativa do perfil.
 - b) Determine a localização do(s) ponto(s) de coeficiente de pressão mínimo no perfil em função do ângulo de ataque. Justifique a sua resposta.
 - c) Determine o ângulo de ataque para o qual o centro de pressão se encontra no bordo de fuga.
3. A figura 1 apresenta as distribuições do coeficiente de pressão ($1-C_p$) ao longo da corda (x/c) de em perfil a um ângulo de ataque de três graus ($\alpha = 3^\circ$) a um número de Reynolds baseado na corda c , velocidade do escoamento de aproximação V_∞ e viscosidade cinemática do fluido ν igual a $Re = 10^6$. Para a zona da bolha de

separação, o gráfico apresenta uma linha obtida um fluido perfeito e outra em fluido real.

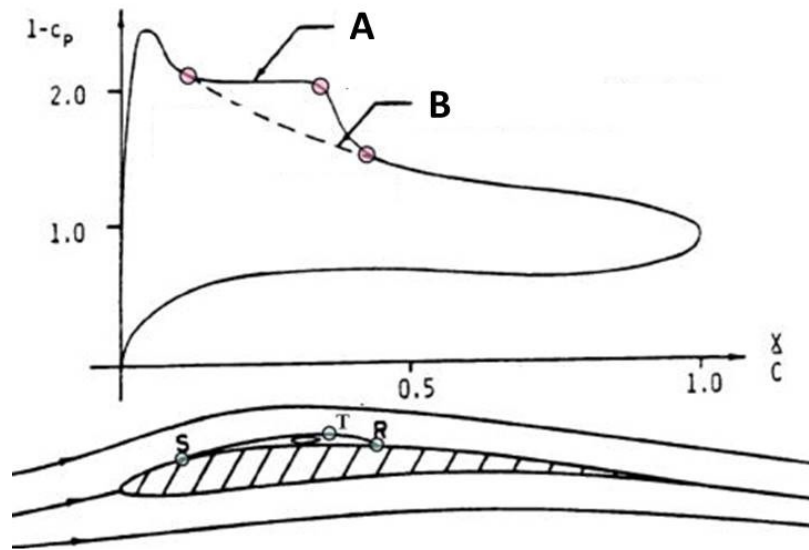


Figura 1

- a) Identifique qual a linha correspondente a fluido perfeito e a linha correspondente a fluido real. **Justifique claramente a sua resposta.**
 - b) A solução em fluido real pode ter sido obtida pelas equações de Navier-Stokes em média temporal de Reynolds suplementadas pelo modelo de viscosidade turbulenta $k-\omega$ SST? Justifique a sua resposta.
 - c) Como se altera qualitativamente a distribuição de pressão obtida em fluido real se o número de Reynolds aumentar para $Re = 10^7$. Justifique a sua resposta.
4. Uma pequena aeronave a voar a altitude constante à velocidade de cruzeiro tem uma força de propulsão T igual a $T = 0,03W$ em que W é o peso da aeronave. A asa com a mesma secção ao longo da envergadura, não tem flecha ou diedro e tem uma área de $S = 10\text{m}^2$ e um alongamento $\Lambda = 10$. O coeficiente de resistência de perfil da secção da asa é igual a $C_{d_{perfil}} = 0,00615$ (a pequenos ângulos de ataque) e a potência de propulsão à velocidade de cruzeiro é igual a $P = 3,462\text{kW}$. Admita em primeira aproximação que a força de resistência da aeronave se deve apenas à asa e que a distribuição de circulação é elíptica.
- $\nu_{ar} = 1,51 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$, $\rho_{ar} = 1,2 \text{kg}/\text{m}^3$.
- a) Determine o coeficiente de sustentação à velocidade de cruzeiro.
 - b) Determine a velocidade de cruzeiro.
 - c) Considere a aeronave a voar com vento frontal a $5\text{km}/\text{h}$ (contra o movimento). Se a configuração da asa permanecer inalterada, quanto varia o tempo necessário para percorrer 100km a altitude e velocidade constante em relação à situação sem vento?