

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Aerodinâmica
1º Semestre 2016/17

Exame de 3ª época, 8 de Julho de 2017

Hora : 18:00

Duração : 3 horas

1ª Parte : Sem consulta

2ª Parte : Consulta limitada a livros de texto e folhas da disciplina

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.

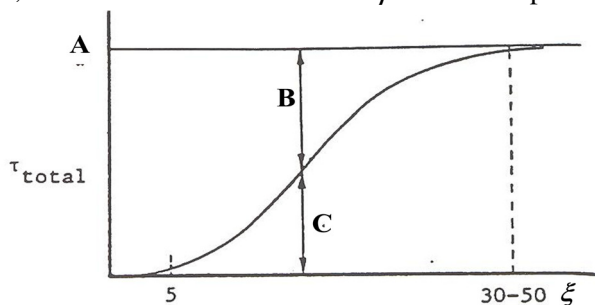
1. Nos modelos matemáticos para simular escoamentos turbulentos:

- Na Simulação das Grandes Escalas (LES) o escoamento pode ser permanente (estacionário) e/ou bi-dimensional.
- As incógnitas da simulação directa (DNS) e das equações em média de Reynolds (RANS) têm o mesmo significado.
- Os modelos de turbulência para as equações em média de Reynolds (RANS) podem não utilizar o conceito de viscosidade turbulenta.
- Nas equações em média de Reynolds (RANS), a conservação/balanço de massa e de quantidade de movimento são satisfeitas instantaneamente.

2. A transição de uma camada limite de regime laminar a turbulento

- pode ser retardada com a utilização de sucção na parede.
- origina sempre um aumento do coeficiente de resistência de um corpo finito.
- só pode ocorrer em gradiente de pressão nulo ou adverso.
- provoca um aumento do factor de forma H .

3. A figura em baixo apresenta a tensão de corte total ($\tau_{total} = \mu \partial u / \partial y - \rho \overline{uv}$) de uma camada limite turbulenta na vizinhança de uma parede (u_τ é a velocidade de fricção, y a distância à parede, ν a viscosidade cinemática e ρ a massa específica do fluido).



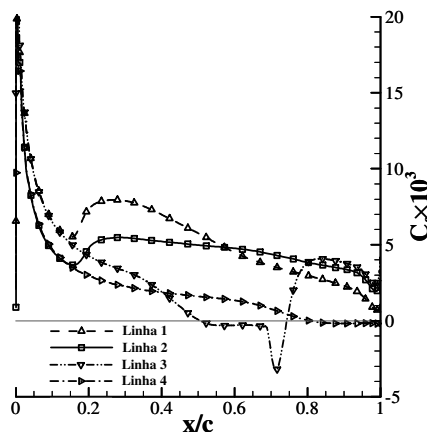
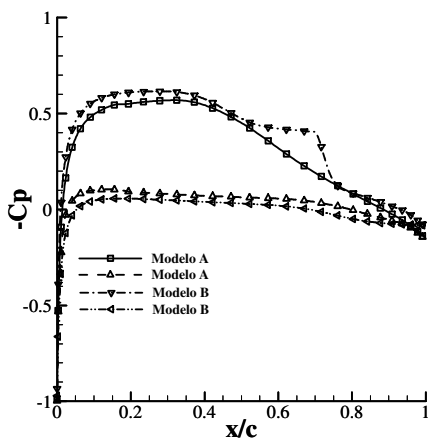
$\xi = \frac{u_\tau y}{\nu}$.

$A = \rho u_\tau^2$.

$B = -\rho \overline{uv}$.

O gráfico corresponde a uma situação de gradiente de pressão nulo.

4. As figuras em baixo apresentam as distribuições do coeficiente de pressão C_p e de coeficiente de tensão de corte superficial C_f de um perfil Eppler 374 (curvatura positiva) a um ângulo de ataque de 1° e número de Reynolds de 3×10^5 calculadas com as equações de Navier-Stokes em média de Reynolds e dois modelos de turbulência distintos (A e B).



O coeficiente de resistência de atrito obtido com o modelo A é maior do que o obtido com o modelo B.

O coeficiente de sustentação obtido com o modelo A é maior do que o obtido com o modelo B.

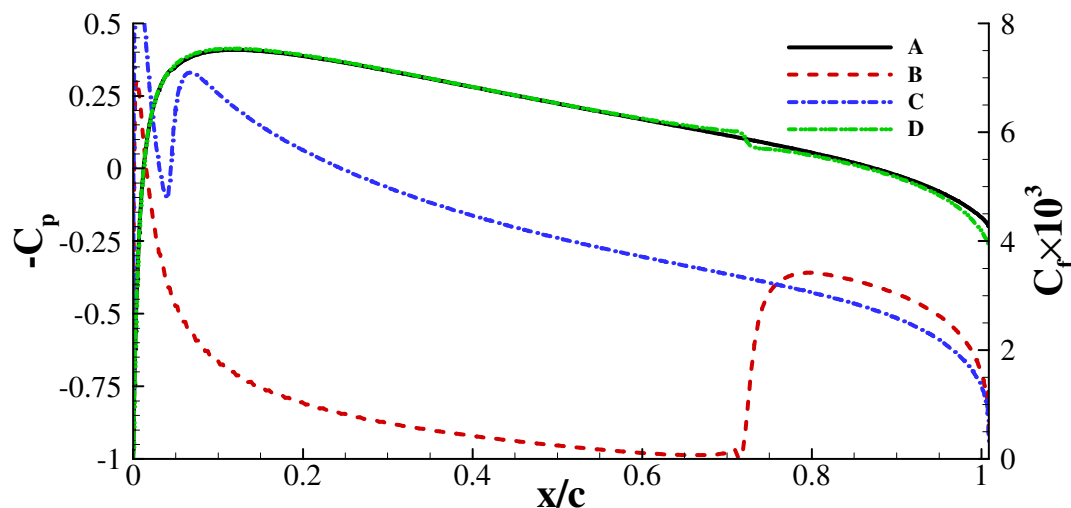
O escoamento determinado com o modelo B apresenta separação da camada limite em regime laminar para o extradorso e intradorso do perfil.

A localização da transição de regime laminar a turbulento obtida com o modelo A é fisicamente incorrecta.

5. O centro aerodinâmico de um perfil sustentador

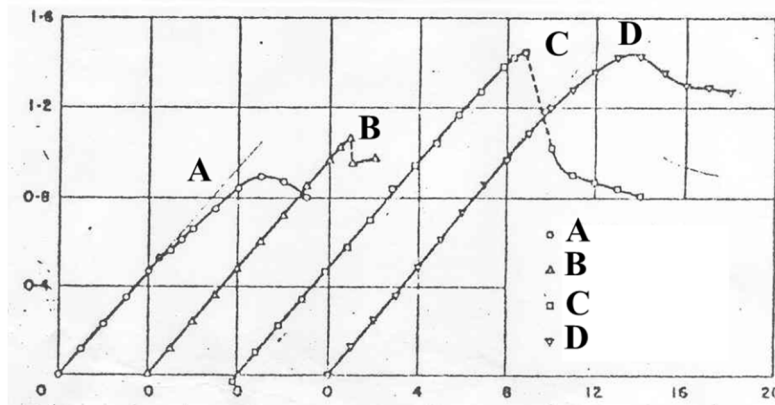
- é o ponto em relação ao qual o valor absoluto do momento de picada é máximo.
- só se pode determinar enquanto a variação do coeficiente de sustentação com o ângulo de ataque for linear.
- está sempre localizado entre o centro do perfil e o bordo de fuga.
- pode coincidir com o centro de pressão.

6. A figura em baixo apresenta as distribuições do (simétrico) do coeficiente de pressão ($-C_p$) e do coeficiente de tensão de corte superficial ($C_f = \tau_w / (1/2 \rho U_\infty^2)$) ao longo da corda (x/c) do perfil NACA 0012 a um ângulo de ataque de zero graus ($\alpha = 0^\circ$) e a um número de Reynolds de $2,88 \times 10^6$. 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 e sem um modelo para simular transição de regime laminar a turbulento.



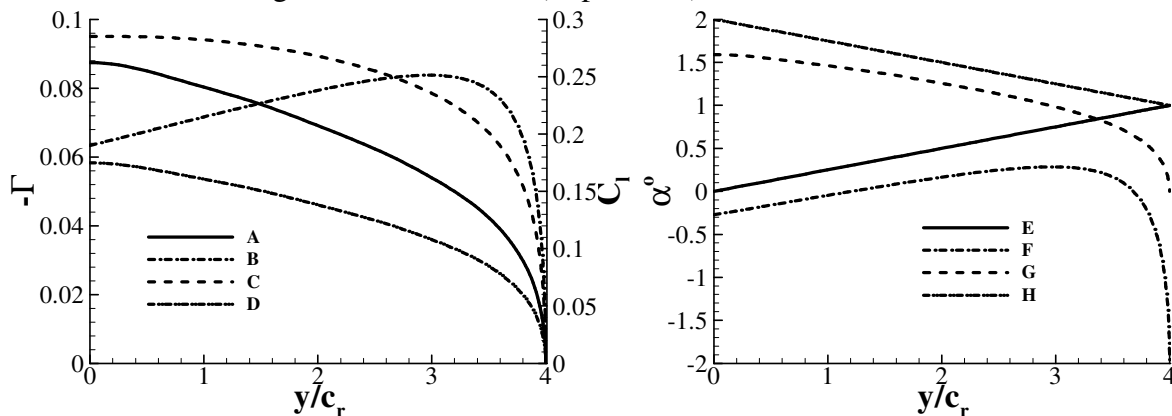
- A linha B corresponde à distribuição de $-C_p$ obtida com o modelo de transição.
- O coeficiente de resistência C_d determinado com o modelo de transição é menor do que o obtido sem modelo de transição.
- O coeficiente de sustentação C_l obtido nas duas simulações é idêntico.
- A linha D corresponde à distribuição de pressão do cálculo efectuado com modelo de transição.

7. A figura em baixo apresenta a variação do coeficiente de sustentação com o ângulo de ataque de quatro perfis sustentadores a um determinado número de Reynolds.



- O perfil mais espesso é o A.
- O perfil que deve exibir o maior pico de sucção para um ângulo de ataque de 4° é o D.
- Os perfis B e C exibem perda tipo bordo de ataque.
- O escoamento em torno do perfil A a 7° de ângulo de ataque deve exibir separação de camada limite no extradorso junto ao bordo de ataque.

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 a mesma envergadura. Uma das asas tem uma secção simétrica e a outra tem uma secção com curvatura positiva, sendo uma rectangular e outra afilada (trapezoidal). c_r é a corda na raíz da asa.



- A asa de secção simétrica é afilada.
- A linha C corresponde à distribuição de circulação da asa afilada (trapezoidal).
- O ângulo de ataque geométrico da asa com secção assimétrica corresponde à linha E.
- O alongamento da asa rectangular é igual a 8.

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Aerodinâmica
1º Semestre 2016/17

Exame de 3ª época, 18 de Julho de 2017

Hora : 18:00

Duração : 3 horas

1ª Parte : Sem consulta

2ª Parte : Consulta limitada a livros de texto e folhas da disciplina

2ª Parte

1. Considere o escoamento de um fluido incompressível sobre uma placa plana. Admita que a camada limite se desenvolve em regime turbulento desde o bordo de ataque e que o perfil de velocidade média U pode ser aproximado por um perfil tipo potência $\frac{U}{U_e} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/7}$ com $0 \leq y \leq \delta$, em que U_e é a velocidade do escoamento exterior, y é a distância à superfície da placa e δ é a espessura da camada limite. O coeficiente de tensão de corte superficial C_f ao longo da placa pode ser aproximado por $C_f = 0,023Re_\theta^{-0,25}$ em que $Re_\theta = \frac{U_e \theta}{\nu}$, θ é a espessura de quantidade de movimento e ν é a viscosidade cinemática do fluido.
 - a) Estime a evolução da espessura da camada limite δ ao longo da placa. Apresente o resultado utilizando quantidades adimensionais.
 - b) Estime o coeficiente de resistência C_D de uma placa de comprimento l .
 - c) Para uma distância correspondente a $Re_x = 10^7$, estime a velocidade média e a energia cinética da turbulência k em coordenadas (adimensionais) da parede num ponto localizado em $y = 0,1\delta$.
2. Considere um Joukowski obtido a partir da transformação conforme do escoamento estacionário, bi-dimensional, potencial e incompressível em torno de um cilindro circular de raio 1 do referencial $\zeta = \xi + i\eta$. O perfil tem uma espessura relativa $t/c = 0,1$ e uma flecha relativa de $f/c = 0,12$. O escoamento de aproximação uniforme tem um ângulo de ataque α e uma velocidade com um módulo igual a U_∞ .
 - a) Escreva o potencial complexo que representa o escoamento no plano do cilindro em função do ângulo de ataque α indicando claramente o sistema de eixos que utilizou e a localização do centro do cilindro.
 - b) Determine a variação do coeficiente de sustentação C_l com o ângulo de ataque α a pequenos ângulos de ataque.

- c) Determine a posição do(s) ponto(s) de estagnação para o ângulo de sustentação nula.
3. Um perfil alar apresenta os seguintes coeficientes aerodinâmicos a pequenos ângulos de ataque α ($x = 0$ no bordo de ataque e momento positivo no sentido anti-horário):
- Coeficiente de momento em torno do centro aerodinâmico, $C_{Mca} = 0,05$.
 - Localização do centro de pressão, $\frac{x_{cp}}{c} = \frac{1,381\alpha + 0,0985}{5,73\alpha + 0,201}$.
- a) Os resultados apresentados foram obtidos em fluido real ou fluido perfeito? Justifique claramente a sua resposta.
- b) Determine a localização do centro aerodinâmico.
- c) Estime o coeficiente de resistência de pressão a um ângulo de ataque de 0° e número de Reynolds de 3×10^6 , sabendo que o coeficiente de resistência do perfil é igual a $C_d = 0,008$ e que o ponto de coeficiente de pressão mínimo no extradorso e intradorso do perfil se encontra aproximadamente a 20% da corda.
4. Uma aeronave tem uma asa com 10m^2 de área e alongamento 8. A secção da asa é um perfil Eppler para o qual o ângulo de sustentação nula é igual a -2° graus. A pequenos ângulos de ataque ($\alpha < 6^\circ$) e na gama de números de Reynolds a que a aeronave opera, os coeficientes aerodinâmicos da asa são dados por:

$$C_L = 4,8\alpha \text{ com } \alpha \text{ em radianos}$$

$$C_D = 0,042C_L^2 + 0,006$$

Admita em primeira aproximação que a força de resistência da aeronave se deve apenas à asa. ($v_{ar} = 1,51 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$, $\rho_{ar} = 1,2 \text{kg/m}^3$)

- a) Indique se a asa tem torção (positiva ou negativa) e se a distribuição de circulação é elíptica. Justifique a sua resposta.
- b) Determine o ângulo de ataque para minimizar a energia consumida por unidade de tempo quando a aeronave perde 40m de altitude por cada km percorrido numa zona sem vento.
- c) Se a aeronave não alterar a configuração da asa em relação à alínea b), qual a velocidade de vento horizontal necessária (positiva ou negativa) para a aeronave voar a altitude constante à velocidade de 160km/h?