

AB-701: Desempenho de Aeronaves

Modelo aerodinâmico

Flávio Ribeiro Mauricio Morales Flávio Silvestre

Departamento de Mecânica do Voo
Divisão de Engenharia Aeroespacial
Instituto Tecnológico de Aeronáutica



2017

PARTE II

Modelo Aerodinâmico

Força Aerodinâmica

Definição



Força Aerodinâmica

Definição

- ▶ sustentação: perpendicular ao vetor velocidade
- ▶ arrasto: na direção do vetor velocidade
- ▶ escritos usando **coeficientes adimensionais** de arrasto (C_D) e sustentação (C_L):

$$D = \frac{1}{2} \rho(H) V_\infty^2 S C_D(\alpha, M, Re)$$

$$L = \frac{1}{2} \rho(H) V_\infty^2 S C_L(\alpha, M, Re) \text{ , onde}$$

$q_\infty = \frac{1}{2} \rho(H) V_\infty^2$ é a pressão dinâmica do escoamento não perturbado

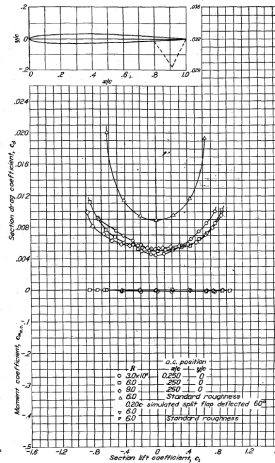
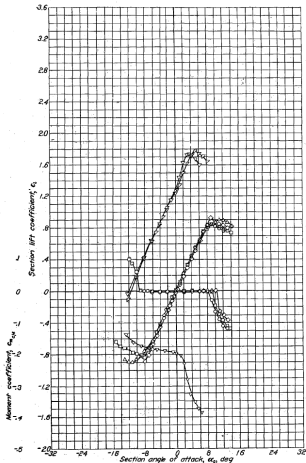
S é a área de referência (área da asa, ou área em planta da aeronave)

- ▶ parâmetros para a determinação dos coeficientes:
 - ▶ α : ângulo de ataque (AoA)
 - ▶ M : número de Mach \rightarrow compressibilidade
 - ▶ Re : número de Reynolds \rightarrow viscosidade

Força Aerodinâmica

Coeficiente de sustentação C_L

Exemplo: NACA 0006 (simétrico)

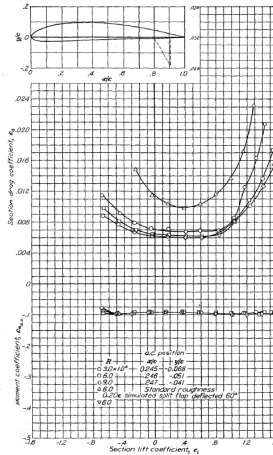
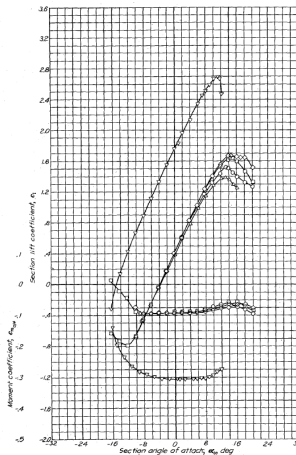


NACA 0006

Força Aerodinâmica

Coeficiente de sustentação C_L

Exemplo: NACA 4412 (arqueado)

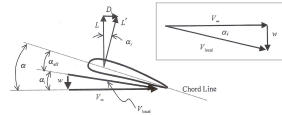


NACA 4412

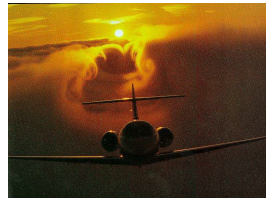
Força Aerodinâmica

Coeficiente de arrasto C_D

- ▶ comumente divide-se em arrasto parasita (C_{D0}) e arrasto de induzido.
- ▶ arrasto de sustentação (arrasto induzido), origem: efeito tridimensional das asas (finitas)
- ▶ medida de arrasto: DRAG COUNTS
1 drag count $\Rightarrow C_D = 0.0001$



fonte: Yechout et. al, **Introduction to aircraft flight mechanics**, AIAA Educational Series, 2003, pp. 44.



Força Aerodinâmica

Polar de arrasto

$$C_D = C_D(\alpha, M, \text{Re})$$

$$C_L = C_L(\alpha, M, \text{Re})$$

- ▶ eliminando α :

$$C_D = C_D(C_L, M, \text{Re})$$

- ▶ para cada conjunto $\{M, \text{Re}\}$, o gráfico $C_D = C_D(C_L, M, \text{Re})$ é chamado **polar de arrasto**
- ▶ polar de arrasto simétrica:

$$C_D = C_{D0} + K \times C_L^2$$

Força Aerodinâmica

Polar de arrasto

Para uma superfície sustentadora, o fator de arrasto induzido K pode ser calculado como:

$$K = \frac{1}{\pi e AR}$$

onde:

- ▶ e : fator de eficiência de Oswald (0.7 - 0.85 em regime subsônico)
- ▶ AR : alongamento da asa (b^2/S), onde b é a envergadura, e S a área em planta

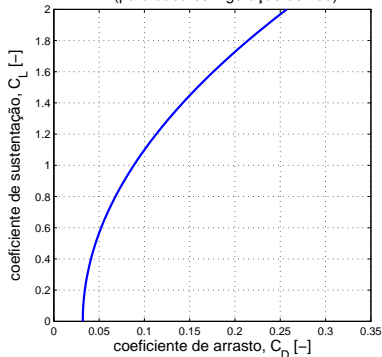
Força Aerodinâmica

Polar de arrasto

Exemplo: A aeronave de alto desempenho A-10 (Fairchild Republic) em vôo horizontal não acelerado possui as seguintes características:

$$C_{D0} = 320 \text{ drag counts}, AR = 6.5, S = 506 \text{ ft}^2, e = 0.87, C_{L_{\max}} = 2.0$$

A-10: polar de arrasto
(para dada configuração de voo)



Força Aerodinâmica

Eficiência aerodinâmica

- chama-se de eficiência aerodinâmica E a razão entre sustentação e arrasto:

$$E = \frac{L}{D} = \frac{C_L}{C_D} = \frac{C_L}{C_{D0} + K \times C_L^2}$$

- para dado C_L deseja-se que C_D seja o menor possível
- máxima eficiência aerodinâmica: $\partial E / \partial C_L = 0$

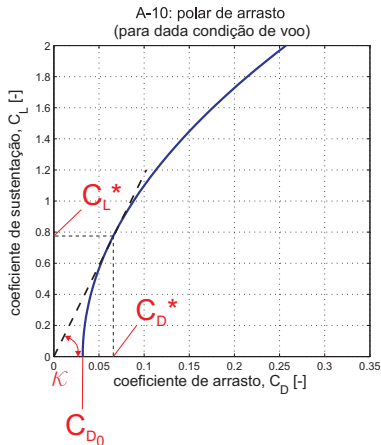
$$C_L|_{E_{\max}} = C_L^* = \sqrt{\frac{C_{D0}}{K}}$$

$$C_D|_{E_{\max}} = C_D^* = 2C_{D0}$$

$$E_{\max} = \frac{1}{2\sqrt{K C_{D0}}}$$

Força Aerodinâmica

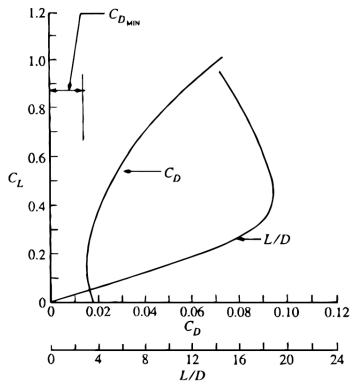
Eficiência aerodinâmica



- ▶ $E = \frac{C_L}{C_D} = \tan \kappa$
- ▶ o máximo ângulo κ tangencia a parábola

Força Aerodinâmica

Eficiência aerodinâmica



Força Aerodinâmica

Eficiência aerodinâmica

Máxima eficiência aerodinâmica para diferentes tipos de aeronave:

planadores	35
aviões de transporte (M 0.8)	18
aviões de combate subsônicos	10
aviões supersônicos	7
helicópteros	3

