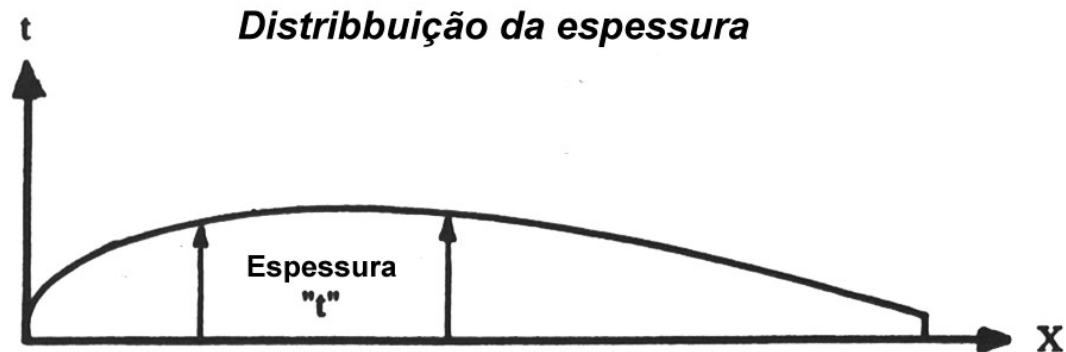
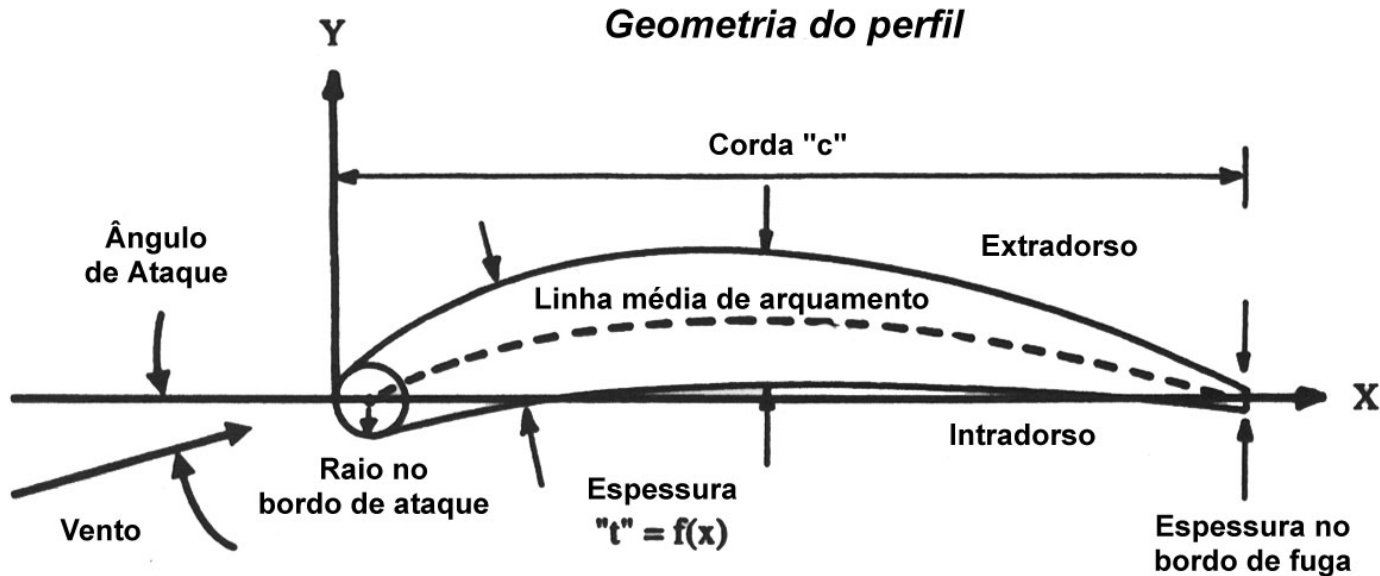


Escolha do Perfil e da Geometria

- Antes de se iniciar o desenho da aeronave é necessário definir alguns parâmetros:
 - Perfil;
 - Geometria da asa;
 - Geometria da cauda;
 - Carga alar;
 - Carga de tracção ou carga de potência;
 - Peso à descolagem;
 - Peso de combustível;
 - Dimensões da asa, cauda e motor;
 - Dimensão e geometria da fuselagem;
 - Etc..

Seleccção do perfil (1)

- Geometria do perfil:

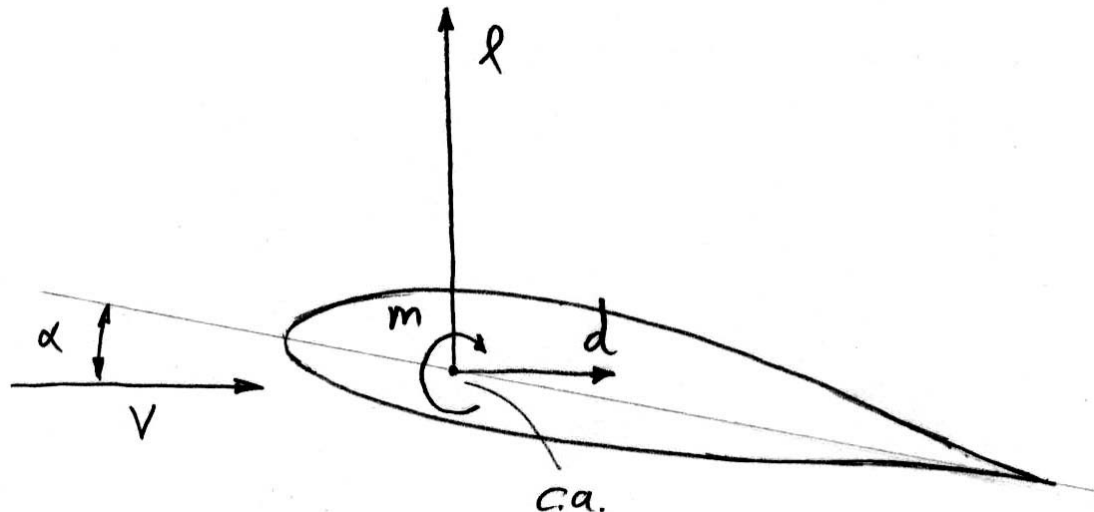


Seleccção do perfil (2)

- Geometria do perfil (cont.):
 - A distribuição de espessura afecta o arrasto parasita;
 - A linha de arqueamento afecta a sustentação e o arrasto dependente da sustentação (arrasto de pressão).

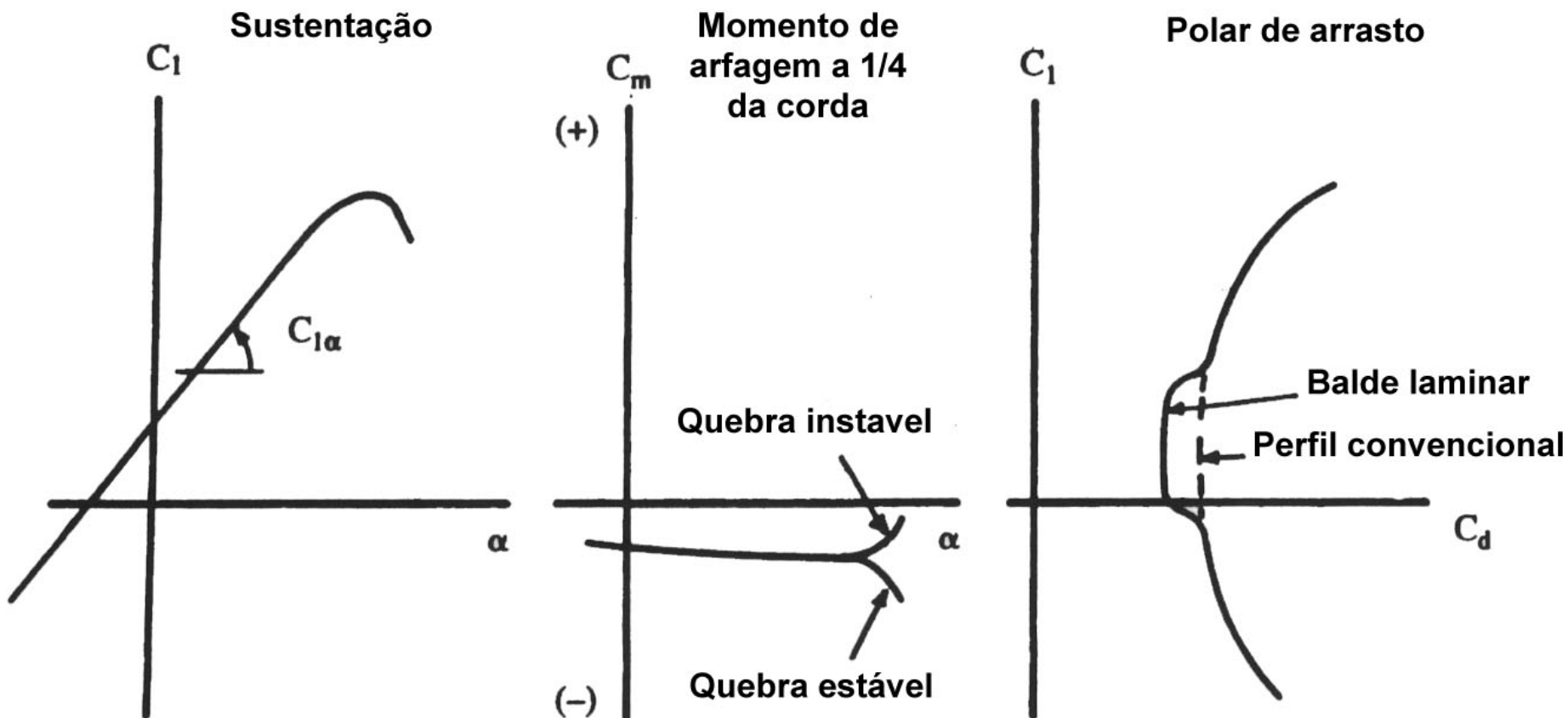
Seleção do perfil (3)

- Sustentação e arrasto:
 - Coeficiente de sustentação – $C_l = l/(qc)$;
 - Coeficiente de arrasto – $C_d = d/(qc)$;
 - Coeficiente de momento – $C_m = m/(qc^2)$;
 - $q = 0,5\rho V^2$ é a pressão dinâmica;
 - C_m é normalmente definido em torno de $c/4$ ($C_{mc/4}$).



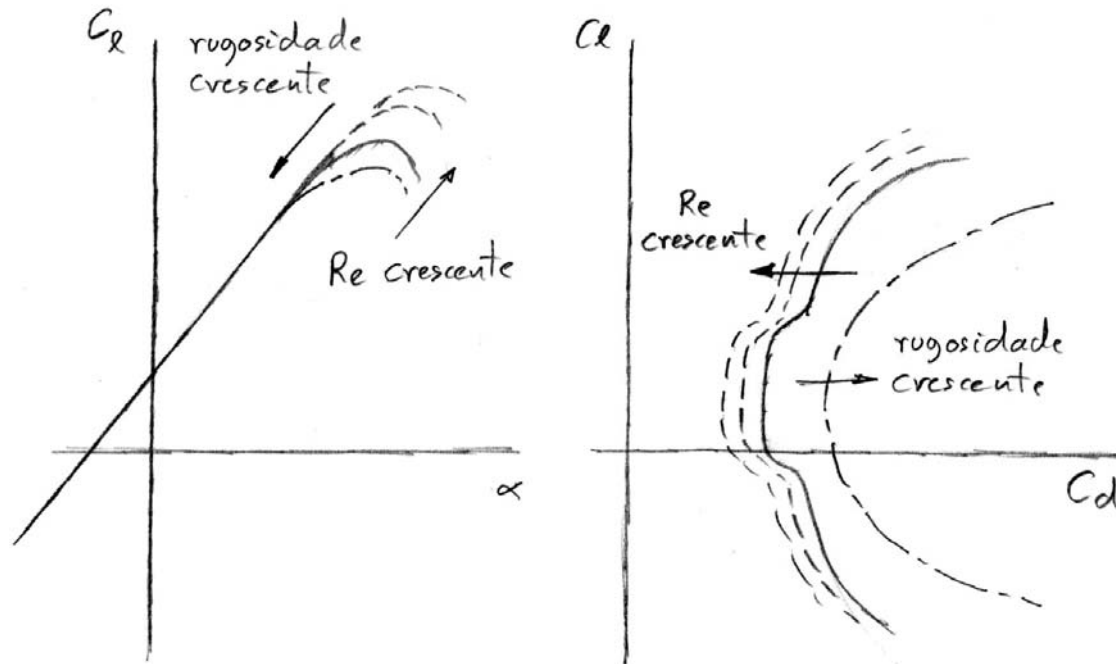
Seleccção do perfil (4)

- Sustentação e arrasto (cont.):



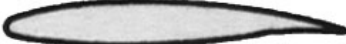
Seleção do perfil (5)

- Sustentação e arrasto (cont.):
 - Na escolha do perfil é necessário saber qual o tipo de acabamento da superfície da asa e qual o Re de operação da aeronave;
 - $Re = \text{forças dinâmicas} / \text{forças viscosas} = \rho V c / \mu$;
 - Ao nível do mar $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ e $\mu = 17,9 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$;



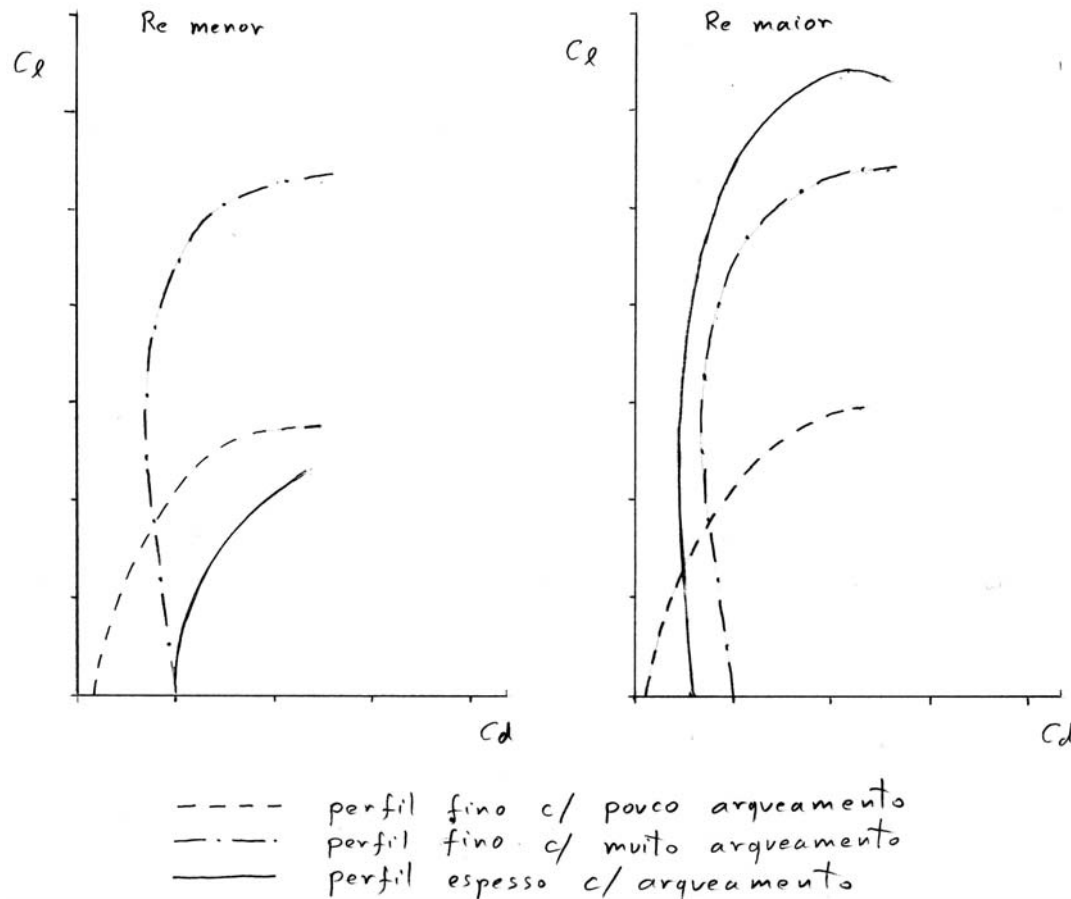
Seleccção do perfil (6)

- Famílias de perfis:

<u>Primeiros</u>	<u>NACA</u>	<u>Modernos</u>
 Wright 1908	 0012 (4 Digit)	 Lissaman 7769
 Bleriot	 2412 (4 Digit)	 Ga (W)-1
 RAF-6	 4412 (4 Digit)	 Ga -0413
 Gottingen, 398	 23012 (5 Digit)	 Liebeck L1003
 Clark Y	 64 A010 (6 Digit)	 C-5A ("Peaky")
 Munk M-6	 65 A008 (6 Digit)	 Supercrítico

Seleccção do perfil (7)

- Famílias de perfis (cont.):
 - Primeiros: tentativa e erro – definidos em túnel de vento;

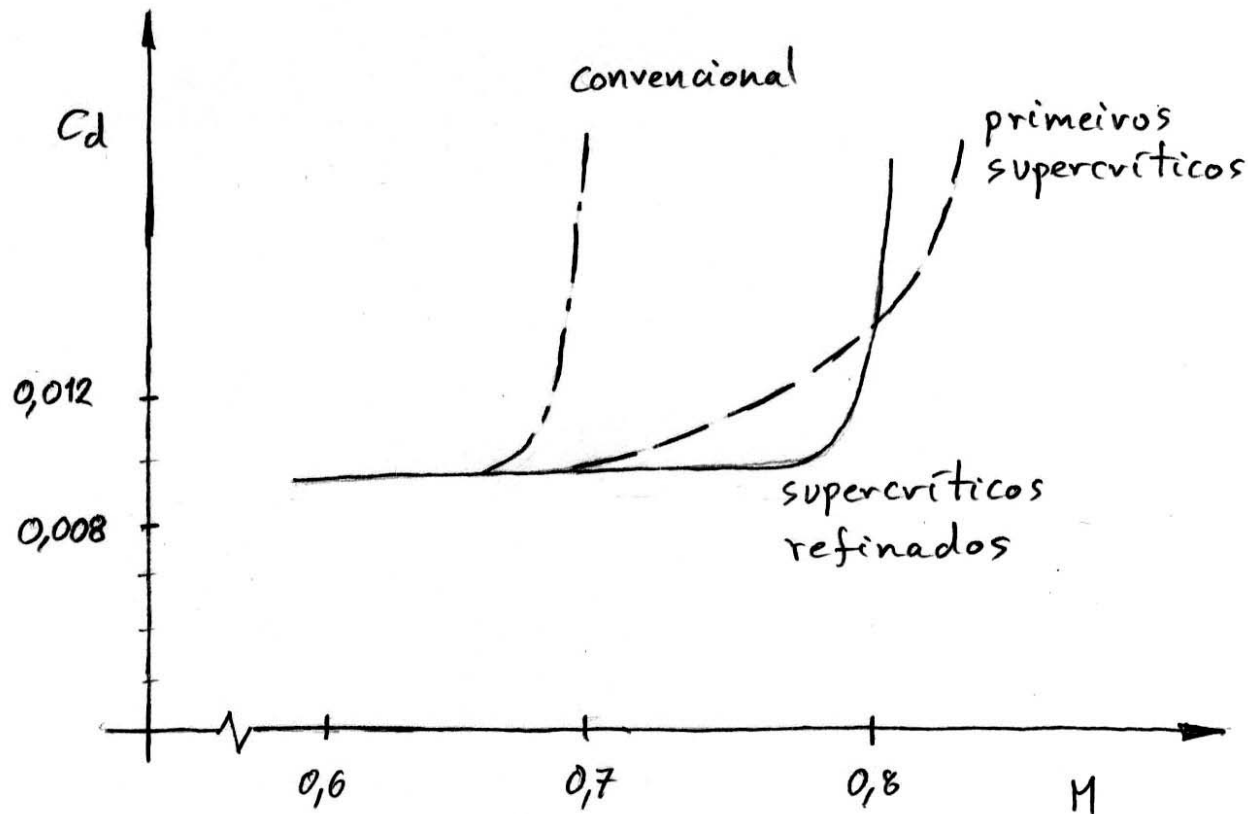


Seleccção do perfil (8)

- Famílias de perfis (cont.):
 - NACA: 1930 – definidos matematicamente;
 - Série 4 (4 dígitos):
 - 1 – percentagem de arqueamento;
 - 2 – posição do arqueamento máximo (1 corresponde a 10 %);
 - 34 – percentagem de espessura (espessura relativa);
 - Série 5 (5 dígitos):
 - 1 – C_l de máxima eficiência (1 corresponde a 0,15);
 - 23 – posição do arqueamento máximo (10 corresponde a 5 %);
 - 45 – percentagem de espessura (espessura relativa);
 - Série 6 (6 dígitos) – perfis laminares:
 - 1 – série;
 - 2 – posição de pressão mínima (1 corresponde a 10 %);
 - 3 – semi-largura do balde (1 corresponde a 0,1);
 - 4 – C_l no centro do balde (1 corresponde a 0,1);
 - 56 – percentagem de espessura (espessura relativa).

Seleccção do perfil (9)

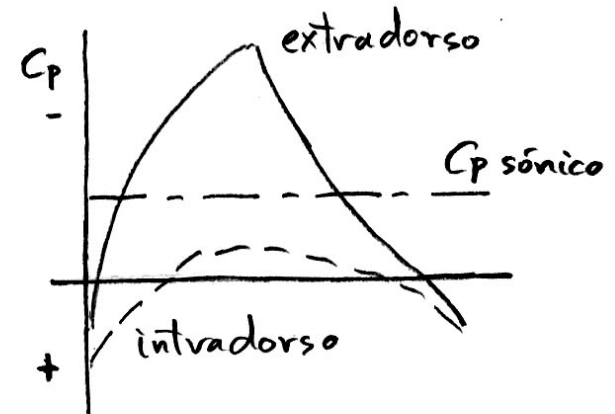
- Famílias de perfis (cont.):
 - Modernos: projectados para aplicações específicas – definidos em CFD e ensaiados em túnel de vento;



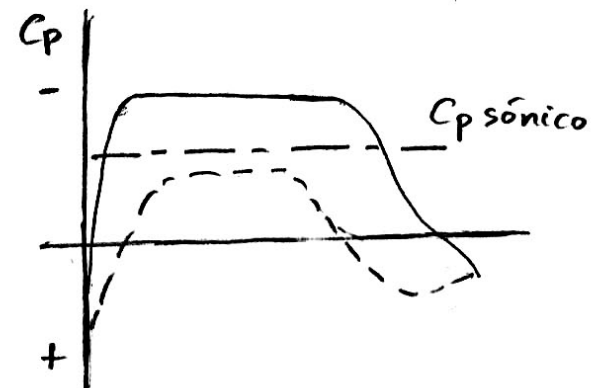
Seleccção do perfil (10)

- Famílias de perfis (cont.):

Perfil
Convencional
 $M=0,7$

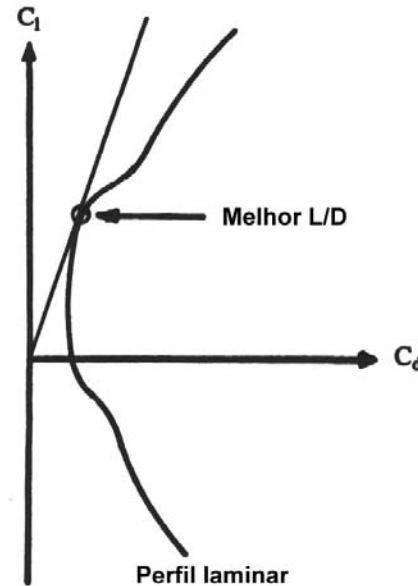
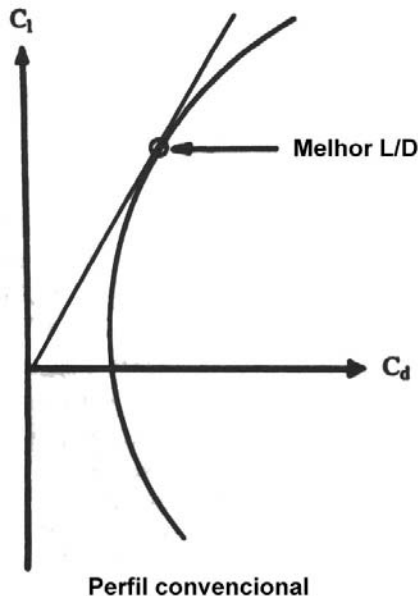


Perfil
supercrítico
 $M=0,8$



Seleccção do perfil (11)

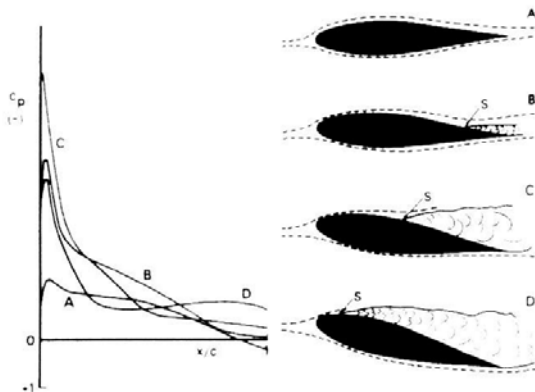
- Coeficiente de sustentação de projecto:
 - A missão deve ser feita o mais próximo possível de $(L/D)_{\max}$;
 - Como primeira aproximação $C_L = C_1$;
 - Logo $W = L = qSC_L = qSC_1$;
 - Ou seja $C_1 = (W/S)/q$;
 - Tipicamente $C_L = 0,5$.



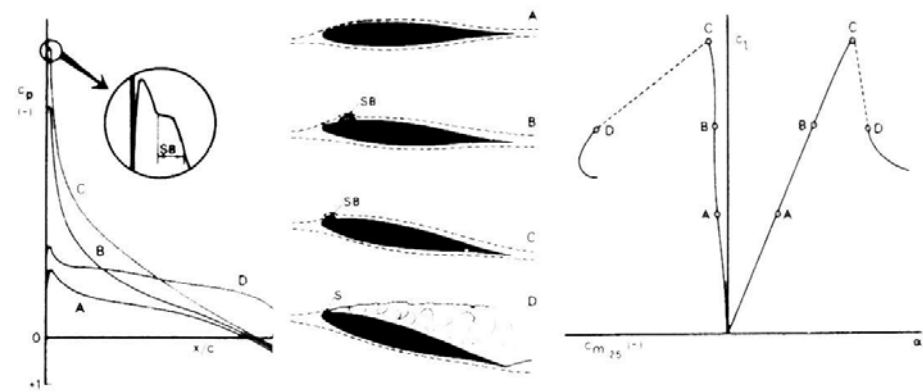
Seleccção do perfil (12)

- Perda:

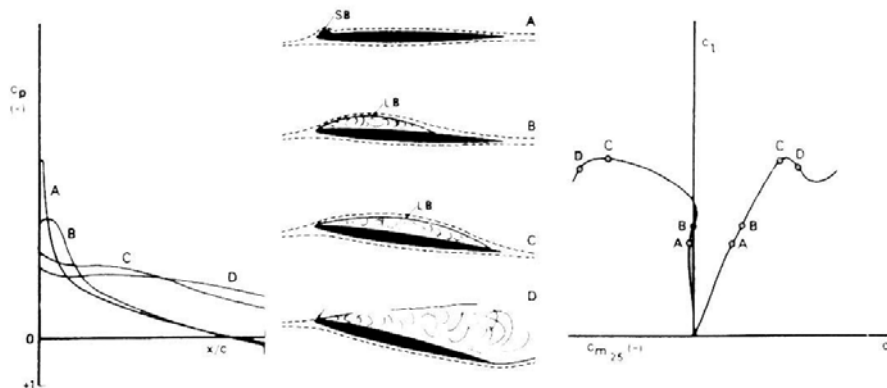
TIPO I PERDA NO BORDO DE FUGA



TIPO II PERDA NO BORDO DE ATAQUE



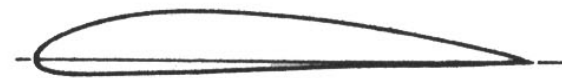
TIPO III PERDA DE PERFIL FINO



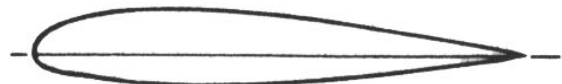
S = separação; SB = bolha curta; LB = bolha longa

Seleccção do perfil (13)

- Perda (cont.):
 - Comportamento de perfis NACA para Re de 6×10^6 :



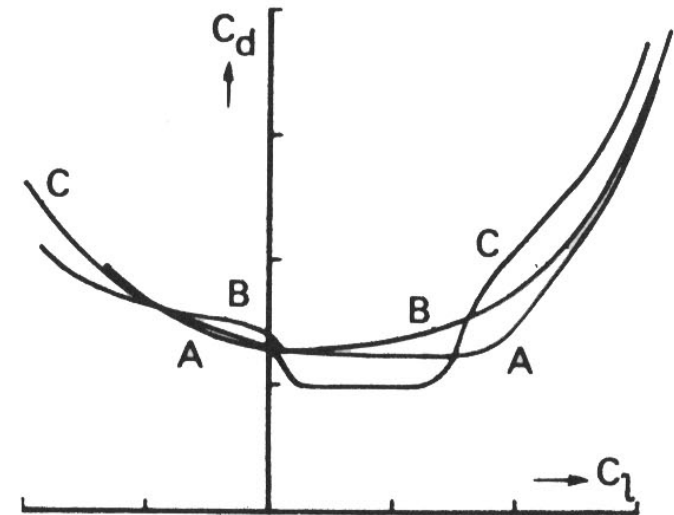
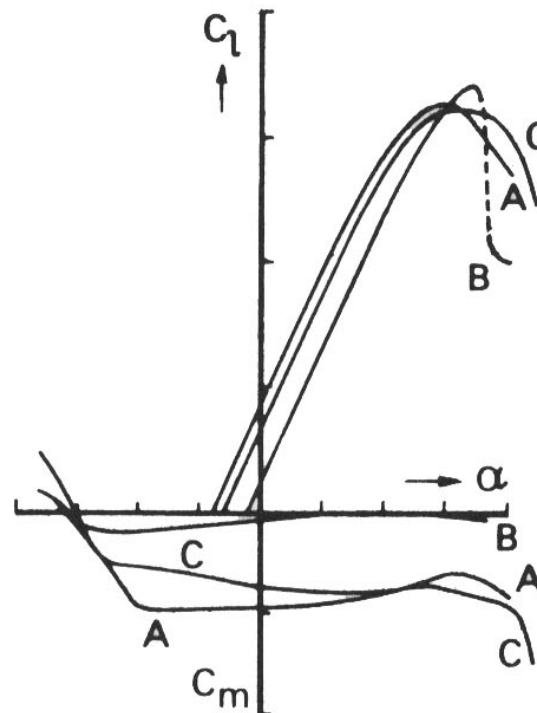
A : NACA 4412



B : NACA 23015



C : NACA 64₂-415

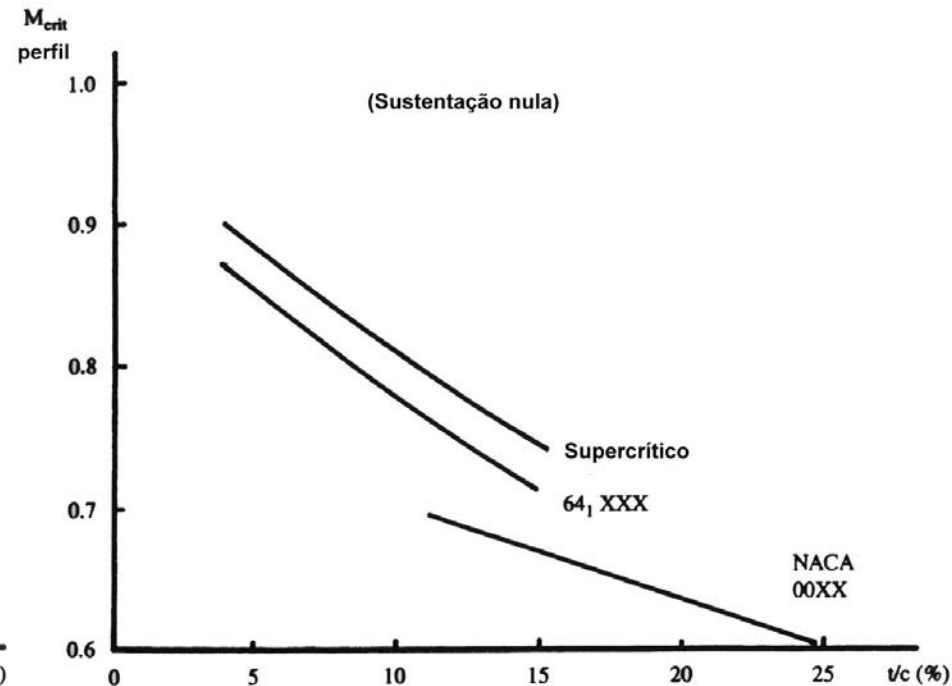
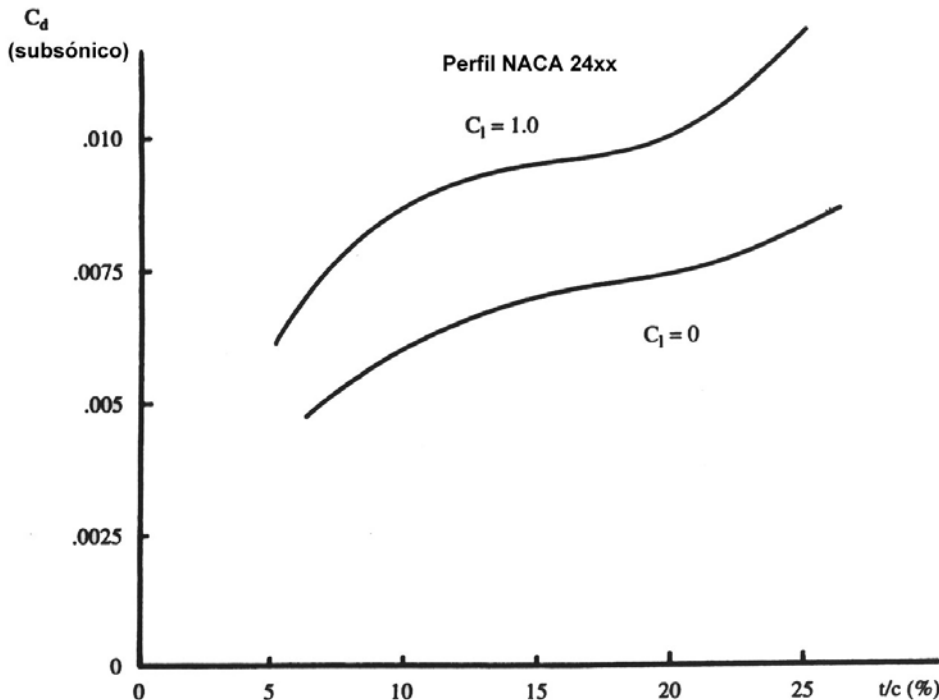


Seleccção do perfil (14)

- Perda (cont.):
 - A geometria da asa pode modificar o comportamento na perda:
 - Efeito da torção geométrica ou aerodinâmica:
 - Reduzindo a incidência na ponta pode atrasar a perda na ponta em relação à raiz proporcionando uma perda mais suave;
 - Por outro lado mantém-se a autoridade dos ailerons em atitudes extremas;
 - O uso de perfis diferentes ao longo da envergadura pode ser usado com o mesmo objectivo;
 - Efeito do alongamento e enflechamento:
 - Para A elevados e Λ reduzidos as características de perda do perfil são mais importantes (efeito 2D);
 - Para A reduzidos e Λ elevados os efeitos tridimensionais do escoamento são mais importantes (efeito 3D).

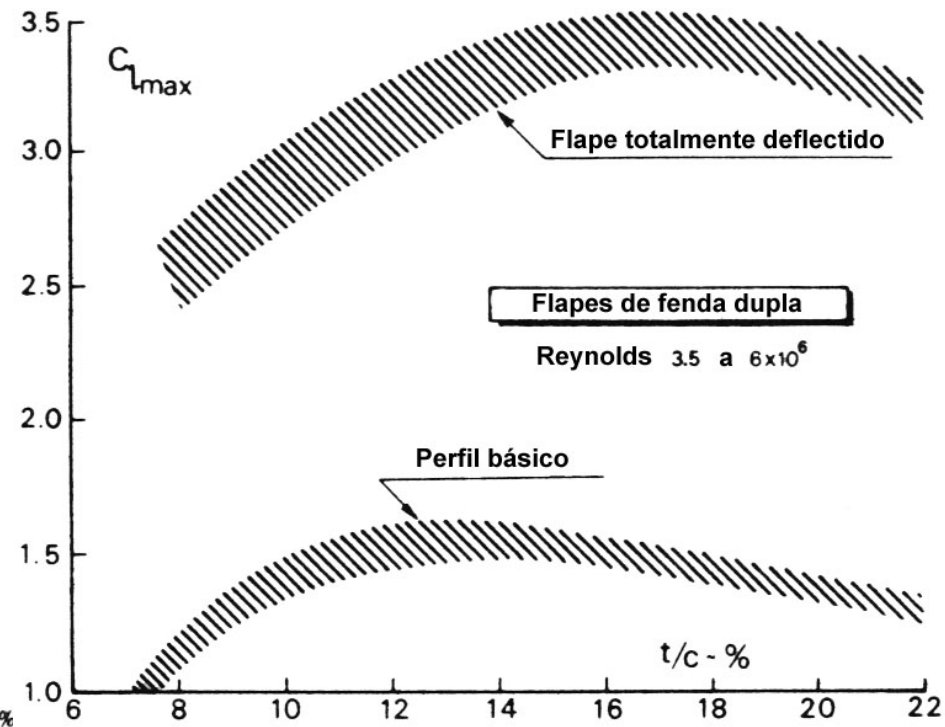
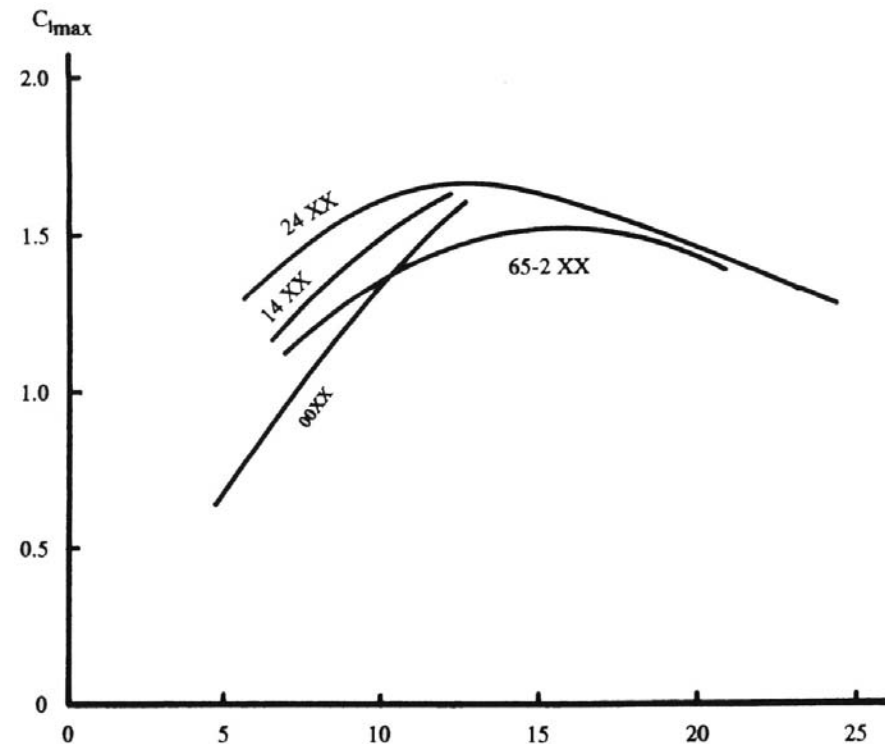
Seleção do perfil (15)

- Espessura relativa:
 - Efeito de t/c no arrasto;
 - Efeito de t/c no Mach crítico.



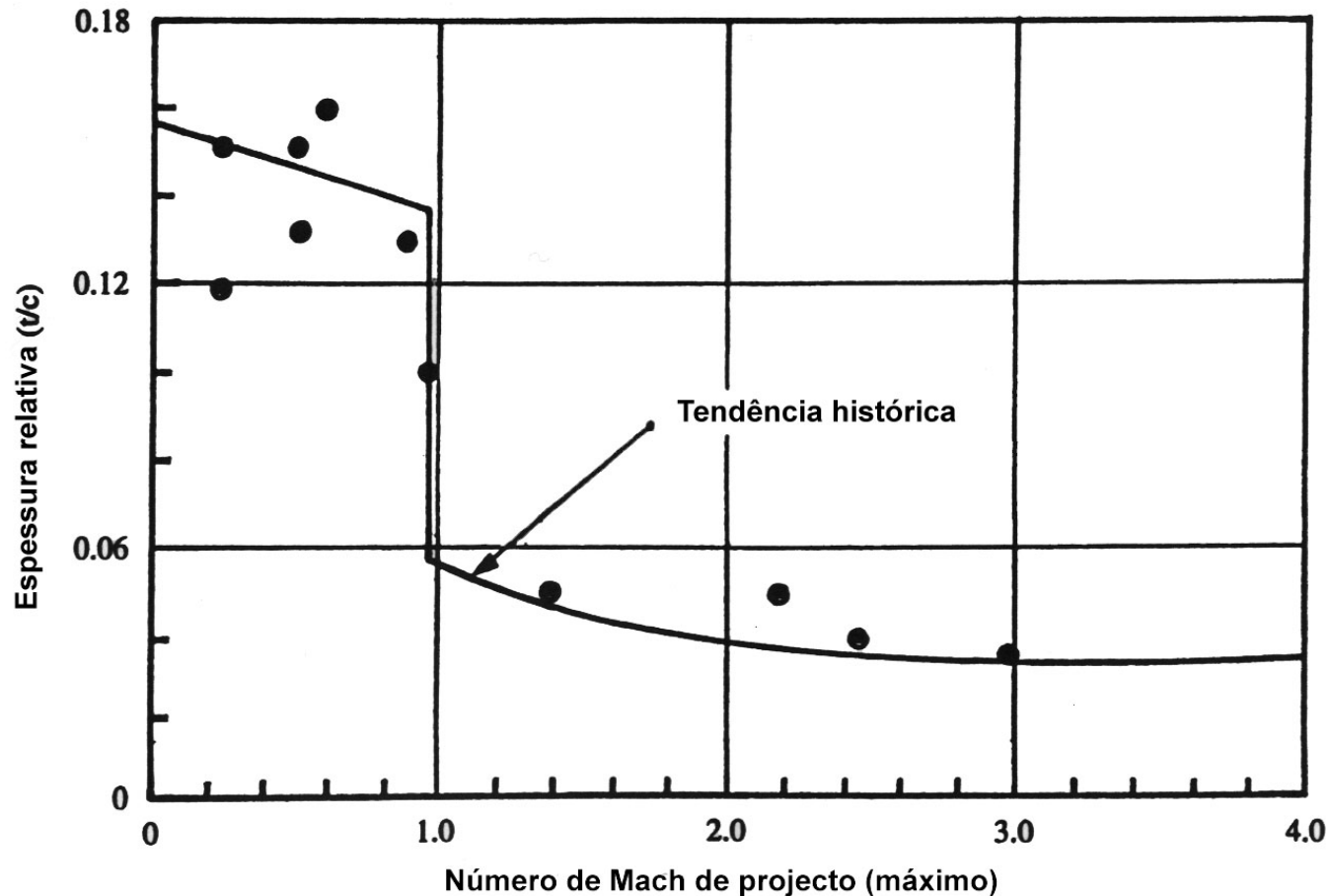
Seleção do perfil (16)

- Espessura relativa (cont.):
 - Efeito de t/c no C_{lmax} .



Seleccção do perfil (17)

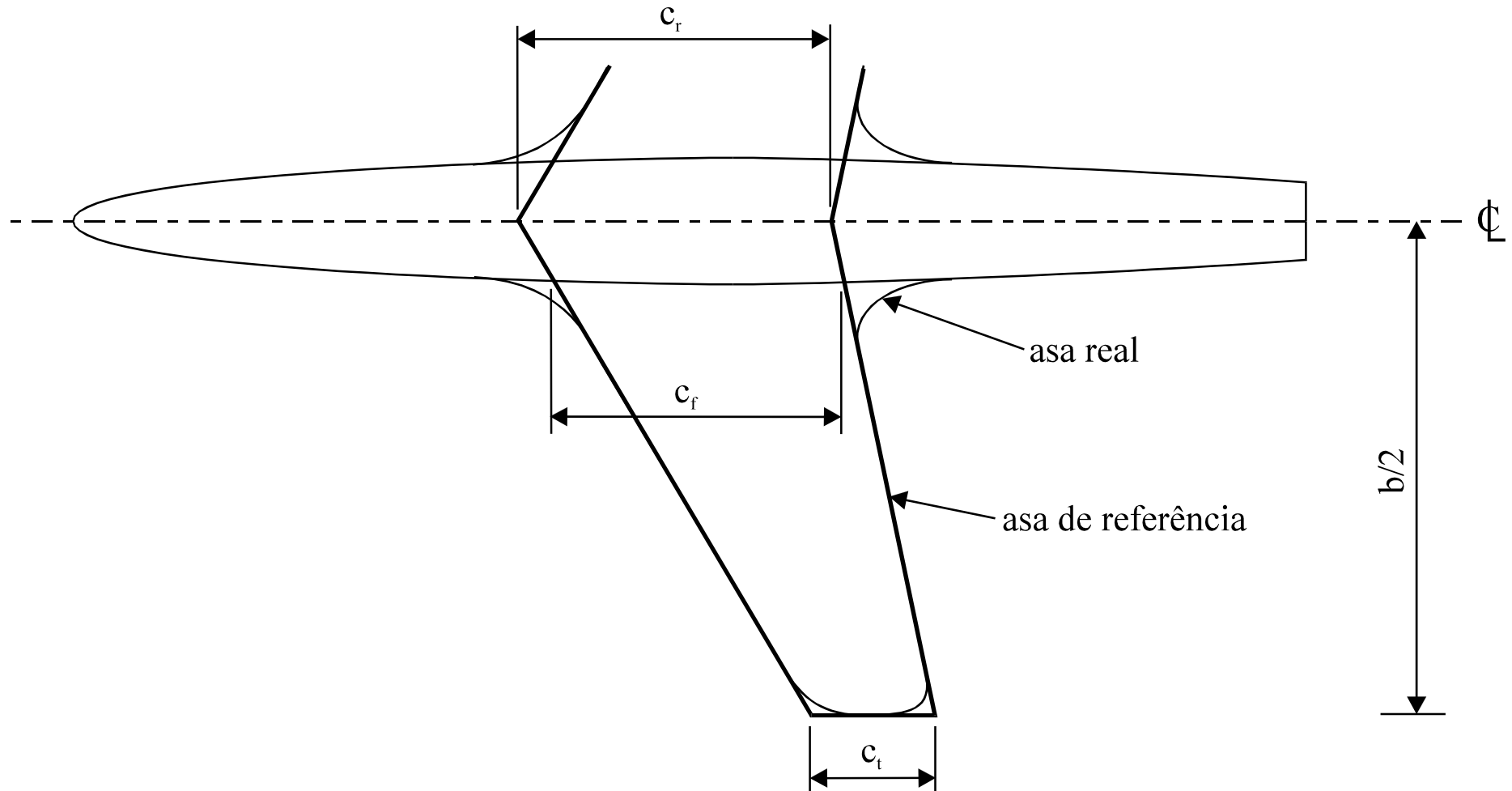
- Espessura relativa (cont.):
 - Tendência histórica de t/c .



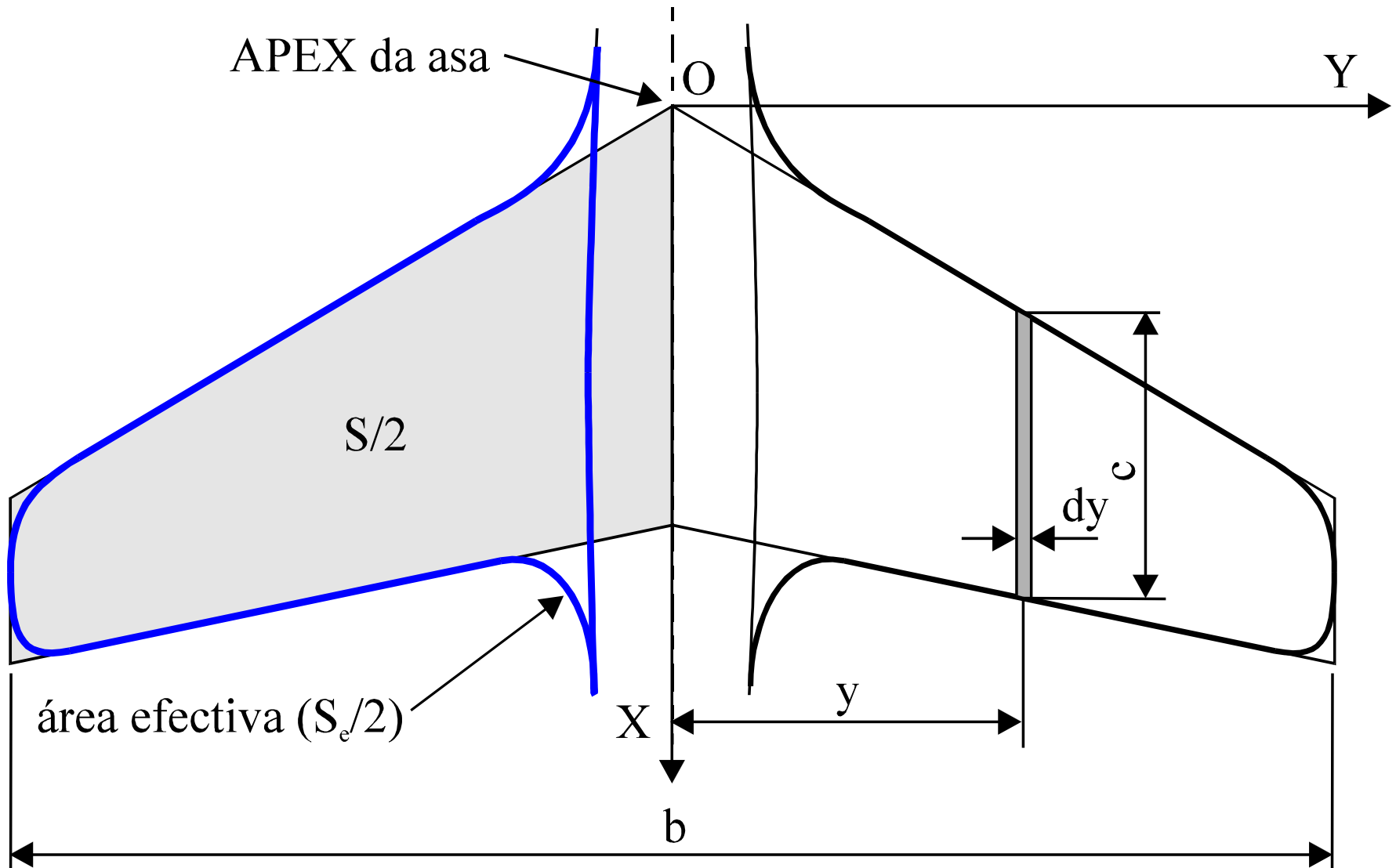
Seleccção do perfil (18)

- Espessura relativa (cont.):
 - t/c afecta o raio do bordo de ataque, logo influencia o C_{lmax} e as características de perda:
 - t/c elevados para A elevados e Λ baixos;
 - t/c reduzidos para A reduzidos e Λ elevados;
 - Efeito de t/c no peso:
 - $W_{wing} \propto 1/(t/c)^{0,5}$.

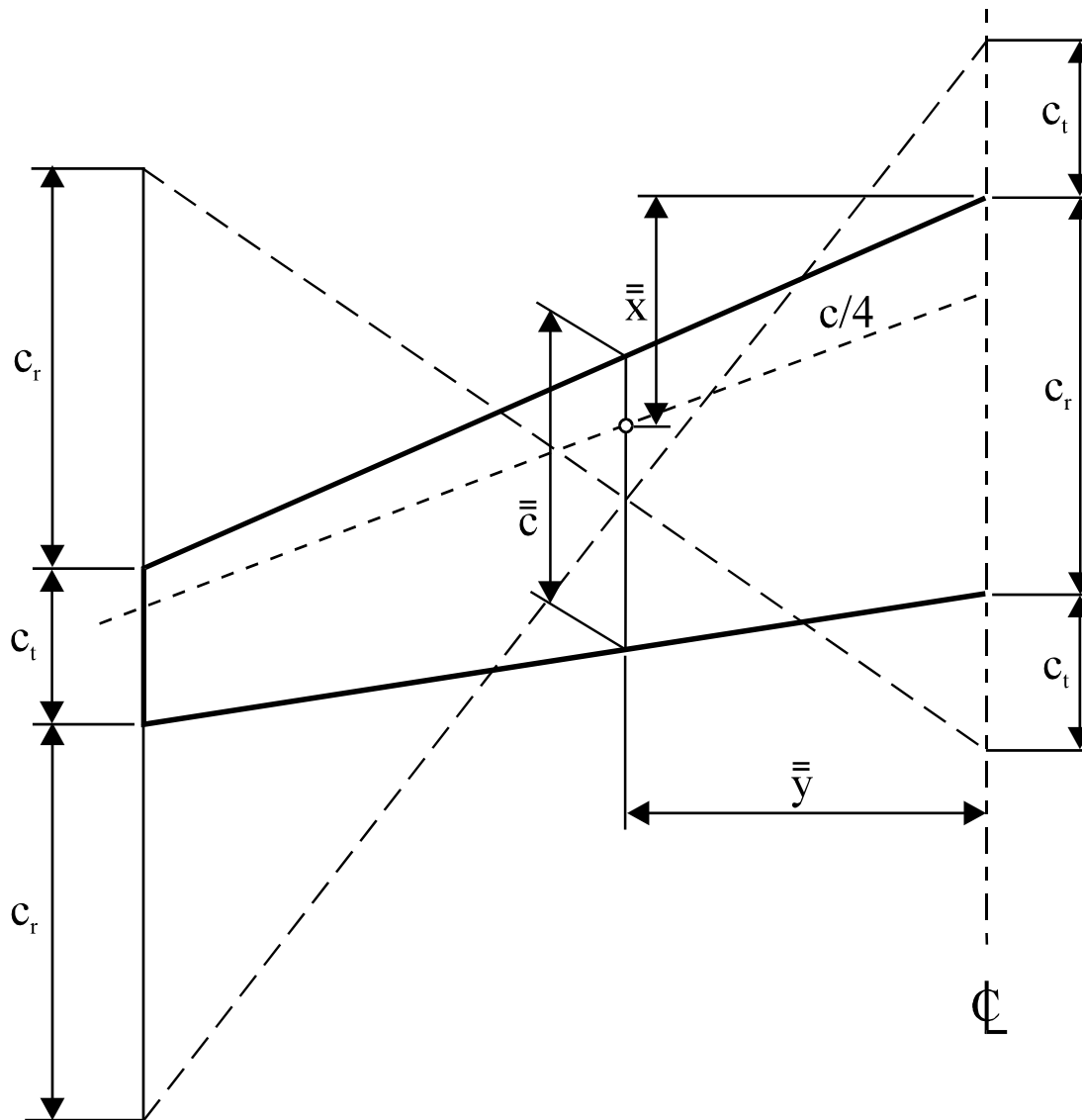
Geometria da asa (1)



Geometria da asa (2)



Geometria da asa (3)

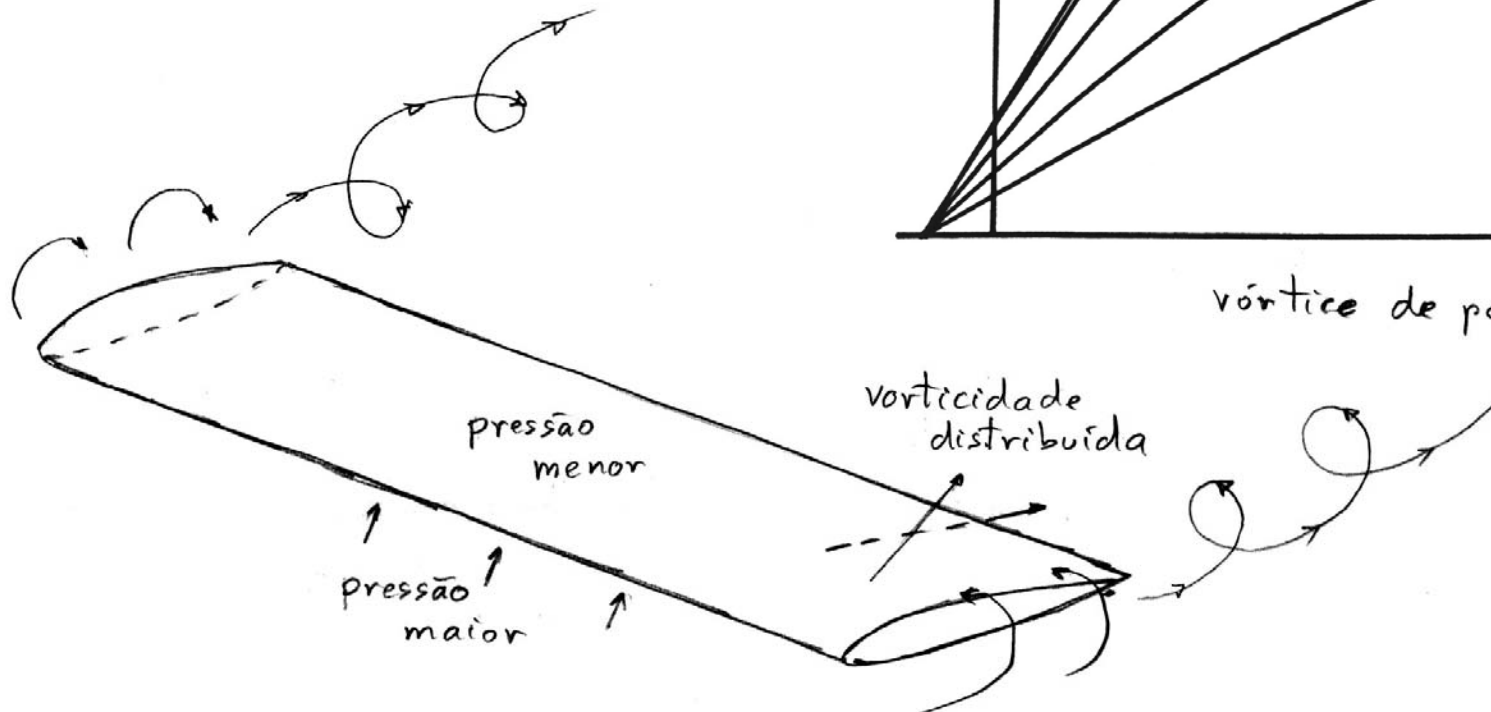
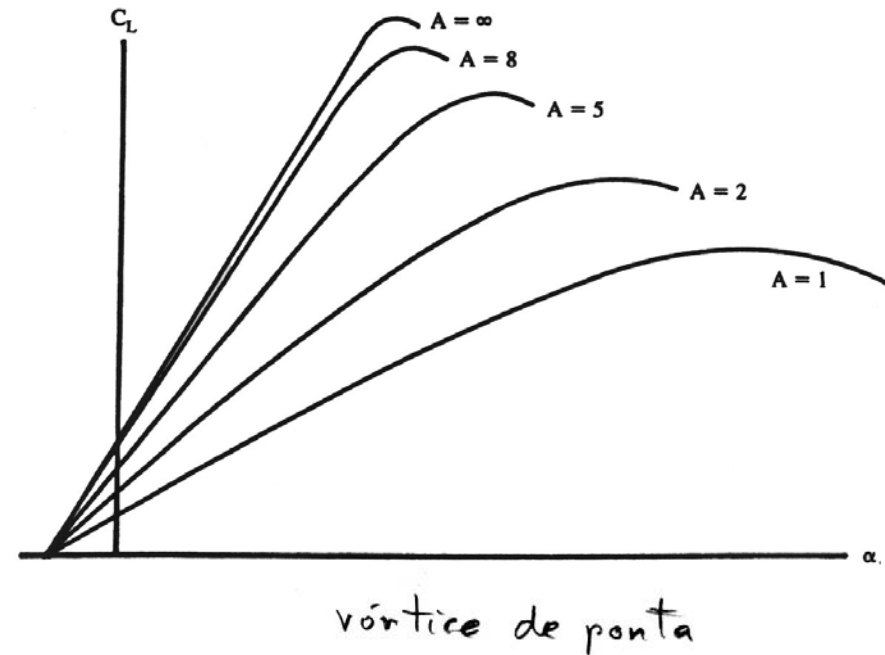


Geometria da asa (4)

- Parâmetros geométricos da asa:
 - S – área de referência da asa;
 - c – corda;
 - b – envergadura;
 - A – alongamento – b^2/S ;
 - t/c – espessura relativa;
 - λ – afilamento – c_t/c_r ;
 - Dados W/S , A e λ :
 - $S = W/(W/S)$, $b = (AS)^{0,5}$, $c_r = 2S/[b(1+\lambda)]$, $c_t = \lambda c_r$;
 - $\text{tg}(\Lambda_{LE}) = \text{tg}(\Lambda_{c/4}) + (1-\lambda)/[A(1+\lambda)]$;
 - $c_{AERO} = (2/3)c_r(1+\lambda+\lambda^2)/(1+\lambda)$;
 - $y_{AERO} = (b/6)(1+2\lambda)/(1+\lambda)$;
 - Posição típica do c. a.: $0,25c_{AERO} - M < 1$; $0,40c_{AERO} - M > 1$.

Geometria da asa (5)

- Alongamento:
 - $A = b^2/S$;
 - Efeito de A no peso:
 - $W_{\text{wing}} \propto (A)^{0,5}$ para S constante.



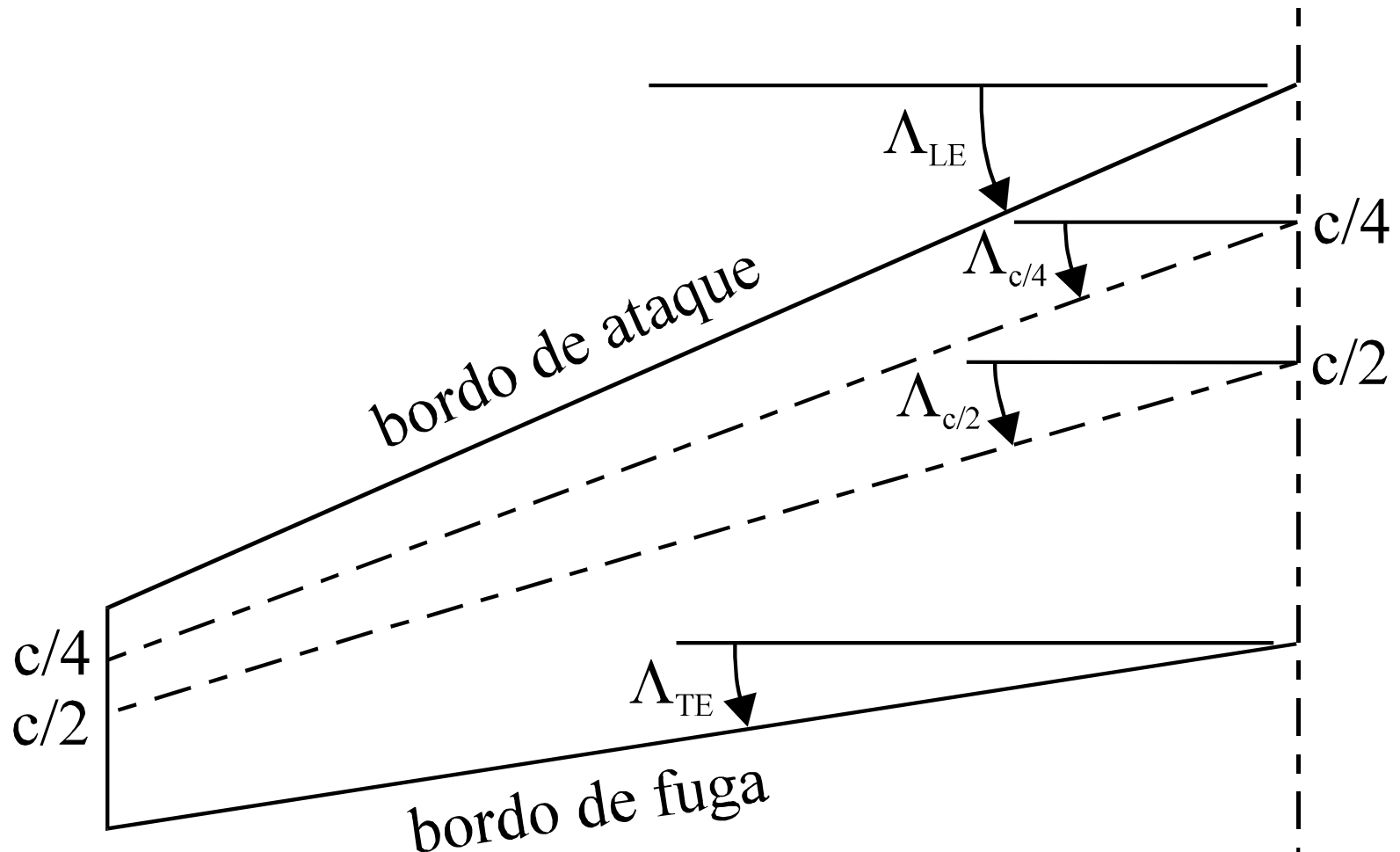
Geometria da asa (6)

- Alongamento (cont.):
 - Alongamentos típicos:

Alongamento equivalente para planadores = $4,464(L/D)_{\max}^{0,69}$		
<u>Aviões a hélice</u>	Alongamento equivalente	
Homebuilt	6,0	
Aviação geral – monomotor	7,6	
Aviação geral – bimotor	7,8	
Agrícola	7,5	
Turbohélice bimotor	9,2	
Hidroavião	8,0	
	Alongamento equivalente = $aM_{\max}^c$	
<u>Jactos</u>	a	C
Treino	4,737	-0,979
Caça (combate corpo-a-corpo)	5,416	-0,622
Caça (outro)	4,110	-0,622
Transporte militar/bombardeiro	5,570	-1,075
Transporte civil	7,500	0,000

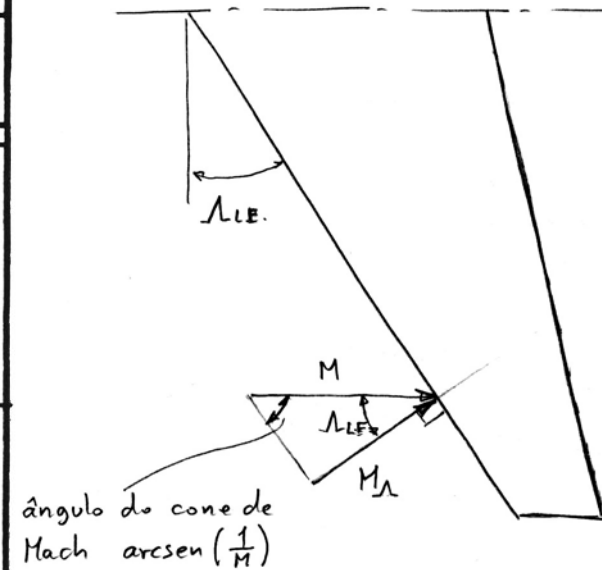
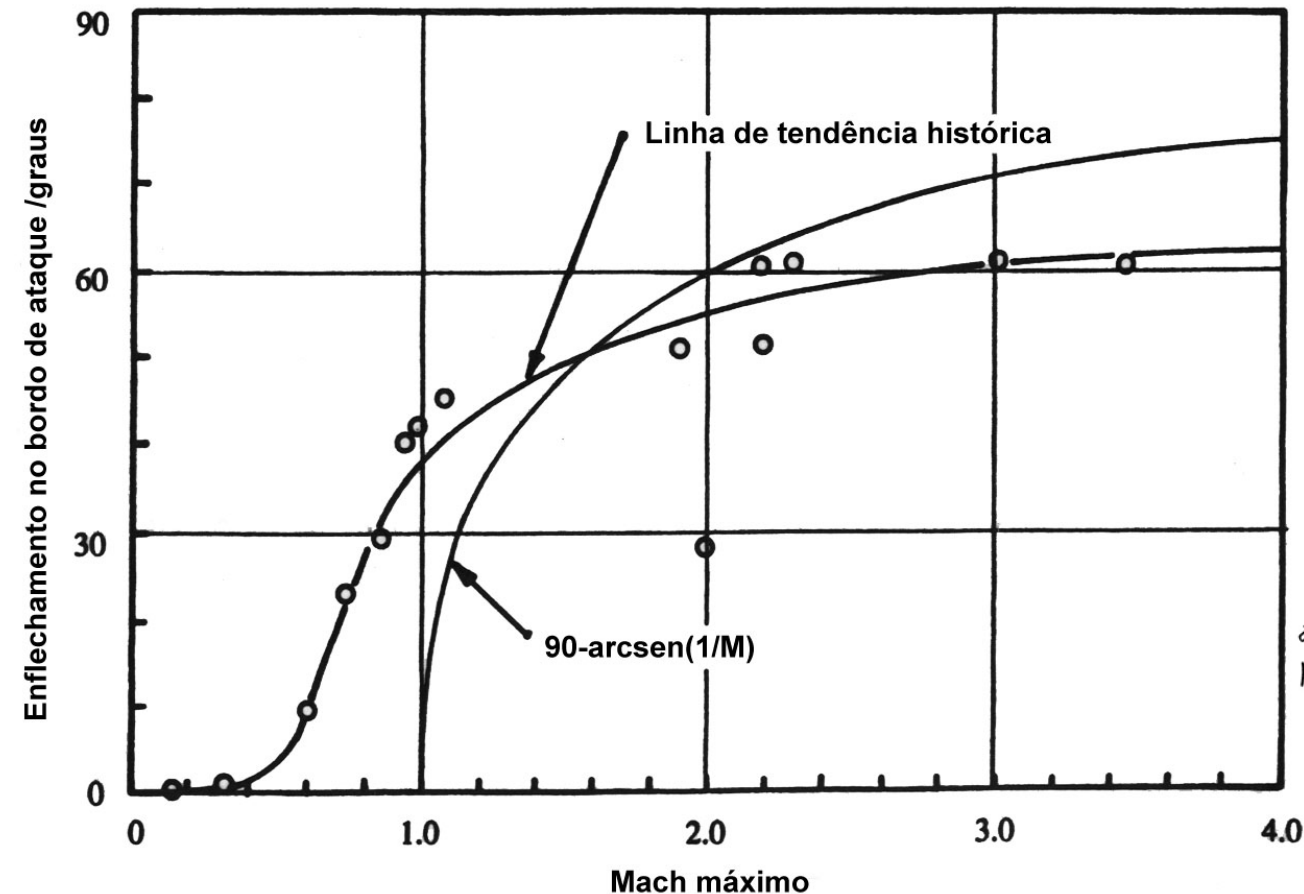
Geometria da asa (7)

- Enflechamento:



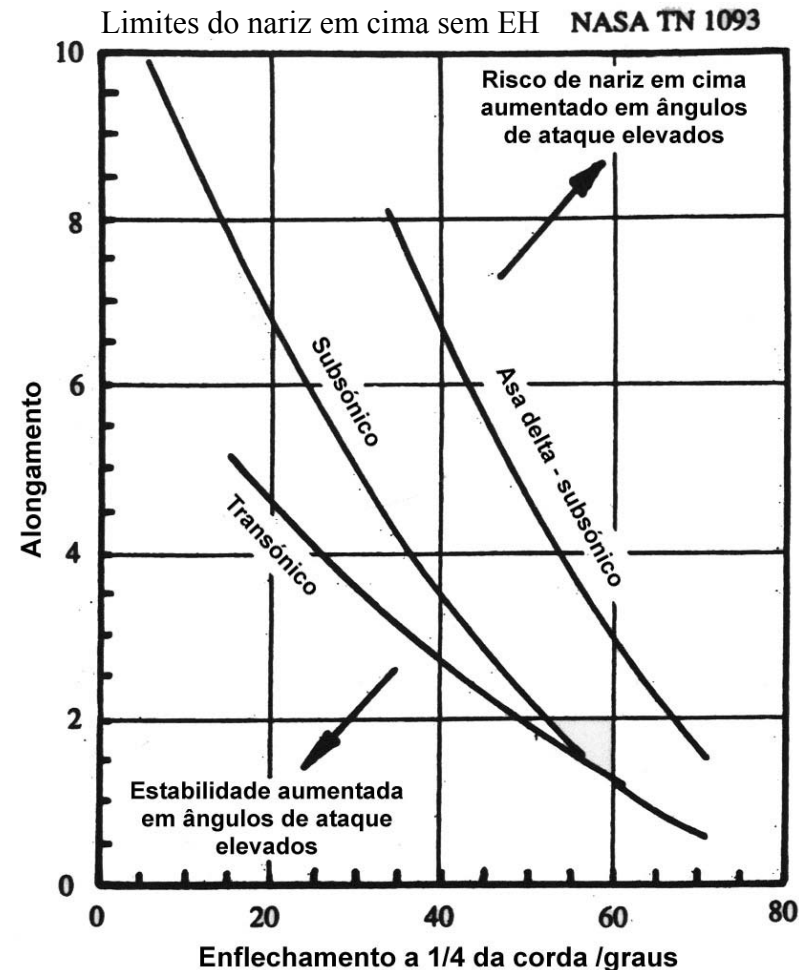
Geometria da asa (8)

- Enflechamento (cont.):
 - Tendência histórica do enflechamento:



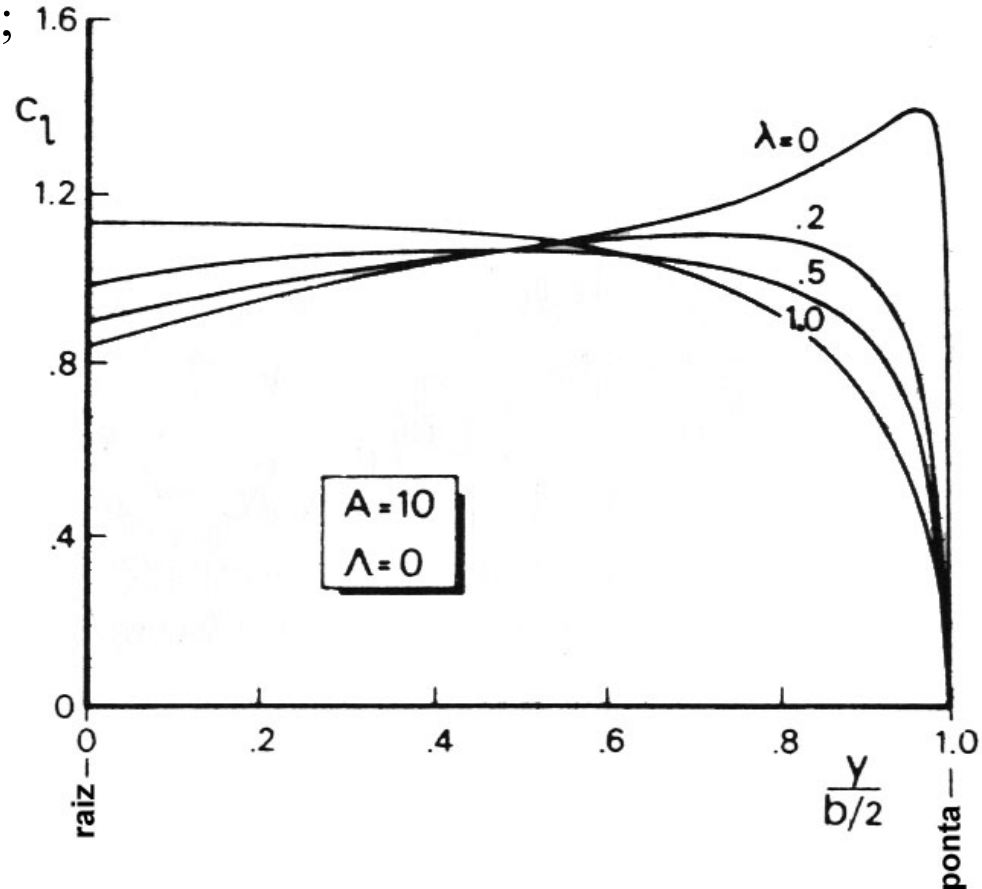
Geometria da asa (9)

- Enflechamento (cont.):
 - Aspectos a considerar na escolha do enflechamento:
 - $C_{Lmax} = C_{Lmax\Lambda=0} \cos \Lambda$;
 - Efeito da estrutura e fixação da asa à fuselagem;
 - Estabilidade lateral: 10° de enflechamento correspondem a 1° de diedro;
 - Estabilidade em ângulos de ataque elevados;
 - Localização do ca e do cg;
 - Velocidades elevadas – enflechamento elevado;
 - Cruzeiro, descolagem e aterragem – enflechamento reduzido.



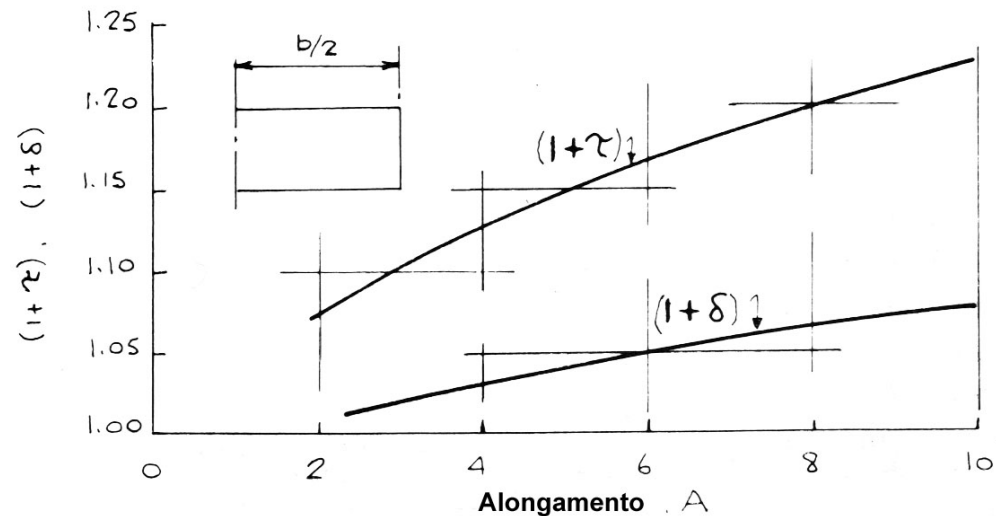
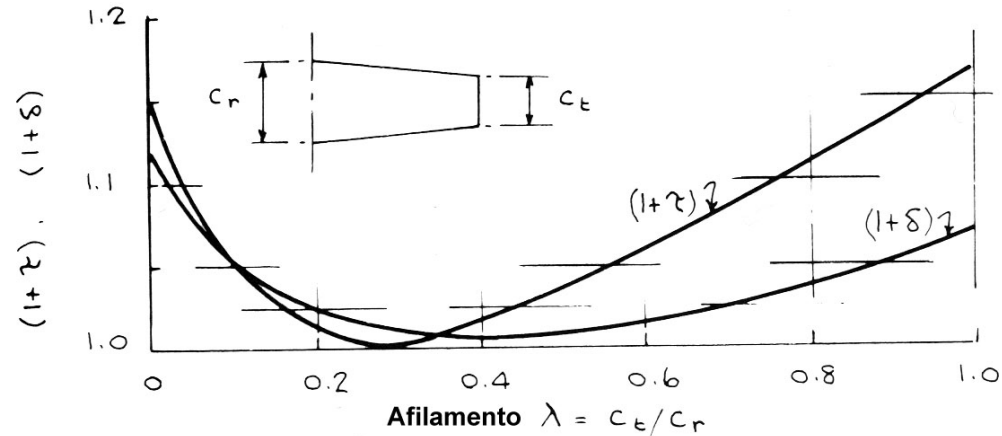
Geometria da asa (10)

- Afilamento:
 - $\lambda = \text{corda ponta/corda raiz} = c_t/c_r$;
 - Efeito na distribuição do C_l ;
 - Posição do início da perda:
 - $\eta = 1-\lambda$, $\eta=y/(b/2)$;



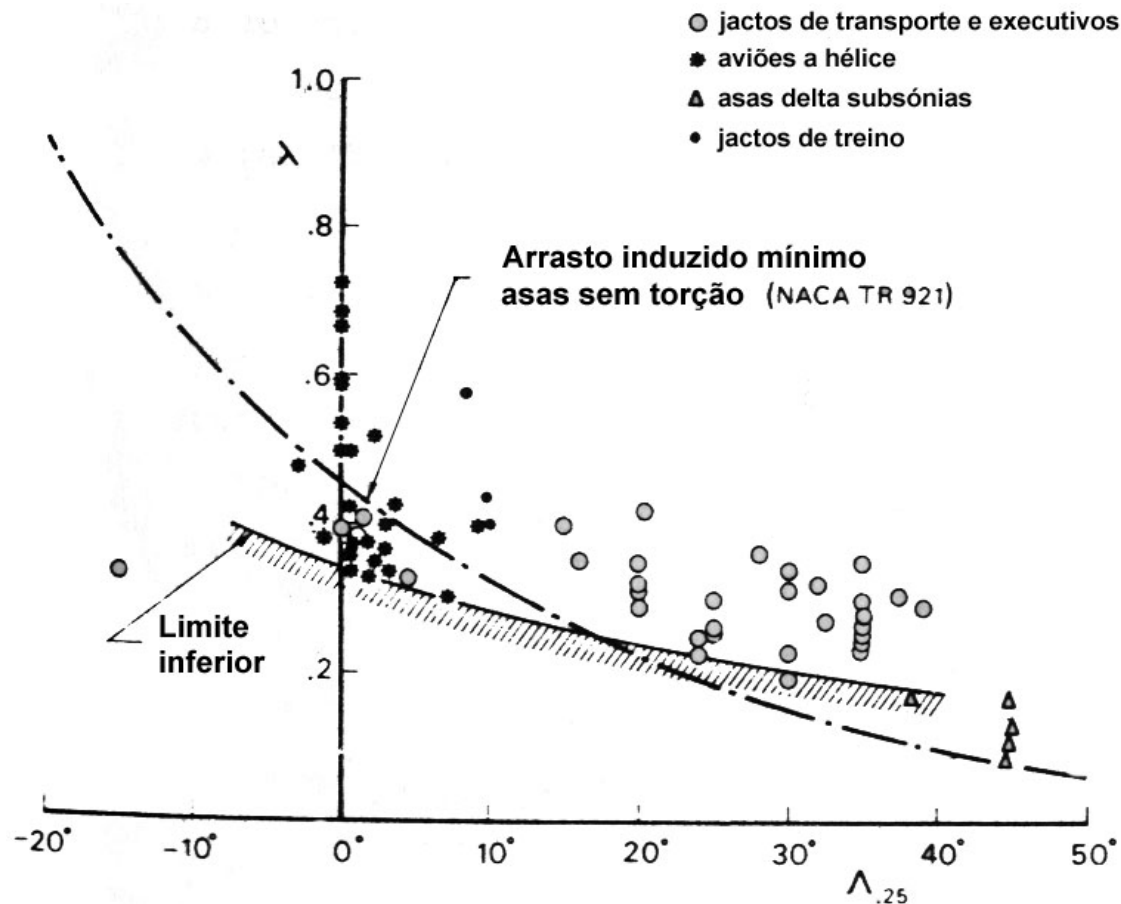
Geometria da asa (11)

- Afilamento (cont.):
 - Influência no na eficiência aerodinâmica:
 - $1/e = (1+\delta)$;
 - $C_{Di} = C_L^2/(\pi A)(1+\delta)$;
 - $C_D = C_{D0} + C_{Di}$;
 - $1/\epsilon = (1+\tau)$;
 - $\alpha_i = C_L/(\pi A)(1+\tau)$;
 - $\alpha = \alpha_0 + \alpha_i$;



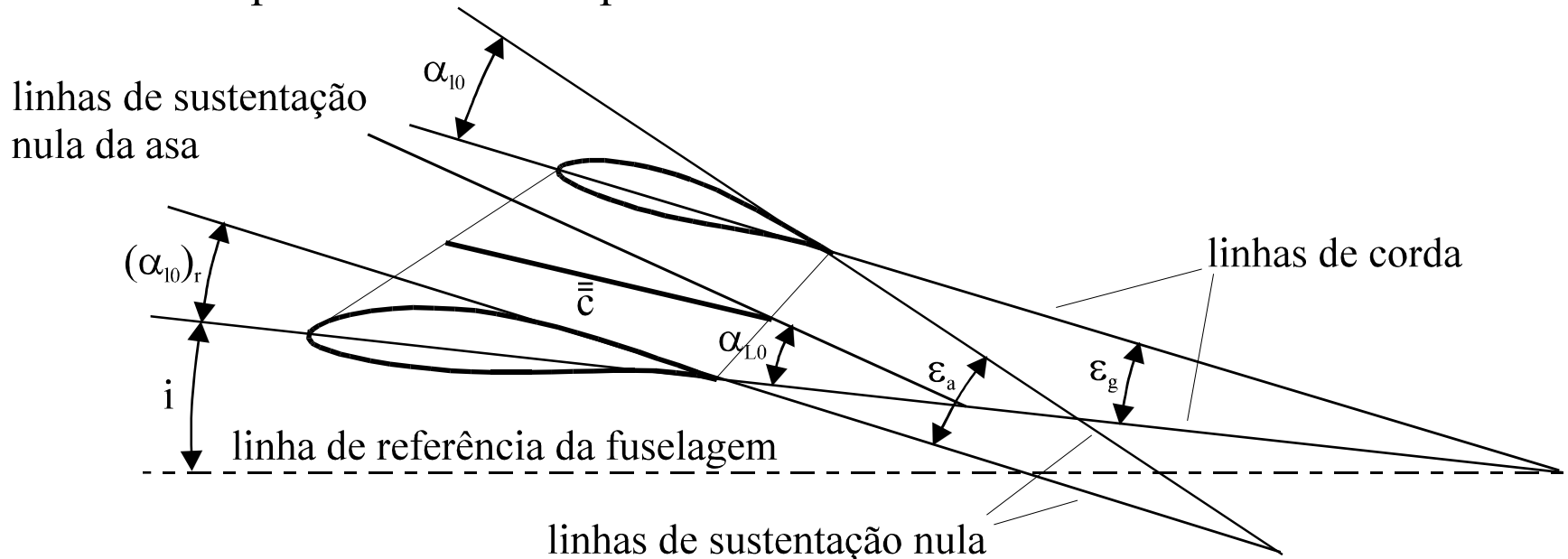
Geometria da asa (12)

- Afilamento (cont.):
 - Efeito do enflechamento no afilamento:



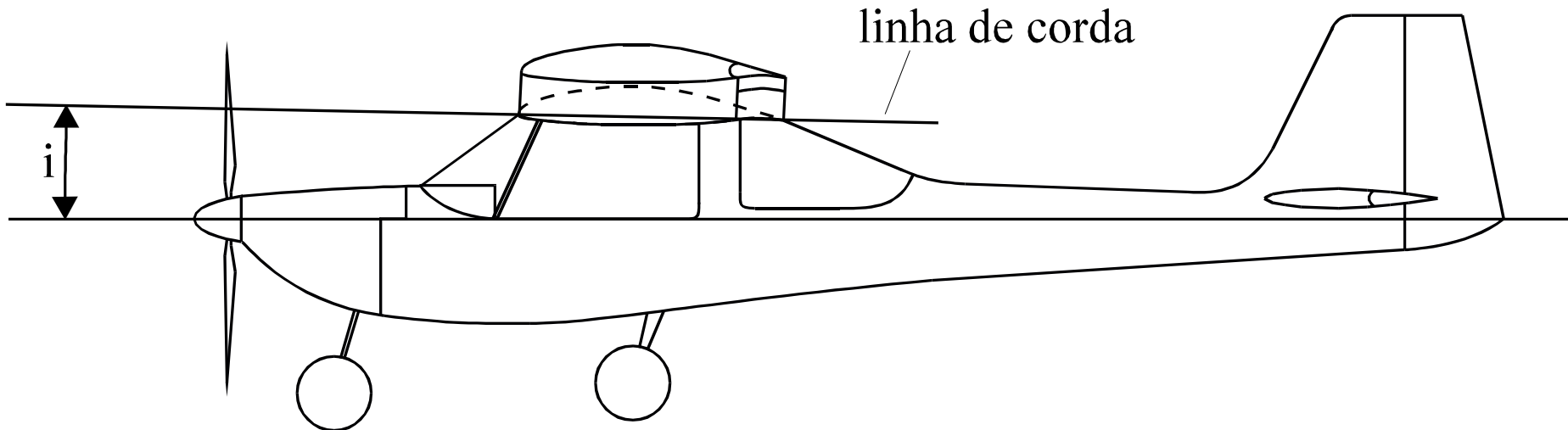
Geometria da asa (13)

- Torção:
 - Geométrica: $\epsilon_g = \alpha_t - \alpha_r$;
 - Aerodinâmica : $\epsilon_a = \epsilon_g + \alpha_{0t} - \alpha_{0r}$;
 - A torção serve para reduzir o C_l na ponta para evitar a perda e aproximar à distribuição elíptica;
 - Tipicamente $\epsilon = -3^\circ$ para asas afiladas.



Geometria da asa (14)

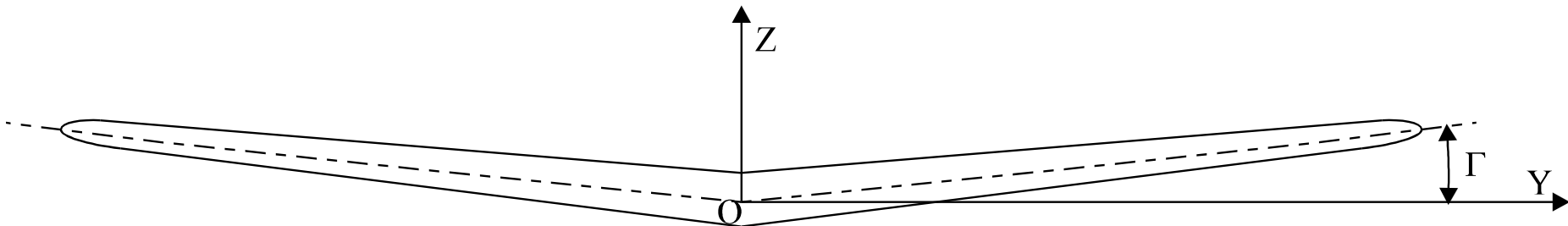
- Incidência:
 - A incidência na raiz da asa é escolhida para otimizar L/D numa condição de voo tendo em conta a fuselagem;
 - Para uma asa sem torção tem-se os valores típicos:
 - Aviação geral: 2° ;
 - Transportes: 1° ;
 - Aviões militares: 0° .



Geometria da asa (15)

- Diedro:
 - O diedro serve para proporcionar estabilidade lateral;
 - Pode conseguir-se efeito de diedro através da configuração e geometria da aeronave, para além do ângulo de diedro;
 - Excesso de efeito de diedro produz “Dutch Roll”.

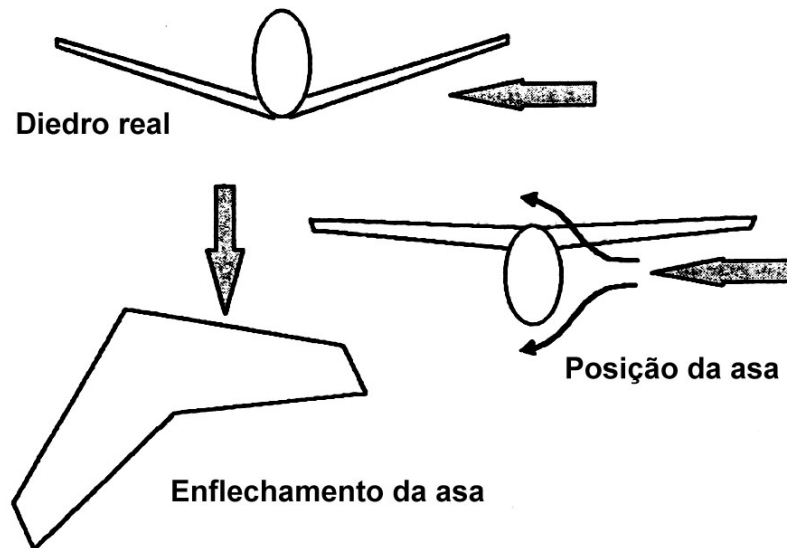
	Posição da asa		
	Baixa	Média	Alta
Sem enflechamento (civil)	5 a 7	2 a 4	0 a 2
Com enflechamento subsónica	3 a 7	-2 a 2	-5 a -2
Com enflechamento supersónica	0 a 5	-5 a 0	-5 a 0



Geometria da asa (16)

- Diedro (cont.):
 - Contribuições para o efeito de diedro:

contribuição	ângulo de diedro equivalente [graus]
asa alta	2,0
asa baixa	-3,0
10 ° de enflechamento	1,0
E.V. sobre a fuselagem	+
E.V. sob a fuselagem	-

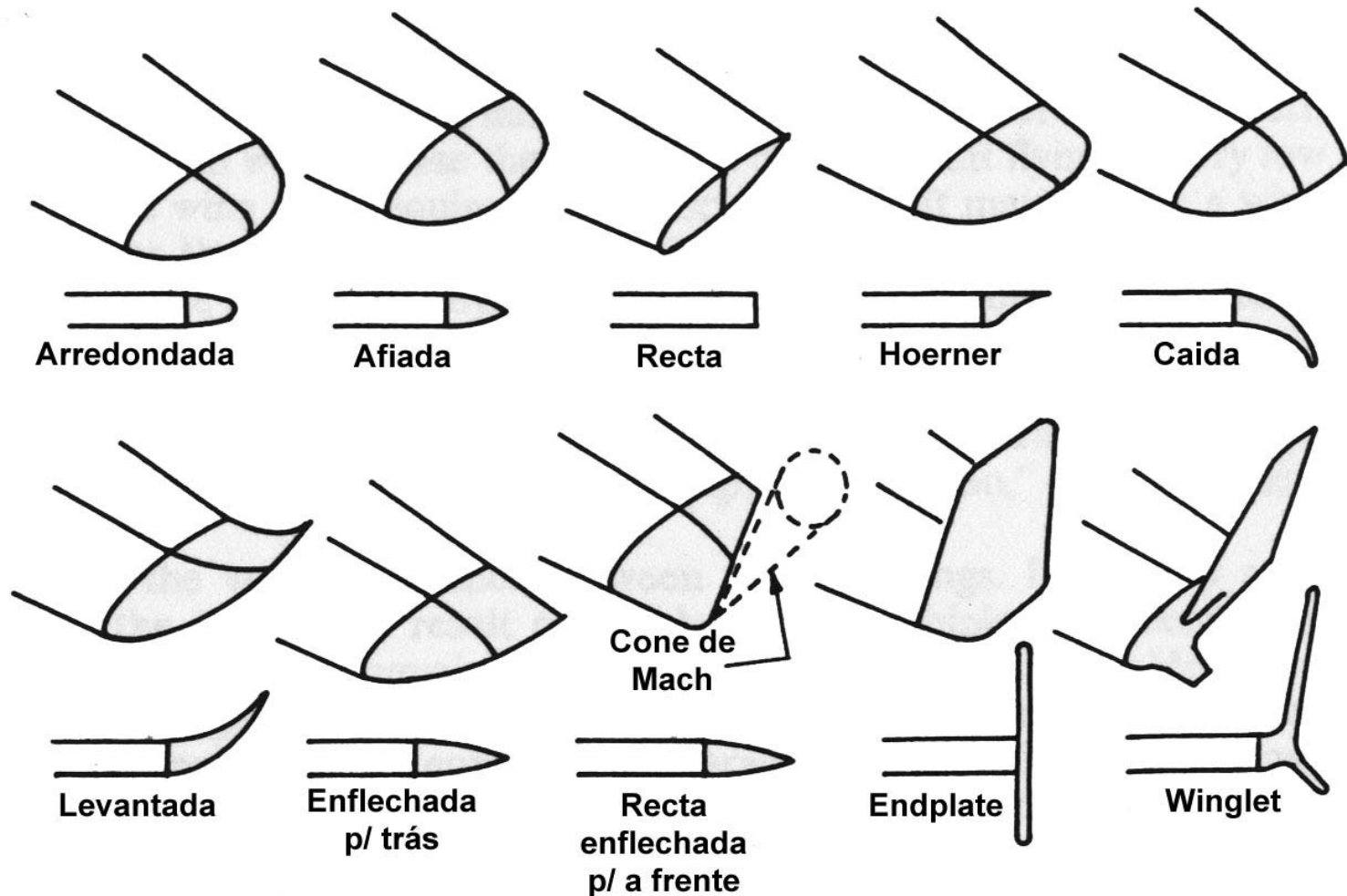


Geometria da asa (17)

- Posição vertical da asa:
 - A escolha da posição vertical da asa tem em conta os seguintes factores:
 - Espaço na cabina;
 - Espaço para o trem de aterragem;
 - Altura do trem de aterragem;
 - Estrutura;
 - Posição dos motores;
 - Distância ao solo;
 - Flutuação em caso de amaregem;
 - Resistência numa queda;
 - Visibilidade em volta;
 - Etc..

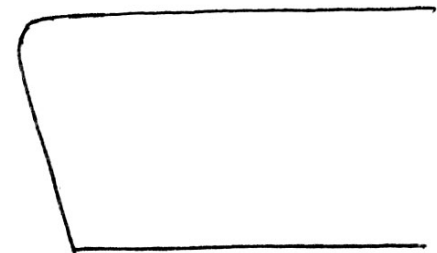
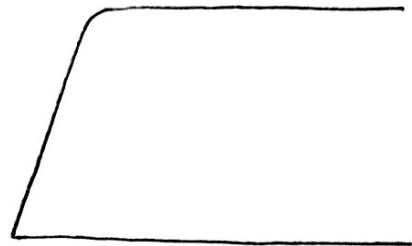
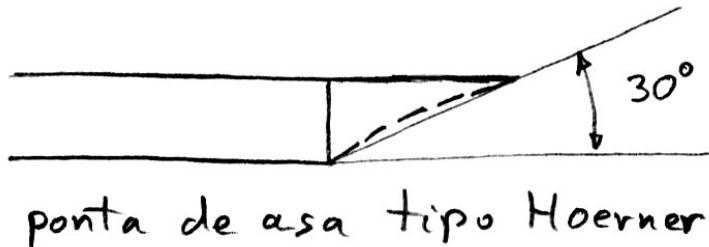
Geometria da asa (18)

- Pontas de asa:



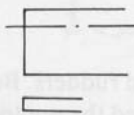
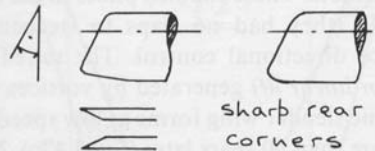
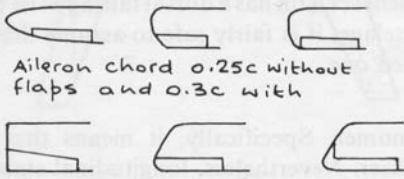
Geometria da asa (19)

- Pontas de asa (cont.):
 - A forma da ponta de asa deve ter em conta a eficiência aerodinâmica:
 - Incremento da área molhada;
 - Facilidade com que permite a passagem do ar do intradorso para o extradorso.



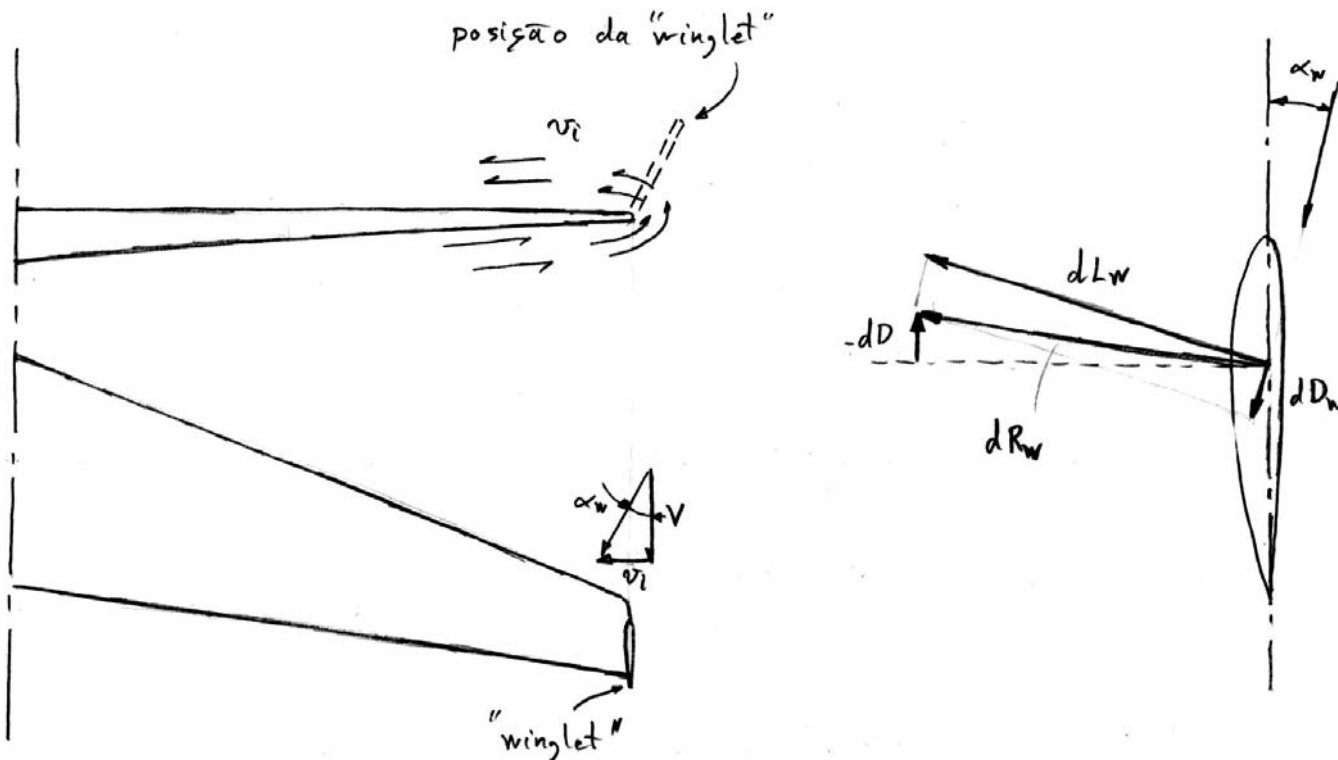
Geometria da asa (20)

- Pontas de asa (cont.):
 - Efeito no arrasto induzido:

Tip Shape	Oswald efficiency e percent	$K:K' = 1/e$
 'Hoerner' tip sharp rear corners	80	1.25
 rounded (1) (2)	(1) 75 + (2) 75 -	about 1.33 with (1) slightly more efficient than (2)
 square with sharp edges	81	1.23
 sharp rear corners Rake angle $A = 0^\circ$ for $A = \infty$ 20° for $A = 6$ 25° for $A = 1$ to 5	82	1.22
 Aileron chord 0.25c without flaps and 0.3c with	Most efficient region for aileron in terms of: rolling moment/hinge moment is $2/3$ to $3/4$ semispan outboard Ailerons on the top row are desirable, while those on the bottom row are undesirable because of the high control loads (hinge moments)	

Geometria da asa (21)

- Pontas de asa (cont.):
 - “Winglet”:
 - Este dispositivo, para determinados C_L , cria uma força para a frente aproveitando o vento induzido gerado na ponta da asa:



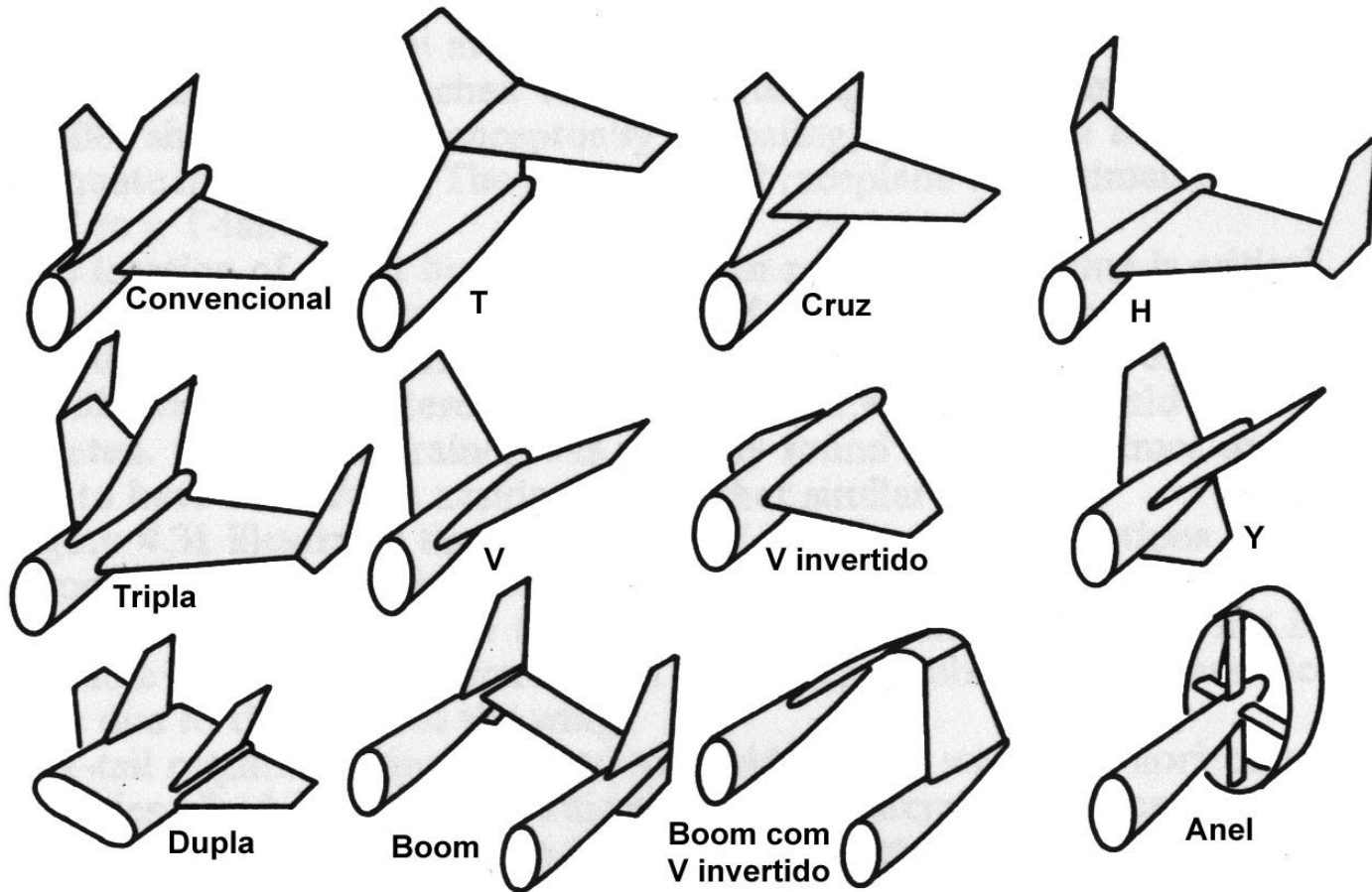
Geometria e configuração da cauda (1)

- Funções da cauda:
 - Estabilizar a aeronave (tornar o momento em torno do CG nulo);
 - Efeito do hélice – efeito de guinada e esteira do hélice;
 - Falha de motor;
 - Vento cruzado;
 - Controlar (manobrar) a aeronave em arfagem (empenagem horizontal) e em guinada (empenagem vertical).

Geometria e configuração da cauda

(2)

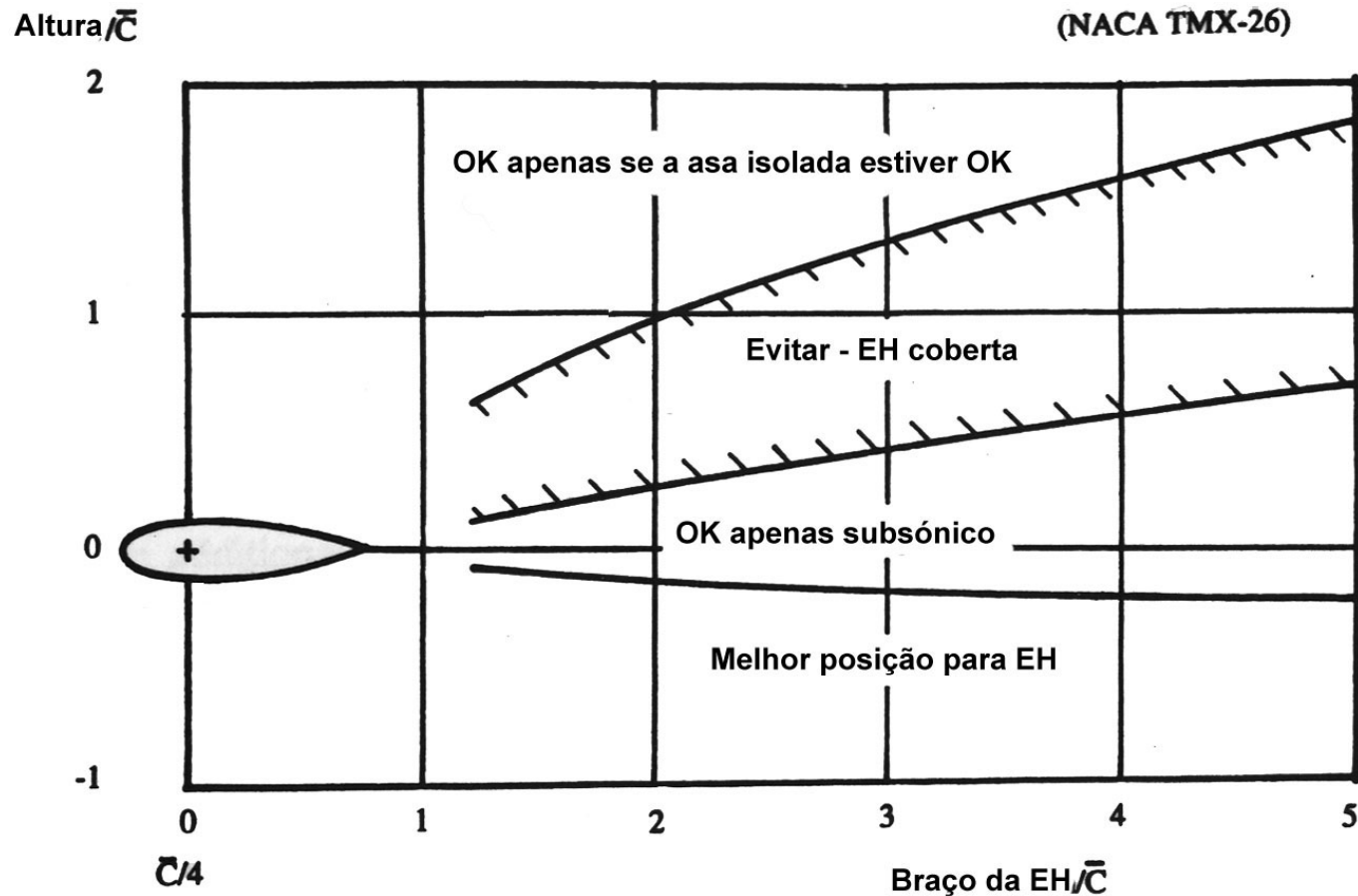
- Configuração da cauda:
 - Tipos de cauda:



Geometria e configuração da cauda

(3)

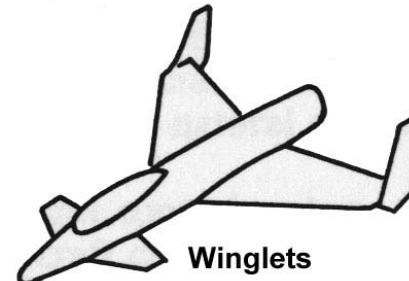
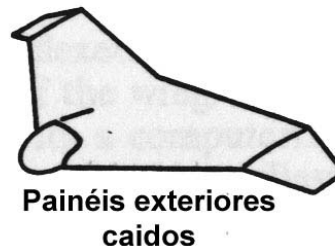
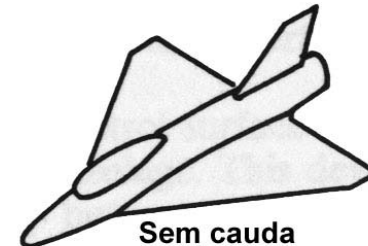
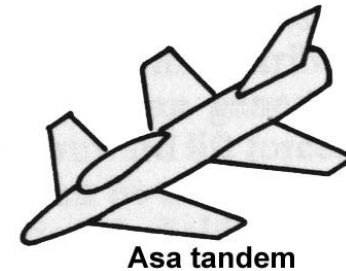
- Configuração da cauda (cont.):
 - Posição da EH:



Geometria e configuração da cauda

(4)

- Configuração da cauda (cont.):
 - Outras configurações:

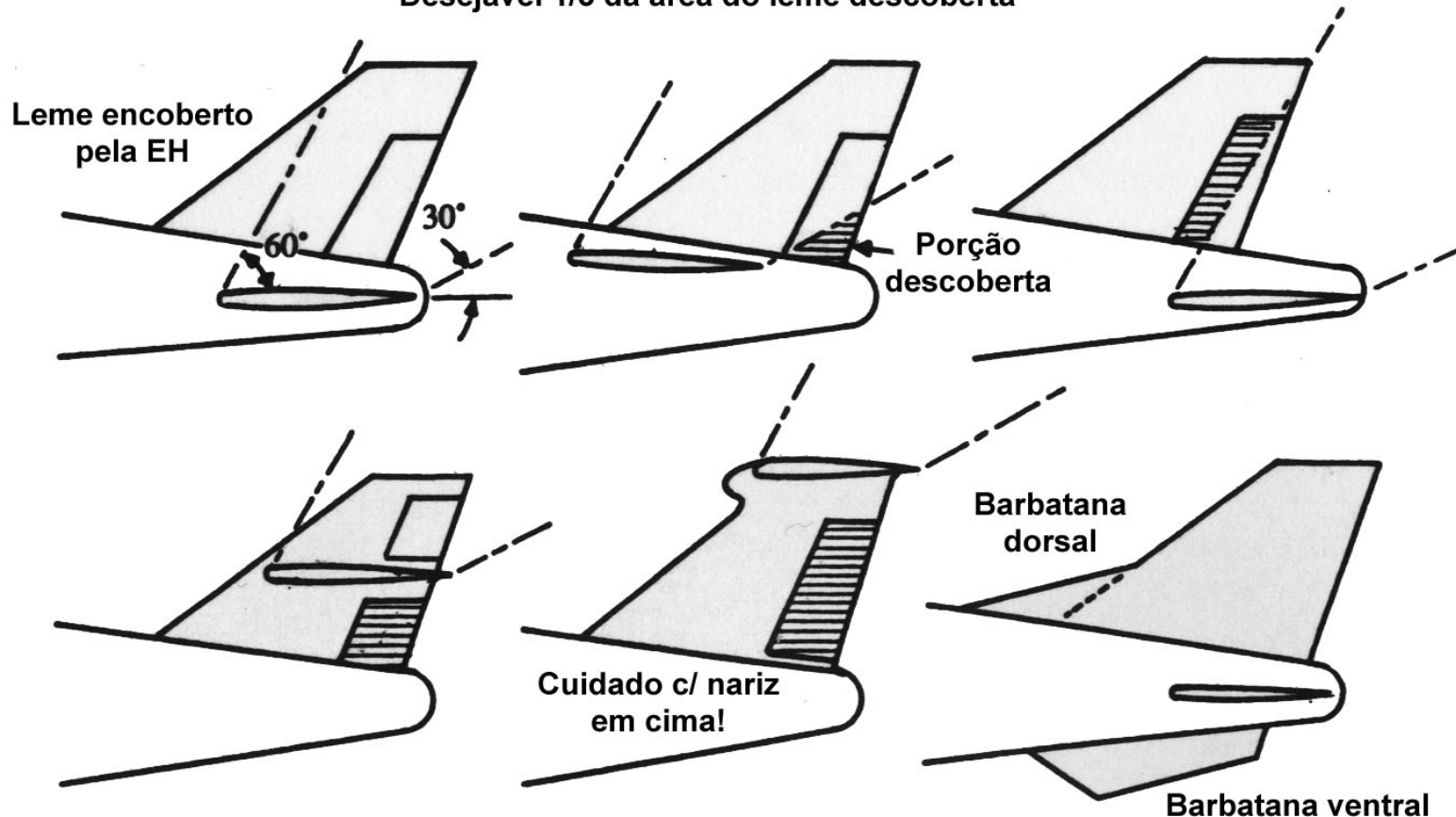


Geometria e configuração da cauda

(5)

- Configuração da cauda (cont.):
 - Configuração para recuperação de parafuso:

Desejável 1/3 da área do leme descoberta



Geometria e configuração da cauda

(6)

- Configuração da cauda (cont.):
 - Alongamento e afilamento da cauda:

	<u>Epenagem horizontal</u>		<u>Empenagem vertical</u>	
	A	λ	A	λ
Caça	3,0 a 4,0	0,2 a 0,4	0,6 a 1,4	0,2 a 0,4
Planador	6,0 a 10,0	0,3 a 0,5	1,5 a 2,0	0,4 a 0,6
Outros	3,0 a 5,0	0,3 a 0,6	1,3 a 2,0	0,3 a 0,6
Cauda T	-	-	0,7 a 1,2	0,6 a 1,0