

UNIVERSIDADE  
BEIRA INTERIOR

# Considerações acerca da configuração

## Projeto de Aeronaves (15096)

Licenciatura em Engenharia Aeronáutica

2024

## Pedro V. Gamboa

Departamento de Ciências Aeroespaciais

Faculdade de Engenharia



# 1. Introdução

- Existem considerações importantes que o projetista deve ter em conta quando define o arranjo inicial da aeronave.
- Estas considerações incluem aspetos aerodinâmicos, estruturais, de segurança, de produção, de manutenção, de deteção, de vulnerabilidade, etc..
- Durante a definição da configuração é necessário considerar o impacto das escolhas de uma forma qualitativa.



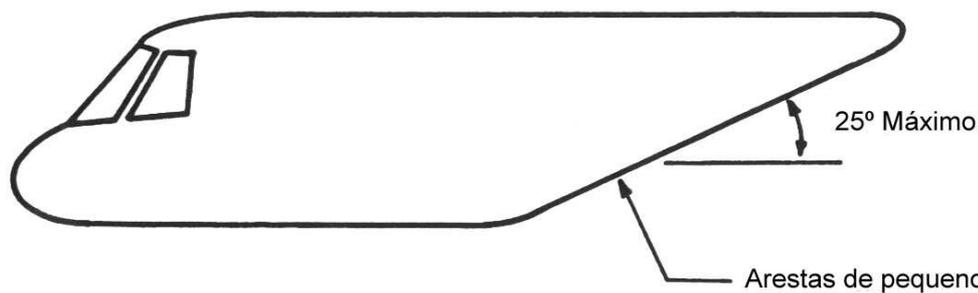
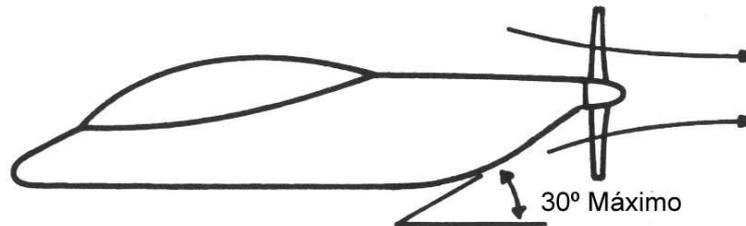
## 2. Considerações aerodinâmicas

- Uso de linhas contínuas e suaves na definição dos contornos:
  - Prevenir a separação do escoamento
  - Evitar arestas que produzam separação ou resistência parasita
- Providenciar uma continuidade na junção asa-fuselagem ou empenagens-fuselagem:
  - Prevenir perda de sustentação
  - Reduzir a destruição da forma elíptica da sustentação
  - Reduzir o aumento da resistência de interferência
- Minimização da área molhada:
  - Diminuir a resistência parasita
  - Fazer fuselagens curtas



## 2. Considerações aerodinâmicas

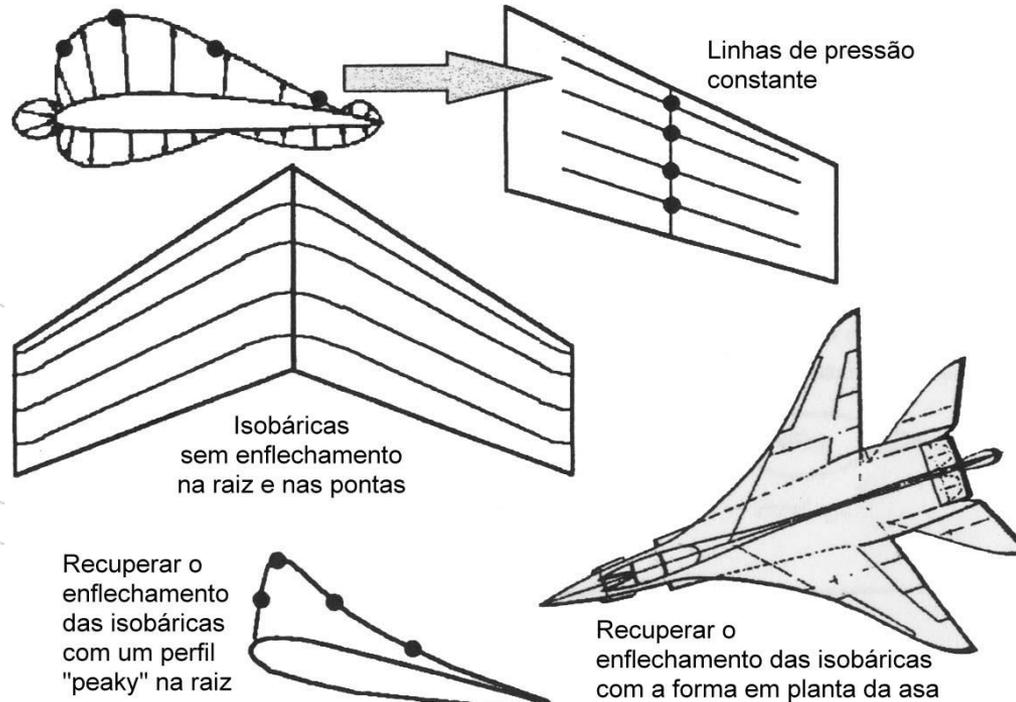
- Uso de ângulos de fuga pequenos:
  - Reduzir a resistência de pressão





## 2. Considerações aerodinâmicas

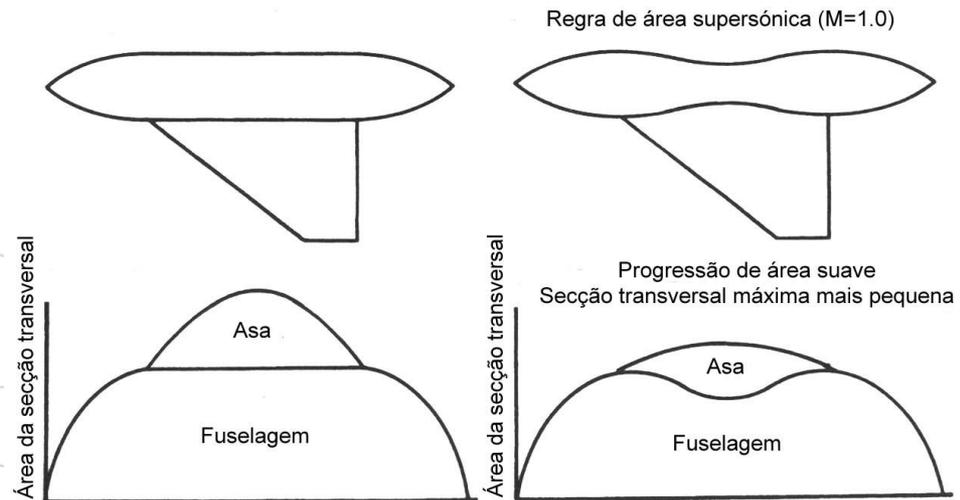
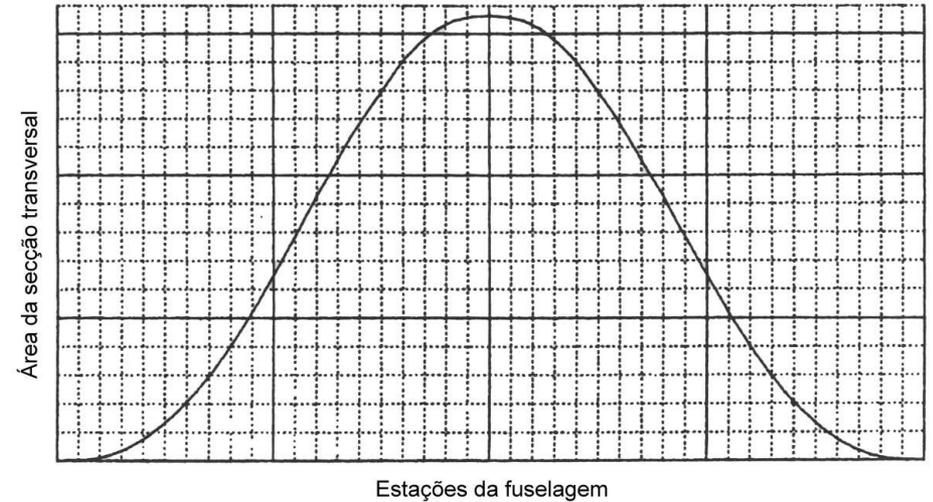
- Forçar o enflechamento das linhas isobáricas:
  - Minimizar escoamento supersônico
  - Prolongar o bordo de ataque para a frente na raiz
  - Recuar o bordo de ataque na ponta
  - Usar um perfil na raiz com pico de pressão próximo ao bordo de ataque





## 2. Considerações aerodinâmicas

- Regra de área supersónica:
  - Minimizar a resistência de onda supersónica
  - Distribuição de volume que resulta no mínimo de resistência de onda para  $M=1$

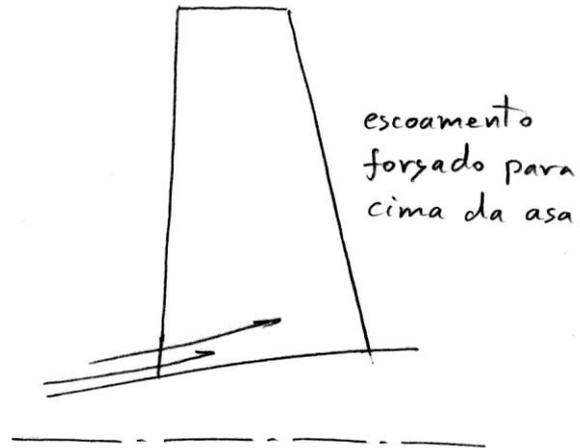
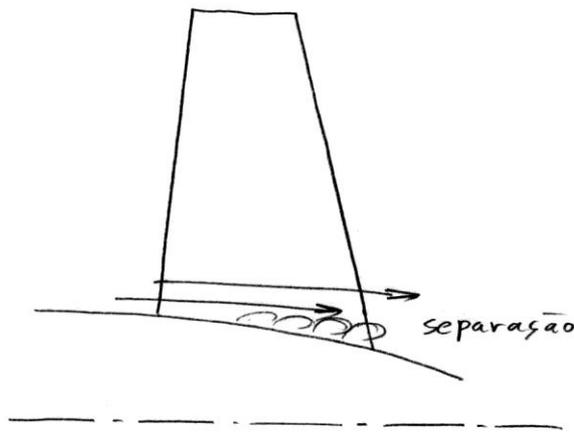




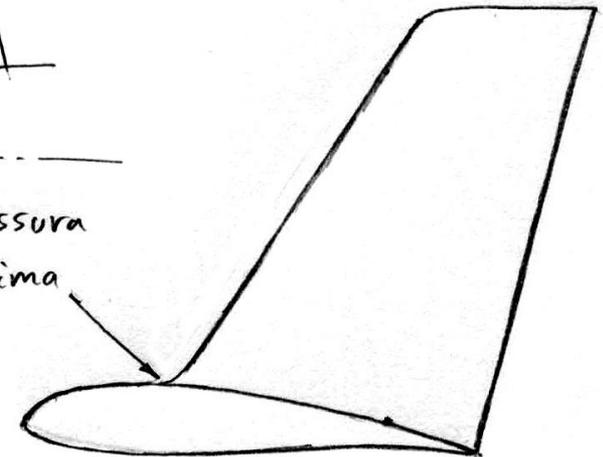
## 2. Considerações aerodinâmicas

- Regra subsónica:
  - Colocação da asa em zonas de secção crescente da fuselagem
  - Colocação de “winglets” ou empenagens a partir da espessura máxima da asa

Considerações acerca da configuração



espessura máxima

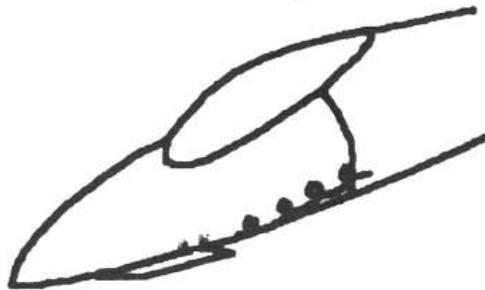
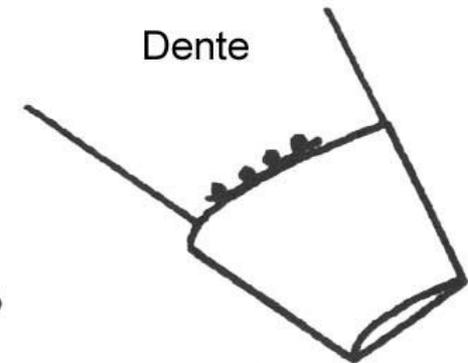




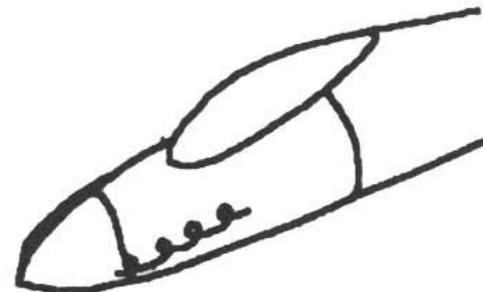
## 2. Considerações aerodinâmicas

- Correções para colmatar separação do escoamento :
  - Energizar o escoamento
  - Orientar o escoamento

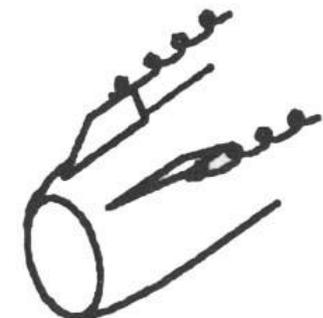
Considerações acerca da configuração



"Strake"



Nariz de tubarão



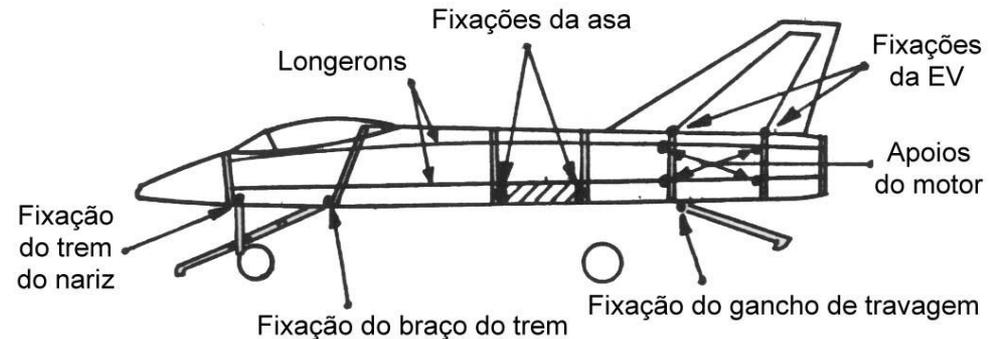
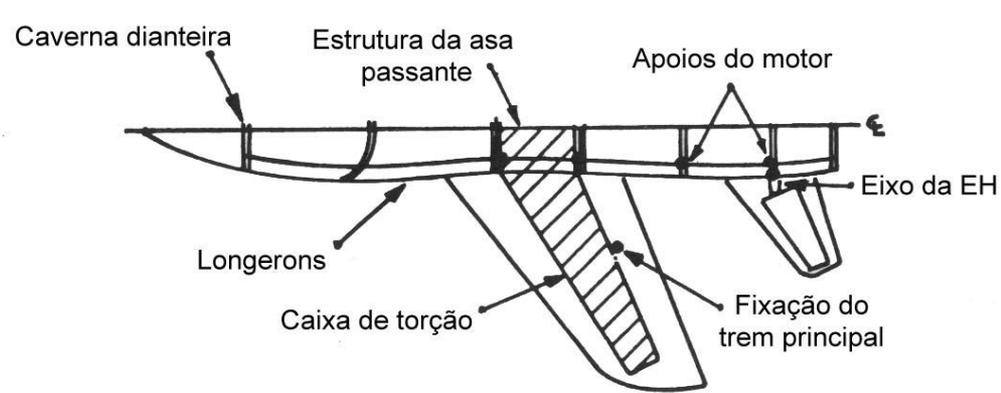
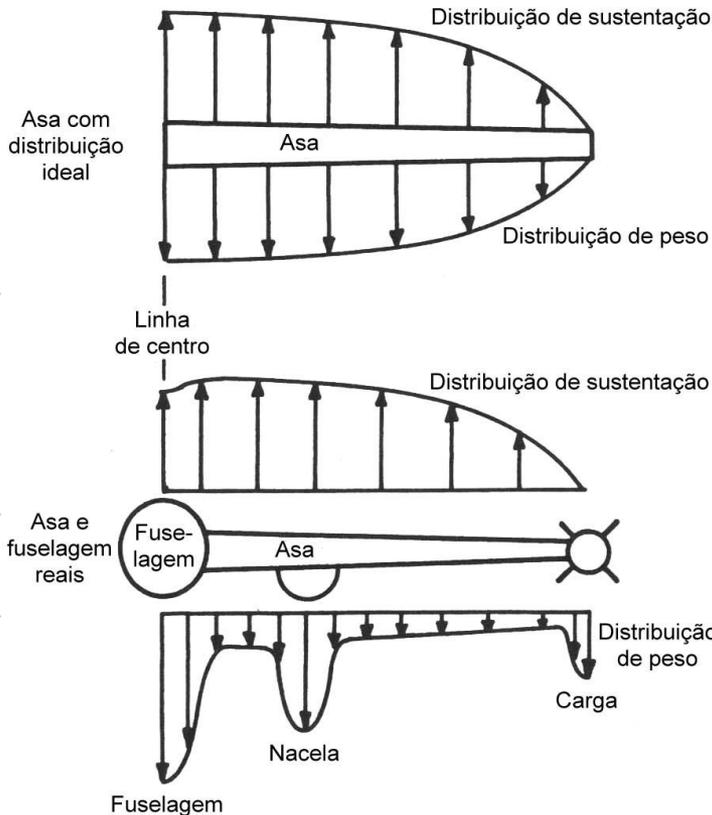
"Strake"



# 3. Considerações estruturais

- Transmissão de cargas:
  - Minimizar os esforços colocando pesos a opor a sustentação
  - Providenciar reação para todas as cargas

Considerações acerca da configuração

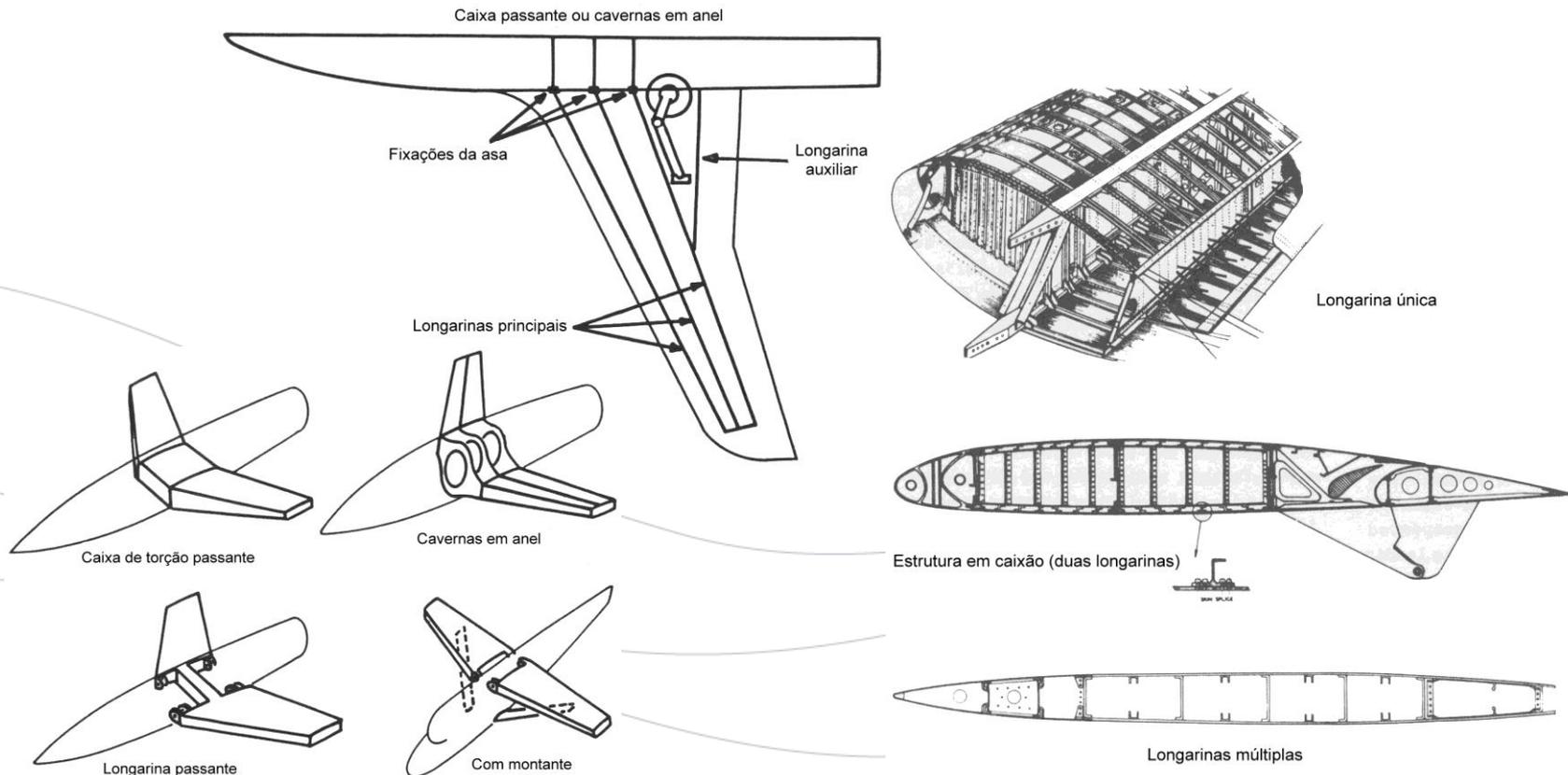


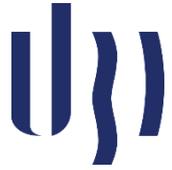


# 3. Considerações estruturais

- Estrutura da asa:
  - Considerar aspetos de espaço, configuração e peso
  - Tipo de longarina

Considerações acerca da configuração





## 3. Considerações estruturais

- Espessura da estrutura:
  - Transporte civil de grandes dimensões – 100 mm
  - Caça – 50 mm
  - Aviação ligeira –  $< 25$  mm



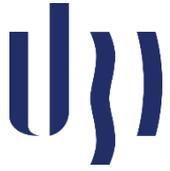
# 3. Considerações estruturais

- Flutter:
  - Interação dinâmica entre o fluido e a estrutura
  - Ocorre quando uma deflexão estrutural causa uma carga aerodinâmica que tende a aumentar a deflexão em cada oscilação até que é alcançada a falha estrutural
  - Ailerons (superfícies de controlo):
    - Aproximar CG da articulação
    - Não ter balanceamento aerodinâmico em excesso
    - Não ter folga nos controlos
  - Asas (superfícies sustentadoras):
    - Combinação de oscilação à torção e de oscilação à flexão
    - Aumentar a rigidez à torção
    - Aproximar o eixo elástico e o CG do eixo aerodinâmico



## 4. Considerações de segurança

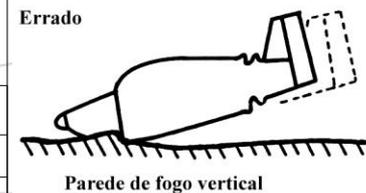
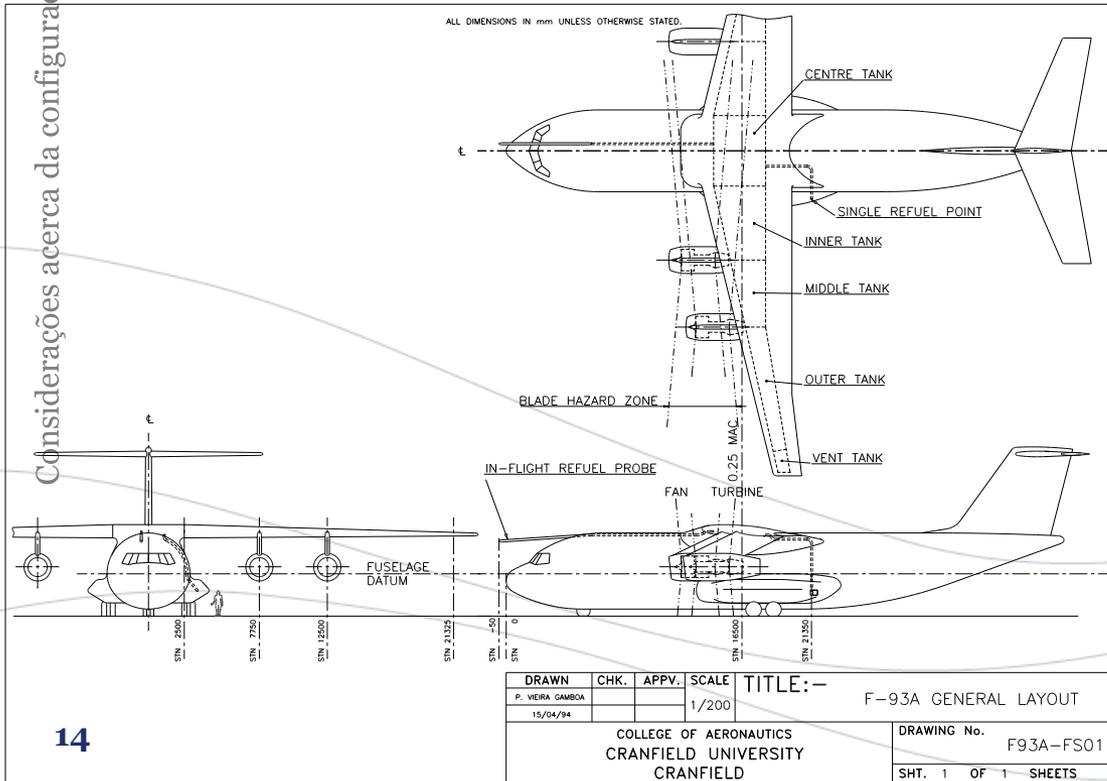
- Proteção dos ocupantes:
  - Considerar a localização de elementos que se podem soltar
  - Considerar a estrutura de suporte das cadeiras, cintos, chão, etc.
- Proteção dos tanques de combustível
  - Considerar a falha do trem, o rompimento da asa pelo motor ou pelo impacto no solo, etc.

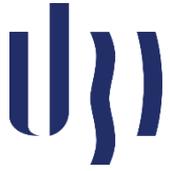


# 4. Considerações de segurança

- Falha de hélice ou estágio do motor :
- Cuidado com pormenores

Considerações acerca da configuração





## 5. Considerações de produção

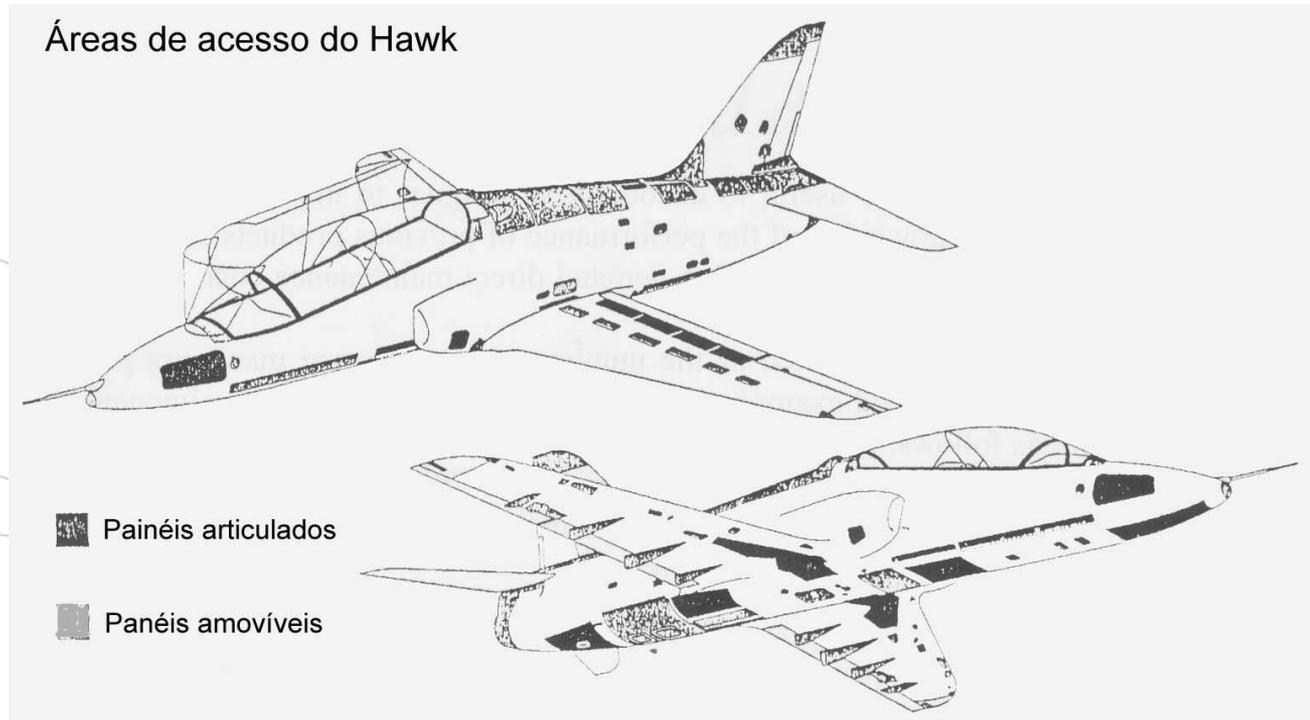
- Simplicidade e rapidez de fabricação
- Interfaces entre componentes diferentes
- Ligação de sistemas
- Partes fabricadas em diferentes empresas
- Peças forjadas requerem mais mão de obra e mais ferramentas
- Diminuição do número de peças:
  - Usar peças idênticas quando possível
- Processos de união (soldadura, rebitagem, aparafusamento, colagem)
- Processos de fabrico (moldagem, estampagem, injeção)



# 6. Considerações de manutenção

- Painéis de acesso
- Espaço disponível para acesso a componentes
- Acesso a lugares altos
- Desmontagem e montagem

Considerações acerca da configuração





6.0  
ma

Considerações acerca da configuração

Asa baixa torna possível retracção fácil do trem principal

Asa baixa facilita o acesso a sistemas como o ar condicionado e apoio em terra

Entradas do motor bem acima do spray da roda do nariz

Folga suficiente para carga centrais

Todos os itens prioritários a menos de 1,5 m do chão

**PREFERÍVEL**

**NÃO PREFERÍVEL**

**PARAFUSOS COM CABEÇAS NO EXTERIOR**

**PARAFUSO PRESO**

**FOLGA GRANDE**

**PORCA SOLTA**

**FIXAÇÃO DA PORCA**

**MÃO ESPALMADA**

**MÃO COM FIXA**

**CAIXA + 45 mm**

**UNIÃO OPERADA MANUALMENTE**

**MÃO COM CAIXA**

**TAMPA COM DIAGRAMA**

**PESO MÁXIMO CONFORTÁVEL**

**PESO MÁXIMO ACEITÁVEL**

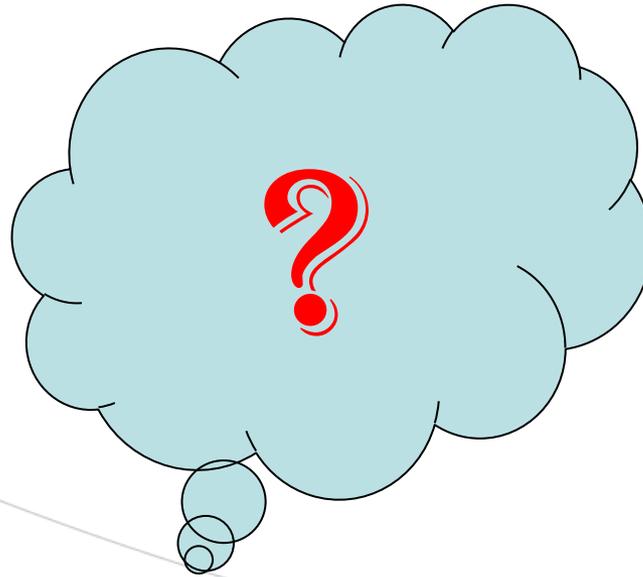
Height (pé)	Height (cm)	Maximum Comfortable Weight (kg)	Maximum Acceptable Weight (kg)
7	210	~150	~100
6	180	~120	~80
5	150	~90	~60
4	120	~70	~50
3	90	~55	~40
2	60	~45	~30
1	30	~30	~20



## 7. Qual a melhor configuração?

- A “melhor” configuração...

Considerações acerca da configuração



...depende da aplicação!



## 7. Qual a melhor configuração?

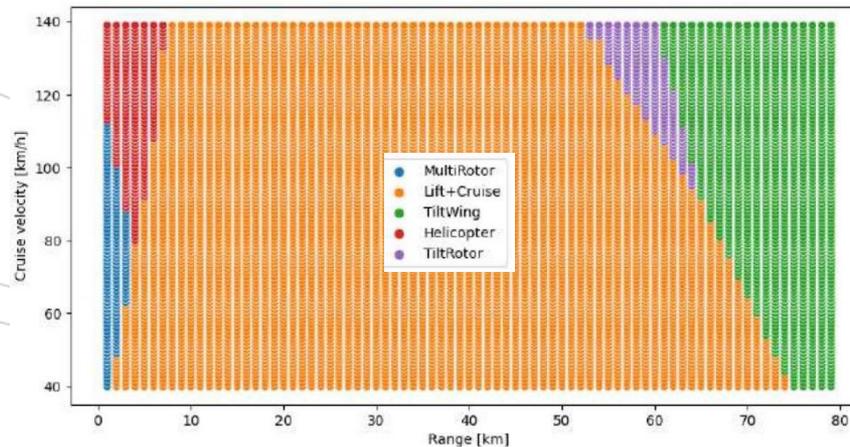
# Conceitos e aplicações

- Fixed rotors vs Tilt rotors



Considerações acerca da configuração

- Mais simples
- Mais arrasto
- Menos alcance/autonomia
- Menos velocidade
- Mais interferência na aerodinâmica da asa
- Mais leve



- Mais complexo
- Menos arrasto
- Mais alcance/autonomia
- Mais velocidade
- Menos interferência na aerodinâmica da asa
- Mais pesado



7. Qual a melhor configuração?

# Conceitos e aplicações

- Single tail boom vs Double tail boom
  - motor atrás liberta nariz

Considerações acerca da configuração



- Cones de cauda protegem a hélice
- Cauda menos rígida
- CG mais recuado
- Cargas da cauda transmitidas à asa
- Fuselagem mais leve



- Cauda mais rígida
- CG mais recuado
- Cone de cauda mais curto (com motor na cauda)
- Estrutura das asa mais simples



7. Qual a melhor configuração?

# Conceitos e aplicações

- Conventional layout vs Flying wing
- Velocidade de perda mais baixa
- Menor velocidade máxima
- Maior eficiência aerodinâmica



- Velocidade de perda mais alta
- Maior velocidade máxima
- Mais leve
- Menor assinatura de radar
- Menor complexidade
- Mais compacto

Considerações acerca da configuração



7. Qual a melhor configuração?

# Conceitos e aplicações

- Jet engine vs Piston engine



- Maior altitude
- Maior velocidade
- Maior alcance
- Combate aéreo



- Melhor desempenho de pista
- Maior autonomia
- Mais barato



7. Qual a melhor configuração?

# Conceitos e aplicações

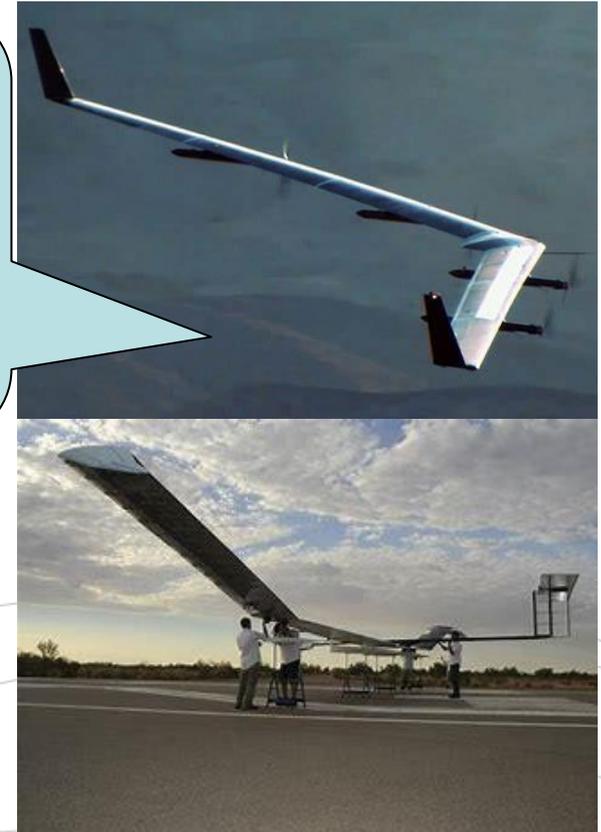
- Fuel powered vs Solar powered

Considerações acerca da configuração



- Maior tamanho
- Mais autonomia (potencialmente meses)
- Mais leve
- Menos robusto
- Maior altitude

- Maior velocidade
- Mais pesado
- Maior carga útil
- Mais robusto





7. Qual a melhor configuração?

# Conceitos e aplicações

- Higher aspect ratio vs lower aspect ratio

Considerações acerca da configuração



- Menor arrasto induzido
- Maior altitude máxima
- Maior alcance e autonomia
- Menor taxa de rolamento



- Maior arrasto induzido
- Menor altitude máxima
- Menor peso
- Maior taxa de rolamento
- Maior velocidade máxima



7. Qual a melhor configuração?

# Conceitos e aplicações

- Hand/catapult launched vs runway takeoff

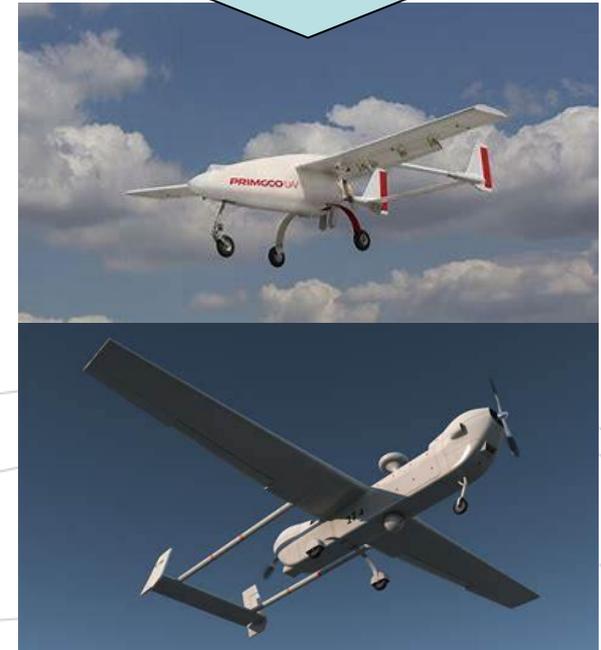
Considerações acerca da configuração



- Operação de qualquer lado
- Compacto
- Carga útil limitada
- Alcance limitado

- Mais arrasto
- Mais carga útil
- Menos flexível na operação
- Necessidade de pista

- Operação de qualquer lado
- Necessita de catapulta
- Carga útil limitada
- Mais leve
- Menos arrasto





## 7. Qual a melhor configuração?

# Conceitos e aplicações

- Asa em compósito vs Asa entelada
  - Mesma configuração mas estrutura diferente

Considerações acerca da configuração



mais ridez  
mais velocidade

ACC 2019:

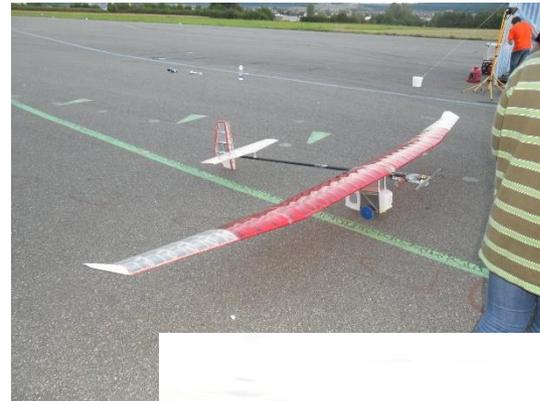
Descolagem 60 m

Velocidade 26 m/s

Massa vazio 4,2 kg

Carga útil 9 kg

Área alar 1,5 m<sup>2</sup>



ACC 2011:

Descolagem 60 m

Velocidade 11 m/s

Massa vazio 1,8 kg

Carga útil 11 kg

Área alar 1,5 m<sup>2</sup>



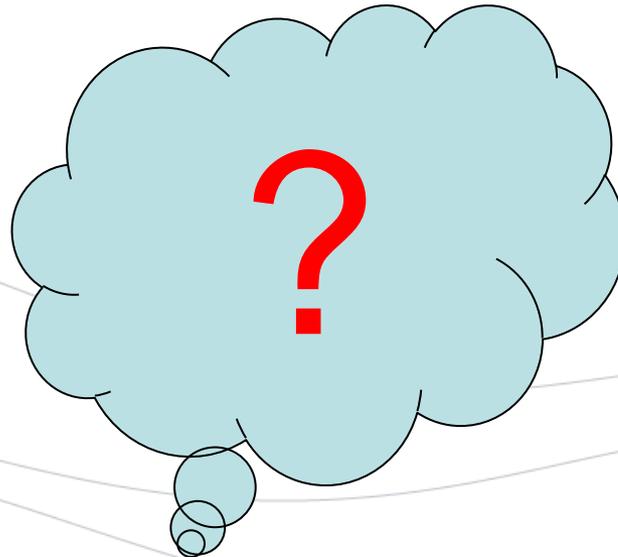
menos massa  
menos velocidade



# 8. Seleção qualitativa da configuração

- Existem aspectos de ordem prática, que se prendem com a função e operação da aeronave, que são difíceis de quantificar mas devem ser escolhidos de forma consciente
- Por vezes é conveniente fazer estudos qualitativos e comparativos

Considerações acerca da configuração

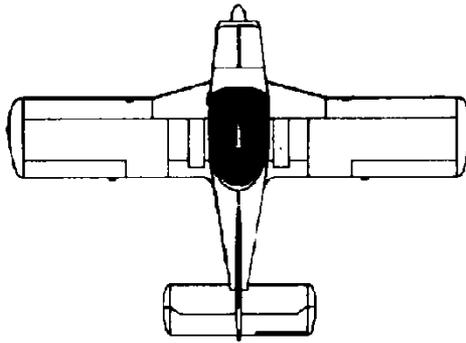




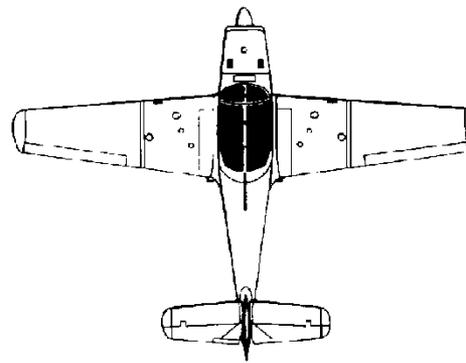
## 8. Seleção qualitativa da configuração

# Comparação direta

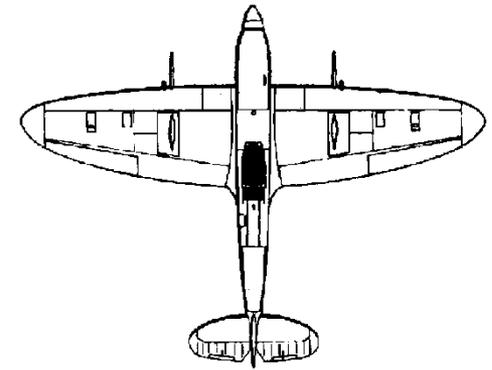
Considerações acerca da configuração



(a)



(b)



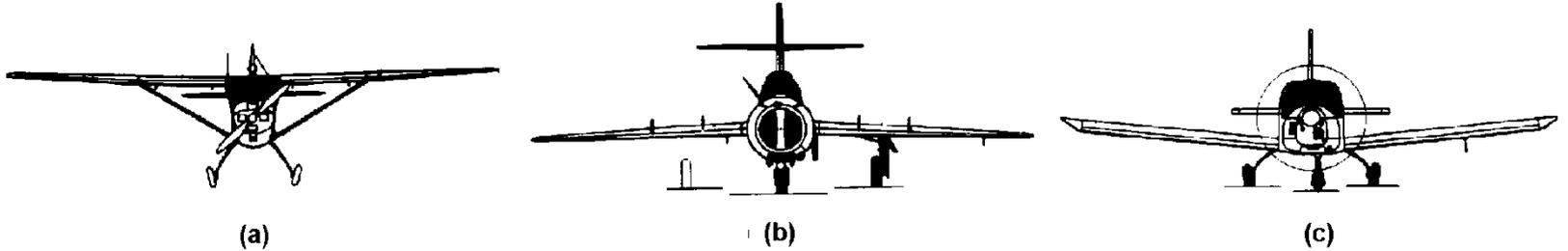
(c)

Critério	Configuração		
	(a) asa rectangular	(b) asa afilada	(c) asa elíptica
construção fácil	+	0	-
estrutura leve	-	+	+
eficiência aerodinâmica	-	0	+
qualidade de perda na ponta da asa	+	-	0



## 8. Seleção qualitativa da configuração

# Comparação de mérito



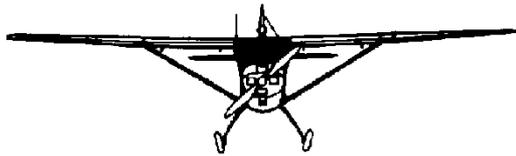
Considerações acerca da configuração

Critério	Importância (I)	Configuração					
		(a) asa alta		(b) asa média		(c) asa baixa	
		M	P	M	P	M	P
estabilidade	5	5	25	3	15	2	10
manobrabilidade	3	2	6	4	12	5	15
visibilidade em volta	5	2	10	4	20	5	25
visibilidade em cruzeiro	4	5	20	3	12	3	12
interferência asa/fuselagem	5	5	25	4	20	3	15
altura fuselagem	3	2	6	4	12	5	15
danos aterragem forçada	5	2	10	4	20	5	25
amaragem	3	2	6	4	12	5	15
efeito de solo	5	3	15	4	20	5	25
bitola do trem larga	5	2	10	4	20	5	25
			133		163		182

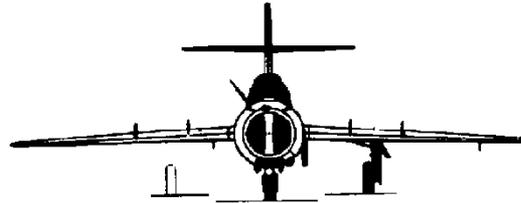


## 8. Seleção qualitativa da configuração

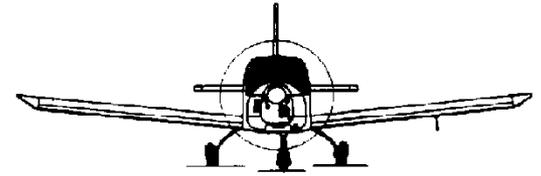
# Comparação hierárquica



(a)

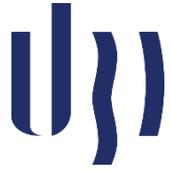


(b)



(c)

Critério	Importância (I)	Configuração					
		(a) asa alta		(b) asa média		(c) asa baixa	
		M	P	M	P	M	P
estabilidade	5	5	25	3	15	2	10
manobrabilidade	3	2	6	4	12	5	15
visibilidade em volta	5	2	10	4	20	5	25
visibilidade em cruzeiro	4	5	20	3	12	3	12
interferência asa/fuselagem	5	5	25	4	20	3	15
altura fuselagem	3	2	6	4	12	5	15
danos aterragem forçada	5	2	10	4	20	5	25
amaragem	3	2	6	4	12	5	15
efeito de solo	5	3	15	4	20	5	25
bitola do trem larga	5	2	10	4	20	5	25
			133		163		182



# 9. Integração da estrutura e dos sistemas

- É necessário manter sempre presente a necessidade de integrar todos os sistemas na aeronave
- A configuração e arranjo interior têm que permitir essa integração de uma forma funcional e com a distribuição de massa adequada

Considerações acerca da configuração

