

UNIVERSIDADE  
BEIRA INTERIOR

# Integração do Sistema Propulsivo

Projeto de Aeronaves (15096)

Licenciatura em Engenharia Aeronáutica

2024

Pedro V. Gamboa

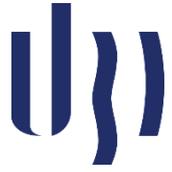
Departamento de Ciências Aeroespaciais

Faculdade de Engenharia

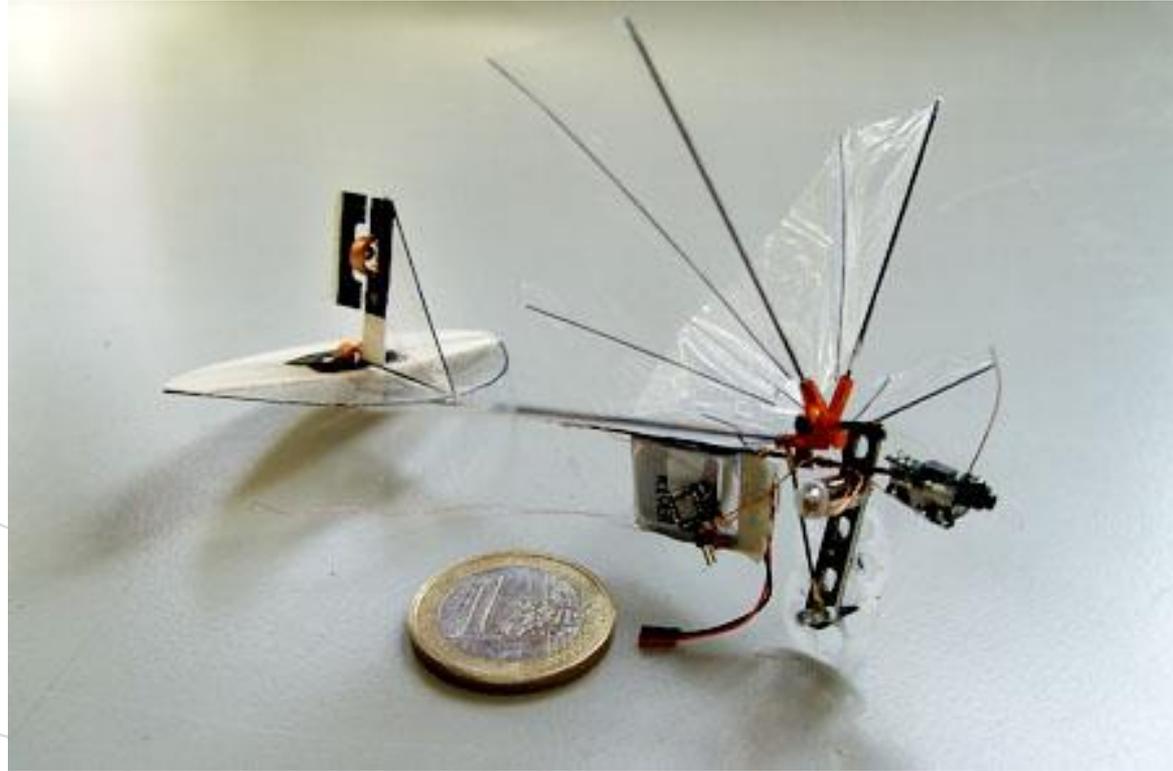


# 1. Introdução

- É necessário integrar o motor e sistemas acessórios na configuração e estrutura da aeronave
- Para isso as dimensões e geometria do motor e dos sistemas acessórios têm que ser conhecidos e definidos
- O sistema de combustível também tem que ser definido de acordo com os requisitos de volume, espaço e geometria disponíveis
- Considerar influência na configuração



## 2. Que tipo de propulsão?

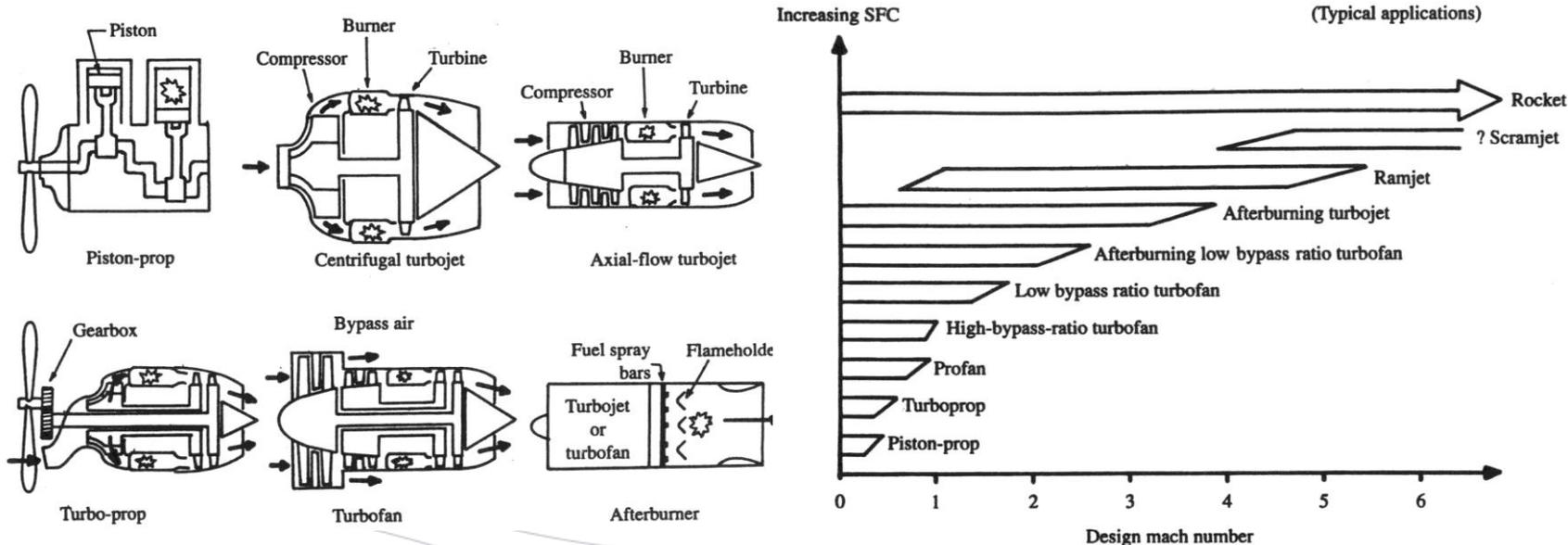




# 3. Seleção do tipo de motor

- Regime de voo
- Condições de operação
- Custos de aquisição e manutenção

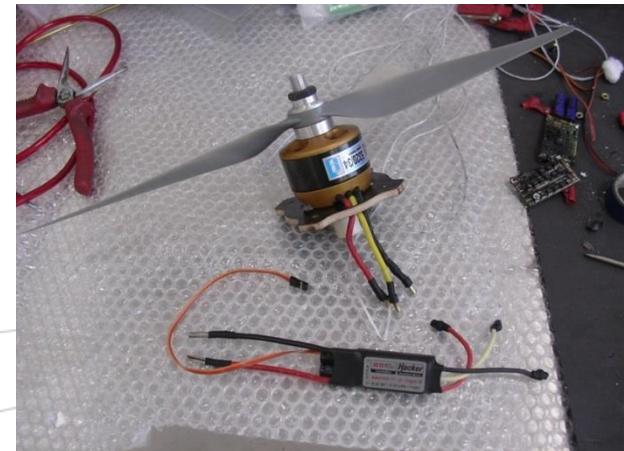
Integração do Sistema Propulsivo





## 3. Seleção do tipo de motor

- Combustão ou elétrico?
  - Preço de aquisição
  - Potência específica
  - Volume específico
  - Meio ambiente (ruído, emissões, etc.)
  - Energia específica e energia volúmica da fonte de energia
  - Custo da energia
  - Etc.





# 4. Configuração

- Número de motores:

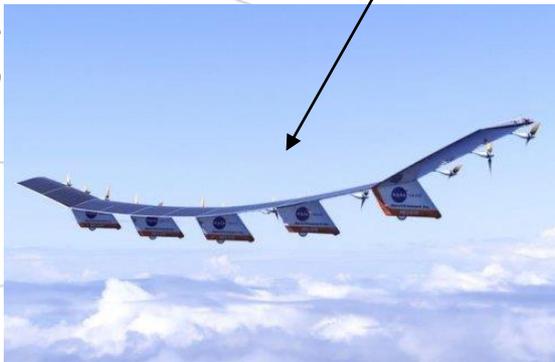
- monomotor

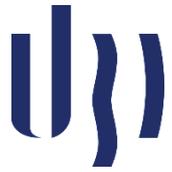
- bimotor

- trimotor

- quadrimotor

- multimotor



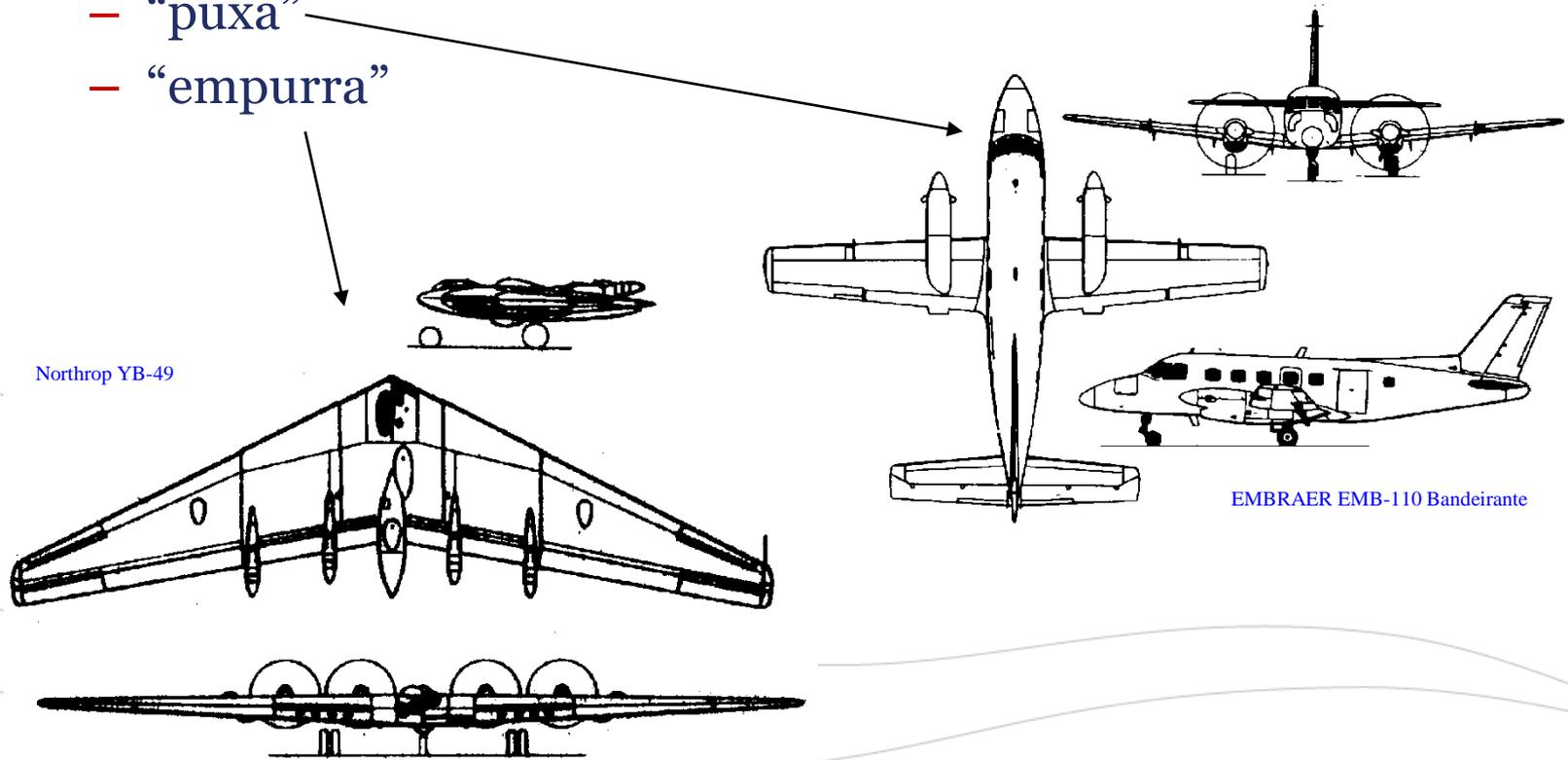


# 4. Configuração

- Efeito da propulsão:

- “puxa”
- “empurra”

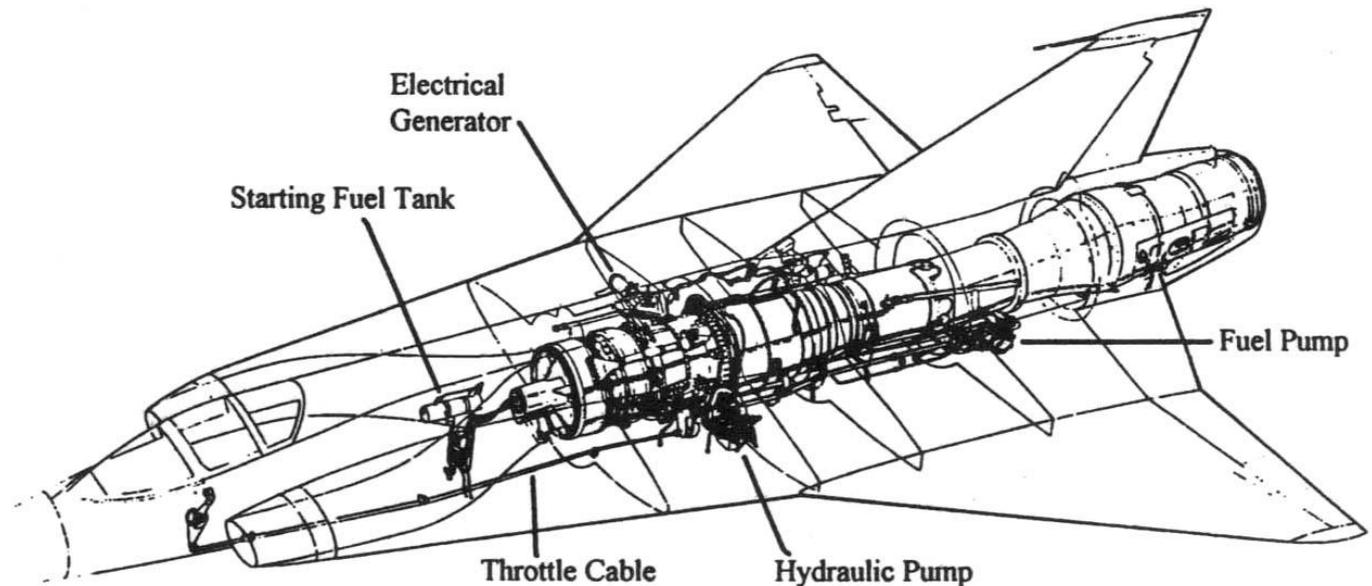
Integração do Sistema Propulsivo

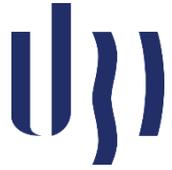




## 5. Propulsão a jato

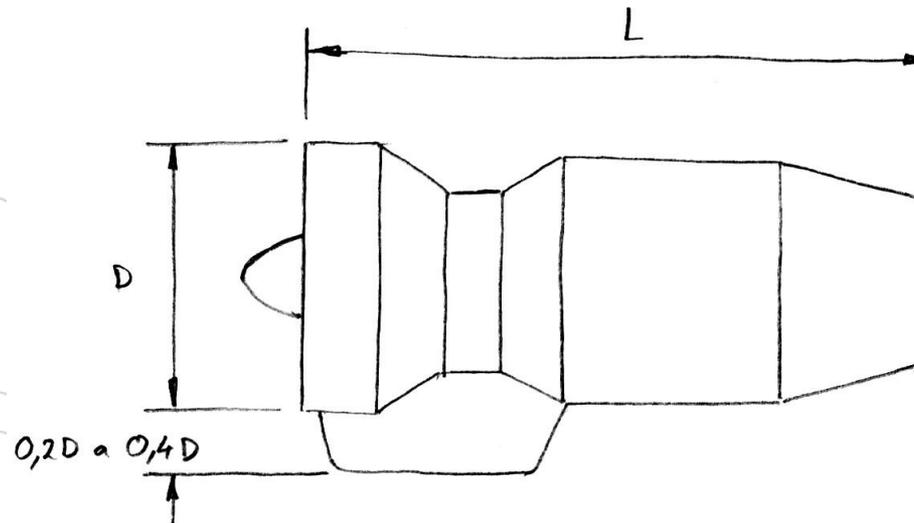
- Entrada de ar e tubeira de escape
- Ar de arrefecimento
- Instalação e remoção do motor
- Estrutura de suporte
- Sistemas acessórios





## 5. Propulsão a jato

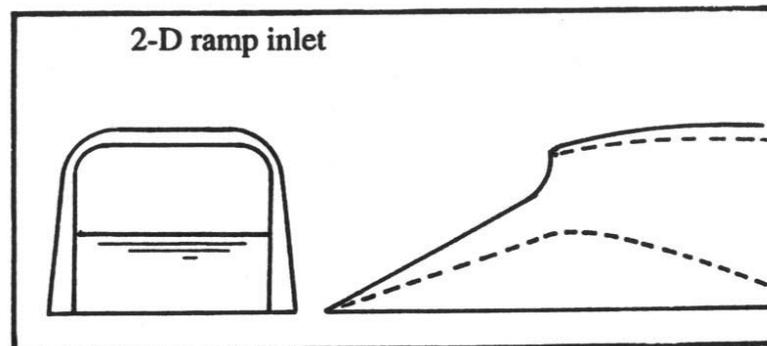
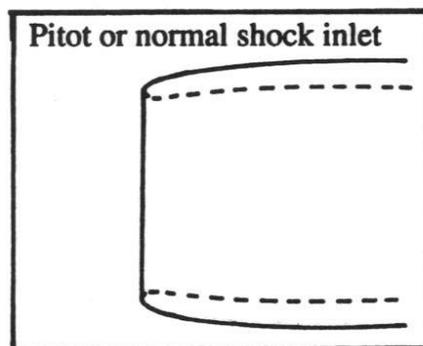
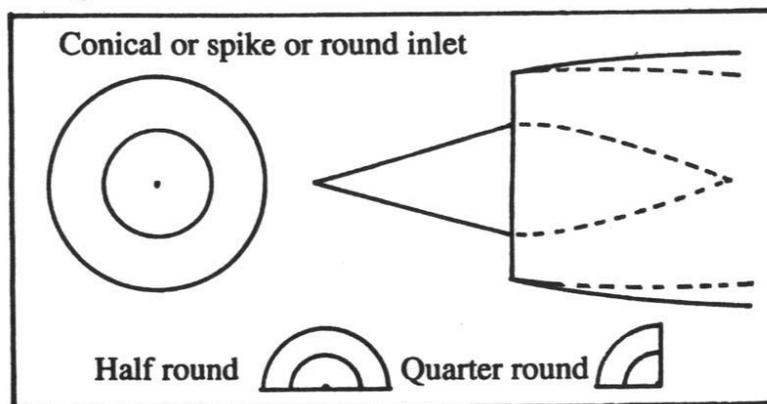
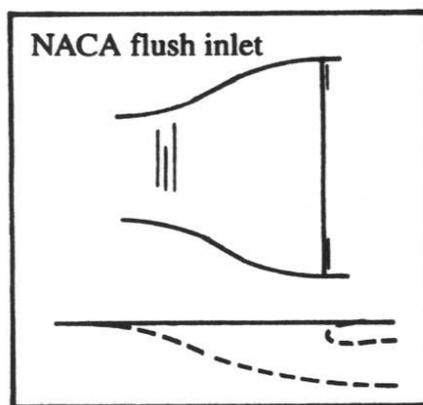
- Dimensões típicas (motor elástico):
  - Comprimento –  $L = L_{real}(SF)^{0,4}$
  - Diâmetro –  $D = D_{real}(SF)^{0,5}$
  - Peso –  $W = W_{real}(SF)^{1,1}$
  - Fator de escala –  $SF = T_{req}/T_{real}$

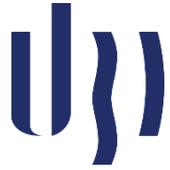




# 5. Propulsão a jato

- Tipos de entrada de ar:

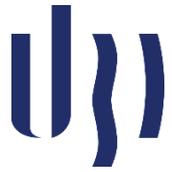




# 5. Propulsão a jato

- **Função da entrada de ar:**
  - Conduzir ar com o caudal necessário até à entrada do motor
  - Desacelerar o ar para um Mach de 0,4 a 0,5
- **Entradas de ar subsônicas:**
  - NACA – têm uma recuperação de pressão de cerca de 90% e são usadas, principalmente para ar de arrefecimento e em unidades de potência auxiliar
  - Pitot – têm uma recuperação de pressão de 100%
- **Entradas de ar supersônicas:**

Tipo de entrada de ar	Recuperação de pressão	Peso	Resistência	Complexidade	Mach
Cone	+	+	-	-	> 2
Rampa	-	-	+	+	< 2

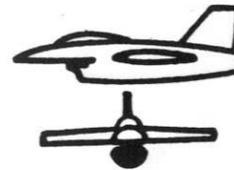


## 5. Propulsão a jato

- Localização da entrada de ar – motores embutidos:



Nose



Chin



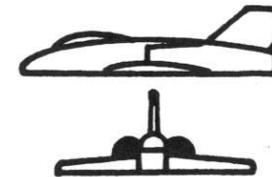
Side



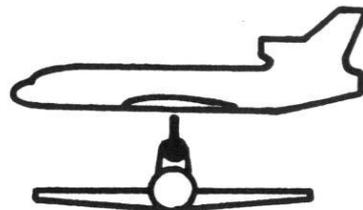
Armpit



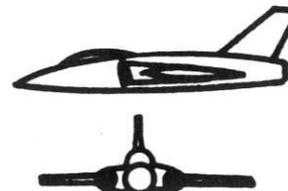
Over-fuselage



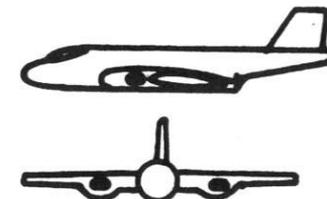
Over-wing



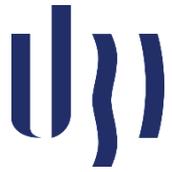
Over-fuselage  
(tail root)



Wing root

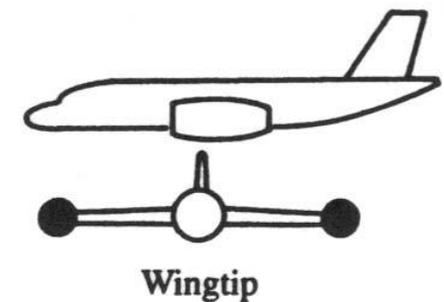
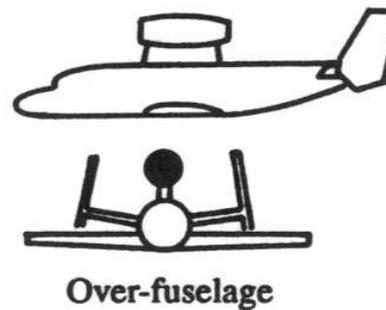
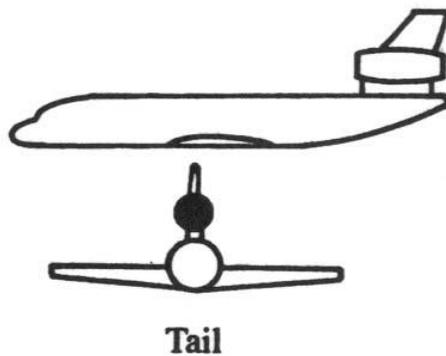
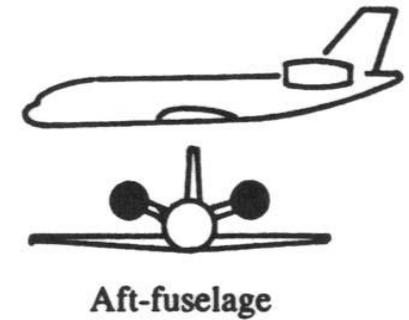
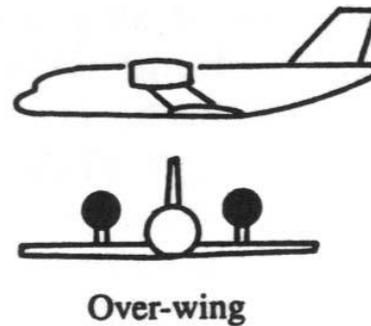


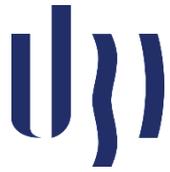
Wing leading edge



## 5. Propulsão a jato

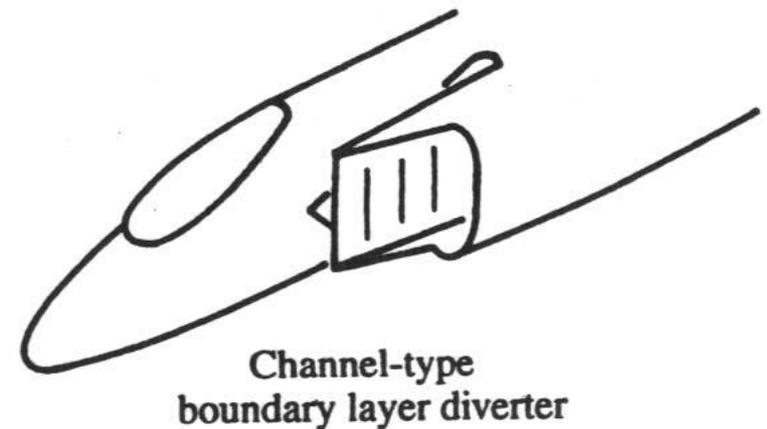
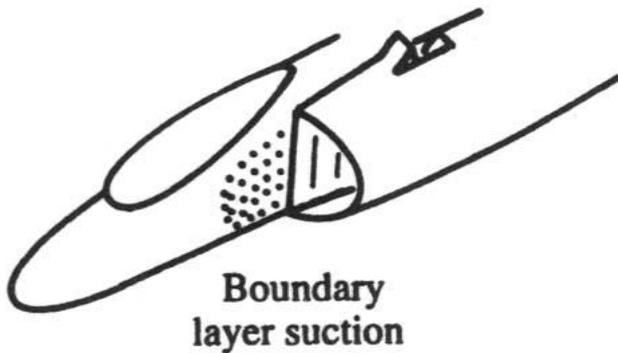
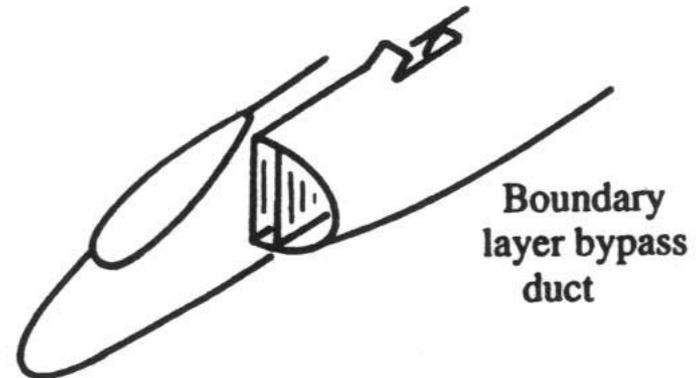
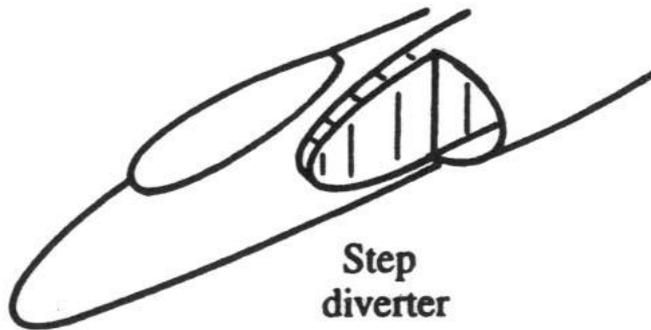
- Localização da entrada de ar – motores suspensos:

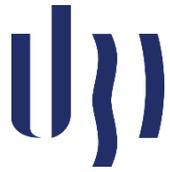




## 5. Propulsão a jato

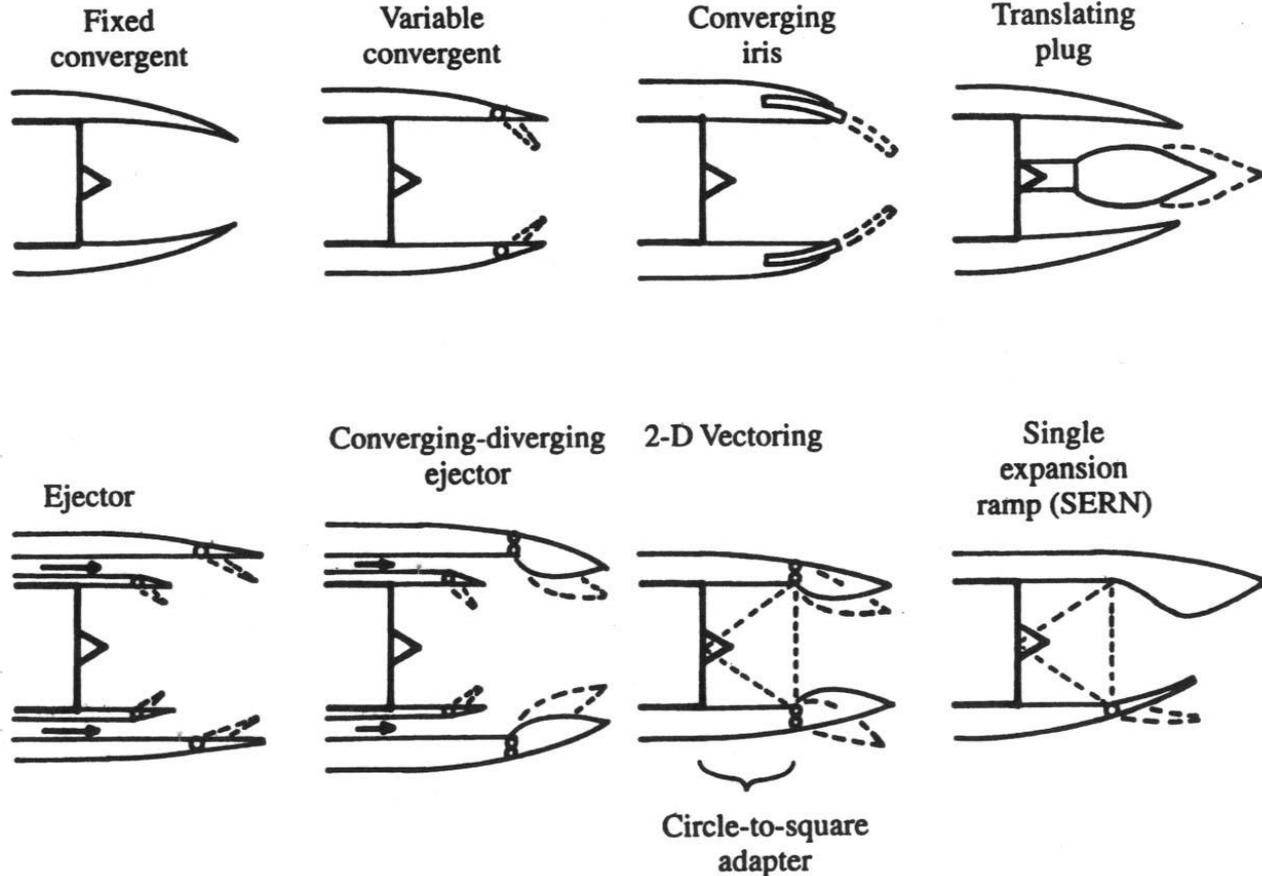
- Separadores de camada limite:





# 5. Propulsão a jato

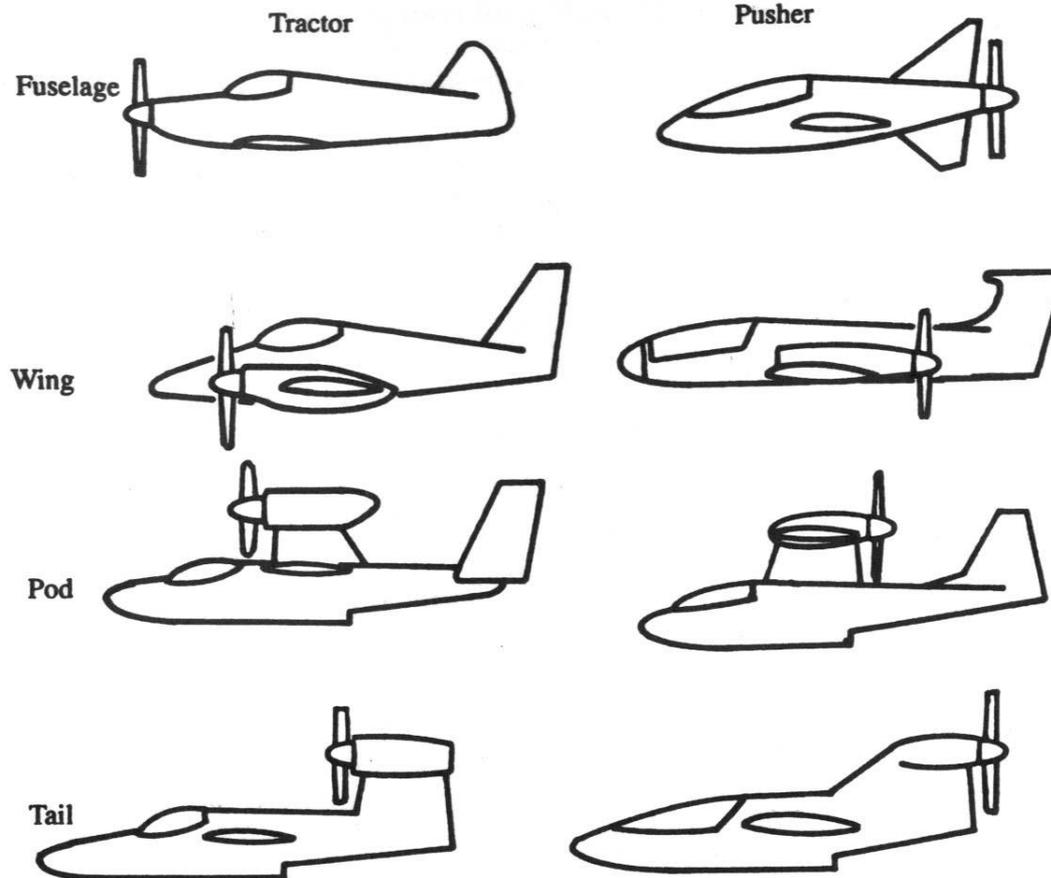
- **Tubeiras:**





# 6. Propulsão a hélice

- Localização da hélice:





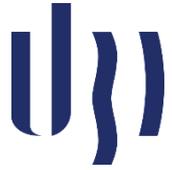
## 6. Propulsão a hélice

- Hélice “puxa”:
  - Motor à frente:
    - Tende a encurtar a parte dianteira da fuselagem
    - Empenagens mais pequenas, caudas mais longas e melhor estabilidade
  - Ar de arrefecimento mais facilmente obtido
  - A hélice está em escoamento não perturbado
- Hélice “empurra”:
  - Redução da resistência de fricção porque o avião voa em ar não perturbado



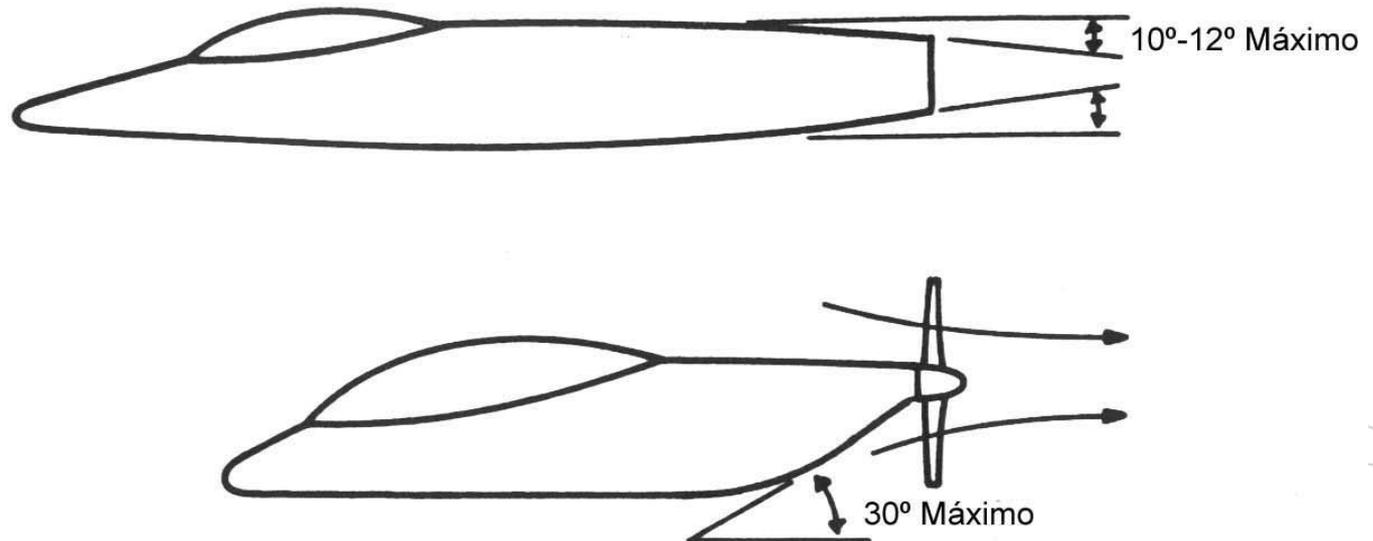
## 6. Propulsão a hélice

- Hélice “empurra” (cont.):
  - A área molhada da fuselagem pode ser reduzida com o motor na fuselagem. O escoamento para a hélice permite ângulos de fuga mais pronunciados, encurtando a fuselagem, sem separação do escoamento
  - A combinação canard-empurra é boa porque o canard requer um braço mais pequeno do que a EH – redução da área molhada
  - Redução de ruído:
    - Exaustão do motor fica atrás
    - Escoamento da hélice não afeta a fuselagem
  - Trem de aterragem mais longo para proteção da hélice
  - A hélice pode ser danificado mais facilmente por objetos que saltam da pista devido ao trem de aterragem



## 6. Propulsão a hélice

- Hélice “empurra” (cont.):
  - Arrefecimento do motor menos eficiente
- Uso de ângulos de fuga pequenos:
  - Reduzir a resistência de pressão





## 6. Propulsão a hélice

- Hélice nas asas:
  - Reduz a resistência parasita da fuselagem – esta fica fora do escoamento da hélice
  - Reduz o peso estrutural da asa
  - Possível danificação da fuselagem quando existe rutura de uma pá
  - Hélice “empurra” nas asas provoca vibrações devido à diferença de pressão entre o intradorso e o extradorso da asa



## 6. Propulsão a hélice

- Hélices suspensas:
  - Usadas em hidroaviões ou anfíbios
  - A linha de tração está muito acima do CG e pode criar problemas de controlo com o aumento da potência (momento de picada elevado). Corrige-se com área de EH elevada



## 6. Propulsão a hélice

- Estimativa da dimensão do motor:
  - Pode estimar-se a dimensão do motor estatisticamente, caso este ainda não seja conhecido ou não tenha sido selecionado
  - Podem usar-se motores conhecidos como referência

$$X_{\text{escala}} = X_{\text{real}} SF^b$$

$$SF = P_{\text{escala}}/P_{\text{real}}$$

X	Motores de pistão			
	Opostos	Em Linha	Radial	Turbo-hélice
Peso	0,780	0,780	0,809	0,803
Comprimento	0,424	0,424	0,310	0,373
Diâmetro	-	-	0,130	0,120

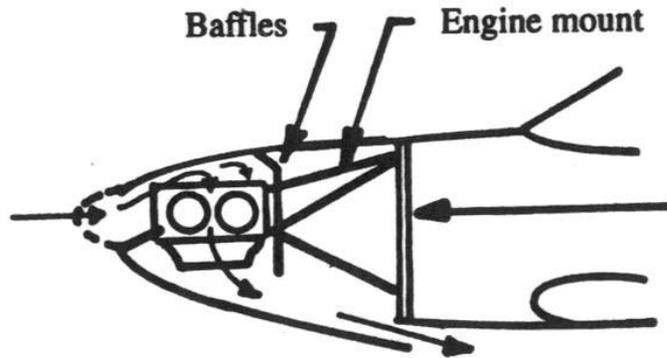


## 6. Propulsão a hélice

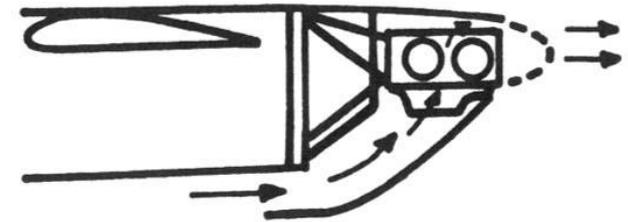
- Instalação do motor de pistão:
  - Inicialmente pode dizer-se que a área para arrefecimento é cerca de 30% a 50% da área frontal do motor
  - A área de saída do ar de arrefecimento é cerca de 40% a 65% da área frontal do motor (cerca de 30% maior que a área de entrada)
  - Numa primeira aproximação a distância do motor à parede de fogo é cerca de metade do comprimento do motor



# 6. Propulsão a hélice

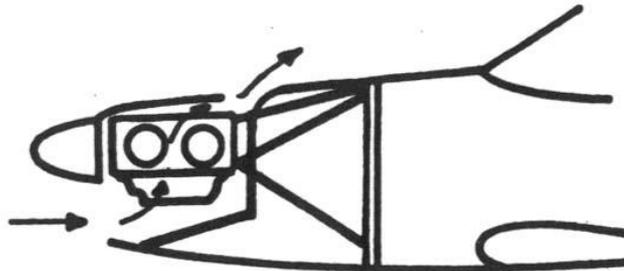


**Downdraft cooling**

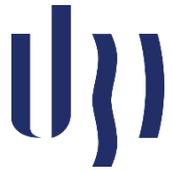


**Scoop**

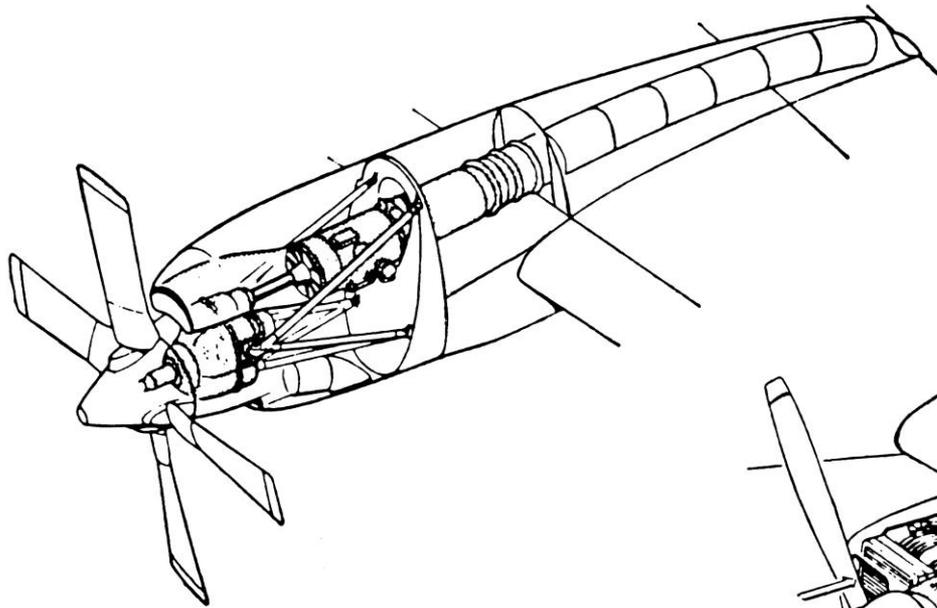
**Pusher propeller  
Updraft cooling**



**Updraft cooling**

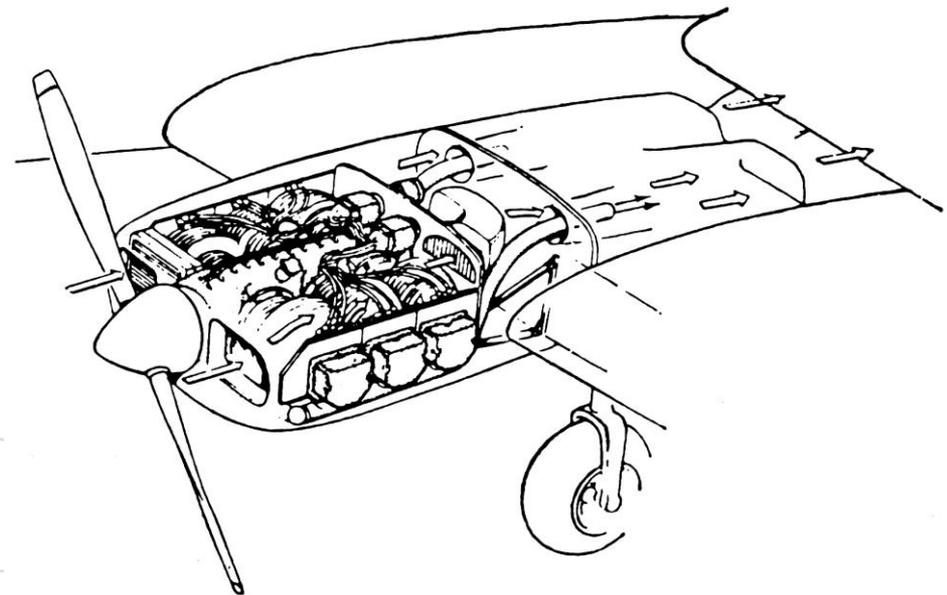


## 6. Propulsão a hélice



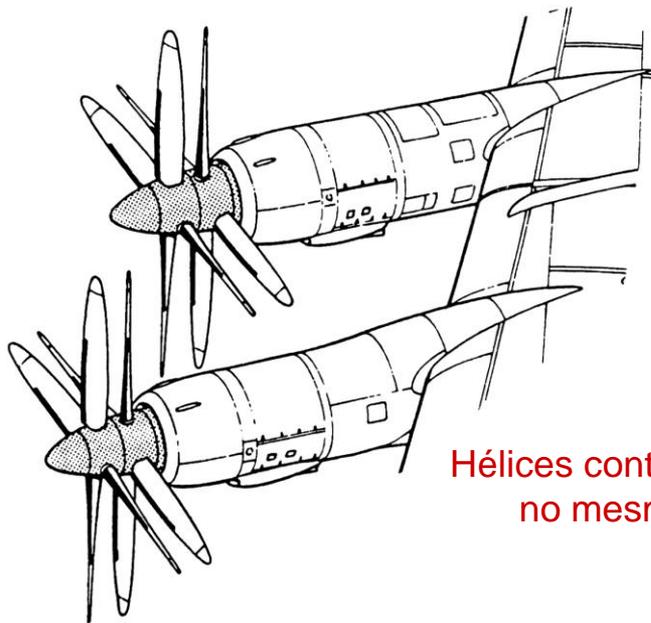
Motor turbo-hélice com caixa redutora

Motor de pistão com cilindros horizontais opostos e sucção de ar de refrigeração



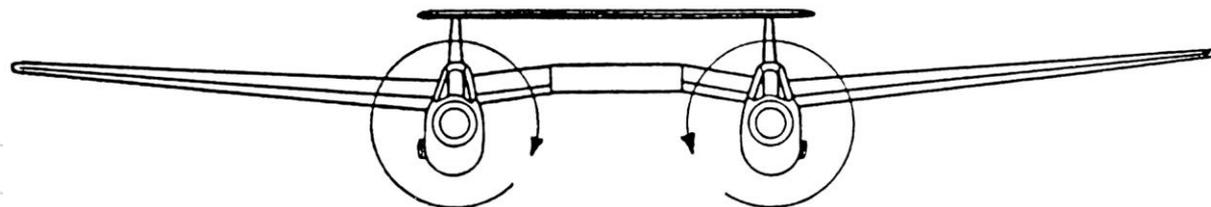


# 6. Propulsão a hélice



Hélices contra-rotativas no mesmo eixo

“Puxa-empurra” com hélices com rotação oposta à frente e atrás



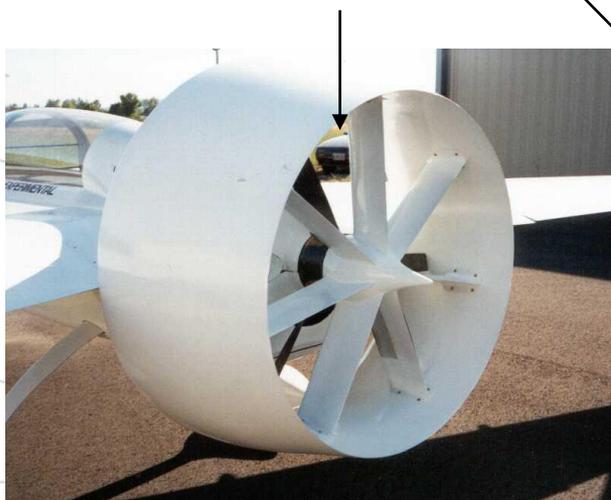
Hélices com rotação oposta

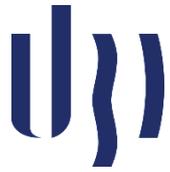


# 6. Propulsão a hélice

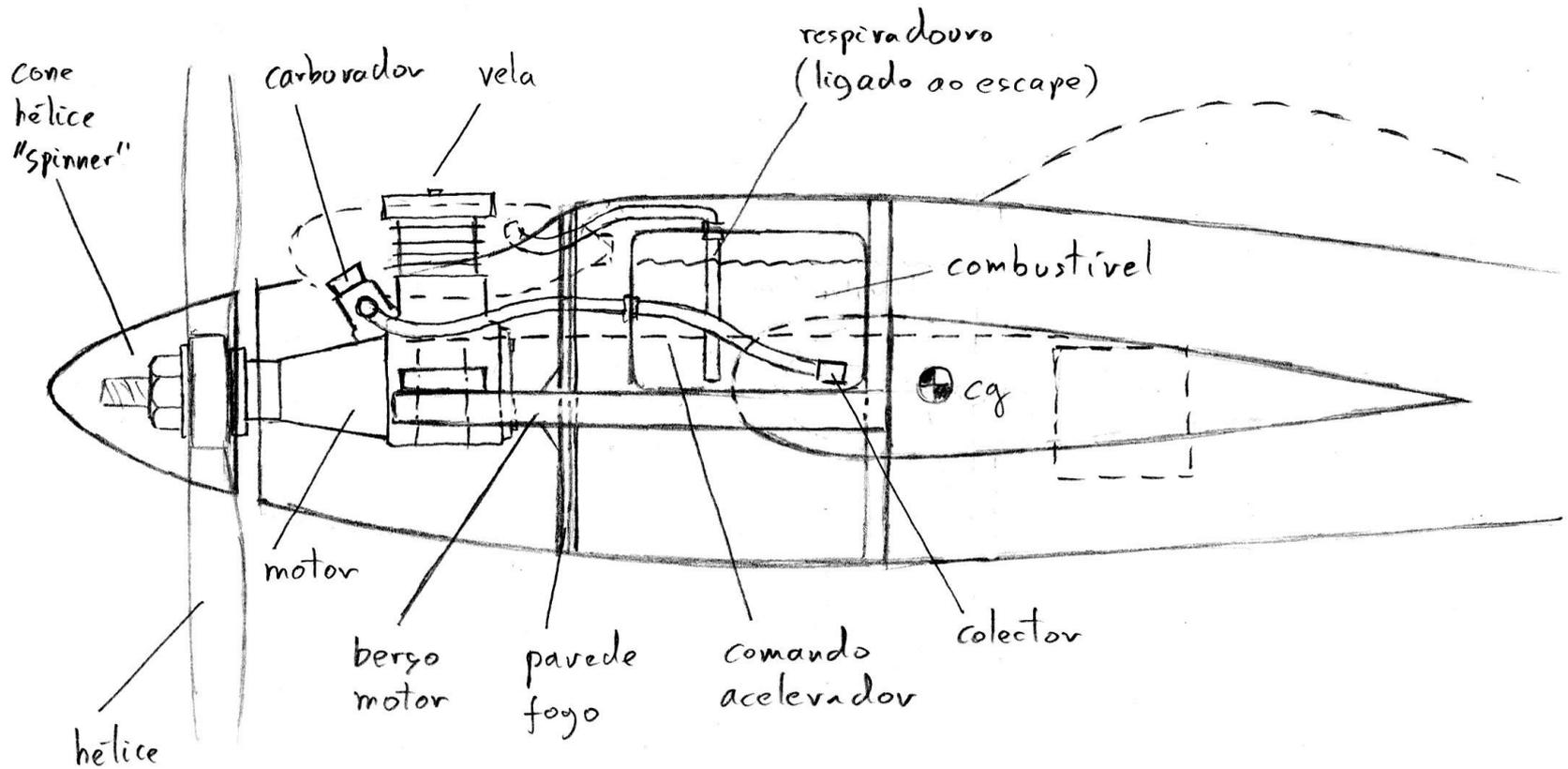
- Exemplos de instalações menos comuns:

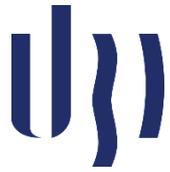
- Motor no meio da fuselagem
- Motor retrátil
- Channel wing
- Ducted fan





# 6. Propulsão a hélice





# 6. Propulsão a hélice

- Propulsão elétrica:

**ROLLS ROYCE**

Partners  
**YASA**

## THE WORLD'S FASTEST ALL-ELECTRIC VEHICLE

The Spirit of Innovation aircraft has become the world's fastest all-electric aircraft, setting 2 new world records. The aircraft reached a top speed of 345 mph over 3 kilometres, smashing the existing record by 132 mph. The aircraft also achieved 331 mph over 15 kilometres. During its record-breaking runs, the aircraft clocked up a maximum speed of 387.4 mph making the Spirit of Innovation the world's fastest all-electric vehicle.

Spirit of Innovation

**WORLD RECORDS**

**345** mph – 3 kilometres

**331** mph – 15 kilometres

**THERMAL PROTECTION Portuguese Cork**  
Battery heat is insulated using the same cork you find bottling wine.

**BATTERY 6480 cells**  
Enough power to charge 1500 phones.

**CONTROLS**  
This all-electric racer features a state-of-the-art controls system, providing the pilot all the information required to fly safely and quickly.

**AUXILIARY SYSTEMS**  
The Spirit of Innovation avionics bay contains the control hardware, including the engine control unit (ECU), power distribution unit (PDU) and flight sensors.

**PROPELLER ROTATION 2200 rpm**  
Twice as fast as a washing machine on high spin.

**MOTOR POWER 400 kW**  
Equivalent of a 535 BHP supercar.

**SYSTEM VOLTAGE 750 volts**  
High power output at low weight, similar to a Formula E racer.

**AIRFRAME Nemesis NXT**  
An ultra-fast kit plane was chosen for the challenge.

www.rolls-royce.com



# 7. Sistema de combustível

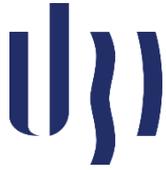
- Função do sistema de combustível:
  - Fornecer combustível ao motor
  - Alijar combustível
  - Controlar a posição do CG
- O sistema de combustível engloba os seguintes elementos:
  - Tanques
  - Linhas de combustível
  - Bombas e válvulas
  - Ventilação
  - Controlos



## 7. Sistema de combustível

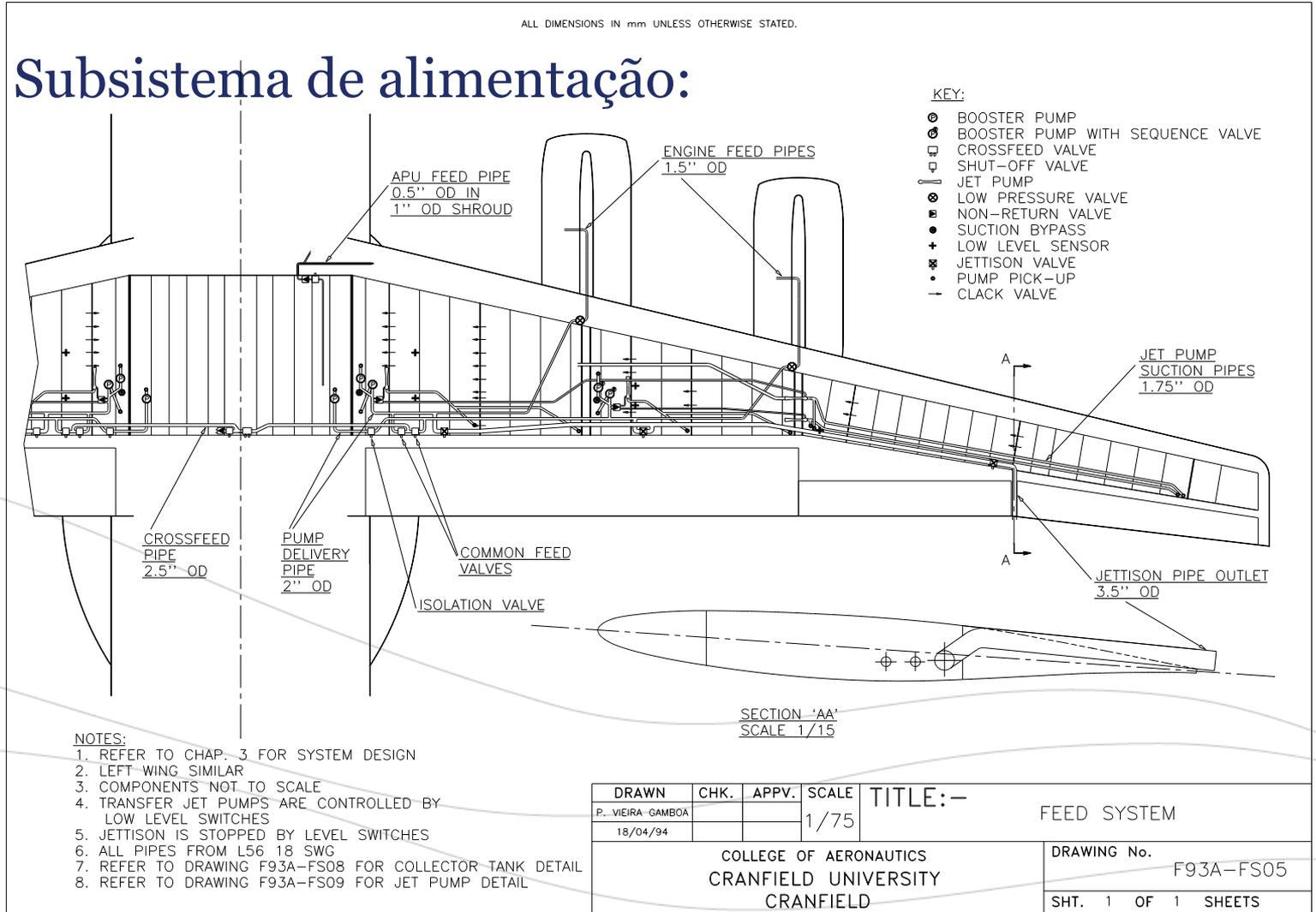
- Tanques de combustível:
  - Discretos – aviação geral e “homebuilt”
  - Saco – em borracha anti-fugas; percas de 10% do volume
  - Integral – usa a estrutura como limite e é isolado com espuma vedante; percas de 2% a 3% do volume.
- Abastecimento em voo:
  - Tipo “boom”
  - Tipo “probe and drogue”





# 7. Sistema de combustível

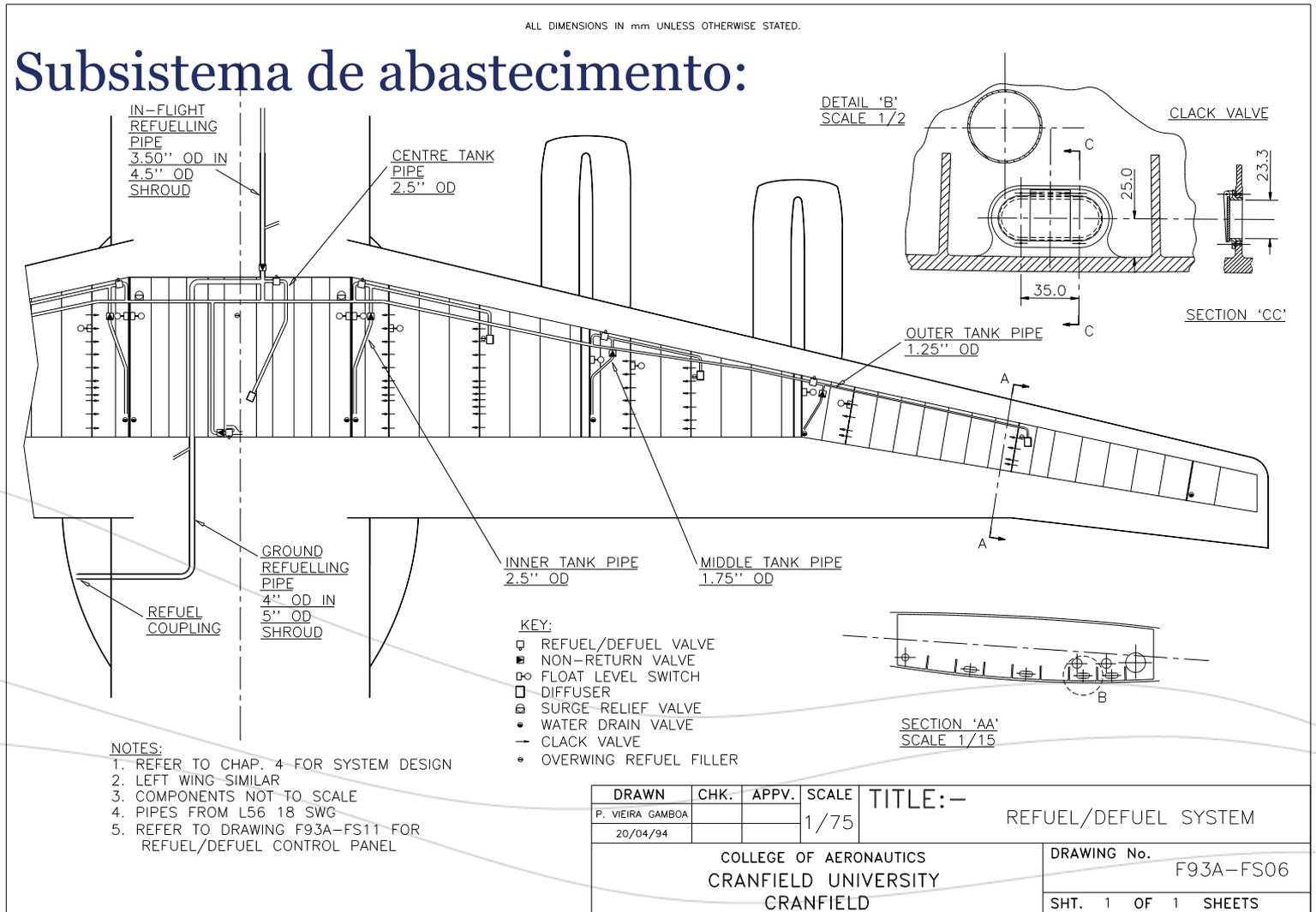
• **Subsistema de alimentação:**





# 7. Sistema de combustível

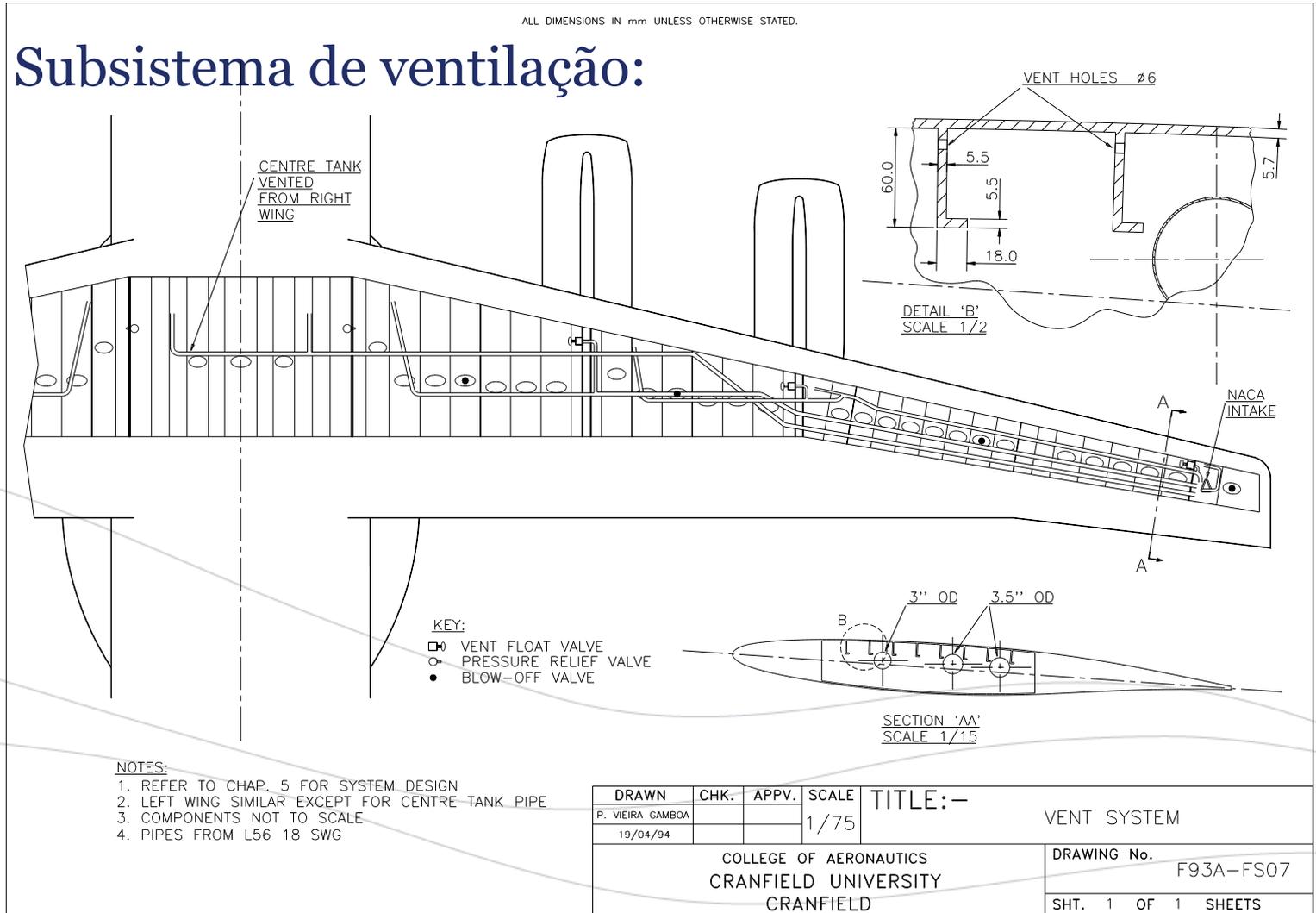
## Subsistema de abastecimento:

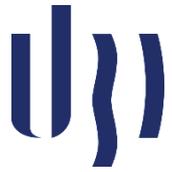




# 7. Sistema de combustível

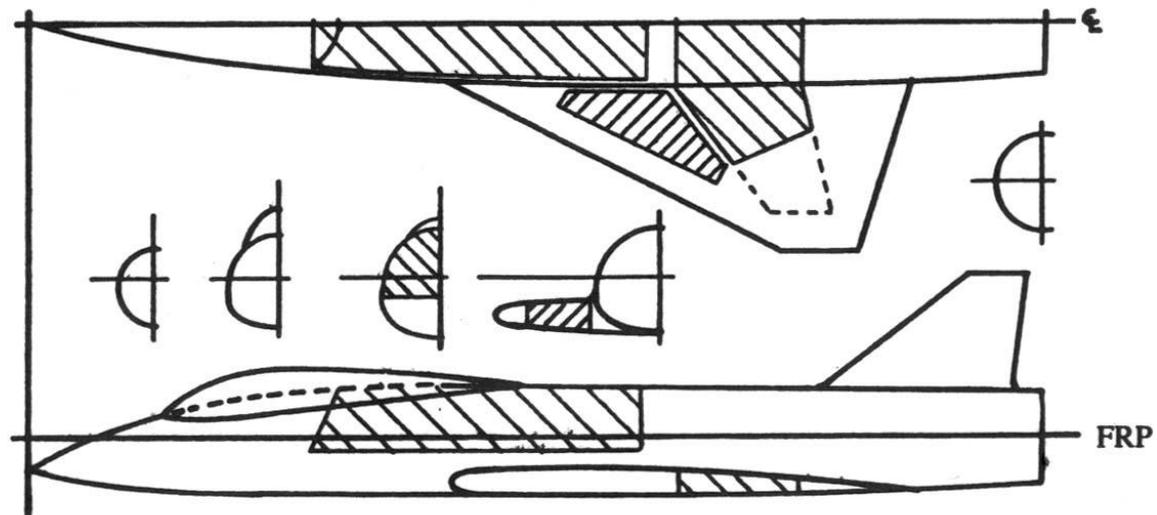
• **Subsistema de ventilação:**





# 7. Sistema de combustível

- Disposição dos tanques para ajuste do CG:



Cross-section  
area of tanks

Tank volume = area under each curve



Tank c.g. is centroid of area plot

Total fuel c.g. must be near aircraft c.g.