



# O Projecto de Aeronaves

Design Aeronáutico Computacional – 7627  
2º Ano da Licenciatura em Engenharia Aeronáutica



# Conceitos em Projecto de Aeronaves

**Pedro V. Gamboa**

16 Maio 2002



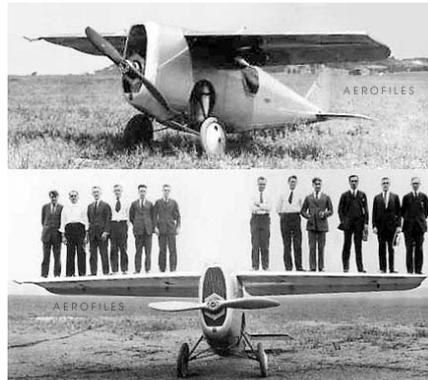
- O monoplano Northrop Gamma foi projectado em 1932 por Jack Northrop que tinha a fama de conceber projectos inovadores e avançados.
- O avião era totalmente construído em metal, tal como qualquer avião moderno (fabricação semi-monocoque em alumínio e rebitada).
- No entanto, o trem de aterragem era fixo, o que era contrário às tendências de projecto da altura.



16 Maio 2002



- Os projectistas já tinham compreendido que trens de aterragem retrácteis reduziam significativamente o arrasto aerodinâmico.
- O avião Dayton-Wright RB-1 de competição incorporava um trem de aterragem retráctil, bem como outras inovações tal como uma asa de arqueamento variável.
- O avião não foi um sucesso porque demasiadas coisas novas foram tentadas ao mesmo tempo. Isto é um resultado comum quando são usadas demasiadas inovações em projectos de engenharia.

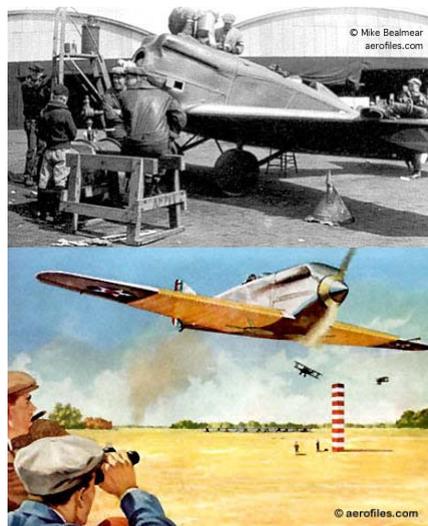


With a wing designed to withstand a 12-6 (9guys) load?

16 Maio 2002



- O avião de competição de 1922 Verville Sperry R-3 também usava trem retráctil.
- Ele foi melhorado aerodinamicamente como mostra a figura de baixo. Esta versão, de 1924, venceu a corrida Pulitzer.
- Este avião estava, pelo menos, 10 anos avançado em relação aos seus contemporâneos. Porque é que não teve mais influência do que de facto teve?



16 Maio 2002



- A resposta é simples: o trem de aterragem retráctil não oferece vantagem alguma a menos que o avião voe mais rápido do que 400 km/h.
- Abaixo desta velocidade, o peso extra do mecanismo de retracção é mais prejudicial do que a redução de arrasto conseguida.
- Por esta razão o Gamma tinha um trem fixo (a velocidade de cruzeiro era de 350 km/h).
- No entanto, o Gamma tinha um aspecto “fora de moda” comparado com outros aviões, como o Lockheed Orion 9.



16 Maio 2002



- De facto, o projecto de um avião pode ser influenciado por questões de “marketing” tal como por questões de engenharia.
- No início dos anos 30, construir aviões em metal, em vez de madeira, era considerado muito avançado e “moderno”.
- Esta atitude é comparável à actual posição em relação aos compósitos.



SI Neg. # 80-14830

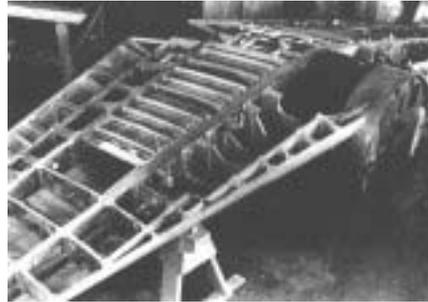


SI Neg. # 97-15873

16 Maio 2002



- A construção em metal tem várias vantagens:
- O material possui propriedades consistentes, isotrópicas e uniformes.
- O nível de especialização de fabricação é inferior.
- A rebitação é facilmente inspeccionada e corrigida comparada com a colagem.
- A produção em massa não depende de um recurso natural limitado.



16 Maio 2002



- Mesmo assim, a madeira foi usada em aviões da década de 30 e posteriores.
- Exemplos disso são o de Havilland Mosquito da WW2 e o Hughes Hk-1 Hercules (“Spruce Goose”) de 1942.
- A aplicação da madeira como material de engenharia por excelência vai ser demonstrada com um exemplo de flambagem de uma coluna.



16 Maio 2002



- Considere-se uma coluna com apoios simples nas extremidades sujeita a uma instabilidade de Euler, tal que:

$$P = \pi^2 EI / L^2$$

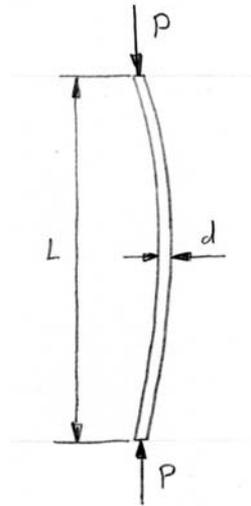
- Considere-se, também, que a secção da coluna é quadrada.

$$I = d^4 / 12 = Ad^2 / 12$$

- Onde A é a área da secção.
- A massa da coluna é dada por

$$m = \rho AL$$

- onde  $\rho$  é a densidade do material.



16 Maio 2002



- Considere-se que a madeira usada é o spruce:

$$\rho_{\text{spruce}} = 513 \text{ kg/m}^3$$
$$E_{\text{spruce}} = 13100 \text{ N/mm}^2$$

- Escolhe-se, também,

$$L = 1000,0 \text{ mm}$$
$$d_{\text{spruce}} = 12,0 \text{ mm}$$

- Obtém-se

$$m_{\text{spruce}} = 513 \times 0,012^2 \times 1,0$$
$$= 0,074 \text{ kg}$$
$$I_{\text{spruce}} = 12,0^4 / 12 = 1728 \text{ mm}^4$$

- Com estes dados obtém-se a carga de flambagem seguinte:

$$P_{\text{spruce}} = \pi^2 \times 13100 \times 1728 / 1000^2$$

$$P_{\text{spruce}} = 223,4 \text{ N}$$

16 Maio 2002



- Escolha-se, agora, uma coluna com a mesma massa e comprimento, feita de alumínio:

$$\rho_{al} = 2700 \text{ kg/m}^3$$
$$E_{al} = 73000 \text{ N/mm}^2$$

- Obtém-se a largura da secção:

$$d_{al} = (0,074/(2700 \times 1))^{1/2}$$
$$= 0,0053 \text{ m}$$
$$I_{al} = 5,3^4/12 = 66 \text{ mm}^4$$

- Com estes dados obtém-se a carga de flambagem para a coluna de alumínio:

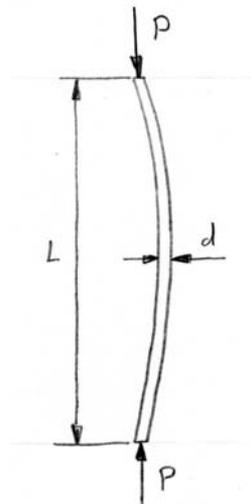
$$P_{al} = \pi^2 \times 73000 \times 66 / 1000^2$$

$$P_{spruce} = 47,6 \text{ N}$$

16 Maio 2002



- Pode ver-se que para a mesma massa e comprimento, a coluna de spruce suporta uma carga de flambagem quase 5 vezes superior à de alumínio.
- Podem tirar-se as seguintes conclusões para uma estrutura constituída por elementos esbeltos:
- Para um dado peso, o spruce resulta numa estrutura mais forte do que o alumínio.
- Ou então, para uma dada resistência a estrutura de spruce seria mais leve.
- Isto explica porque é que a madeira era um material muito apropriado para os primeiro aviões, onde as cargas eram tais que este tipo de estrutura era adequada.



16 Maio 2002



- Numa estrutura de asa biplana, os esforços principais nas longarinas são tensão e compressão.
- O principal modo de falha é a flambagem devido às cargas compressivas.
- O primeiros monoplanos tinham as asas suportadas por cabos, que também criavam cargas de compressão nas longarinas.
- Ambos os aviões ilustrados são construídos principalmente em madeira.
- Isto resultava em estruturas leves capazes de voar com os motores de baixa potência desse tempo.



16 Maio 2002



- Considere-se, agora, uma coluna com massa e comprimento iguais às anteriores, mas feita de compósito de carbono/epoxi:
- Com estes dados obtém-se a carga de flambagem para a coluna de carbono/epoxi:

$$\rho_c = 1600 \text{ kg/m}^3$$
$$E_c = 217600 \text{ N/mm}^2$$

$$P_c = \pi^2 \times 217600 \times 178 / 1000^2$$

$$P_c = 382,3 \text{ N}$$

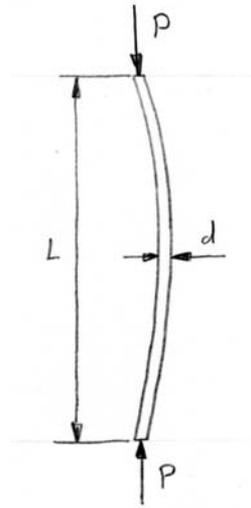
- Obtém-se a largura da secção:

$$d_c = (0,074 / (1600 \times 1))^{1/2}$$
$$= 0,0068 \text{ m}$$
$$I_c = 6,8^4 / 12 = 178 \text{ mm}^4$$

16 Maio 2002



- Apesar deste valor ser quase o dobro do da coluna de spruce, a diferença não é tão grande como entre o spruce e o alumínio.
- A lição que se pode retirar daqui é que, os esforços em certos tipos de estrutura não justificam, necessariamente, o custo e complexidade de fabricação dos materiais compósitos.



16 Maio 2002



- Voltando ao exemplo da coluna de spruce pode determinar-se a tensão de compressão na flambagem:

$$\begin{aligned}(\sigma_{\text{comp}})_{\text{spruce}} &= P_{\text{spruce}}/A_{\text{spruce}} \\ &= 223,4/12,0^2 \\ &= 1,55 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

- Este valor é muito abaixo da tensão de ruptura à compressão de:

$$(\sigma_{\text{compf}})_{\text{spruce}} = 25,86 \text{ N/mm}^2$$

- Considere-se, agora, uma coluna projectada para falhar, à flambagem, na tensão de ruptura à compressão.

- A dimensão  $d$  é obtida de:

$$\begin{aligned}I &= PL^2/(\pi^2E) = \sigma d^2L^2/(\pi^2E) \\ I &= d^4/12\end{aligned}$$

- Então:

$$\begin{aligned}d &= (12\sigma L^2/(\pi^2E))^{1/2} \\ d &= 48,99 \text{ mm}\end{aligned}$$

16 Maio 2002



- A coluna está no limite de secção entre a flambagem e a falha à compressão.
- A massa desta coluna é 1,231 kg.
- A carga de ruptura é 62065 N.
- Que capacidade extraordinária para um pedaço de madeira!
- A única razão para não se usar a madeira, para além das razões mencionadas anteriormente, é se a sua resistência não é suficiente para suportar os esforços mesmo que o volume aerodinâmico fosse completamente preenchido.



Perfil de madeira sólida

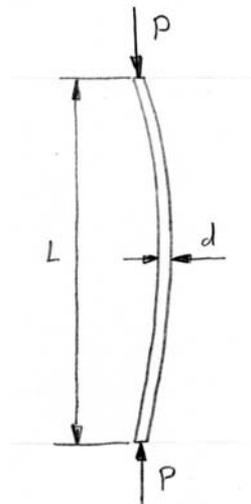


Perfil de casca metálica

16 Maio 2002



- Se se projectasse uma coluna de alumínio para resistir à mesma carga, o seu valor de  $d$  seria 30,46 mm (flambagem).
- A sua massa seria 2,505 kg, o que é o dobro da coluna de madeira.
- No entanto, para uma coluna de carbono/epoxi o valor de  $d$  seria 24,27 mm.
- A sua massa seria 0,942 kg, que é 76 % da massa da coluna de madeira.



16 Maio 2002



- Com base nos cálculos anteriores, poder-se-ia concluir que a construção em compósito de carbono/epoxi seria, de longe, melhor do que a de alumínio.
- Na prática, isso não é necessariamente verdade.
- Exemplo disso são o Piaggio Avanti em alumínio e o Beech Starship em compósito.
- O Avanti é melhor do que o Starship em quase todos os aspectos.



16 Maio 2002



- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Piaggio Avanti</b></li><li>• Massa de descolagem = 4903 kg</li><li>• Alcance específico = 3,35 km/kg</li><li>• Velocidade de cruzeiro = 391 nós (724 km/h)</li><li>• Coeficiente de sustentação máximo = 1,38</li><li>• Distância de aterragem desde 15,24 m = 701 m</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beech Starship</b></li><li>• Massa de descolagem = 6532 kg</li><li>• Alcance específico = 2,24 km/kg</li><li>• Velocidade de cruzeiro = 315 nós (583 km/h)</li><li>• Coeficiente de sustentação máximo = 0,89</li><li>• Distância de aterragem desde 15,24 m = 823 m</li></ul> |
|---|---|



16 Maio 2002



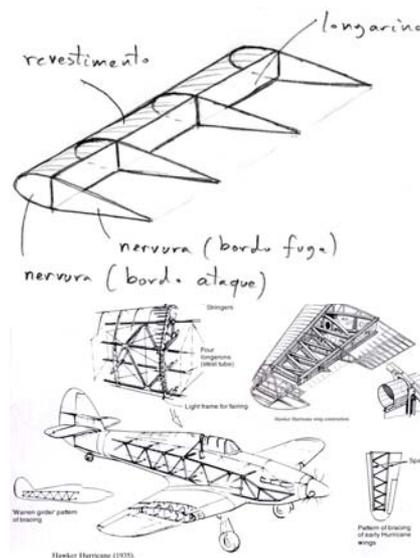
- O caça Fokker D-8 de 1918 tinha a asa construída toda em madeira.
- Note-se que, ao contrário de outros aviões contemporâneos, existem poucos cabos tensores.
- Isto é resultado da estrutura inovadora baseada no conceito do perfil espesso.
- O inovador desta aplicação foi Reinhold Platz.



16 Maio 2002



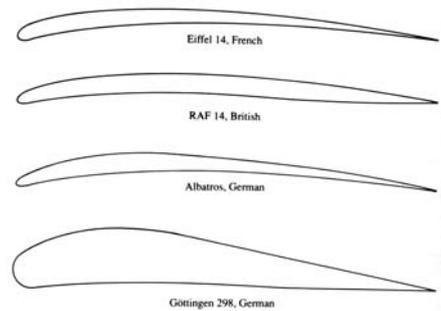
- O perfil espesso permitiu a incorporação de uma longarina de asa alta com resistência suficiente para resistir as carga de flexão.
- A secção da asa também era grande o suficiente para criar uma caixa de torção para resistir as cargas de torção.
- Isto foi um grande contraste em relação à prática de construção de outros aviões da época.
- Porquê?



16 Maio 2002



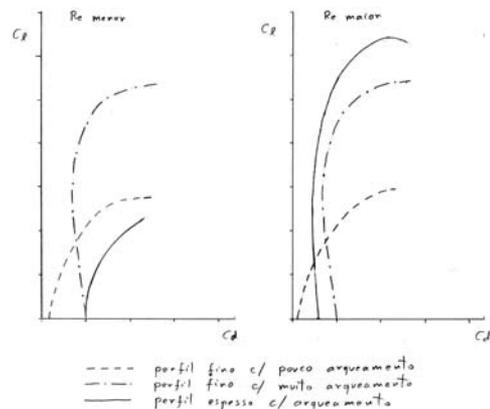
- Os túneis de vento dessa época permitiam apenas escoamento de baixa velocidade (baixo número de Reynolds).
- Os perfis finos com arqueamento têm um desempenho superior aos perfis espessos em números de Reynolds baixos.
- Baseados nestes dados, os projectistas usavam perfis finos com arqueamento.
- Tais perfis têm uma área de secção e espessura demasiado pequenas para incorporar internamente a estrutura.
- Assim, a estrutura externa era necessária para dar a resistência e a rigides requeridas.



16 Maio 2002



- De facto, os aviões operavam com número de Reynolds muito superiores.
- Um perfil espesso é mais eficiente em números de Reynolds mais elevados, o que não podia ser revelado pelos dados de túnel de vento disponíveis.
- Reinhold Platz começou a trabalhar na Fpkker como soldador e não estava a par (ou influenciado) pelos dados dos perfis.
- Uma vez que o perfil espesso fazia sentido estruturalmente, ele decidiu experimentar isso num avião experimental.
- O resultado foi um sucesso.
- Isto é um exemplo de inovação que não foi resultado de educação formal.



16 Maio 2002



- O conceito de asa da Fokker foi usado em muitos aviões posteriores bem sucedidos.
- Um deles foi o T-2, o primeiro avião a voar, sem paragens, de costa a costa dos EUA (com reabastecimento em voo).
- O Fokker Tri-Motor foi usado como transporte comercial e como avião de exploração.



16 Maio 2002



- Mas... um Fokker Tri-Motor despenhou-se no EUA em 31 de Março de 1931.
- Este acidente foi muito publicitado pela imprensa porque, nele, morreu o famoso treinador de futebol Knute Rockne.
- Da investigação levada a cabo, concluiu-se que a causa foi do acidente deveu-se a falha de juntas coladas.
- A confiança pública em aviões de madeira para aviões de transporte foi destruída.

16 Maio 2002



- A morte de Rockne abriu as portas para a aceitação entusiástica do público pelos aviões em metal.
- James Edward Gordon disse acerca das estruturas coladas: “Colar é mais uma responsabilidade do que uma arte”.
- O mesmo cuidado aplica-se, agora, aos modernos aviões em compósito.
- A mistura dos componentes da cola (proporções correctas), a preparação da superfície, aplicação (em ambos os lados) e aperto são acções que requerem cuidado e responsabilidade.
- Quando pronta, a junta é praticamente impossível de ser inspeccionada comparada com uma junta rebitada.



16 Maio 2002



- Não se pode falar em aviões de madeira sem mencionar o hidroavião Hughes HK-1 (“Spruce Goose”).
- Este é o avião maior jamais construído (envergadura de 97,5 m, massa de descolagem de 181600 kg).
- Os componentes foram formados com camadas de madeira e cola, dispostas num molde e sujeitas a pressão e calor (o processo “Duralam”).
- Não foi usado spruce na construção do avião, mas sim bétula (ou vidoeiro)!



16 Maio 2002



- Madeira, metal e compósitos não são os únicos materiais com que se construíram aviões.
- Um projecto interessante é o Goodyear Inflatoplane de 1956.
- O interesse era ser um pacote compacto que podia ser atirado aos pilotos abatidos atrás das linhas inimigas.
- O piloto usava o motor para fazer funcionar um compressor que insuflava o avião.
- Depois, o piloto voava para casa (teoricamente).



16 Maio 2002



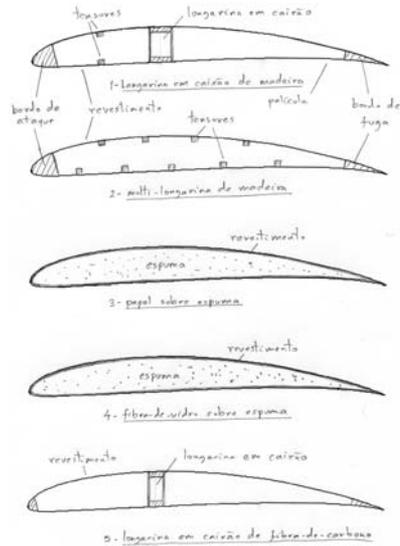
- O revestimento era um tecido com borracha.
- A forma era garantida por milhares de faixas tecidas internamente que mantinham o tecido inflado com a forma da asa, cauda e fuselagem.
- A pressão interna era de cerca de 48 kPa.
- Isto proporcionava a rigidez e resistência adequadas para operações normais.
- A massa da estrutura era razoável (143 kg para uma envergadura de 8,53 m) e uma massa de descolagem de 338 kg.
- No entanto, o receio de perfuração e esvaziamento impediu a ideia de se tornar popular.



16 Maio 2002



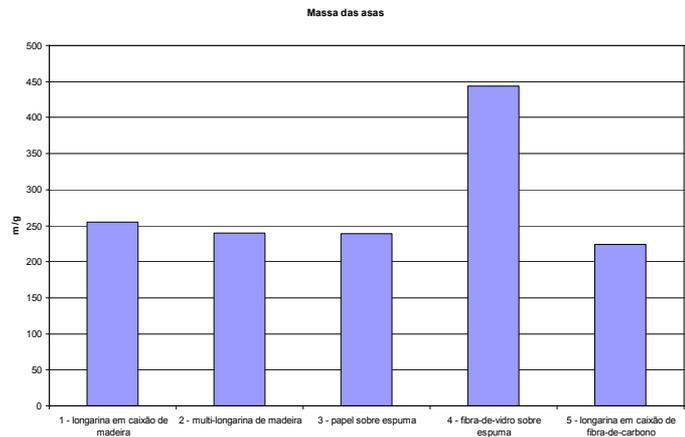
- Vamos, agora, comparar as características de vários tipos de construção de asa para RPVs.
- Os métodos de construção são típicos para aeromodelos.
- As asas foram testadas para determinar várias características bem como a resistência de ruptura.



16 Maio 2002



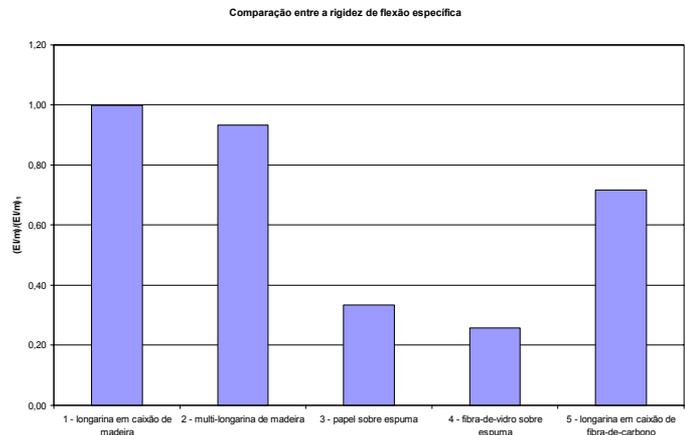
- Todas as asas tinham massas idênticas excepto a de fibra-de-vidro sobre espuma, que tinha quase o dobro da massa.
- Esta técnica de construção é muito usada em aviões experimentais projectados por Burt Rutan.
- Ela permite obter formas refinadas e de bom acabamento, mas com penalização no peso.



16 Maio 2002



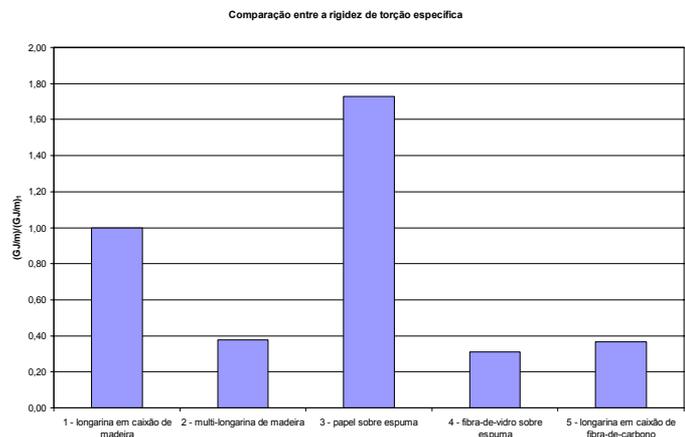
- $EI$  é a rigidez de flexão.
- $EI/m$  é indicativo da rigidez de flexão específica (rigidez de flexão por unidade de massa).
- As estruturas totalmente em madeira (longarina em caixão e multi-longarina) são as melhores.
- A asa de fibra-de-vidro sobre espuma é a pior.



16 Maio 2002



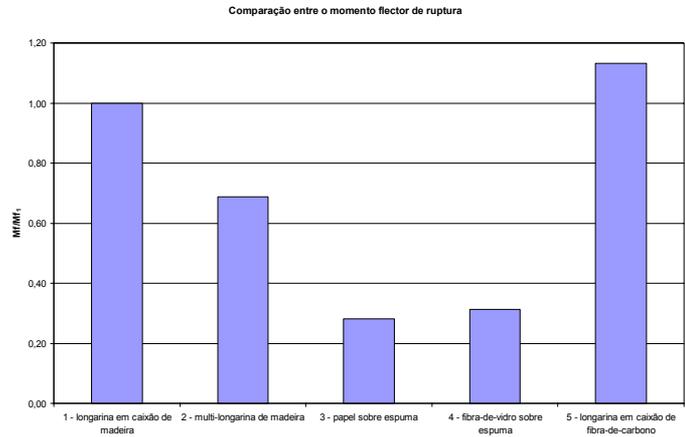
- $GJ$  é a rigidez de torção.
- $GJ/m$  é indicativo da rigidez de torção específica (rigidez de torção por unidade de massa).
- A asa de papel sobre espuma é, surpreendentemente, a melhor, ainda melhor do que a de fibra-de-vidro sobre espuma, que é a pior.
- O papel usado é um tipo de papel espesso e fibroso.



16 Maio 2002



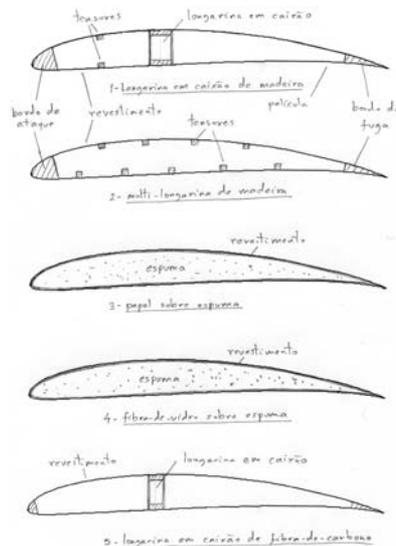
- $M_f$  é o momento flector de ruptura.
- $M_f/m$  é o momento flector de ruptura específico (momento flector de falha por unidade de massa).
- A asa com longarina em caixão em fibra-de-carbono é a melhor.
- A asa com longarina em caixão em madeira está muito próxima.
- As estruturas sem longarina são as piores.



16 Maio 2002



- Poder-se-ia concluir, com base nos exemplos mostrados, que a estrutura de asa com longarina em madeira é, no geral, a melhor.
- No entanto, este estudo não é exaustivo.
- Fibra-de-carbono sobre espuma não foi testado, por exemplo.
- Também existem outras configurações estruturais que possuem almas e caixas de torção.



16 Maio 2002



## Conclusão

O tipo de configuração, material e estrutura tem que ser escolhido de acordo com a aplicação desejada.

É necessário ser crítico nas decisões tomadas em todos os níveis do projecto.



# Novos Conceitos para o Projecto Aeronáutico do Século 21

Pedro V. Gamboa - 2008



## Os Primeiros 50 Anos de Voo

- Um problema difícil: origem de sonhos e acidentes.



... tudo num espaço de 50 anos!

Pedro V. Gamboa - 2008



DAC

# Os Primeiros 50 Anos de Voo

- Desenvolvimentos levam ao voo tripulado.



Otto Lillenthal, 1891 – Primeiros voos em planadores.



Slingsby T.12 Gull 1, 1938 – Planador de alto desempenho.

O Projecto de Aeronaves

Pedro V. Gamboa - 2008



DAC

# Os Primeiros 50 Anos de Voo

- Desenvolvimentos levam ao voo com motor.

Wright Flyer, 1903 – Primeiro avião motorizado a voar.



Messerschmitt Me-262, 1942 – Primeiro avião a jacto em serviço.



O Projecto de A



Supermarine Spitfire, 1938 – Caça topo de gama da WWII.



Bell X-1, 1947 – Primeiro avião a ultrapassar a velocidade do som.

Pedro V. Gamboa - 2008



DAC

# Os Primeiros 50 Anos de Voo

- Desenvolvimentos levam ao transporte de passageiros.

Blériot XXIV Limousin, 1911 – Um dos primeiros aviões para transporte de passageiros.



Junkers F13, 1919 – Primeiro avião de passageiros todo em metal.



O Projecto de Aeronaves



de Havilland Comet, 1952 – Primeiro avião de passageiros a jacto.



Boeing 707, 1954 – Primeiro avião de passageiros a jacto com sucesso comercial.

Pedro V. Gamboa - 2008



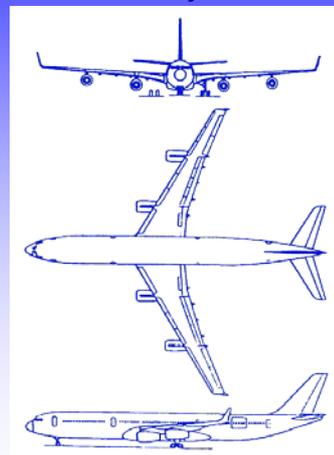
DAC

# Os Segundos 50 Anos de Voo

Conceito básico de avião de 1953...



... sem mudanças em 2003.



O Projecto de Aeronaves

Aparentemente sem mudanças...

...mas com melhoramentos dramáticos em custo, eficiência, alcance e capacidade.

Pedro V. Gamboa - 2008



DAC

# Os Segundos 50 Anos de Voo

- Voar mais rápido, mais alto e mais pesado.

Boeing 747, 1969 – Avião de passageiros maior.



Concorde, 1969 – Avião de passageiros mais rápido.



O Projecto de Aeronaves



Antonov An-225, 1988 – Avião maior do mundo (250 toneladas de carga útil).



Dryden Altair, 2003 – UAV de grande altitude com autorização para operar em aeroportos civis (16000m de altitude).

Pedro V. Gamboa - 2008



DAC

# Os Segundos 50 Anos de Voo

- Voar mais rápido, mais flexível, mais leve.

Lockheed SR-71 Blackbird, 1964 – Capaz de voar a Mach 3.



Hawker Siddeley Harrier, 1967 – Avião de descolagem e aterragem vertical.



O Projecto de Aeronaves



Lockheed F-117A Night Hawk, 1977 – Avião furtivo.



Gossamer Albatross, 1979 – Avião propulsionado pela força humana que atravessou o Canal da Mancha..

Pedro V. Gamboa - 2008



# Os Próximos 50 Anos de Voo

Aparentemente, com pouca inovação em aeronáutica durante décadas...

Com o desenvolvimento vertiginoso nas tecnologias de informação...

Porque é que o século 21 vai ser muito interessante para o projecto de aeronaves?

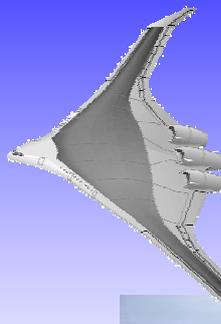


Pedro V. Gamboa - 2008



# Os Próximos 50 Anos de Voo

- Mais do mesmo?
- Novos requisitos
- ...e novas tecnologias
- ...sugerem que os próximos 50 anos serão diferentes.



Pedro V. Gamboa - 2008

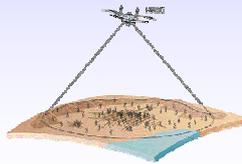
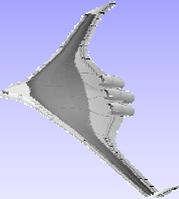


DAC

# Novos Conceitos para o Voo

Novas tecnologias e aplicações para as aeronaves (desde sistemas autónomos até controlo de escoamento, novos conceitos de configuração, novas metodologias de projecto) prometem fazer dos próximos 50 anos de aviação um tempo dinâmico: mas muitos desafios se colocam

O Projecto de Aeronaves



Pedro V. Gamboa - 2008



DAC

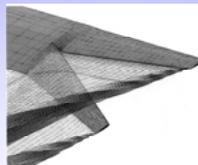
# Novos Conceitos para o Voo



Swift



Asa oblíqua



Projecto da ponta de asa



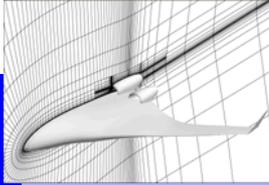
Blended Wing Body

Pedro V. Gamboa - 2008

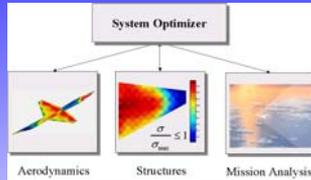


# Novos Conceitos para o Voo

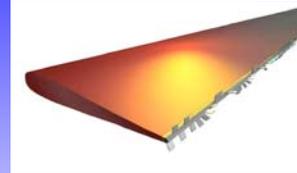
DAC



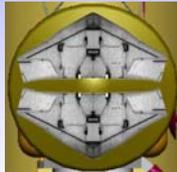
BWB Ecológico



Optimização multidisciplinar



Mesoflaps distribuídos



Avião para Marte



Plataforma supersónica silenciosa



Mesicóptero

O Projecto de Aeronaves



# Novos Conceitos para o Voo

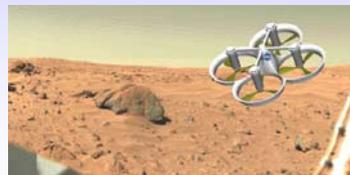
DAC

Ênfase em duas áreas:

- Transporte Aéreo Eficiente:
  - Aviões Ecológicos
  - Transporte de carga eficiente



- Veículos Aéreos Não-Tripulados (UAV) futuros



O Projecto de Aeronaves



DAC

## Aviões Eficientes

O Projecto de Aeronaves

- Investigar o potencial de aviões com muito pouco impacto no ambiente
- Modelos de ruído e emissões integrado com optimização do veículo



Pedro V. Gamboa - 2008



DAC

## Configurações não Convencionais

O Projecto de Aeronaves



Escoamento Supersónico Laminar



Asa Oblíqua



Blended Wing Body



Aviões com mudança de forma

Pedro V. Gamboa - 2008



# Voo Supersónico Eficiente

DAC

O Projecto de Aeronaves



Pedro V. Gamboa - 2008



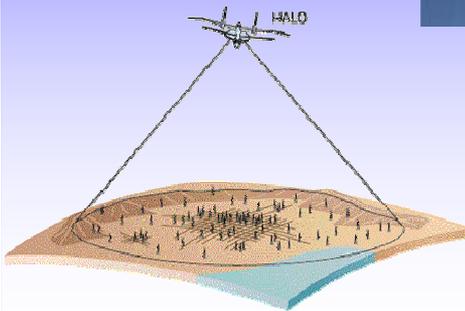
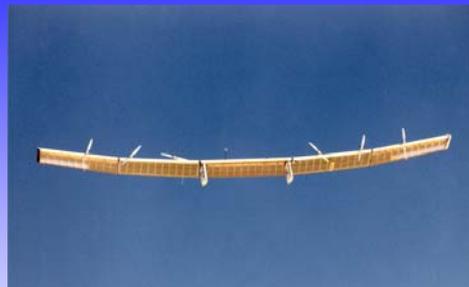
# Conceitos de UAV Futuros

DAC

O Projecto de Aeronaves

- A flexibilidade do projecto de aeronaves aumenta sem os constrangimentos da tripulação

- Permite voos sob condições completamente novas



Pedro V. Gamboa - 2008



# Porquê um avião para Marte?

Exploração Remota	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009
<b>Escala Global</b> <b>Resolução Limitada</b>							
<b>ARES Science</b>	<p><i>Unexplored Regime</i></p> <p><i>ARES Fills A Critical Science Gap</i></p>						
<b>Escala Regional &gt; 500km</b> <b>Resolução Alta</b>							
Exploração da Superfície							
<b>Escala Local &lt; 1km</b> <b>Resolução Muito Alta</b>							

O Projecto

- Os Aviões Permitem Uma Classe Nova de Ciência Planetária (MEPAG, NAS):
  - Medidas simultâneas da atmosfera, superfície e interior de Marte numa escala regional
  - Liga o vazio da escala e resolução entre a escala global – resolução menor - dos satélites e a escala local – maior resolução – fornecida pelos sistemas terrestres Landers/Rovers

Pedro V. Gamboa - 2008



# Desenvolvimento do Avião para Marte

DAC

- O tamanho grande do avião ARES permite:
- Técnicas de projecto, teste e fabricação tradicionais
  - Estimativas aerodinâmicas e de estabilidade credíveis
  - Sistemas testados em voo com grande margem de volume
  - Controlo com estabilidade e desempenho robusto que permitem incertezas do ambiente em Marte

O Projecto de Aeronaves



**6.2 m Wing Span**  
**125 kg Mass**  
**850 km Range**

Pedro V. Gamboa - 2008

## Teste de Lançamento em Grande Altitude 19 Setembro 2002



Departamento de Ciências Aeroespaciais - Universidade da Beira Interior

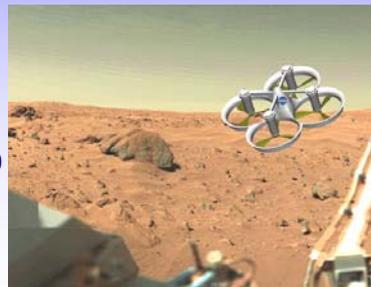


## Veículos Miniaturizados com Rotor

DAC

Veículos miniaturizados com rotor como exploradores aéreos

- Missões para ciências da terra, plataformas de sensores
- Exploração planetária
- NIAC (NASA HQ)
  - Analizar conceitos para daqui a 20-40 anos
  - Não é um program de desenvolvimento de produto



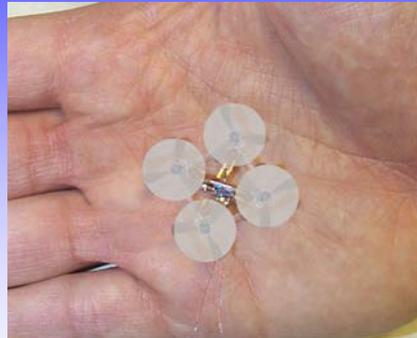
O Projecto de Aeronaves



## Miniature Rotorcraft: Mesicóptero

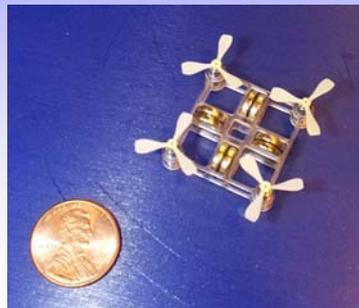
### Elementos de investigação

- Aerodinâmica à escala dos insectos
- Micro-fabricação 3D
- Estabilidade / Controlo / Sensores



## Miniature Rotorcraft: Experiências

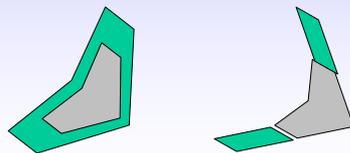
- Dispositivo inicial com 3g com energia e controladores externos
- Testes aerodinâmicos básicos completos
- Dificuldades: S&C, electrónica miniaturização, potência





# Aviões com Mudança de Forma

- ...uma aeronave multi-missão que
  - *muda o seu estado substancialmente* para se adaptar ao ambiente da missão
  - permite uma capacidade do sistema superior não possível sem a reconfiguração
  - usa um projecto integrado de materiais, actuadores, effectors e mecanismos para reconfiguração em voo

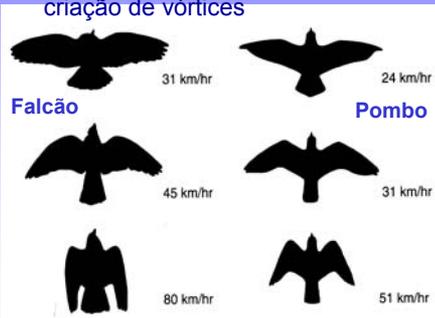


**“MORPHING”**



# Ganhos com o “Morphing”

- ❖ A natureza usa o “morphing” para ganhos de desempenho
  - Mudança de formas e alterações na asa servem para fuga e predação
  - Estabilidade trocada por manobrabilidade
  - Despiste acústico criado pelas corújas através da criação de vórtices



- Enflechamento da asa**
- Forma do perfil**
  - arqueamento
  - secção
- Ducto do motor**

- Reconhecimento
- Espera

**Cruseiro**



**Transição**



**Ataque**



Que outras características poderiam ser desenvolvidas a partir da natureza tendo controlo espacial?

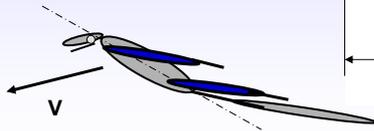


# Asa em Tandem

DAC

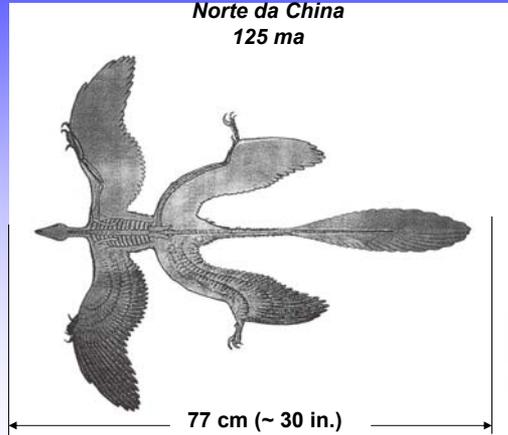


**"Proteus" de Rutan**  
(circa the present)  
[www.scaled.com](http://www.scaled.com)



## *Microaptor gui*

Norte da China  
125 ma



Ref. Xu, et al., *Nature*, Vol.421, 23 January 2003, pp. 335-40.

Pedro V. Gamboa - 2008

O Projecto de Aeronaves



# Aeronave vs Ave

DAC

- Asa Adapta-se à Missão
- Controlos Activos
- Veiculos Configurados por Controlo
- Estruturas Compósitas
- Estruturas com Tolerância de Dano
- Sistemas Completamente Integrados
- Técnicas de Fabricação Avançada

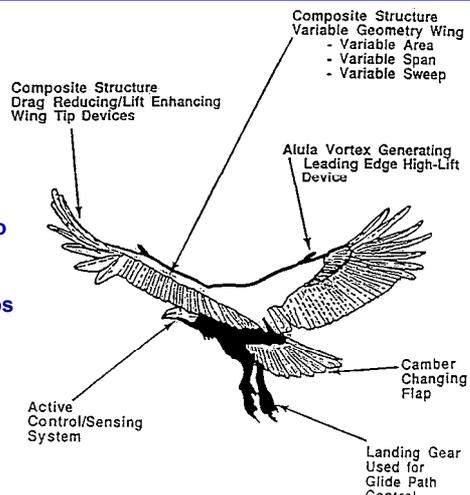


Figure 5. A California Condor (*Gymnogyps californianus*) in a Low-Speed Glide.

Pedro V. Gamboa - 2008

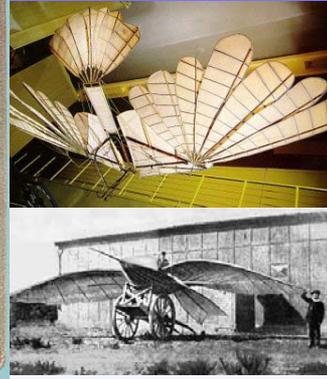
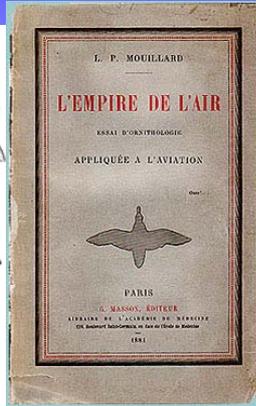
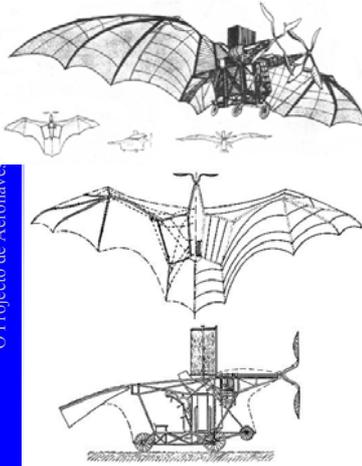
O Projecto de Aeronaves



DAC

# Tentativas de Imitar

O Projecto de Aeronave



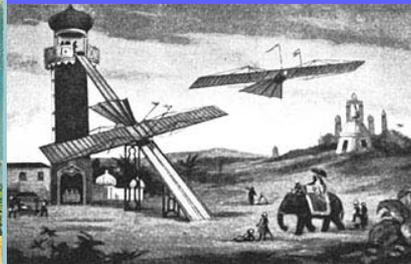
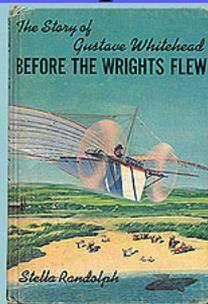
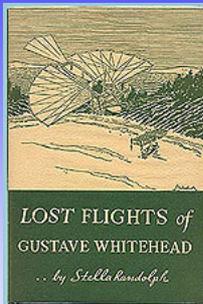
Pedro V. Gamboa - 2008



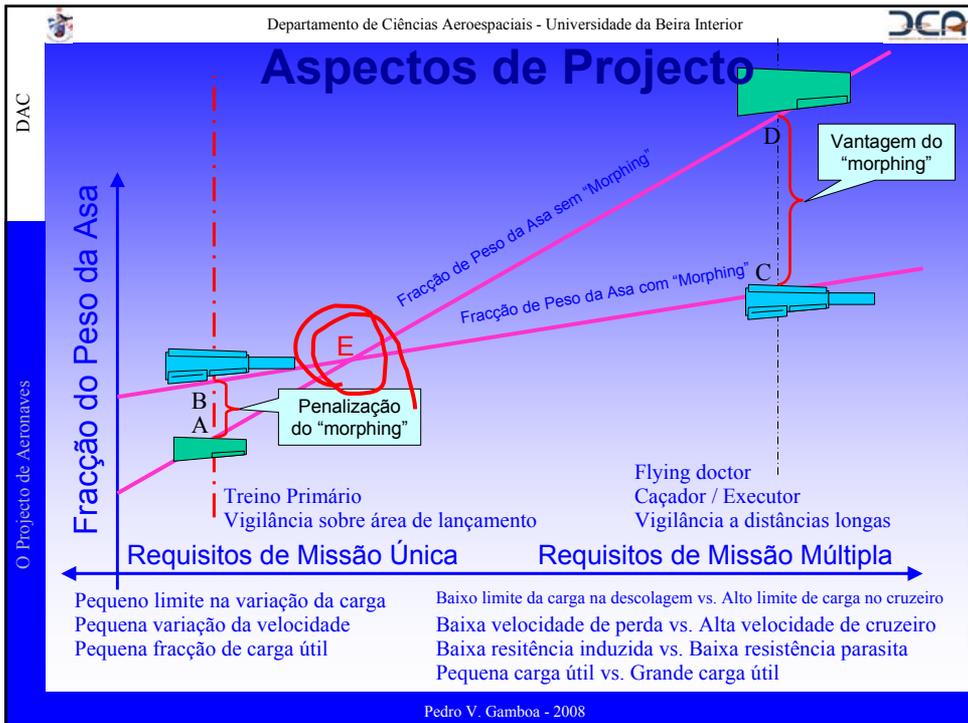
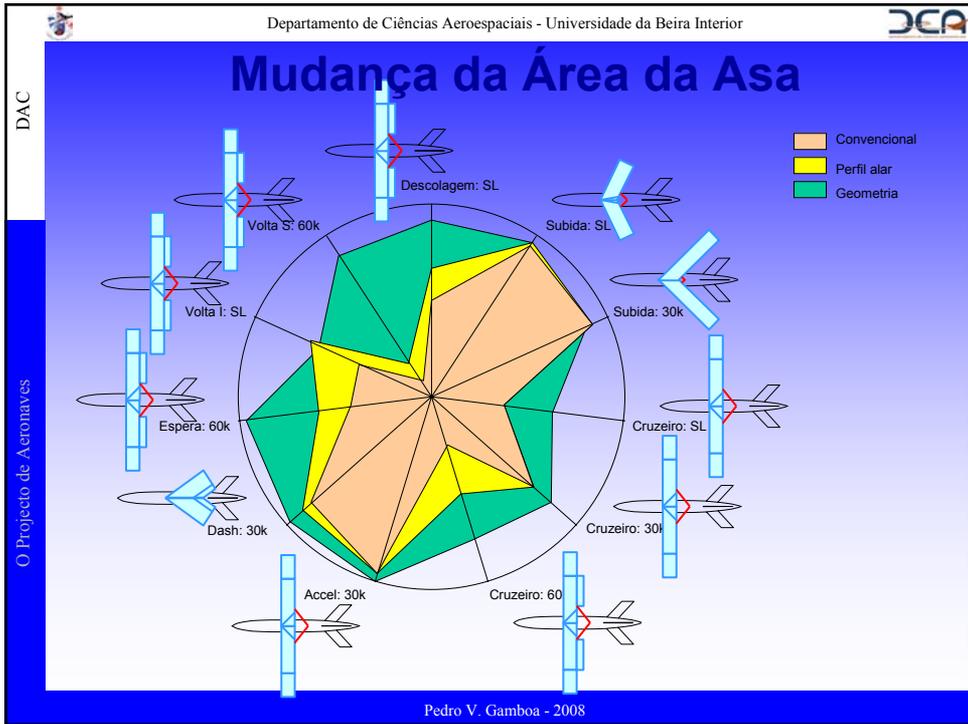
DAC

# Com aspecto de Aves

O Projecto de Aeronaves

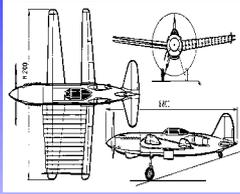


Pedro V. Gamboa - 2008

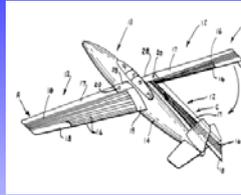




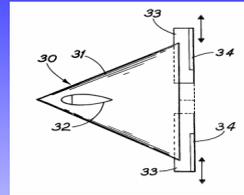
# Revisão Histórica



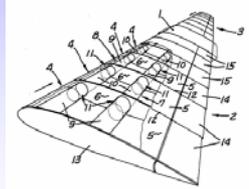
**Asas em Tandem com Luvas**



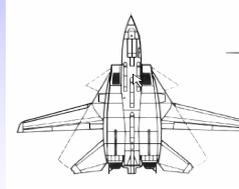
**Estrutura com Perfil Desmontável**



**Envergadura Variável**



**Asa Telescópica**

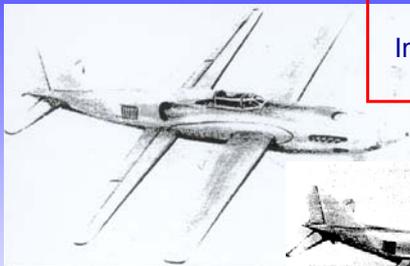


**Enflechamento Variável**

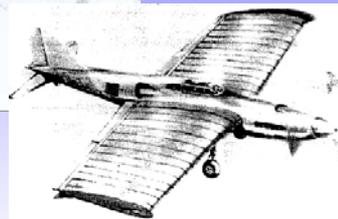
Pedro V. Gamboa - 2008



# Mudança Radical em Voo



Avião Bakshayev RK-800  
Instituto de Aviação Civil de Leningrad,  
1940



O aumento da área da asa permite manobrabilidade a baixa velocidade

Pedro V. Gamboa - 2008



DAC

# Enflechamento Variável

F-111F Aardvark



Descolagem



Manobra

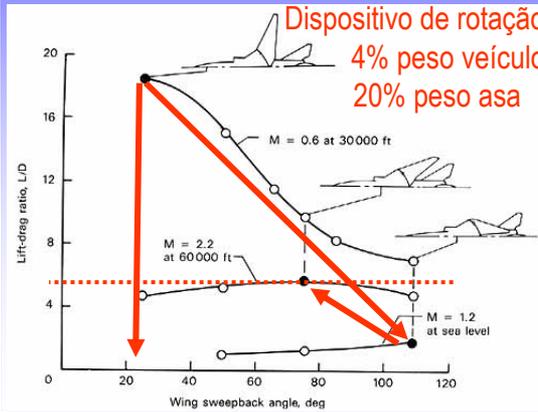


Ataque

F-14 Tomcat



O Projecto de Aeronaves



Pedro V. Gamboa - 2008

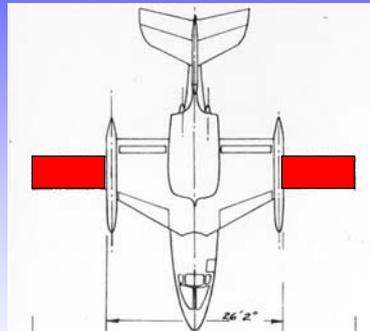


DAC

# Asas Telescópicas

**D.J. Ritchie, "Feasibility and Optimization of Variable-Geometry Wing for Jet Amphibian Business Aircraft," SAE paper 730330, 1973**

**Patente de David Gevers 5,645,250, Julho 8, 1997 – asa telescópica**



O Projecto de Aeronaves

Pedro V. Gamboa - 2008



DAC

# Identificar porquê, o quê e como

Requisitos do cliente

Figuras de mérito

Parâmetros tecnológicos

Tecnologias

Subsistemas

Pequeno raio de volta

$$R = \frac{V^2}{g \sin \phi \left( q \frac{C_L}{W/S} + T/W \sin \Omega \right)}$$

$C_L, S, T, \Omega$

Flaps/Slats  
Vectorização de tracção

Actuadores

O Projecto de Aeronaves

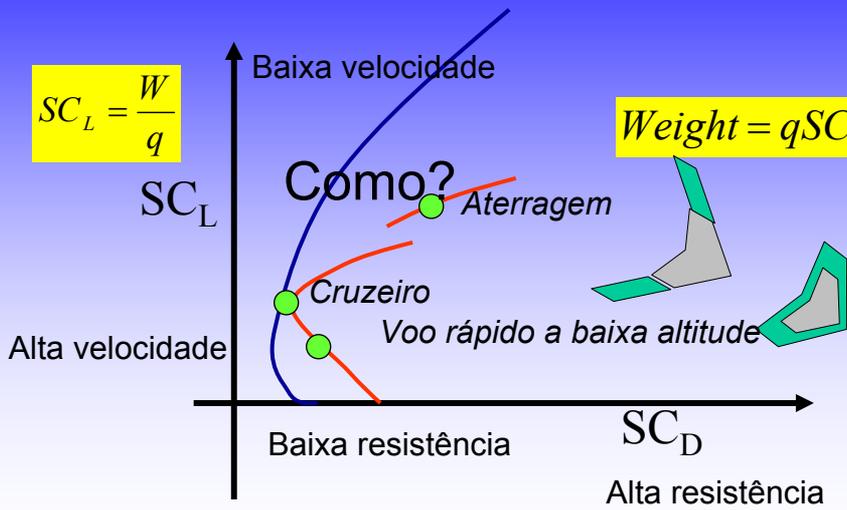


DAC

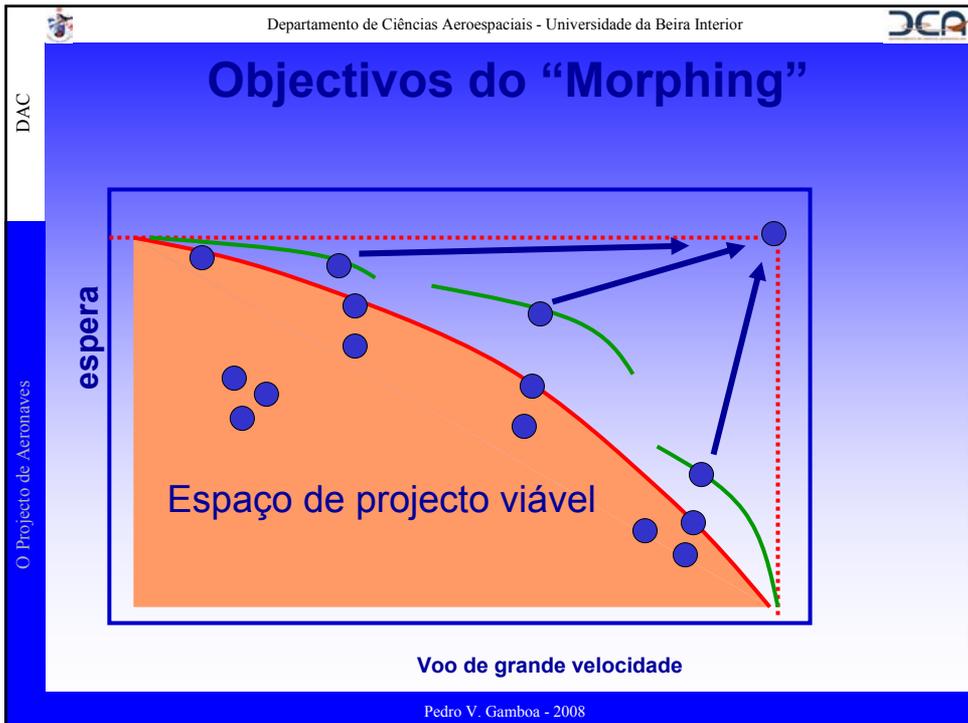
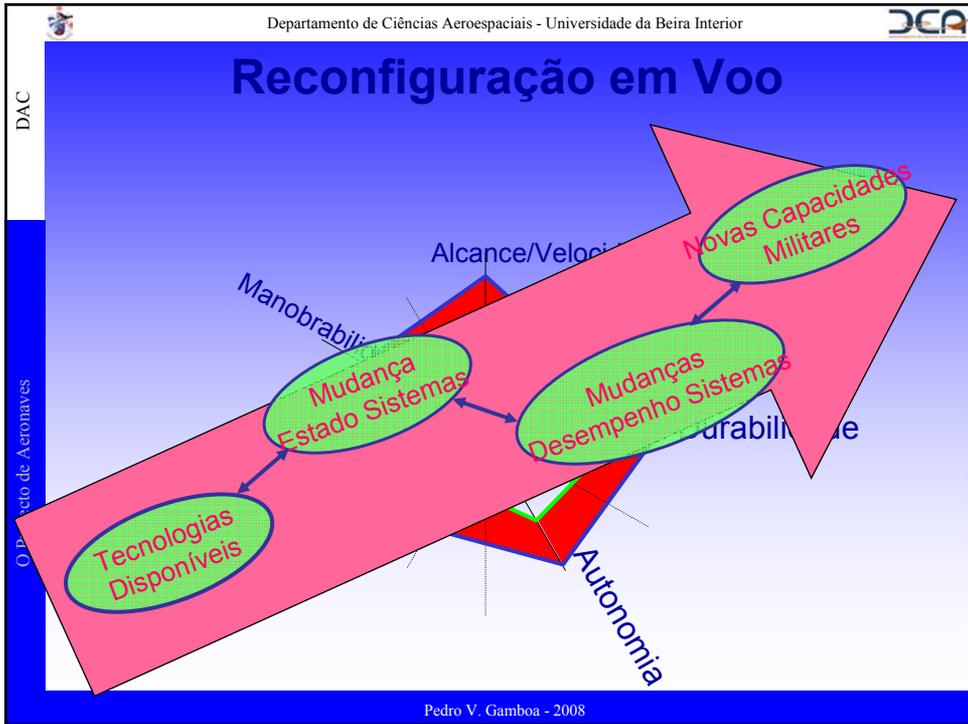
# Adaptando a polar de resistência

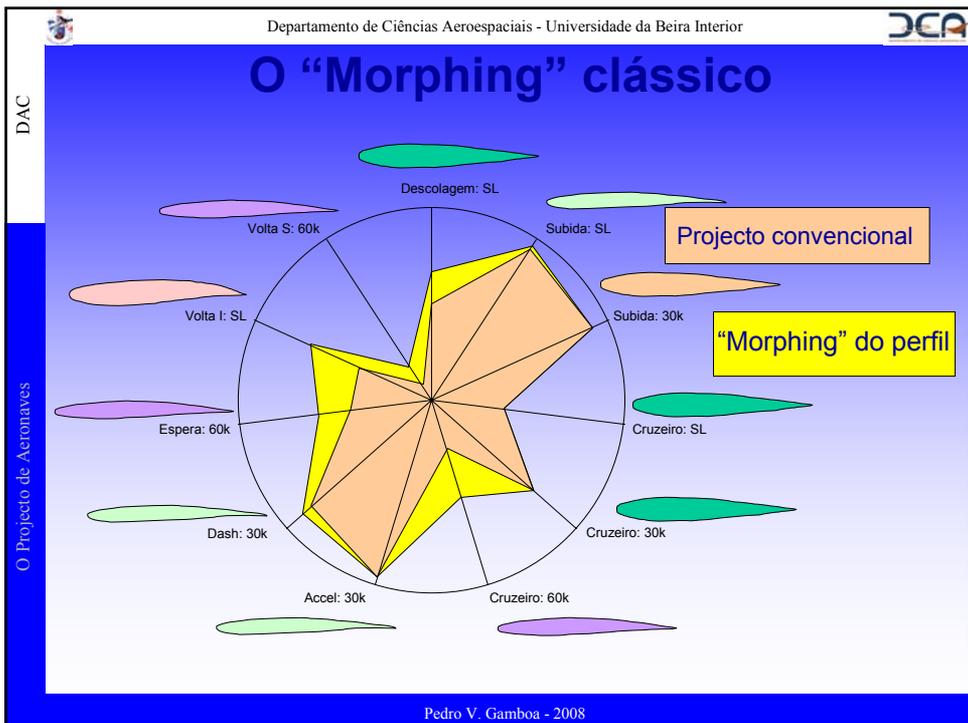
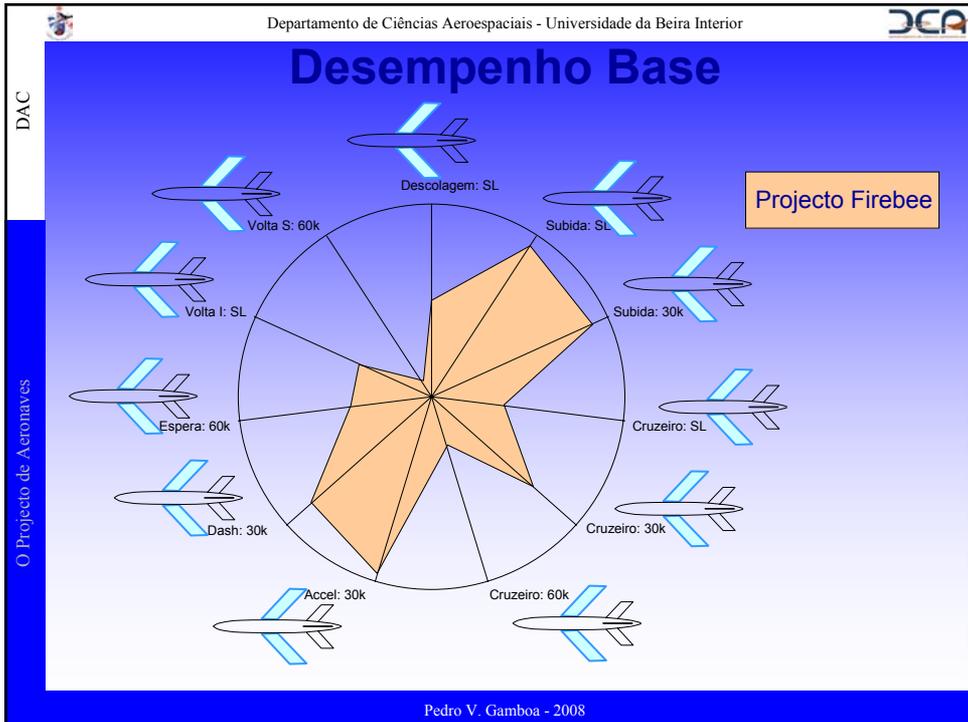
$$SC_L = \frac{W}{q}$$

$$Weight = qSC_L$$



O Projecto de Aeronaves



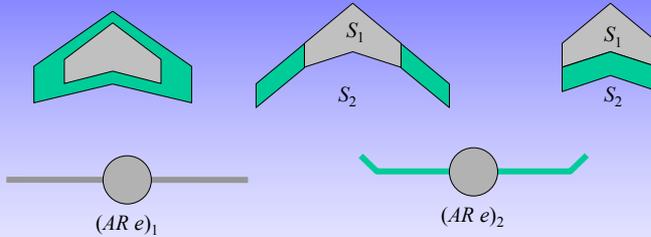




DAC

# Estratégias para “Morphing” da Asa

O impacto do projecto de “morphing” depende na estratégia da mudança de forma



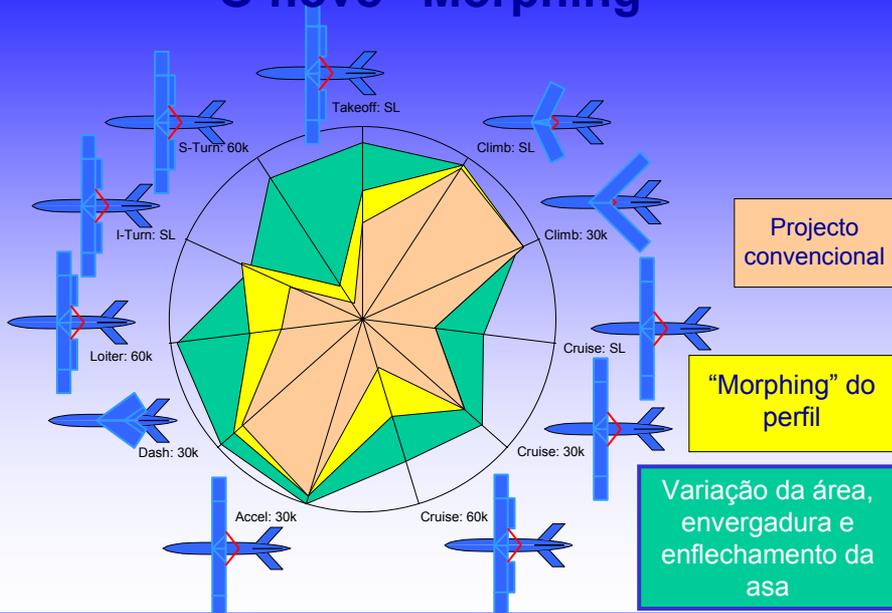
Qual é o propósito da mudança? Como é que a mudança afecta a função da missão ou o desempenho? É esta a melhor forma de a fazer?

O Projecto de Aeronaves



DAC

# O novo “Morphing”



O Projecto de Aeronaves



## Conceito Bat-Wing da NextGen

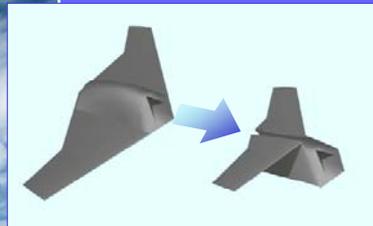


 **NextGen Aeronautics**  
*"Inventing Technologies for the Next 100 Years of Flight"*

Pedro V. Gamboa - 2008



## Aplicações da Missão



**Capacidade de grande autonomia e de grande velocidade a baixa velocidade.**

- ✓ Plataforma ISR com grande velocidade a baixa altitude;
- ✓ UCAV com patrulha aérea prolongada;
- ✓ "Hunter – Killer".

Pedro V. Gamboa - 2008

# Aircraft Design & Multidisciplinary Design Optimization

Pedro V. Gamboa

27 February, UVic, Victoria

## Presentation outline.

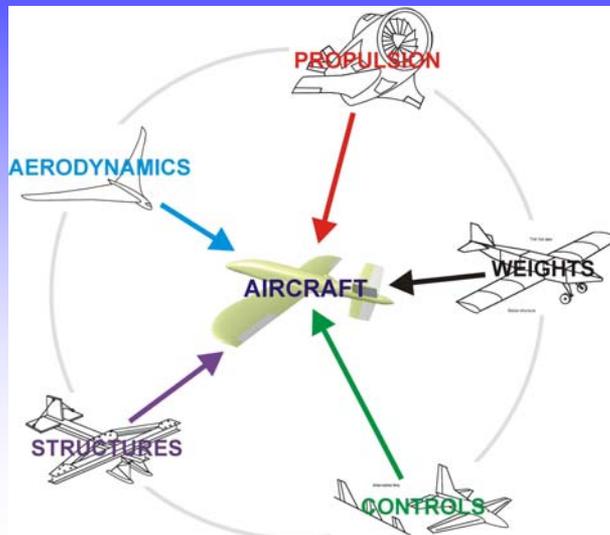
- What is aircraft design?
- What is Multidisciplinary Design Optimization (MDO)?
- New aircraft concepts.
- Morphing aircraft.
- Future direction...

# What is aircraft design?

- Aircraft design is a series of multidisciplinary studies aimed at producing a highly integrated system – a feasible aircraft.

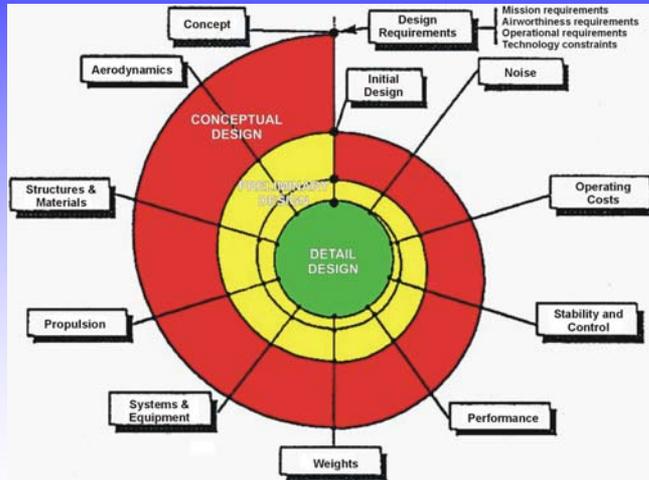
## The design purpose.

- All disciplines converge to a final common goal.



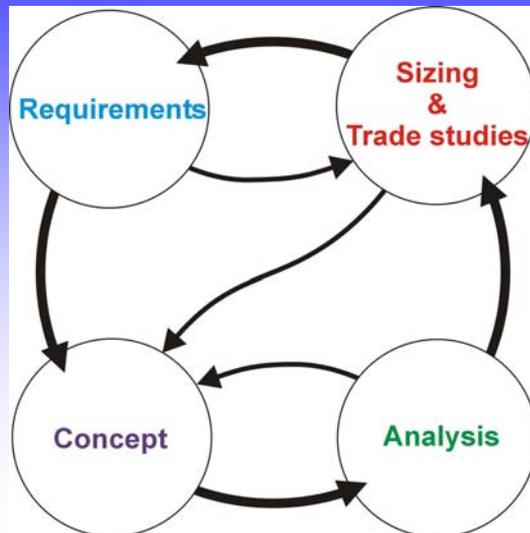
## The design process.

- The aircraft design process is divided into 3 main phases.



## The design process.

- Aircraft design is a complex iterative process, where the search for “the optimum” is important.



# What is MDO?

- Multidisciplinary Design Optimization (MDO) is a methodology for improving design of engineering systems, in which **everything influences everything else.**

## Optimization.

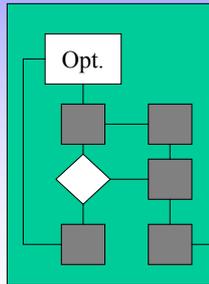
- Optimization involves problem formulation:

$$\begin{aligned} & \text{minimize } f(\mathbf{x}) \\ & \text{subject to: } g_j(\mathbf{x}) \leq 0 \quad j = 1, m \\ & \quad \quad \quad h_k(\mathbf{x}) = 0 \quad k = 1, l \\ & \quad \quad \quad x_i^L \leq x_i \leq x_i^U \quad i = 1, n \end{aligned}$$

- Search:
  - Gradient based methods (Quasi-Newton, SQP, Reduced gradient);
  - Derivative free-hill climbing (Simplex, Parallel Direct Search);
  - Population-based (Simulated Annealing, Genetic Algorithm).
- Revised modelling and formulation.

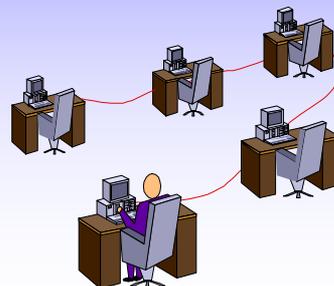
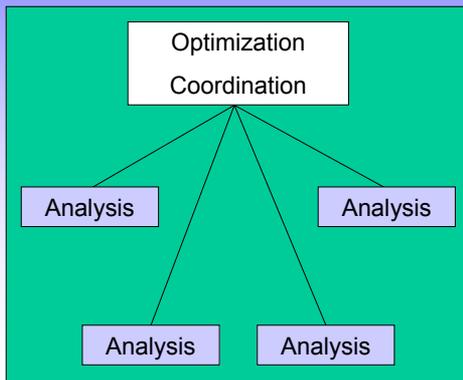
# Integrated design and optimization.

- Ideal for simple problems;
- Focus on optimization efficiency.



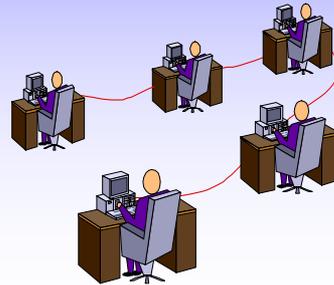
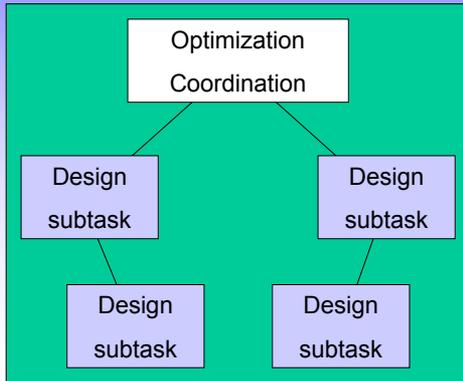
# Distributed analysis and optimization.

- Modular analysis with focus on interdisciplinary optimization.



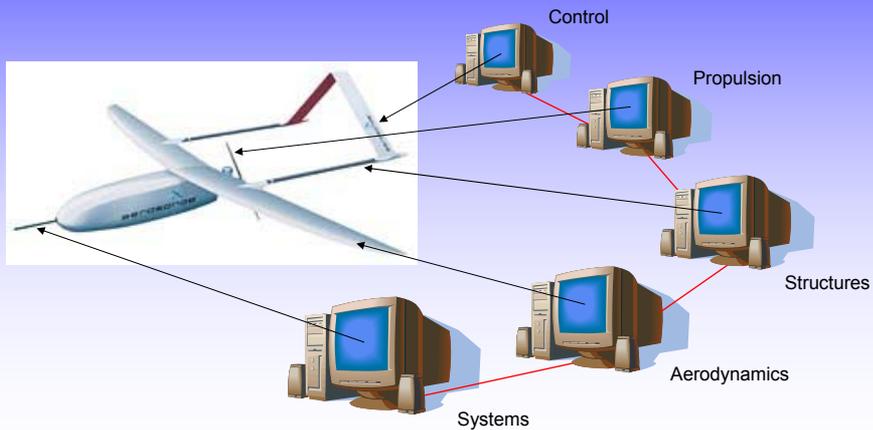
# Distributed design and optimization.

- Usually achieved with informal architectures: sequential and iterative.



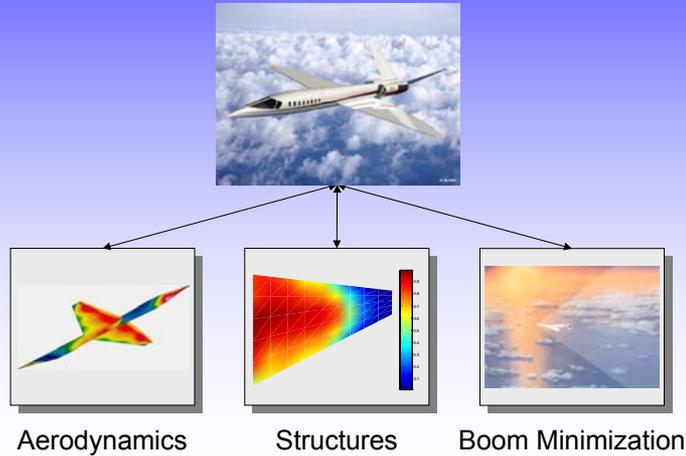
# Distributed MDO.

- Current engineering design is done this way.



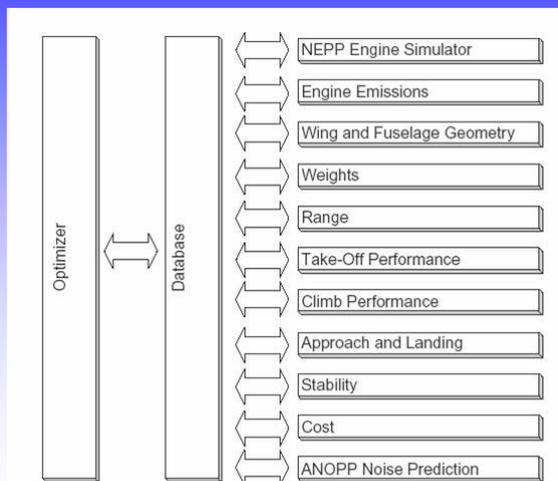
## Goal of distributed design.

- Team design.



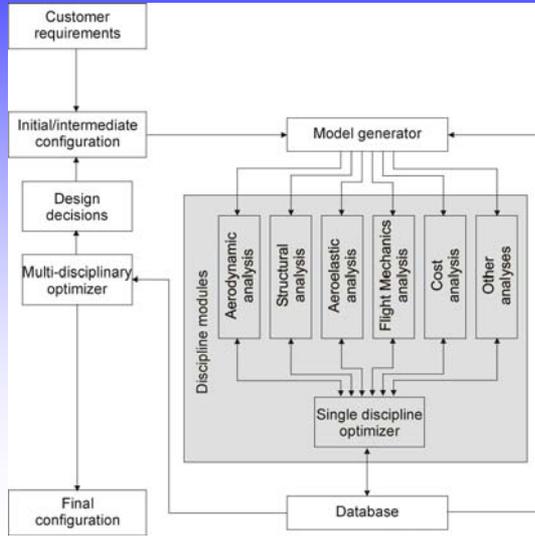
## MDO architecture.

- Distributed MDO often includes suites of optimizers, database management and analysis management;
- May permit execution on multiple heterogeneous computers.



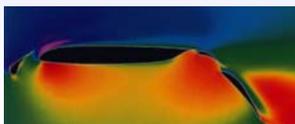
# MDO architecture.

- Proposal for european aircraft MDO project led by Gamesa;
- Practical industry program:
  - Low/high fidelity;
  - Low/high cost;
  - Low/high time;
  - Conceptual/preliminary.



# New aircraft concepts.

- New requirements?
- New geometries?
- New applications?
- New technologies?
- New design tools?
- ...

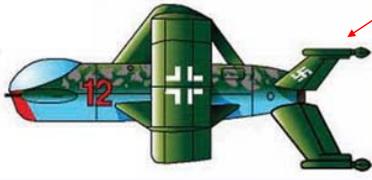
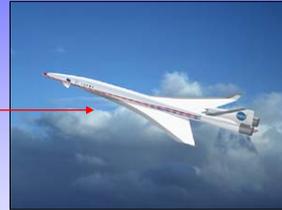


# New concepts?

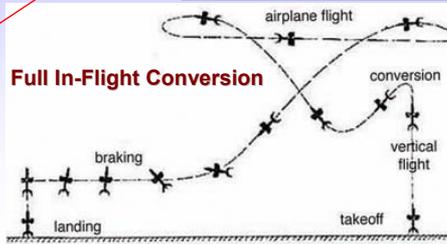
- Some are old ideas that have been put aside by inadequate technology.



oblique wing  
supersonic  
transport  
coleopter



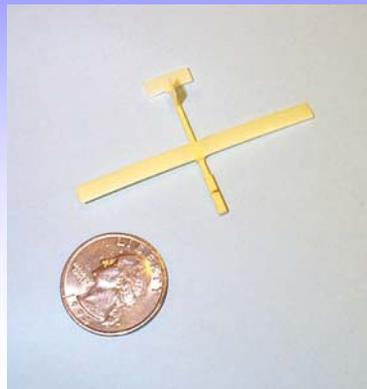
Heinkel Lerche 1944  
(concept only, never built)



# Miniature aircraft.

- Insect-scale aerodynamics;
- 3D micro-manufacturing;
- Stability / Control / Sensors;
- Testing.

mesicopters

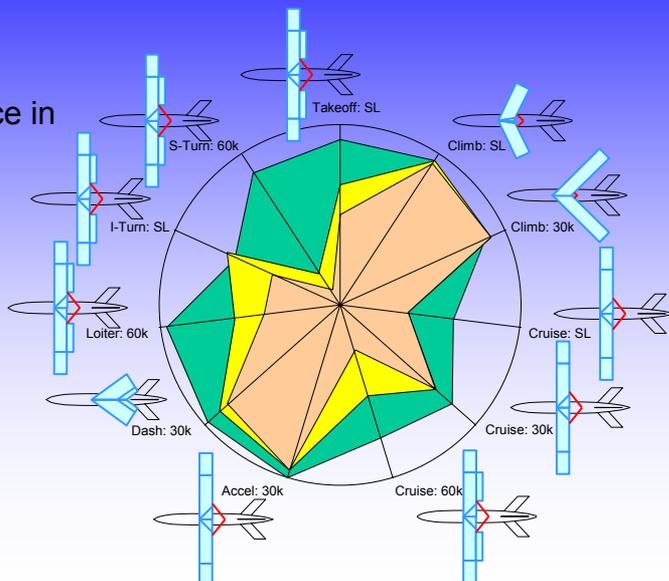


# Morphing aircraft.

- ... a multi-role aircraft that changes its shape substantially to adapt the mission environment.

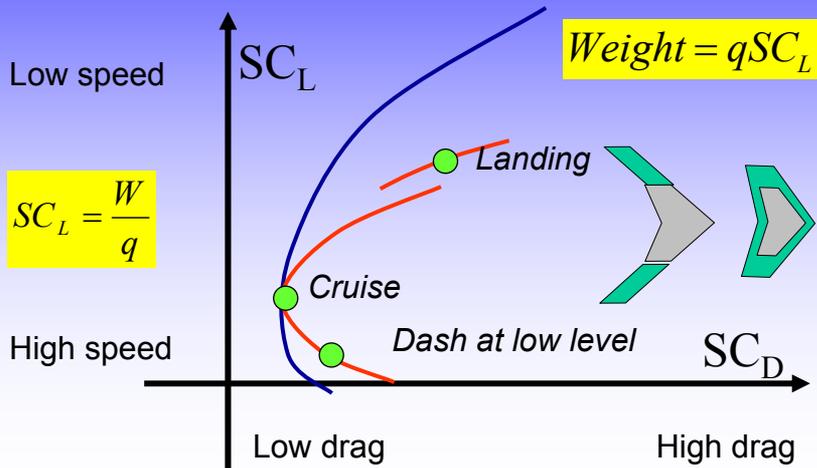
## Goal of morphing.

- Improve performance in all flight regimes.



## Goal of morphing.

- Adapt shape to flight regime. **How?**



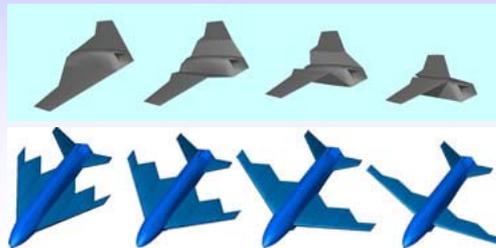
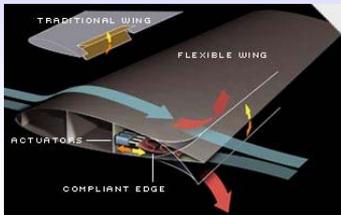
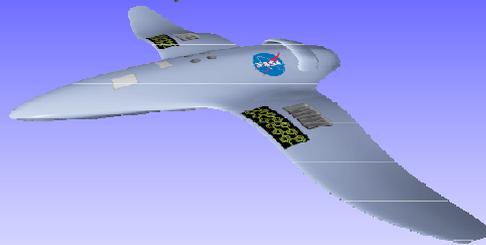
## Current "morphing".

- Retractable landing gear;
- Flaps and slats;
- Variable sweep wings;
- Spoiler and airbrakes;
- Retractable engine and folding propellers;
- Etc..



# Future morphing.

- Morphing airfoils;
- Folding wings;
- Morphing wings;
- Adaptive aircraft;
- ...



# Bird-like smart aircraft...

A future aircraft might morph its wings, use smart sensors and actuators and more accurately mimic nature's methods of flight.

The aircraft will use bird-like movements in the flexing and morphing of its wings and other components by using technology to mimic nature. The seemingly effortless flight of birds provides the inspiration for new aircraft utilizing wings that reconfigure in flight. The vehicle changes - or morphs - from a low-speed configuration to one more suited for high speed.

Such a vehicle will be built of a wing construction that will employ fully integrated embedded "smart" materials and actuators that will empower the wings with an unprecedented level of aero-dynamic efficiencies and aircraft control.

The wings sweep back and change shape for high speed drag reduction and low sonic boom. The engine inlets and nozzles morph as well. Small jets of air and feather-like control surfaces provide additional control forces for extreme maneuvers and added safety.

This future aircraft will be able to respond to constantly varying conditions using its sensors as nerves in a bird's wing to measure pressure over the entire surface of the wing. The response to these measurements will direct actuators, which will function like muscles in a bird's wing and change shape to optimize conditions.

To convert to the low-speed configuration, the wings unsweep and increase in thickness and span to improve efficiency. Instead of a vertical tail, the vehicle uses thrust vectoring. Adaptable wings are envisioned to have controllable, bone-like support structures covered by a flexible membrane with embedded muscle-like actuators. Embedded sensors provide health monitoring and control feedback.

As the vehicle morphs for landing, the wingtips split for tip vortex control and the wings lengthen for a shorter runway landing. A tail deploys providing noise shielding, increased lift and additional control.

It is expected to take about two decades to develop and capitalize on new breakthroughs in nano, bio and information technologies.

*NASA Administrator Dan Goldin.*



DarkStar

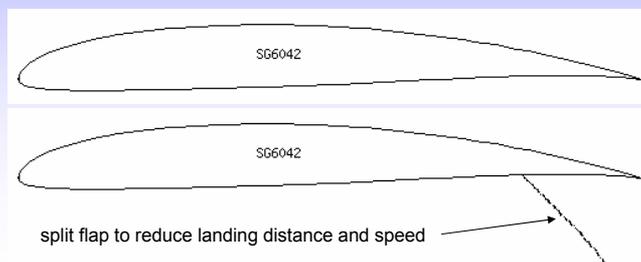
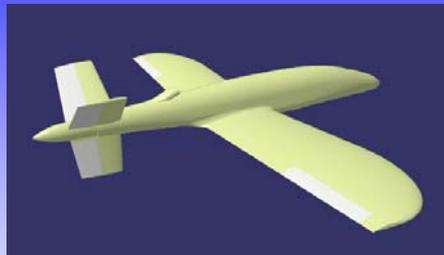
# Future direction...

- Develop tools to design optimized and feasible new aircraft concepts:
  - Airfoil aerodynamic optimization;
  - Decide on optimization algorithms and structure;
  - Wing/aircraft aerodynamic optimization;
  - Wing/aircraft coupled aerodynamic and structural optimization.
  - Include stability and control...
- Propose new concepts?



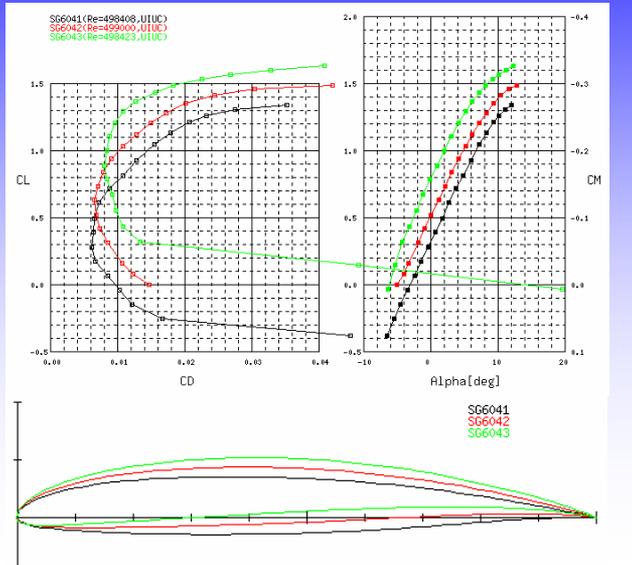
# Effect of airfoil on aircraft performance.

- Consider a small UAV designed to loiter at 20m/s on a surveillance mission.
- The wing section airfoil was chosen accordingly.



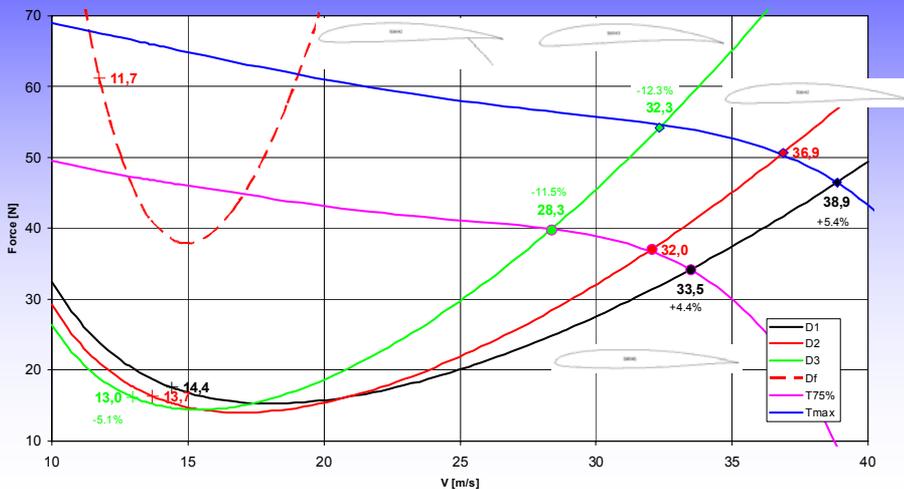
## Effect of airfoil on aircraft performance.

- What would happen to the UAV performance if the airfoil could be changed in flight?



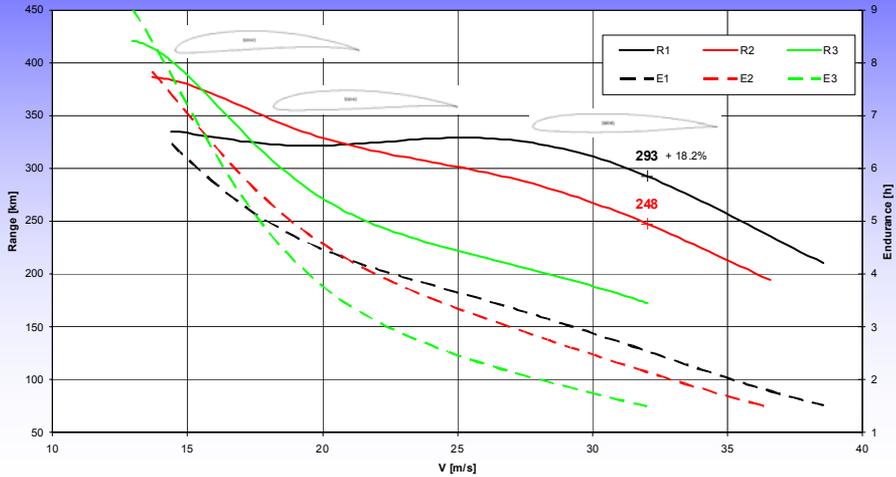
## Effect of airfoil on aircraft performance.

- The flight envelope is stretched.



# Effect of airfoil on aircraft performance.

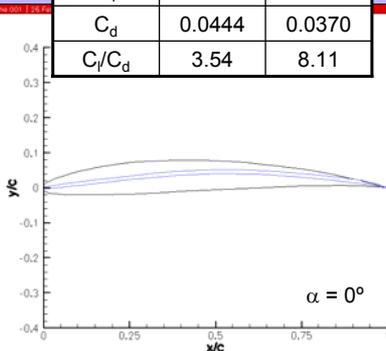
- Improved efficiency.



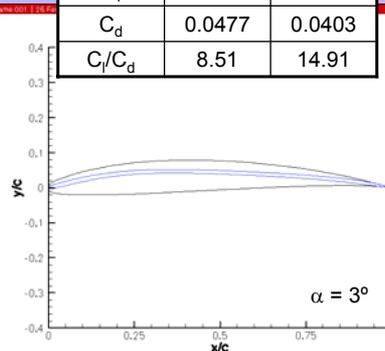
# Airfoil optimization.

- Optimize airfoil shape for minimum drag at very low Re (4000) - collaboration with Marc.
- Extend work to higher Re.

$C_l = 0.3$	Initial	Final
$C_l$	0.1572	0.2999
$C_d$	0.0444	0.0370
$C_l/C_d$	3.54	8.11



$C_l = 0.6$	Initial	Final
$C_l$	0.4072	0.6009
$C_d$	0.0477	0.0403
$C_l/C_d$	8.51	14.91



## Benefits of morphing.

- Airfoil morphing results in improved performance.
- This improvement is more significant in slender wings.
- More drastic changes, such as wing area and wing shape changes, may result in greater improvements.
- Maybe it is good to quantify these benefits taking into account the increased weight in systems.

## Optimize new concepts.

- Example: telescopic wing UAV.
- Optimize aerodynamics and structure.



low speed

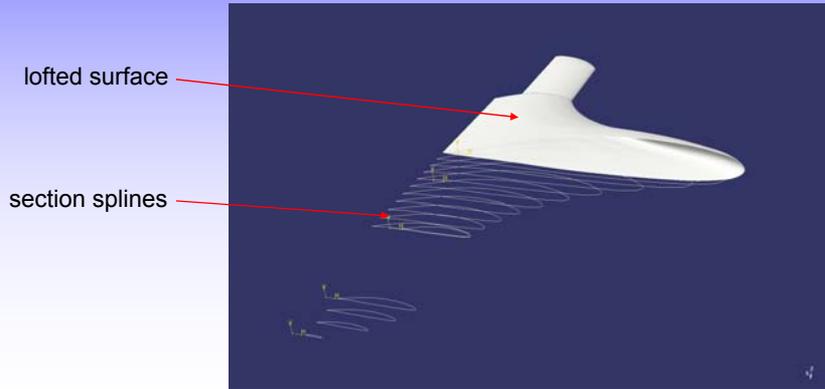


high speed



## Geometry definition.

- For some geometries the aircraft shape can be modelled by using longitudinal sections only.



## Morphing example.

Closer.ram

# PROJECTO DE AERONAVES na UBI

Pedro V. Gamboa

Departamento de Ciências Aeroespaciais  
Universidade da Beira Interior

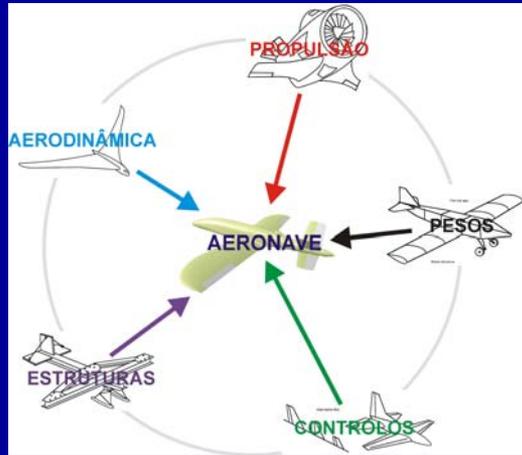


## RESUMO

- Introdução
- Projecto de Aeronaves Curricular
- Projecto de Aeronaves Extra-curricular

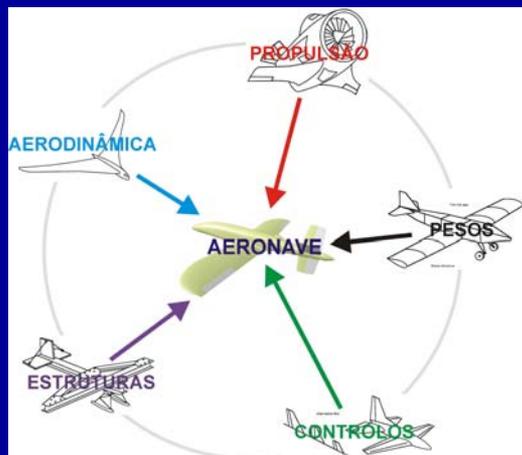
# Introdução

- Motivação:
  - Aplicação de conhecimentos adquiridos, mais ou menos teóricos, num projecto multidisciplinar concreto



# Introdução

- Motivação:
  - Obter conhecimentos sobre o processo de projecto e ficar familiarizado com as actividades do desenvolvimento de um sistema complexo em equipa



# Projecto de Aeronaves Curricular

- O Projecto de Aeronaves está dividido em duas partes:
  - Projecto de Aeronaves I – projecto conceptual
  - Projecto de aeronaves II – projecto preliminar, projecto detalhado e construção
- ... mas pode prolongar-se para o projecto final em situações particulares:
  - Projecto I e Projecto II – desenvolvimento, implementação e ensaio de componentes e sistemas

# Projecto de Aeronaves Curricular

- Evolução do currículo:

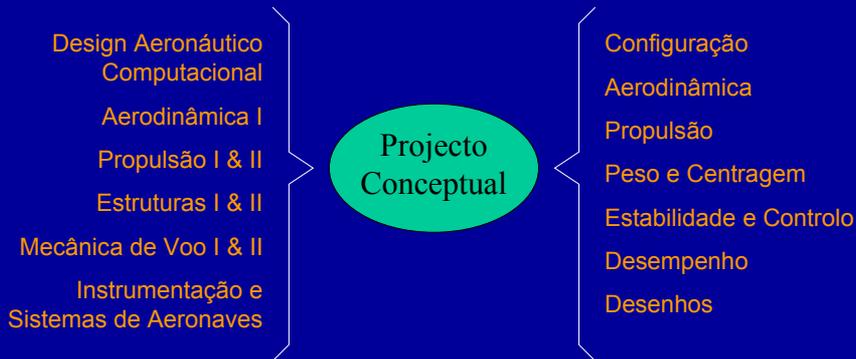
	até 2002/2003	de 2003/2004 a 2006/2007
4º ano 2º semestre	Projecto de Aeronaves I	-
5º ano 1º semestre	Projecto de Aeronaves II	Projecto de Aeronaves I Projecto I
5º ano 2º semestre	Projecto	Projecto de Aeronaves II (op.) Projecto II

desde 2007/2008

3º ano/1º semestre 1º ciclo	Projecto de Aeronaves I
1º ano/2º semestre 2º ciclo	Projecto de Aeronaves II
2º ano 2º ciclo	Dissertação Mestrado

# Projecto de Aeronaves Curricular

- Projecto de Aeronaves I:



# Projecto de Aeronaves Curricular

- Projecto de Aeronaves I:
  - Requisitos definidos pelo docente (tipicamente aeronaves ligeiras ou UAVs)
  - Projecto de grupo (tipicamente 2 a 5 alunos)
  - Escolha do melhor projecto para Projecto de Aeronaves II

# Projecto de Aeronaves Curricular

- Projecto de Aeronaves II:



# Projecto de Aeronaves Curricular

- Projecto de Aeronaves II:

- Projecto da aeronave seleccionada em Projecto de Aeronaves I e optimizada pelo docente
- Projecto individual de componentes e/ou sistemas da aeronave
- Projecto de equipa

## Projecto de Aeronaves Curricular

- Colaboração com a indústria:
  - Alguns projectos são levados a um detalhe maior quando em colaboração com parceiros industriais
  - Estes trabalhos são feitos nas disciplinas de Projecto I e Projecto II (projecto final de curso)

## Projecto de Aeronaves Curricular

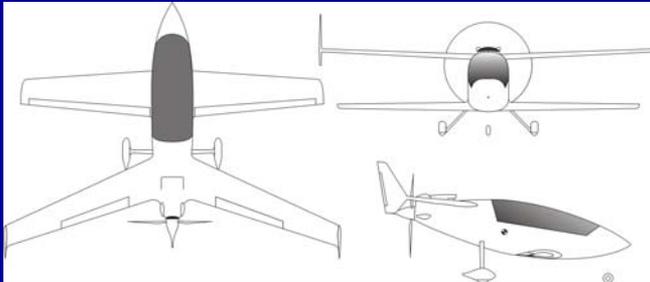
- Projectos:
  - ULM-97 – avião ULM monolugar (1997)
  - T-98 – avião de treino básico militar (1998)
  - D-99 – avião VLA bilugar (1999)
  - A-2000 – avião acrobático (2000)
  - UAV-01 – pequeno RPV para vigilância (2001)
  - UAV-02 – UAV para vigilância aérea (2002)
  - ULM-03 – avião ULM bilugar de última geração (2003)
  - UAV-03 – RPV rebocador de planadores (2003/2004)
  - WIG-2004 – WIG para 10 passageiros (2004/2005)

# Projecto de Aeronaves Curricular

- Projectos:
  - UAV-05 – pequeno RPV eléctrico/solar (2005/2006)
  - UAV-06 – Sistema Aéreo de Vigilância Florestal e Detecção de Fogos (2006/2007)
  - UAV-cargo – aeromodelo otimizado para transportar o maior peso de carga possível (2007/2008)
  - UAV-08 – UAV civil com 150kgf de peso (2008/2009)

## Exemplo: K (1997)

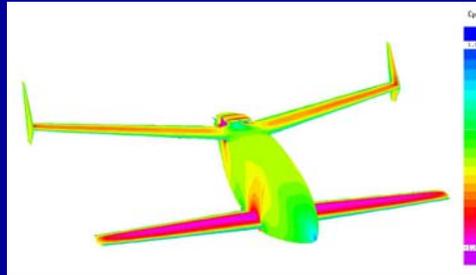
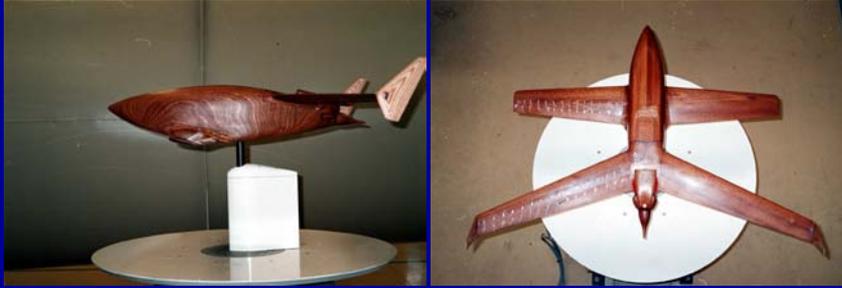
- Avião de lazer monolugar com asa em tandem



Lugares	1
Área da asa da frente	2.45 m <sup>2</sup>
Área da asa de trás	2.45 m <sup>2</sup>
Envergadura da asa da frente	4.42 m
Envergadura da asa de trás	4.93 m
Comprimento total	3.66 m
Altura	1.83 m
Alongamento	10
Peso vazio	116 kgf
Peso de decolagem	246 kgf
Carga máxima	130 kg
Combustível	20 kg (28 l)
Factores de carga	+5/-2.77 g
Velocidade de cruzeiro (75 %)	190 km/h
Velocidade máxima	230 km/h
Velocidade de projecto	270 km/h
Razão de subida máxima	4.5 m/s
Aleance máxima	740 km
Autonomia máxima	5h30min
Velocidade de perda c/ flapes	77 km/h
Velocidade de perda s/ flapes	90 km/h
Potência máxima	28 hp
Consumo	5.1 l/h

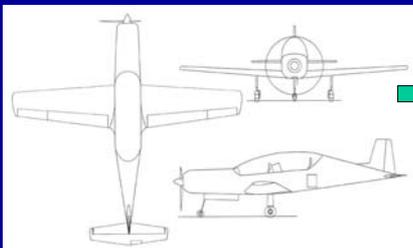
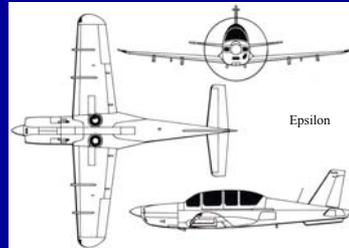
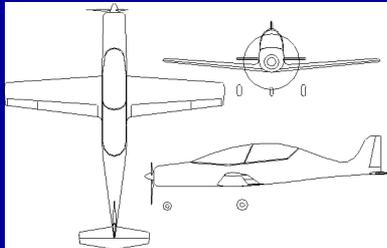
## Exemplo: K (1998)

- Estudo aerodinâmico experimental e computacional



## Exemplo: T-98 (1998)

- Avião de treino básico militar para substituição do Aérospatiale TB-30 Epsilon da FAP



# Exemplo: T-98 (1998)

- Características

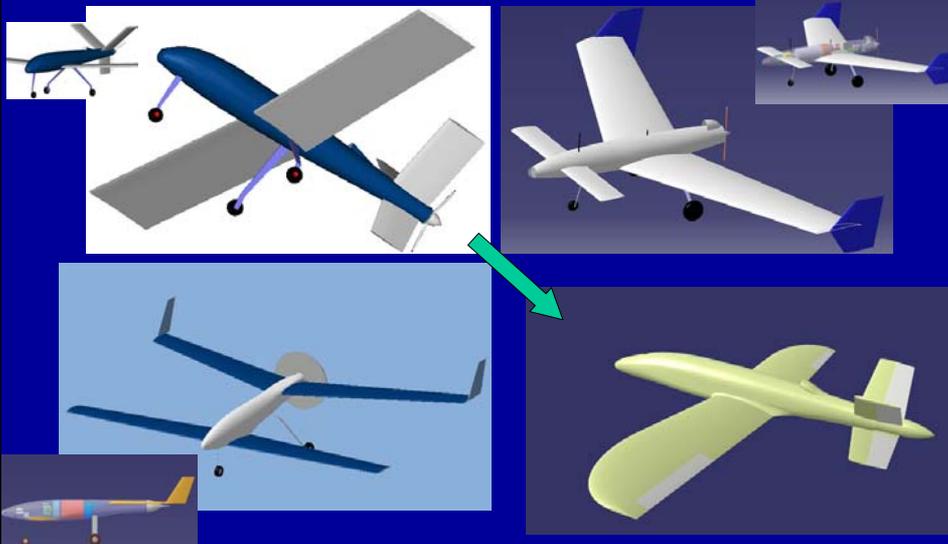
	Epsilon	T-98
Área da asa [m <sup>2</sup> ]	9.00	7.80
Envergadura [m]	7.92	7.10
Comprimento [m]	7.59	7.24
Alongamento	6.97	6.46
Peso vazio [kgf]	950	644
Peso de descolagem [kgf]	1250	912
Carga máxima [kg]	350	288
Combustível [kg]	102	70
Fatores de carga	+6.7/-3.35	+6/-3
Velocidade de cruzeiro (75%) [km/h]	343	438
Velocidade máxima [km/h]	520?	484
Velocidade de perda c/ flapes [km/h]	117	113
Razão de subida máxima [m/s]	8.6	17.4
Alcance de cruzeiro [km]	666	736
Potência máxima [hp]	300	300

Motor diesel Zocher 02A



# Exemplo: UAV-02 (2002)

- UAV autónomo para vigilância aérea



# Exemplo: SkyGu@rdian (2003/2004)

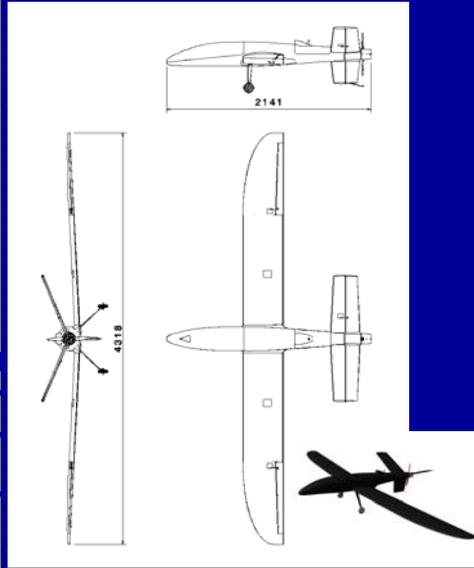
- Parceria com a empresa Plasdan e ESTG-Leiria

Área da asa [m <sup>2</sup> ]	1.70
Envergadura [m]	4.32
Comprimento [m]	2.14
Alongamento	11.00
Peso vazio [kgf]	17.5
Peso máximo [kgf]	33.0
Carga máxima [kg]	9.5
Combustível máximo [kg]	6.0
Factores de carga	
Velocidade máxima [km/h (nós)]	+8.1/-3.6
Velocidade de cruzeiro (75%) [km/h (nós)]	116.6 (63.0)
Velocidade de cruzeiro (75%) [km/h (nós)]	90.4 (48.8)
Velocidade de cruzeiro (67%) [km/h (nós)]	71.6 (38.7)
Velocidade de perda s/ flapes [km/h (nós)]	50.0 (27.0)
Velocidade de perda c/ flapes [km/h (nós)]	42.9 (23.2)
Razão de subida máxima [m/s]	3.2
Tempo de subida até 200 m [min]	1.0
Tempo de subida até 2000 m [min]	11.9
Corrida de decolagem [m]	58.0
Corrida de aterragem [m]	73.0
Potência máxima [hp]	3.2

Peso	25 kgf	33 kgf
Combustível [kg]	3.0	6.0
Carga útil [kg]	4.5	9.5

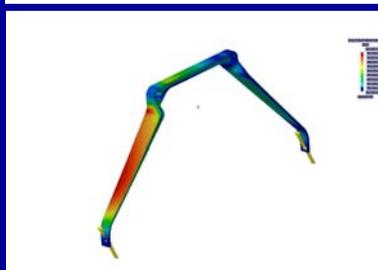
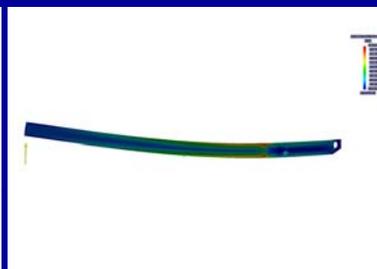
Cruzeiro		
Distância de observação [km]	50.0	50.0
Velocidade [km/h (nós)]	90.4 (48.8)	89.3 (48.2)

Vigilância		
Tempo de vigilância [h]	3.0	9.0
Distância percorrida [km]	214.9	667.4
Velocidade [km/h (nós)]	71.6 (38.7)	74.2 (40.0)



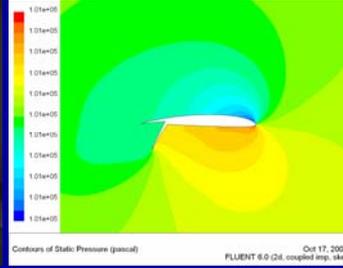
# Exemplo: SkyGu@rdian (2003/2004)

- Projecto da estrutura e desenhos CAD



# Exemplo: SkyGu@rdian (2003/2004)

- Projecto aerodinâmico e propulsivo



## Projecto de Aeronaves Extra-curricular

- Necessidade de incentivar os alunos para actividades prácticas (aeromodelismo):
  - Disponibilização de oficina com ferramentas e materiais (desde 1995)
  - Cursos de aeromodelismo formais (2001 e 2003)
  - Air Cargo Challenge (2003,2005,2007)

# Projecto de Aeronaves Extra-curricular

- Aeromodelismo:
  - Aulas de temas de Aeronáutica
  - Aulas de projecto de aeronaves
  - Aulas de construção



# Projecto de Aeronaves Extra-curricular

- Air Cargo Challenge:
  - Aulas de projecto de aeronaves
  - Aulas de construção



JAC 2007

16-18 de Maio de 2007, UBI, Covilhã

# Desenvolvimento de UAVs na Universidade da Beira Interior

Pedro V. Gamboa

Departamento de Ciências Aeroespaciais  
Universidade da Beira Interior



## RESUMO

- Introdução
- Exemplos:
  - Olharapo
  - SkyGu@rdian



# Introdução

- Porquê UAVs na UBI?
  - Aspecto didáctico: envolvimento dos alunos num processo de projecto multidisciplinar completo;
  - Aspecto económico: possibilidade de construção com recursos limitados;
  - Aspecto científico: desenvolvimento de competências e conceitos/equipamentos nas várias áreas do veículo;
  - Aspecto estratégico: o ramo dos UAVs é o único da aviação com um crescimento significativo - 14% ao ano.

# Introdução

- **Motivação:**
  - Ministar um ensino de qualidade em Projecto de Aeronaves;
  - Desenvolver competências no projecto e integração do veículo e dos sistemas;
  - Necessidade nacional de um meio aéreo eficaz e económico na vigilância e detecção de fogos florestais;
  - A experiência e o conhecimento adquiridos são expansíveis a outras aplicações;
  - Possuir aeronave de baixo custo para investigação em várias áreas da aeronáutica.

# Introdução

- Competências da UBI no projecto:
  - Conceção;
  - Aerodinâmica (projecto e ensaio);
  - Estabilidade e controlo (projecto);
  - Propulsão (projecto e ensaio);
  - Estruturas e Materiais (projecto e ensaio);
  - Navegação e controlo (algoritmos e simulação);
  - Fabricação (protótipos);
  - Voo (pilotagem, ensaios e avaliação).
- ... Aquisição de dados e automação



## Olharapo

- Características gerais:
  - RPV (Remote Piloted Vehicle);
  - Construção em composto de carbono/epoxi, vidro/epoxi e madeira;
  - Propulsão eléctrica;
  - Autonomia até 1h;
  - Massa operacional desde 5 kg até 6kg;



# Olharapo

- Dados e Construção:



Área da asa [m <sup>2</sup> ]	0.63
Envergadura [m]	2.50
Comprimento [m]	1.37
Alongamento	10.0
Peso vazio [kgf]	3.50
Peso de descolagem [kgf]	6.00
Carga máxima [kg]	1.25
Baterias [kg]	1.25
Factores de carga	+6/-3
Velocidade de cruzeiro [km/h]	52
Velocidade máxima [km/h]	83
Velocidade de perda c/ flapes [km/h]	43
Razão de subida máxima [m/s]	2.4
Autonomia [h]	1.0
Potência eléctrica máxima [hp]	1.0



# Olharapo

- Aeronave e Sistemas:



# SkyGu@rdian

Plasdan

DCA  
ubiengenharias

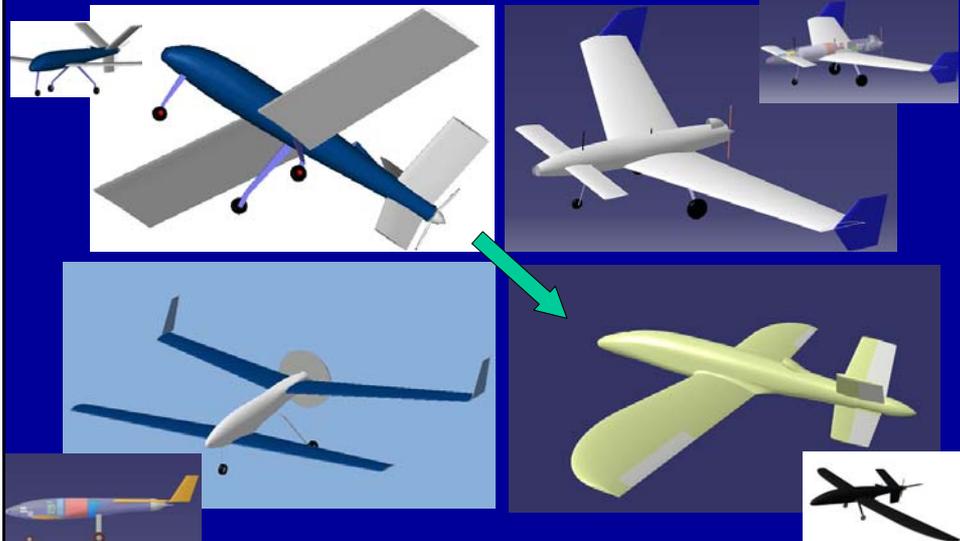
ESTG  
LEIRIA  
ESCOLA SUPERIOR DE  
TECNOLOGIA E GESTÃO DE LEIRIA

- Características gerais:

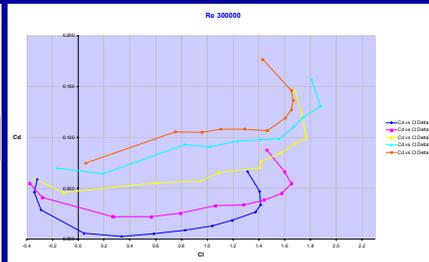
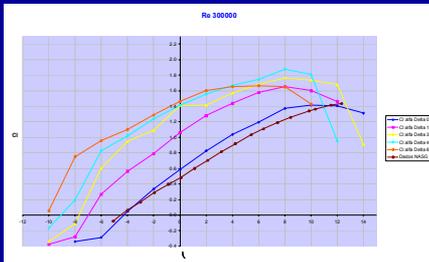
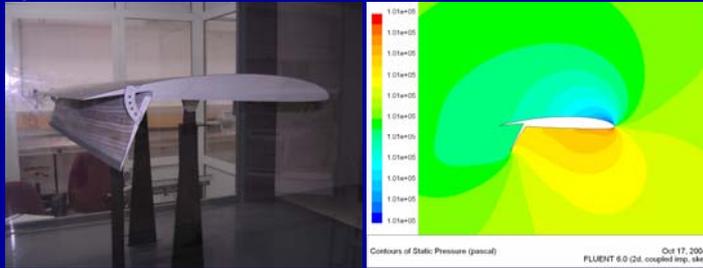
- Missão autónoma excepto descolagem e aterragem.
- **Compósito de carbono/epoxi como material principal;**
- Motor a gasolina para grande autonomia;
- **Motor eléctrico para pequena autonomia;**
- Plataforma eficiente e estável;
- **Massa operacional desde 21kg até 33kg.**

## SkyGu@rdian

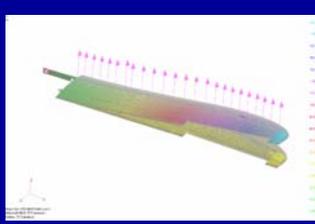
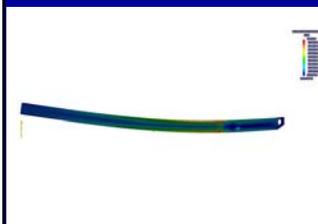
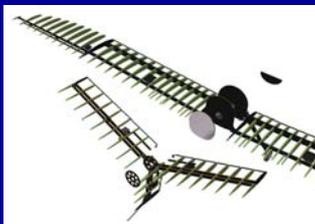
- Conceção:



- Projecto aerodinâmico dos flapes:



- Projecto da estrutura:



# SkyGu@rdian

- Ensaio da estrutura:



# SkyGu@rdian

- Sistema propulsivo :



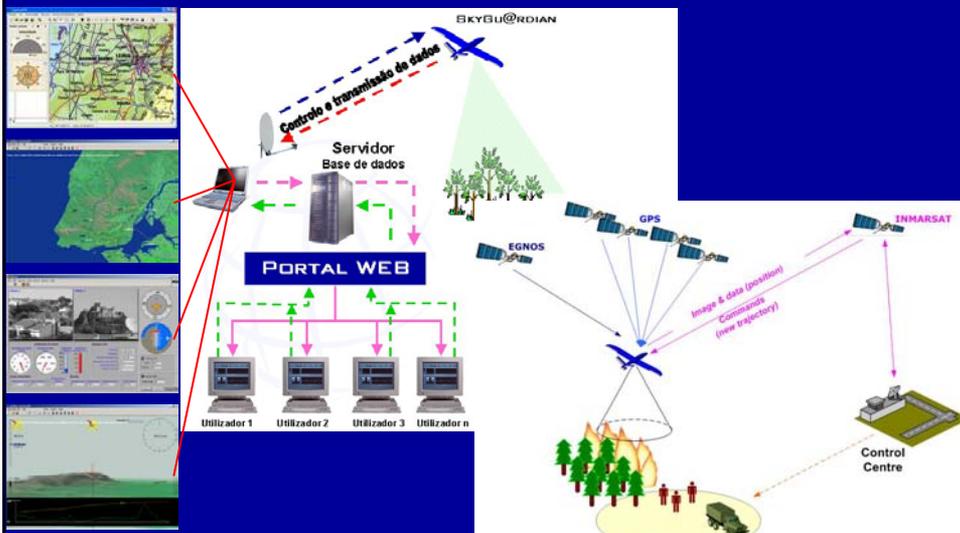
# SkyGu@rdian

- Fabricação:



# SkyGu@rdian

- Controlo e Operação:





Questões...



# Exemplo de um Projecto

Design Aeronáutico Computacional – 7627  
2º Ano da Licenciatura em Engenharia Aeronáutica



## 1. Especificações (1)

- **Função:**
  - Avião original para treino em aeroclubes e para reboque de planadores;
- **Carga útil:**
  - (a) Mínimo de 2 ocupantes pesando cada 86 kg;
  - (b) 16 kg de bagagem para cada ocupante e 7 kg de equipamento de navegação (manuais, cartas, etc.);
- **Desempenho:**
  - (a) Operação em pistas não preparadas com descolagem e aterragem em 600 m a uma altitude de 619 m;
  - (b) Alcance de 1000 km com 45 min de reserva para a carga especificada.



# 1. Especificações (2)

- Controlo:
  - (a) Os controlos devem ser bem coordenados;
  - (b) As características de perda devem ser suaves com aviso natural;
  - (c) O avião deve ser acrobático;
- Diversos:
  - (a) Simplicidade para manter os custos de aquisição e operação baixos;
  - (b) Acesso fácil para manutenção.



# 2. Normas (1)

- Especificam requisitos mínimos a que o avião deve obedecer:
  - Desempenho;
  - Estabilidade;
  - Controlo;
  - Resistência estrutural;
- Orientam o projecto para que se assegure a segurança do avião:
  - Estrutura;
  - Sistemas;
  - Equipamento.



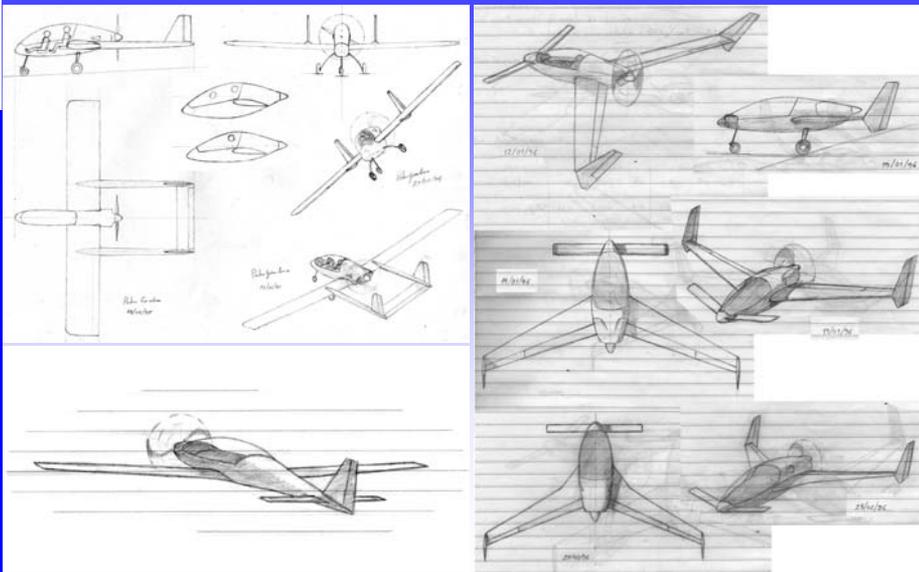
## 2. Normas (2)

### JAR-VLA Joint Aviation Requirements Very Light Aeroplanes

- **Requisitos principais:**
  - Velocidade de perda com flapes igual ou inferior a 45nós (83km/h);
  - Peso máximo à decolagem de 750kgf;
  - Propulsão: monomotor com hélice;
  - Tripulação: máximo de 2.



## 3. Esboços





## 4. Configuração (1)

- Asa:
  - Área:
    - necessária para a velocidade de perda;
    - depende do peso.
  - Alongamento:
    - eficiência aerodinâmica;
    - grande razão de subida e alcance;
    - demasiado grande aumenta o peso para determinada área.
  - Planta rectangular:
    - facilidade de construção;
    - boas características de perda.



## 4. Configuração (2)

- Asa (cont.):
  - Alta:
    - boa estabilidade lateral;
    - trem curto.
  - Diedro pequeno:
    - para não tornar o avião demasiado lento em rolamento.
  - Perfil:
    - com  $C_{lmax}$  elevado;
    - com perda suave.
  - Flapes:
    - flapes simples para simplicidade;
    - proporcionam o  $C_{lmax}$  necessário para descolagem e aterragem.



## 4. Configuração (3)

- Asa (cont.):
  - Estrutura:
    - monolongarina;
    - compósito.



## 4. Configuração (4)

- Propulsão:
  - Motor:
    - rotativo;
    - baixo consumo;
    - entrada de ar para arrefecimento em cima.
  - Ventilador:
    - grande eficiência a baixa velocidade;
    - diâmetro menor.
  - Empurra:
    - necessidade do anel para o ventilador;
    - desimpede a fuselagem à frente;
    - escoamento não perturbado em grande parte da fuselagem.



## 4. Configuração (5)

- Empenagens:
  - V:
    - redução de interferências;
    - (requer coordenação de controlo de direcção e profundidade);
    - escoamento do ventilador mais livre;
    - capacidade estabilizadora e de controlo.
  - Estrutura:
    - monolongarina;
    - compósito.



## 4. Configuração (6)

- Trem de aterragem:
  - Triciclo:
    - facilidade de manobra no solo.
  - Fixo:
    - simplicidade de construção;
    - leveza.
  - Curto:
    - facilidade de acesso ao avião;
    - estabilidade no solo.
  - Bitola:
    - adequada para estabilidade no solo;
  - Carenagens:
    - redução de arrasto sem penalizar o peso.



## 4. Configuração (7)

- **Habitáculo:**
  - Comandos:
    - duplo;
    - comando de direcção e profundidade coordenados.
  - Assentos:
    - lado a lado - reduz comprimento da fuselagem;
    - configuração confortável sem prejudicar a altura da fuselagem.
  - Visibilidade:
    - frente do avião desimpedida.



## 4. Configuração (8)

- **Fuselagem:**
  - Forma:
    - adequada à função;
    - aerodinâmica cuidada;
    - pábrisas concordante com a fuselagem;
    - baixa uma vez que a longarina fica atrás do ocupante.
  - Tanques:
    - à frente da parede de fogo – distância mínima ao motor.
  - Bagagem:
    - atrás dos assentos.

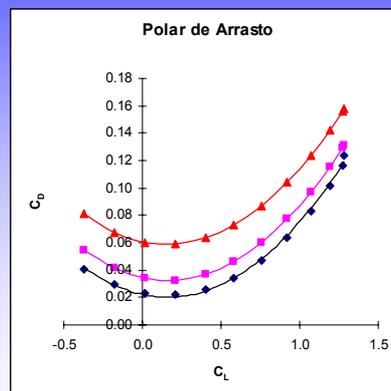
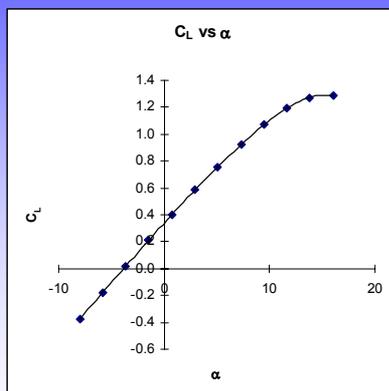


## 5. Peso e Centragem

- **Peso**
  - Inicialmente baseado em tendências de aeronaves idênticas
  - Adequação à aeronave em questão
  - A dimensão do avião influencia o peso
- **CG**
  - Localização próxima do centro aerodinâmico
  - Limites compatíveis com estabilidade e controlo
  - Disposição de equipamento e componentes influencia a posição do CG



## 6. Aerodinâmica

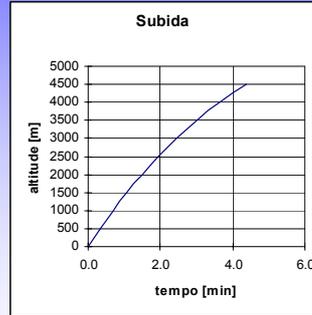
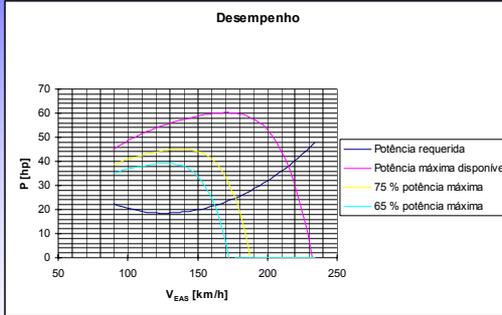




DAC

# 7. Desempenho

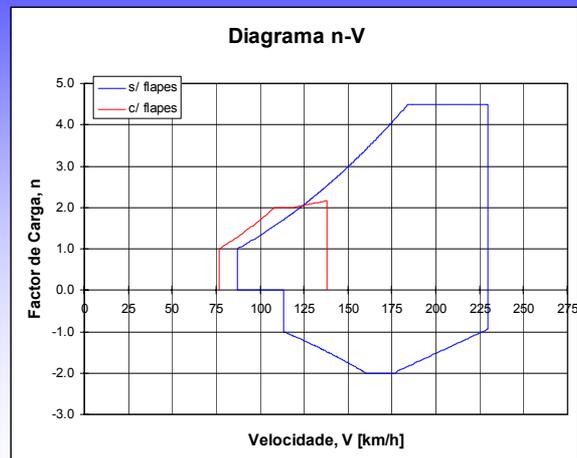
O Projecto de Aeronaves



DAC

# 8. Cargas

O Projecto de Aeronaves

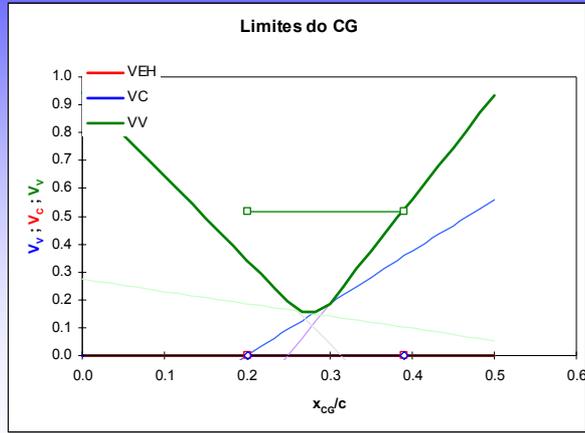




DAC

# 9. Estabilidade e Controlo

O Projecto de Aeronaves



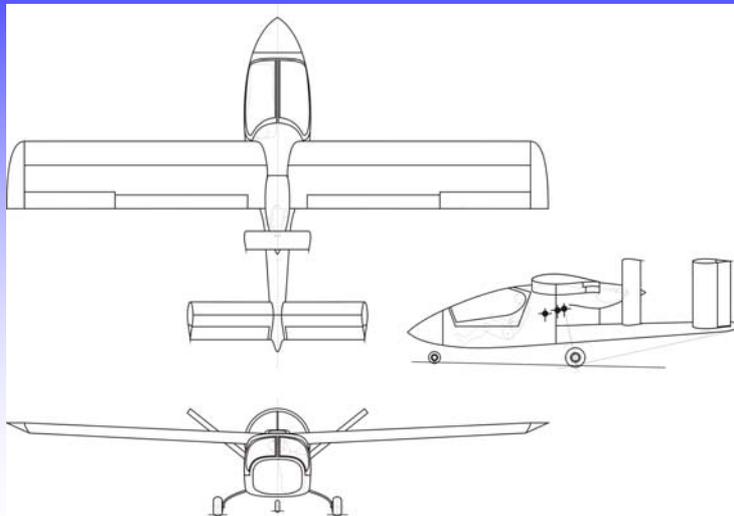
Pedro V. Gamboa - 2008



DAC

# 10. Desenhos

O Projecto de Aeronaves



Pedro V. Gamboa - 2008