

Seleção de um aerofólio para um planador ultraleve *foot-launched*

Plínio Ivo Gama Tenório¹, Viviane Ribeiro de Siqueira¹, Alexandre Zaramella²

¹Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos Profº Jessen Vidal, Departamento de Manufatura Aeronáutica, Avenida Cesare Mansueto Giulio Lattes, S/ Nº, Eugênio de Melo, SP – CEP: 12247-014,

²ACS Indústria Aeronáutica, Rua Henrique Braulio de Melo Sobrinho, 62, São José dos Campos, SP – CEP: 12228-850

plinio.tenorio@fatec.sp.gov.br

Resumo- Este estudo visa apresentar o processo de escolha de um perfil aerodinâmico ideal para um planador ultraleve *foot-launched*. Esse planador possui características importantes como realizar o voo sem o auxílio de um motor elétrico ou a combustão. Desta maneira, a escolha do perfil da asa é de extrema importância, pois a asa determinará um voo mais longo e com menos esforço do piloto para sua decolagem e pouso. Outra característica importante deste projeto é fabricar um planador leve e com baixo custo, fator determinante na escolha do aerofólio a ser utilizado.

Palavras-chave: perfis, aerofólio, planador, aerodinâmica, *foot launched*

Área do Conhecimento: Engenharia Aeroespacial

Introdução

O planador *foot-launched* é uma aeronave não motorizada na qual a decolagem geralmente ocorre em um morro alto ou colina e o piloto impulsiona a aeronave com seus pés. Por ser uma aeronave não motorizada alguns requisitos são primordiais em sua construção, esse planador deve ser leve e apresentar uma considerável resistência estrutural (BARROS et al., 2002). Na Figura 1 temos uma foto de um planador *foot-launched*.



Figura 1 - Exemplo de um planador *foot-launched*.
 FONTE: Question Gravity (2014).

O estudo aerodinâmico, ou seja, a análise da configuração da asa, é parte determinante para esse tipo de projeto, já que a aeronave não conta com o uso de motores que a auxiliem na decolagem, voo e aterragem. Dentre vários fatores

aerodinâmicos a serem analisados em uma asa está a seleção de um perfil adequado. Um perfil ou aerofólio tem a função de determinar como será o deslocamento do ar na corda da asa e aliado a outros fatores, como área alar, envergadura, alongamento, afilamento, velocidade, ângulo de ataque, é responsável pela força de sustentação gerada pela asa da aeronave (WHITE, 2011).

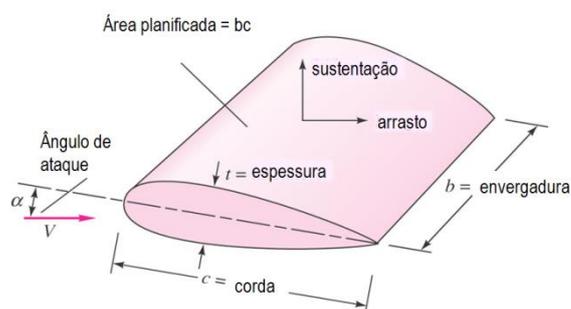


Figura 2 – Perfil de asa.
 FONTE: Adaptado de White (2011).

A eficiência aerodinâmica de um aerofólio é caracterizada pela determinação dos coeficientes de sustentação e arrasto, pelo coeficiente de momento e pela posição do centro aerodinâmico (Rodrigues, 2010). Com isso, este estudo visa o determinar um método de escolha para um perfil de asa que possa ser utilizado no projeto de um planador *foot-launched*. Esse tipo de planador é de simples construção e baixo custo comparado a outras aeronaves, assim, este projeto apresenta grande relevância no desenvolvimento da tecnologia aeronáutica dentro da Faculdade de

Tecnologia de São José dos Campos, unindo conhecimento técnico de como projetar, desenvolver e fabricar uma aeronave e trazendo a vivência aeronáutica para seus alunos.

Metodologia

Para obter a eficiência aerodinâmica é necessário escolher um perfil de asa que apresente máximo coeficiente de sustentação (C_L) para um mínimo coeficiente de arrasto (C_D). Foram selecionados seis perfis de asas que atendessem essas condições do projeto. Foram escolhidos os perfis Selig 1223 e o Selig 1210, indicados por Rodrigues (2010), o perfil Chuch Hollinger 10-48-13, perfil utilizado pela equipe Megazord Aerodesign da Faculdade de Tecnologia São José dos Campos na competição SAE Aeodesign 2013, e os perfis Martin Hepperle 114, Eppler 423 e o NACA 6412 escolhidos a partir de buscas realizadas em bancos de dados de perfis na internet. Na Figura 3 é possível conferir a geometria de cada um dos aerofólios acima citados.

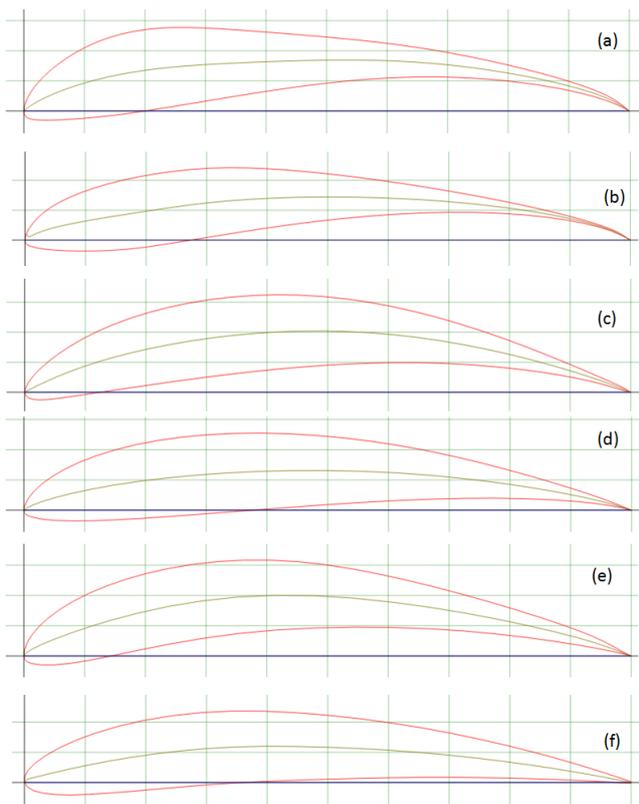


Figura 3 - Aerofólios escolhidos para a análise. (a) S1223: Selig 1223; (b) S1220: Selig 1220; (c) CH-

10: Chuch Hollinger 10-48-13; (d) MH114: Martin Hepperle 114; (e) E423: Eppler 423; (f) NACA 6412.

Outro aspecto importante a ser considerado na análise aerodinâmica do projeto de uma aeronave é a determinação do número de Reynolds (Re). O número de Reynolds é um número adimensional utilizado em mecânica dos fluidos para indicar se o regime do escoamento é laminar ou turbulento. Identificar a faixa de Reynolds que o objeto se encontra é de extrema importância, pois esses valores interferem diretamente na determinação dos coeficientes de arrasto e sustentação (WHITE, 2011). Em planadores *foot-launched* os valores do número de Reynolds são baixos (BARROS et al., 2002), devido a velocidade e altitude que essa aeronave se encontra. As velocidades variam entre 10 e 50 km/h. Para o estudo realizado neste trabalho foi considerado $Re=6,0 \times 10^5$.

A partir da determinação das informações iniciais, como tipo de perfil e faixa de Re , foram realizados cálculos para a determinação do coeficiente de arrasto e sustentação utilizando o software gratuito XFLR5 (2014). O XFLR5 é um software para análise de perfis de asa de aeronaves que operam a baixo número de Reynolds. Com o uso dessa ferramenta foram obtidos valores dos coeficientes de arrasto e sustentação versus o ângulo de ataque e resultados dos coeficientes de arrasto versus coeficientes de sustentação.

A Figura 4 apresenta valores de C_L para vários ângulos de ataque. Analisando a figura é possível identificar qual perfil apresenta maior valor do coeficiente de sustentação para cada ângulo de ataque. Analisando a figura verificamos que os perfis S1223, E423 e CH10 apresentaram a melhor relação $C_L \times \alpha$. Esses valores são mostrados na Tabela 1.

A Figura 5 apresenta valores de C_D para vários ângulos de ataque. Analisando a figura verificamos que os perfis E423, NACA 6412 e o MH 114 apresentaram a melhor relação menor coeficiente de arrasto para cada ângulo de ataque. Em uma faixa de α entre -20° e 20° , temos para cada perfil E423, NACA 6412 e o MH 114 um C_D médio igual a 0,045, 0,070 e 0,046, respectivamente.

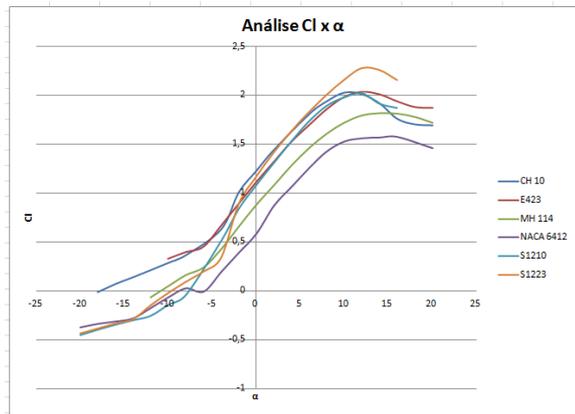


Figura 4- Análise $C_L \times \alpha$.

Tabela 1 - C_L máximo

Perfil	C_L	α (°)
S1223	2,27965	12
E423	2,03749	12
CH10	2,02874	10

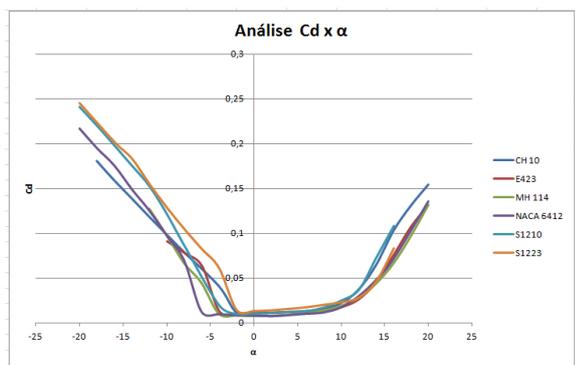


Figura 5 – Análise $C_D \times \alpha$

A Figura 6 apresenta a relação $C_L \times C_D$. Essa relação é muito importante para o projeto, pois a partir dessa relação é possível determinar o aerofólio que terá uma maior sustentação com um menor arrasto. Analisando a figura verificamos que os perfis que obtiveram um melhor desempenho foram MH114, S1210 e o NACA 6412, conforme pontos indicados na Tabela 2.

Tabela 2 - Melhores pontos na curva $C_L \times C_D$.

Perfil	C_D	C_L
MH 114	0,00781	1,07579
NACA 6412	0,00789	0,87041
S1210	0,01019	0,83653

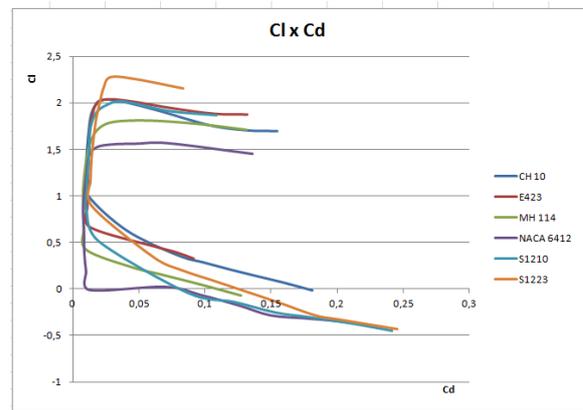


Figura 6- Análise $C_L \times C_D$.

A Figura 7 apresenta a relação entre o coeficiente de momento e o ângulo de ataque.

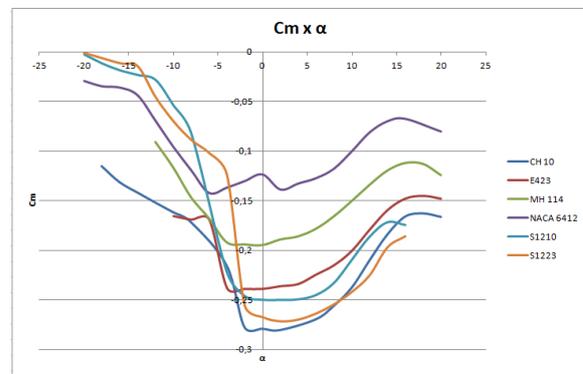


Figura 7 – Análise $C_m \times \alpha$

Nos perfis ensaiados no *software* XFLR5, todos têm tendência de rotação no sentido anti-horário, apresentando assim valores negativos para o momento. Para identificar o máximo momento é utilizada a Equação 1 calculando esse momento a $\frac{1}{4}$ da corda do perfil (ANDERSON, 1999):

$$m_{c/4} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c^2 \cdot c_m \quad (1)$$

onde $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ é a densidade a nível do mar, $v = 16,67 \text{ m/s}$ é a velocidade média do planador, $c = 1 \text{ m}$ é a corda da asa, e o valor de C_m quando $\alpha = 0$ na Figura 7. A unidade de $m_{c/4}$ é N.m, que representa a unidade de envergadura da asa e seus respectivos valores para cada perfil são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Momento nos perfis

Perfil	$m_{C/4}$
CH 10	-47,47
E423	-40,68
MH 114	-33,13
NACA 6412	-21,05
S1210	-42,56
S1223	-45,49

E, na Figura 8, apresentamos a eficiência aerodinâmica do perfil através da razão $C_L/C_D \times \alpha$. Analisando a figura identificamos que os perfis mais eficientes são S1223, NACA 6412 e E423.

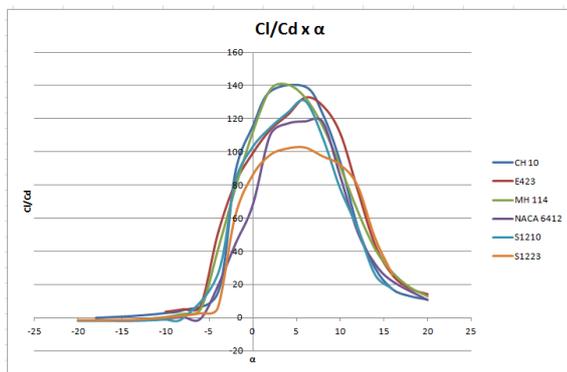


Figura 8 – Análise $C_L/C_D \times \alpha$

Resultados

Para a escolha do perfil a ser utilizado no projeto de planador *foot-launched*, além da melhor eficiência aerodinâmica, a facilidade de construção deve ser utilizada para determinar essa sua escolha. Os perfis S1223 e S1210 não são indicados para o projeto, pois as geometrias encontradas no bordo de fuga dos dois aerofólios são de difícil construção, apesar de ambos possuírem um desempenho aerodinâmico considerável.

Com a eliminação dos perfis Selig, o próximo perfil mais indicado é o E423, tendo em vista seu desempenho na relação C_L versus α , C_D versus α e na eficiência aerodinâmica. Nesse tipo de análise pode-se se desconsiderar a comparação do arrasto nos perfis por que as diferenças entre eles são mínimas, da ordem de 10^{-2} , o que confirma a indicação do perfil E423.

Assim o perfil E423 foi o perfil escolhido neste estudo. Por apresentar boa eficiência aerodinâmica, alto coeficiente de sustentação e

baixo coeficiente de arrasto. Outra vantagem desse perfil é a facilidade de construção devido a sua geometria, como mencionado anteriormente. Na Figura 9 pode-se fazer a comparação geométrica dos dois perfis.

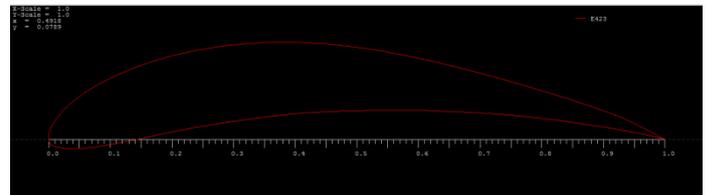


Figura 9 – Perfil indicado no software XFRL5

Na Tabela 4 temos os resultados finais do perfil E423, onde apresentamos os valores máximos dos coeficientes e os valores dos coeficientes quando o ângulo de ataque é igual a zero.

Tabela 4 - Dados do perfil

	E423
$C_L(\alpha=0)$	1,1136
$C_{Lm\acute{a}x}$	2,03749
$C_D(\alpha=0)$	0,01122
$C_{Dm\acute{a}x}$	0,13193
C_L/C_D ($\alpha=0$)	99,28608

Discussão

Como a exigência do projeto é de um perfil que tenha uma alta sustentação, fator determinante na decolagem, baixo coeficiente de arrasto, para um voo de planeio mais longo, e ser uma aeronave de fácil construção, leve e com baixo custo, o perfil E423 é o aerofólio que apresenta mais favoráveis para o desenvolvimento deste planador.

Ainda se faz necessário a realização de ensaios do comportamento dos perfis em um túnel de vento, para que se possa confirmar com maior precisão qual deles se aplica melhor ao projeto.

Conclusão

Através de simulações em software de perfis de asa e do uso de referências em banco de dados de perfis tornou-se possível a escolha de um perfil mais indicado para o tipo de planador ultraleve *foot-launched*.

Ainda são necessários estudos mais avançados, com a utilização do túnel de vento



como auxílio para ensaio dos aerofólios indicados, podendo-se determinar o centro de pressão aerodinâmico, coeficiente de sustentação real, entre outros.

O método desenvolvido pode ser utilizado como a triagem inicial dos perfis que poderiam ser utilizados em um planador ultraleve *foot-launched*.

Mas também pode ser utilizado como um determinante, por que a partir da simulação da asa completa, com os valores da envergadura e cordas, utilização do perfil indicado: E423, assim como sua geometria, que será o próximo estudo do projeto, já se têm dados suficientes para a verificação da melhor asa.

Referências

- ANDERSON, J. D. Aircraft Performance and Design. McGraw-Hill, 2009.
- Barros, C. P.; Chaves, F. D.; Oliveira, J. H. I. A.; Oliveira, P. H. I. A.; Projeto de um planador *Foot-Launch*. Centro de Estudos Aeronáuticos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, CEA/EEUFMG, 2002.
- MEGAZORD AERODESIGN. Relatório de Projeto. 14° Competição SAE Brasil Aerodesign, 2013.
- Question Gravity. Disponível em: <http://www.questiongravity.com/misc/index.htm>. Acesso: 22ago2014.
- RODRIGUES, L. E. M. J. Fundamentos da Engenharia Aeronáutica. Cengage Learning, 2013.
- WHITE, F. Fluid Mechanics. McGraw-Hill, 2011.
- XFLR5 - analysis tool for airfoils. Disponível em: <http://www.xflr5.com/xflr5.htm>. Acesso: 30jun2014.