

CONCEPÇÃO, MODELAGEM, SIMULAÇÃO E USINAGEM DE UM AEROFÓLIO AUTOMOTIVO AUXILIADO POR COMPUTADOR

Marcelo Ricardo Rocha¹, Augusto Seolin Jurisato², Luiz Antonio Vasques Hellmeister³

Abstract — *With the advancement of computer technology and the availability of technology computer aided design (CAD) errors in the designs are getting smaller. To this end the project aims to assess the reliability of the machine (CNC), which was designed by students of mechanical engineering college engineering - UNESP Bauru, by designing, modeling, simulation and machining an airfoil automotive. The profile template selected for the study will be a NACA 0012 machined plates in medium density fiberboard (MDF) and will be performed with a structural analysis simulation using finite elements and a software CFD (Computational Fluid Dynamics), and test the real scale model in a wind tunnel. The results obtained in the wind tunnel and CFD software will be compared to see the error in the machining process.*

Index Terms — CAD, CAM, CFD, CNC, rear wing.

INTRODUÇÃO

A utilização de aerofólios na engenharia se deu início com os aviões. Na década de 20 esta tecnologia foi transferida para a área automotiva, porém não trouxe grandes resultados. Somente no ano de 1968 durante o campeonato de Fórmula 1, a Lotus com seu carro, o Lotus 49, fez com que os aerofólios passassem a ser de grande importância para os automóveis de competição. Os engenheiros da marca decidiram inverter o perfil de uma asa de avião para passar a gerar “downforce”, ao invés de criar sustentação, possibilitando com isso, melhores tempos de volta durante uma corrida.

Com o avanço da tecnologia computacional e da disponibilização de tecnologias de projeto assistido por computador - CAD (Computed Aided Design) - é possível desenhar um modelo de perfil, selecionar os materiais de sua composição e efetuar análise estrutural com simulação através de elementos finitos [1]. Após o desenvolvimento do produto nas ferramentas CAD, é necessária a simulação do seu projeto de produção através de ferramentas como a produção assistida por computador – CAM (Computer Aided Manufacturing). Segundo [2] comentam que a aplicação de equipamentos programáveis em processos de fabricação tem como objetivo aumentar a flexibilidade da

produção para uma alteração de projeto. Por meio de uma fresadora CNC – Computed Numerical Control – usinou-se um modelo em escala em espuma de poliuretano e em chapas de fibras de densidade média (MDF - Medium Density Fiberboard). A fresadora utilizada na pesquisa foi anteriormente construída pelos alunos do curso de engenharia mecânica, e esta disponível no Departamento de Artes e Representação Gráfica, da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, da Unesp, Campus de Bauru. A faculdade possui os softwares Solid Works (CAD); CAM Express (CAD/CAM); Mach 3 (CAM) e XFLR5 (CFD) com licenças acadêmicas e gratuitas.

A aplicação do aerofólio em estudo, um modelo de perfil NACA0012, será em um veículo da categoria Fórmula SAE (Society of Automotive Engineers – Sociedade dos Engenheiros Automotivos). Esta é uma competição, na qual estudantes de engenharia constroem um carro do tipo fórmula com motores de motocicletas esportivas. Sendo permitidos estudos na área de aerodinâmica.

O perfil utilizado no estudo é um NACA0012 devido ao grande número de trabalhos acadêmicos já realizados. Este perfil possui esta nomenclatura devido a sua geometria criada pelo Comitê Consultivo Nacional para a Aeronáutica - NACA (National Advisory Committee for Aeronautics). O primeiro dígito representa à casa decimal da curvatura, o segundo, à casa decimal do ponto da corda mais distante da linha de curvatura média e os últimos dois dígitos simbolizam o percentual de espessura em relação à corda [3].

Perfil NACA 0012: 00 indica que o aerofólio é simétrico e 12 representa, em porcentagem, a razão entre o tamanho da corda e a espessura máxima do perfil (distância do bordo de ataque e a projeção sobre a corda do ponto no qual ocorre a maior distância entra a parte superior e inferior do aerofólio).

¹ Marcelo Ricardo Rocha, Author – Faculdade de Engenharia Bauru - UNESP, Rua Professor José Ranieri, 5-21, ap 122, 17015-361, Bauru, SP, Brazil, rocha.marcelo@hotmail.com.br

² Augusto Seolin Jurisato, Graduating Student of Mechanical Engineering at Unesp Campus Bauru, Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube, 1086 – Jardim Colonial, Bauru, São Paulo, Brazil, as.jurisato@live.com

³ Luiz Antonio Vasques Hellmeister, Prof. Dr.at Unesp Campus Bauru, Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube, 1086 – Jardim Colonial, Bauru, São Paulo, Brazil, hellmeister@faac.unesp.br

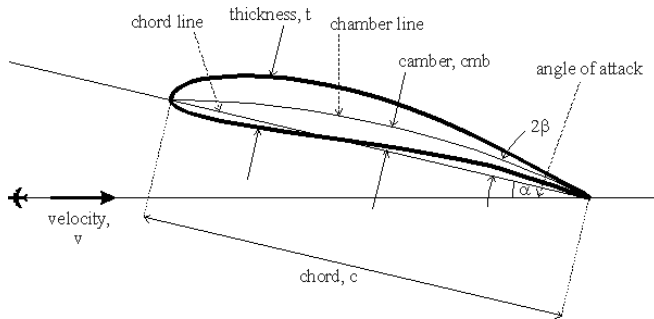


Figura 1

Nomenclatura dos termos de um perfil de asa

Números Importantes:

Re = número de Reynolds

ρ = massa específica do fluido

V = velocidade característica

L = comprimento característico

μ = viscosidade dinâmica do fluido

c_d = coeficiente de arrasto

c_l = coeficiente de sustentação

OBJETIVOS

O objetivo deste projeto é conceber, projetar, realizar simulações computacionais, construir um modelo em escala e, testar em um túnel de vento um modelo de aerofólio automotivo. Comparando os resultados dos coeficientes de sustentação (c_l) – lift coefficient - e de arrasto (c_d) – drag coefficient - obtidos no software com os coeficientes encontrados no túnel de vento.

Coloca-se como meta que o aluno obtenha o conhecimento em softwares CAD/CAM/CNC e programas de simulação de análise estruturais e fluidos.

METODOLOGIA E MATERIAIS

Através desta pesquisa projetou-se, em ambiente virtual, um aerofólio de perfil NACA0012. E através de softwares, simulou-se as condições de cargas e analisou-se estruturalmente a peça, além de ter simulado o escoamento do ar ao redor do aerofólio e analisado os seus coeficientes de sustentação (c_l) e de arrasto (c_d). Para uma velocidade constante testada, o ângulo de ataque será alterado quatro vezes. Os valores dos ângulos de ataques estudados foram: 0° ; -4° ; -8° e -12° .

A máquina projetada e construída por alunos do curso de engenharia mecânica da UNESP de Bauru em anos anteriores foi utilizada para a usinagem do aerofólio. Através de um trabalho concluído pelo grupo diz-se que a máquina está aferida. Amostras de MDF (Medium Density Fiber) foram usinadas com uma fresa de topo Bosch de duas lâminas de corte e 6,35 mm de diâmetro rotacionada por

uma retífica modelo Makita GD08000C. A Figura 1 mostra o conjunto montado na máquina fresadora construída.

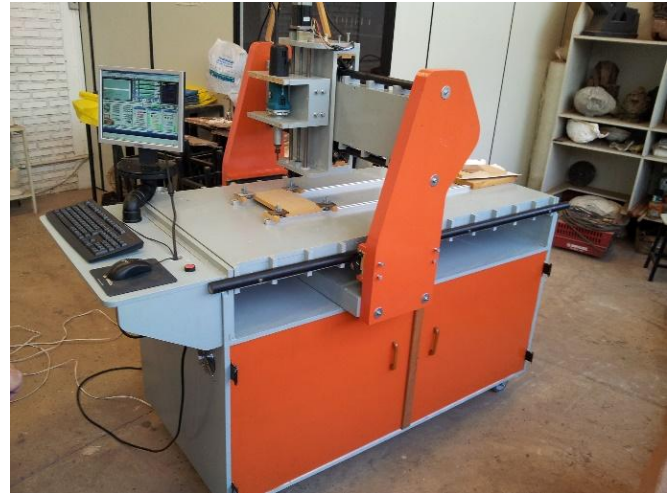


Figura 2

Máquina fresadora CNC desenvolvida na universidade. Conjunto montado e pronto para usinagem

Todo o desenvolvimento da peça a ser usinada se iniciou com o projeto dela no software Solid Works de projeto assistido por computador – CAD, onde foram estabelecidas as três dimensões nas quais a peça seria usinada, e também os detalhes geométricos. Uma vez que o modelo tridimensional estava pronto, esse foi elevado para a próxima fase de produção, o estudo e programação do código G capaz de compreender os detalhes da geometria criada e aperfeiçoar a usinagem através da conversão em linguagem de máquina do modelo virtual. Depois de usado modelo, ele foi recoberto com massa plástica, lixado, pintado e depois polido para reduzir o atrito do fluido, gerando uma análise mais próxima ao modelo teórico computacional.

Elementos do Perfil de Aerofólio

Corda: distância entre o bordo de ataque e o bordo de fuga, ponto inicial e terminal do perfil, respectivamente. Representado na figura 2 por ‘c’

Ângulo de ataque: é o ângulo formado entre a linha de corda do perfil e a direção do vento relativo. Representado na figura 2 por ‘ α ’

Modelo em Escala

Os modelos são muito utilizados na mecânica dos fluidos. A maior parte dos projetos de engenharia que envolve estruturas frequentemente utilizam modelos. O modelo é uma representação de um sistema físico que pode ser utilizado para prever o comportamento de alguma característica do sistema. O sistema físico para o qual as predições são feitas é denominado protótipo. Com o desenvolvimento de um modelo adequado é possível

predizer, sob certas condições, o comportamento do protótipo [4].

Número de Reynolds (Re)

O número de Reynolds é a razão entre as forças de inércia e as forças viscosas. escoamentos com grandes números de Reynolds são, em geral, turbulentos. escoamentos nos quais as forças de inércia são pequenas comparadas com as forças viscosas são escoamentos de características laminares [5]. Seu valor vale:

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (1)$$

Condições de Semelhança

O modelo deve ser proporcional ao protótipo para que o resultado obtido seja coerente com o protótipo

Semelhança Geométrica

$$\frac{L_m}{L_p} = \frac{c_m}{c_p} \quad (2)$$

no qual 'c' é o comprimento da corda e 'l' é a largura da asa, e os índices m e p representam o modelo e o protótipo, respectivamente. Assim temos que o comprimento da corda do modelo vale:

$$c_p = \frac{L_p}{L_m} c_m \Rightarrow c_p = K_g c_m \quad (3)$$

'K_g' é o fator de semelhança geométrico.

Semelhança Cinemática

O modelo e o protótipo devem possuir o mesmo número de Reynolds, portanto a velocidade do modelo deve ser igual a:

$$Re_m = Re_p \quad (4)$$

$$V_p = \frac{\rho_m \mu_p}{\rho_p \mu_m} \cdot \frac{L_m}{L_p} \cdot V_m \Rightarrow V_p = K_c V_m \quad (5)$$

'K_c' é o fator de semelhança cinético.

Em (5) vemos que o fator cinético é o inverso do geométrico, com isso se torna inviável manter o número de Reynolds para o modelo devido à alta velocidade do fluido em relação ao modelo. Para isso utilizamos do fator de semelhança geométrico, pois podemos desprezar as forças de inércia, com isso pode não é necessário manter a semelhança do Re.

Coefficientes de Arrasto e de Sustentação

Segundo Halliday, quando existe uma velocidade relativa entre um fluido e um corpo sólido existe uma força de arrasto 'D' que se opõe ao movimento relativo e é

paralela à direção do movimento relativo do fluido [6]. O módulo da força vale:

$$D = \frac{1}{2} c_d \rho A V^2 \quad (6)$$

Isolando o coeficiente de arrasto (c_d) na equação acima temos que

$$c_d = \frac{2D}{\rho A V^2} \quad (7)$$

O coeficiente de sustentação (c_l) é calculado de maneira análoga e possui valor de

$$c_l = \frac{2L}{\rho A V^2} \quad (8)$$

sendo 'L' a força de sustentação criada no aerofólio. Quando essa força possui valor negativo ela passa a ser chamada downforce e seu sentido é para baixo.

RESULTADOS

Utilizando a equação (3) com um fator de semelhança geométrico de K_G = 5 temos que o tamanho da corda do modelo é c_m = 0.08m. E através da equação (5) determinamos que o valor da velocidade do túnel é V_m = 6m/s. Com isso, com a equação (1) temos que o Re do modelo é 33500.

Através do software XFLR5 foram obtidos os gráficos do coeficiente de arrasto e de sustentação do modelo

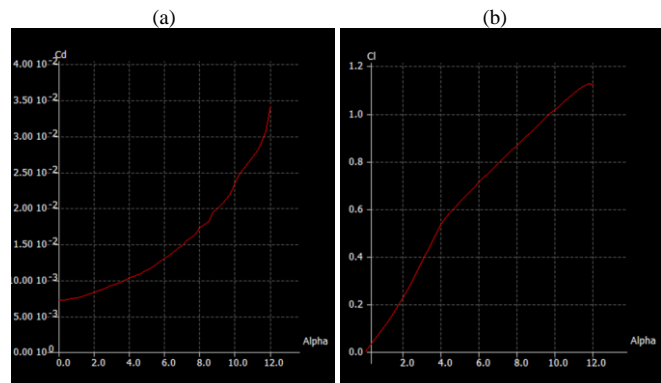


Figura 3

Gráfico dos coeficientes de arrasto (a) e de sustentação (b) em função do ângulo alpha do ângulo de ataque do aerofólio

No protótipo utilizaremos ângulos negativos para o ângulo de ataque, entretanto o software XFLR5 é utilizado para a engenharia aeronáutica e não permite a simulação de ângulos negativos, porém o módulo do coeficiente é mesmo desde que as condições sejam as mesmas. Neste caso altera-se somente o sentido da força exercida.

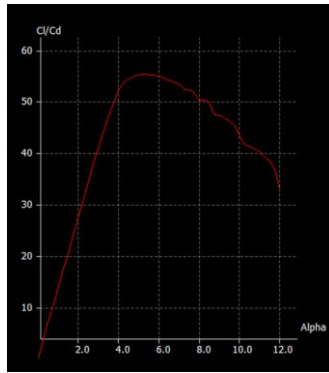


Figura 4

Gráfico com a razão do coeficiente de sustentação pelo de arrasto em função ângulo alpha do ângulo de ataque do aerofólio

CONCLUSÃO

Concluiu-se que a utilização das tecnologias assistidas por computador são acessíveis e eficazes na concepção, modelagem e simulação, obtendo-se como o melhor ângulo de ataque o valor de -5° , pois gera o maior downforce em razão do menor arrasto. Sendo que a usinagem real do modelo, análise em túnel de vento e aferição final deverão ser realizados em um trabalho em sequência, no qual deverá revelar sintonia em o virtual e o real.

REFERÊNCIAS

- [1] HELLMMEISTER, L.A.V. “Design & materiais – investigação da madeira e seus derivados para implementação da metodologia de seleção de materiais e processos de fabricação”, 2010.
- [2] SILVA, A. D.; BEVILACQUA, J. C. “Implementação de Pós-Processadores em Sistemas CAD/CAM Dedicados”, 2003.
- [3] ANDERSON Jr., J.D. “Introduction to flight”, 6. ed., 2008.
- [4] MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. “Fundamentos da Mecânica dos Flúidos”, 4. ed, 2004.
- [5] FOX, R. W. “Introdução a Mecânica dos Flúidos” 7. ed., 2010.
- [6] HALLIDAY, D. “Física 1”, 8. ed, 2009.