

DESENVOLVIMENTO AERODINÂMICO DE UM VEÍCULO CONCEITO

*Eduardo Pedro Eidt¹
Gilnei Carvalho Ocácia²*

Resumo

Este trabalho trata do emprego de modelos reduzidos para a obtenção de valores de coeficientes de arraste, aplicados a veículos conceitos, desenvolvidos a partir de perfis de aerofólios, com as devidas adaptações, através de medições em túnel de vento.

Neste estudo, busca-se a obtenção de um baixo coeficiente de arraste, consideradas as especificações referentes ao alojamento do piloto, ergonomia e disposição dos elementos necessários a propulsão.

O principal resultado obtido, a partir da utilização de um perfil NACA 2-006, foi que existe uma boa correlação entre a força de arraste atuante sobre o perfil e a força de arraste, para a mesma velocidade, sobre um corpo de revolução produzido com a mesma largura do veículo. Esta correlação também acontece quando se coloca uma cápsula sobre o sólido de revolução, tendo sido obtida uma relação entre os coeficientes de arraste desta configuração e de um aerofólio, de mesma espessura, igual a 2.

Palavras-chave: Eficiência energética, Baixo arraste, Conceitos aerodinâmicos.

Abstract

This work is about the use of small-scale models to obtain values of drag coefficients, applied to concept vehicles developed from aerofoil profiles, duly adapted, through wind-tunnel measurements.

The case, dealt with in this study, is about analysis of a concept vehicle, emphasizing the aerodynamics, more specifically, in obtaining a low drag coefficient, considering the specifications of: pilot accommodation, ergonomics and the arrangement of the necessary elements to propulsion.

The main result obtained with the utilization of a NACA 2-006 profile was that exists a good correlation between the drag force and the drag force, for the same speed, on a body of revolution produced with the same width of the vehicle. This correlation also happens when it is placed a capsule upon the solid of revolution, than it is obtained a relation between the drag coefficients of this configuration and of another of aerofoil, with the same thickness, equals to 2.

Keywords: energetic efficiency, low-drag design, aerodynamics concepts.

1 Introdução

Este trabalho relata o desenvolvimento aerodinâmico da carenagem de um veículo conceito de alta eficiência energética, através da análise de perfis NACA, da modelagem computacional em software de CAD e da análise experimental em túnel de vento.

¹ Mestre pelo PPGEAM da ULBRA. Defesa da dissertação em Julho de 2006. E-mail: eduardopedroeidt@gmail.com

² Doutor em Engenharia pela UFRGS. Professor Doutor do PPGEAM – ULBRA, RS. E-mail: gilneiocacia@terra.com.br

Para definição do desenho da carcaça, foi necessário o levantamento do espaço necessário para a disposição dos itens mecânicos e do condutor no veículo proposto. A utilização de aerofólios NACA, como base de desenvolvimento da forma do veículo, possibilitou o enquadramento dos requisitos ergonômicos e mecânicos necessários ao seu funcionamento, apresentando como grande vantagem a disponibilidade de dados experimentais através de relatórios de testes de perfis (LOFTIN, VON DOENHOFF, 1976). Outra vantagem é a possibilidade de comparação destes dados conhecidos da asa com os dados obtidos nos testes em túnel de vento para o modelo de veículo desenvolvido.

Com o objetivo de comprovar a eficiência das tomadas de decisão realizadas no projeto, utilizou-se um túnel de vento onde foram feitas as medições de força de arraste, para os modelos gerados, em função da velocidade do vento. A solução para minimizar os custos de testes em túnel de vento foi a utilização de modelos em escala reduzida (KATZ, 1995), pois desta forma toda estrutura necessária é reduzida (túnel, ventiladores, modelo e equipamentos de medição). A escala para construção do modelo foi de 1:15.

As medições da velocidade de vento foram realizadas com anemômetro de fio quente, enquanto as de força de arraste, por célula de carga, sendo os valores transpostos para condições de funcionamento do veículo em escala real (STREETER, 1982), através da equivalência entre os números de Reynolds, do experimento e da aplicação real.

2 Materiais e métodos

2.1. Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos: a) túnel de vento; b) anemômetro de fio quente; c) célula de carga; d) sistema de aquisição de dados; e) modelos reduzidos.

2.1.1 Túnel de vento

O túnel de vento utilizado, figura 01, possibilita a variação da velocidade do vento através do acionamento do motor do ventilador por conversor de frequência.



Figura 01 Túnel de vento

2.1.2 Anemômetro de fio quente

O anemômetro de fio quente, figura 02, possibilita a medição instantânea da velocidade do vento, apresentando uma incerteza de 1,2% na faixa de realização das medições.



Figura 02 Anemômetro

2.1.3 Célula de carga

A célula de carga, figura 03, possibilita a medição da força de arraste sobre o modelo reduzido testado. A incerteza na escala de medição, de 0-20gf, foi de 2,4% da medida.

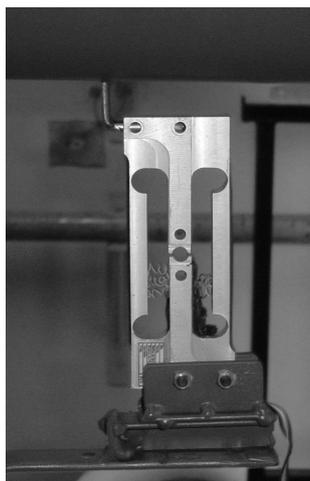


Figura 03 Célula de carga

2.2 Métodos

O caminho utilizado para obter os resultados apresentados é descrito a seguir.

2.2.1 Definição do Aerofólio base

O trabalho foi desenvolvido com base em um perfil NACA por existirem bancos de dados de formas e características, desses aerofólios. A família XX-006 foi escolhida por ter como característica baixo coeficiente de arraste. A seleção do perfil desta família, para servir de base de desenvolvimento do desenho do veículo, levou em consideração a forma dos aerofólios (para contemplar a configuração deste tipo de veículo) e as relações apresentadas em relatório de análises experimentais, de arraste e sustentação para diferentes ângulos de ataque.

2.2.2 Definição da configuração do veículo

Através das dimensões hipotéticas de um piloto (1,60m de altura e 0,40m de largura) e das disposições dos itens mecânicos necessários para o seu funcionamento (mecanismos de tração, transmissão e direção) foi gerado o desenho da parte interna do corpo do veículo. O projeto dimensional se balizou na busca pela distribuição que possibilite a menor área frontal possível. Com base nas dimensões internas do veículo foi selecionado o aerofólio NACA 2-006 (figura 04). Este perfil apresenta, como uma característica importante, um coeficiente de arraste estável, de 0,0064, para ângulos de ataque entre -6° e $+6^\circ$.

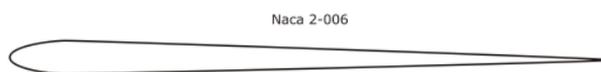


Figura 04 Aerofólio NACA 2-006

Como o veículo é destinado a baixas velocidades, torna-se viável o corte transversal no ponto do aerofólio em que o comprimento é suficiente para comportar piloto e elementos mecânicos, conforme figura 05, acarretando em menor estrutura física, peso e área de atrito de contato.



Figura 05 Aerofólio NACA 2-006 com corte

O desenho da carcaça do veículo, figura 06, foi gerado através das características do perfil NACA selecionado, inicialmente utilizando a largura máxima do veículo com valor igual à espessura do aerofólio (modelo base), depois fez-se uma sobreposição de perfil utilizando a altura como espessura com o objetivo de propiciar o desenho de uma cápsula semelhante às utilizadas em aviação.

As dimensões do veículo são as seguintes: largura de 0,51m; altura de 0,6m e comprimento de 2,14m.

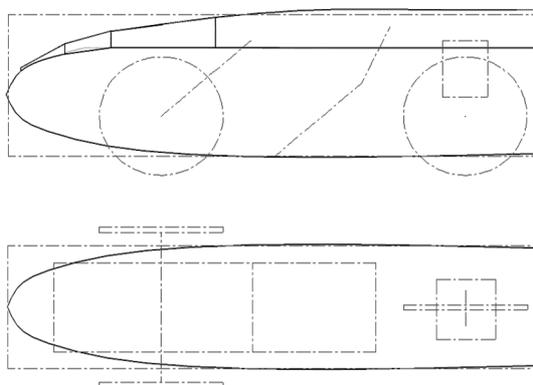


Figura 06 Desenho esquemático do veículo

2.2.3 Modelos reduzidos

Os modelos reduzidos possibilitam de forma rápida e econômica a obtenção de resultados que podem, através da teoria de semelhança, ser transpostos para as condições de modelos em escala real.

Os modelos reduzidos foram construídos em poliuretano, por ser um material de baixa densidade e de fácil manipulação. Com o objetivo de eliminar a porosidade característica do poliuretano ao ser lixado, utilizou-se banho em cera derretida, para revestimento, proporcionando ao modelo reduzido uma característica superficial próxima a de um veículo real. O modelo construído para os testes em túnel de vento, figura 07, não inclui as rodas, contempla somente o corpo do veículo.

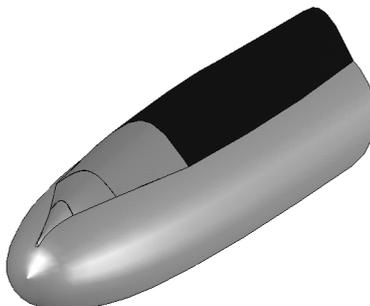


Figura 07 Modelo reduzido escala (1:15)

2.2.4 Testes em túnel de vento

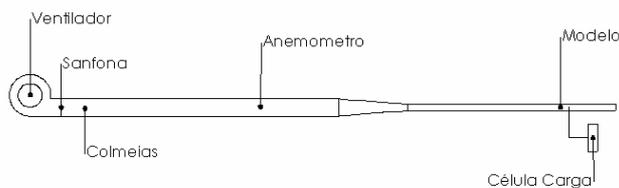


Figura 08. Desenho esquemático do túnel de vento

Foram fixadas seis frequências padrões para medições de velocidade e força de arraste no túnel de vento (figura 08). Para cada modelo reduzido, foram realizadas quatro rodadas de medições, variando-se a velocidade do vento de forma crescente e decrescente na secção subsequente de testes. Cada rodada conta com três medidas de velocidade que são utilizadas para cálculo da velocidade média do período de aquisição de dados de força de arraste, através da célula de carga. Este período de aquisição é de aproximadamente 60s.

Os resultados obtidos em túnel de vento, força de arraste em função da velocidade do vento para cada modelo, permitem que se expresse os valores de arraste para o modelo reduzido em função dos valores conhecidos para os aerofólios NACA. A partir desses valores, chega-se ao valor do coeficiente de arraste do veículo projetado, através da utilização da teoria da semelhança.

3 Resultados

A variação das forças de arraste, para cada modelo, em função da velocidade, pode ser visualizada na figura 09. A diferença entre o modelo teórico e o de base do veículo é justificada pelo corte realizado no aerofólio e pela alteração da forma de asa para corpo de revolução. A variação entre as medidas de força do modelo base para o modelo do veículo é justificada pela inserção da cápsula.

Como pode ser observado, o andamento das curvas é semelhante, apresentando, como esperado, uma relação quadrática da força de arraste em relação à velocidade.

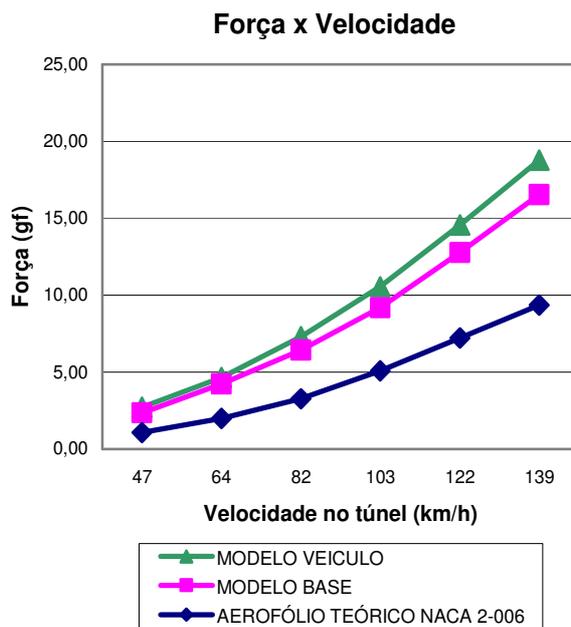


Figura 09 Força x Velocidade

As relações entre as forças de arraste, figura 10, expressam o coeficiente de arraste para cada relação que, para velocidades acima de $30,5 \text{ m.s}^{-1}$ (110 km.h^{-1}) sobre o modelo reduzido, resultaram em coeficientes estáveis. Esta velocidade corresponde à velocidade de $2,02 \text{ m.s}^{-1}$ ($7,3 \text{ km.h}^{-1}$) para o veículo real.

Relação entre os coeficientes de arraste dos modelos em função da Velocidade

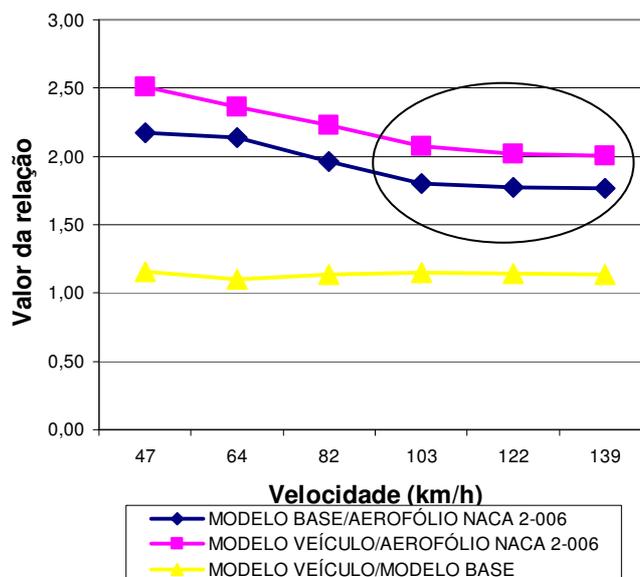


Figura 10. Força x Velocidade

Na figura 10, está em destaque a faixa a partir da qual há uma relação estável entre o arraste sobre os modelos e o arraste sobre o aerofólio NACA 2-006 de espessura igual à largura dos modelos, sendo 1,7 e 2, para o modelo de revolução e para o modelo do veículo, respectivamente.

Através do coeficiente de arraste encontrado para o modelo reduzido de veículo, pode-se calcular, para o modelo em escala real, a força de arraste em função da velocidade imprimida por este, como pode ser visualizado na figura 11.

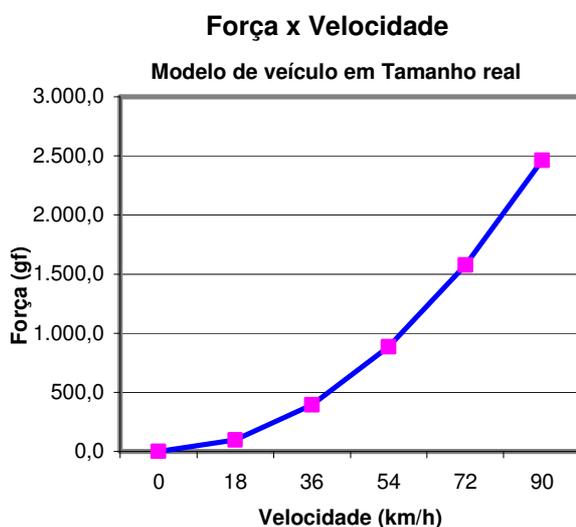


Figura 11. Força x Velocidade

4 Conclusões

O aerofólio NACA 2-006 contemplou as especificações dimensionais do veículo, podendo ser utilizado como base de desenho para sua carenagem. O uso deste perfil permite uma variação do ângulo de ataque de -6 a 6 graus, sem afetar o coeficiente de arraste. Isto pode ser utilizado para melhorar a dirigibilidade, a estabilidade ou mesmo para melhorar a performance do veículo, através da eliminação de parte da força de fricção das rodas com o solo, através da força de sustentação gerada por este.

A teoria da semelhança permite que se trabalhe com modelos reduzidos que facilitam a obtenção de resultados em túnel de vento. Entretanto é necessário que a velocidade de trabalho no modelo de testes seja muito superior à velocidade do modelo em escala real, uma vez que as dimensões do modelo reduzido são muito menores que as do modelo real e não há alteração do fluido, isto é, a viscosidade, em ambos os casos, é a do ar. Nesse caso, como o comprimento característico é o comprimento do veículo, sendo a relação entre essa dimensão, do modelo real para o modelo reduzido, de 15 vezes, a velocidade sobre o modelo reduzido, equivalente à velocidade sobre o modelo real, é 15 vezes maior.

Os testes em túnel de vento apresentaram, para números de Reynolds superiores a 3×10^5 , uma relação estável do coeficiente de arraste entre os valores teóricos de um aerofólio e os de um sólido de revolução desenvolvido a partir dessa asa, da ordem de 1,7. O mesmo acontece para a relação entre o coeficiente de arraste para o aerofólio e o do modelo reduzido do veículo desenvolvido a partir de alterações do sólido de revolução, que é em torno de 2,0.

A partir das considerações apresentadas no parágrafo anterior, pode-se calcular a força de arraste para o veículo real, em função dos dados levantados em túnel de vento, com uma incerteza de 2,4%. Isto significa que o veículo real, nesse caso, apresentará um coeficiente de arraste da ordem de $0,0128 \pm 0,00031$, contra o coeficiente de arraste de 0,0064 apresentado pelo perfil NACA 2-006.

Referências bibliográficas

LOFTIN, L. K. Jr.; VON DOENHOFF, A. E. Relatório Naca. [s.l.]: [s.ed.], 1976.

KATZ, J. New directions in Race Car Aerodynamics: designing for speed. USA: SAE, 1995.

STREETER, V. L. Mecânica dos Fluidos. São Paulo: McGraw-Hill, 1982.