

Estudo da aerodinâmica de foguetemodelos para motores classe E em túnel de vento

Carlos Eduardo Américo¹; Alysson Nunes Diógenes²

RESUMO

A medição de grandezas físicas, em especial ao arrasto aerodinâmico é um assunto de grande interesse nas áreas acadêmica e industrial. Para tal, pode-se medir a pressão que, em especial, pode ser utilizada para várias medidas diretas e indiretas, como medir velocidades e altura barométrica. Da mesma forma, pode-se medir diretamente a força de arrasto em túneis de vento através de células de carga. Tendo em vista que a Universidade Positivo preza pelo bom uso dos seus laboratórios, bem como o desenvolvimento tecnológico de ponta, observa-se que o equipamento túnel de vento, já disponível no laboratório de fluido-mecânica do curso de engenharia mecânica, pode ser usado para melhorar a aerodinâmica de foguetemodelos, onde provavelmente, utilizaremos os resultados obtidos da iniciação científica para fazer implementações grupo de foguete GREAVE – UP.

Palavras-chave: Arrasto aerodinâmico. Pressão diferencial. Foguetemodelismo.

1 INTRODUÇÃO

A medição de grandezas físicas, em especial ao arrasto aerodinâmico é um assunto de grande interesse nas áreas acadêmica e industrial. Para tal, pode-se medir a pressão que, em especial, pode ser utilizada para várias medidas diretas e indiretas, como medir velocidades e altura barométrica. Da mesma forma, pode-se medir diretamente a força de arrasto em túneis de vento através de células de carga.

Tendo em vista que a Universidade Positivo preza pelo bom uso dos seus laboratórios, bem como o desenvolvimento tecnológico de ponta, observa-se que o equipamento túnel de vento, já disponível no laboratório de fluido-mecânica do curso de engenharia mecânica, pode ser usado para melhorar a aerodinâmica de foguetemodelos.

¹ Aluno do 3º período do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Positivo. E-mail: ceamerico123@hotmail.com. Voluntário do Programa de Iniciação Científica (PIC) da UP.

² Professor do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Positivo. Doutor em Engenharia mecânica. E-mail: diogenes@up.com.br

Essa medida pode ser feita através de uma célula de carga e de modificações aerodinâmicas em um kit comercial de foguete modelo. A equipe GREAVE – Grupo de Estudos em Aerodinâmica de Veículos Autopropelidos, equipe da engenharia mecânica e por dois anos premiada no festival de foguetes, deseja melhorar seu desempenho nas classes de maior potência (classe E).

Uma vez que quase todos os equipamentos já estão disponíveis, deseja-se adaptar o túnel de vento para medir arrasto aerodinâmico.

Este trabalho foi definido nas seguintes etapas:

1. Dimensionamento do sensor transdutor
2. Montagem do instrumento de medição de arrasto
3. Calibração do sistema
4. Medidas experimentais

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A aerodinâmica usa túneis de vento para testar modelos de componentes de aeronaves e motores propostos. Durante um teste, o modelo é colocado na seção de teste do túnel e o ar flui ao redor do modelo. Vários tipos de instrumentação são utilizados para determinar as forças sobre o modelo. O tipo mais básico de instrumento é o equilíbrio de forças (NAN, 2013).

Este método de determinação do arrasto requer uma célula de carga e um computador portátil para converter a saída eletrônico em unidades de força. Para determinar com precisão as forças aerodinâmicas e os momentos em um modelo de aeronave em um túnel de vento "real" requer instrumentação ainda mais sofisticado e sistemas de computador maiores para processamento de dados. Várias células de carga são muitas vezes colocadas no interior do modelo, ou numa plataforma de medição fora do túnel. Vários medidores permitem a determinação de múltiplas forças e momentos durante o mesmo teste (ANDERSON JR, 2015).

Alguns túneis de vento estão equipados com ensaios mecânicos muito mais simples para medir a sustentação e arrasto. Em vez de células de carga, uma balança de mola pode ser usada se as forças são pequenas. Em ambos os casos, os instrumentos devem ser calibrados com uma quantidade conhecida de força antes e durante um teste em túnel de vento (NASA, 2016).

2.1 DIMENSIONAMENTO DA CÉLULA DE CARGA

Para o correto dimensionamento da célula de carga, foram utilizadas as equações da força de arrasto expostas em FOX *et. al.* (2014).

$$F_D = \frac{1}{2} c_d \rho V^2 A$$

Onde F_D é a força de arrasto, ρ é a densidade do fluido ($1,2\text{kg/m}^3$ para o ar), V é a velocidade do fluido, A é a área projetada do objeto exposto ao fluido e c_d é o coeficiente de arrasto, constante para uma forma em uma velocidade. O coeficiente de arrasto é função do número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Onde D é o diâmetro da forma e μ é a viscosidade do fluido (10^{-5} para o ar).

No túnel de vento da Universidade Positivo, é possível atingir velocidades de 30m/s , assim, para uma esfera de calibração de $0,05\text{m}$ (5cm) de diâmetro, pode-se determinar o número de Reynolds nessa velocidade para essa esfera como $1,8 \cdot 10^5$. Esse regime de escoamento é turbulento.

De posse desse valor, Fox *et al.* (2014) fornecem um gráfico para os coeficientes de arrasto de uma esfera, como exposto na Figura 1.

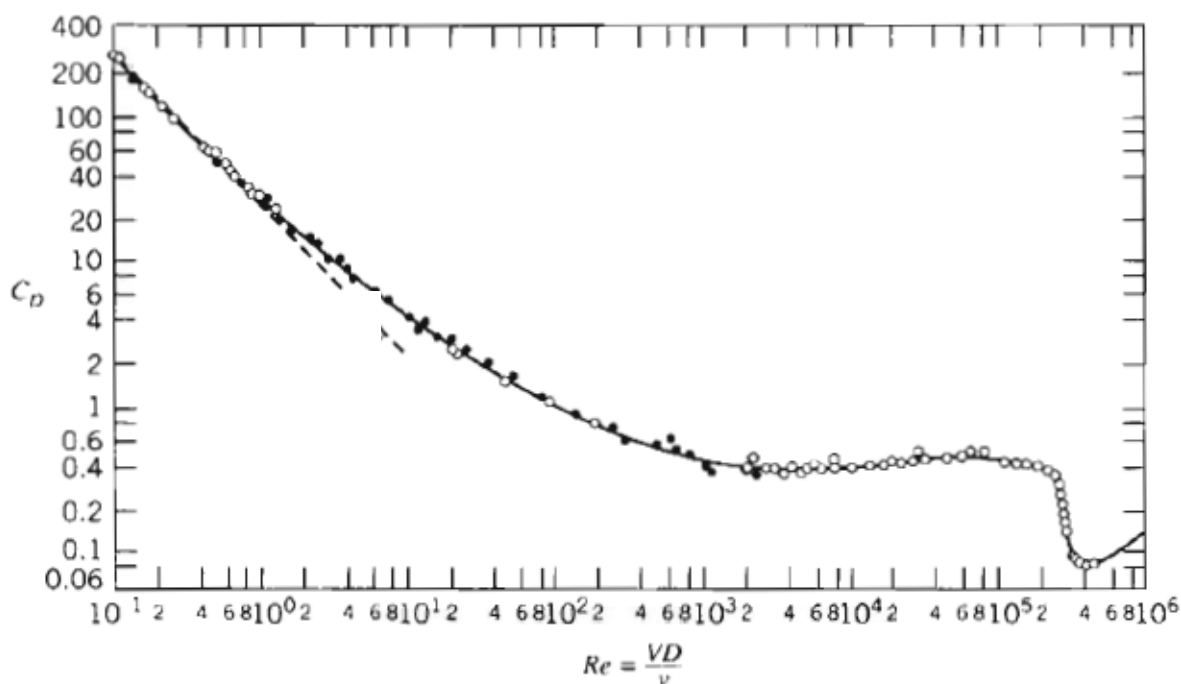


Figura 1 – Coeficiente de arrasto para uma esfera
 FONTE: FOX ET. AL., 2014

Assim o coeficiente de arrasto para uma esfera de 0,05m de diâmetro exposta a 30m/s no túnel de vento da Universidade Positivo é de 0,45. Com esse valor é possível determinar que a força exercida sobre o fluido na esfera é de 1,9N ou aproximadamente 0,2kg.

Desta forma, optou-se por uma balança de joalheria com carga máxima de 500g e exatidão de 0,1g.

2.2 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE ARRASTO

Para a fabricação do instrumento de medição de arrasto, foi utilizada uma chapa de aço 1020, uma esfera de isopor, balança de precisão, rolamentos e vergalhões de aço para suporte, servindo de alavanca ao objeto de interesse.

Para a montagem do suporte, foram utilizadas diversas ferramentas do laboratório de usinagem da engenharia mecânica, tais como solda MIG, dobradeira de chapa, cossinete m6, para a fabricação da rosca externa nos vergalhões, macho m6 para a fabricação da rosca interna no suporte.

O uso do torno também se fez presente durante o processo de fabricação de um dos elementos do suporte.

Da mesma forma, optou-se pelo uso de uma balança, que foi montada na forma de um sistema como o das Figuras 2 e 3, composto de duas hastes e um mancal. Essas hastes tem o propósito de transmitir a força para a balança através de um rolamento, de forma que não faz diferença a massa da esfera, e sim, a força horizontal que a esfera é submetida.

Foram realizadas 10 medidas seguindo o procedimento:

- 1 - Desligar túnel e balança
- 2 - Ligar a balança e aguardar a tara
- 3 - Ligar o túnel na velocidade de 3 m/s
- 4 - Medir a massa marcada na balança
- 5 - Desligar o túnel
- 6 - Verificar se a tara da balança foi mantida e repetir o passo 1.

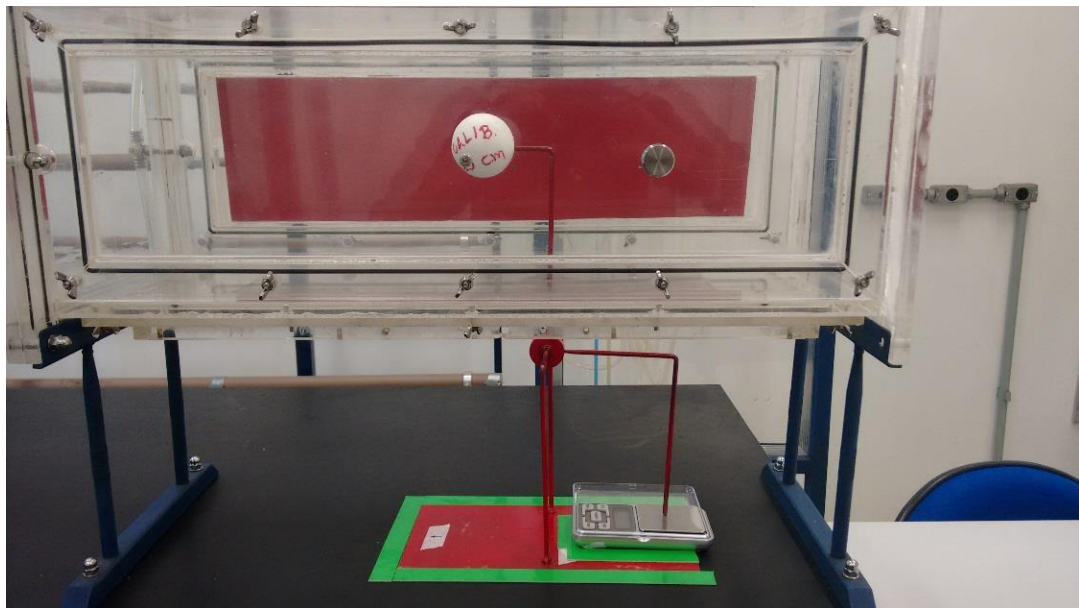


FIGURA 2 – Sistema para medição de arrasto
FONTE – Os autores

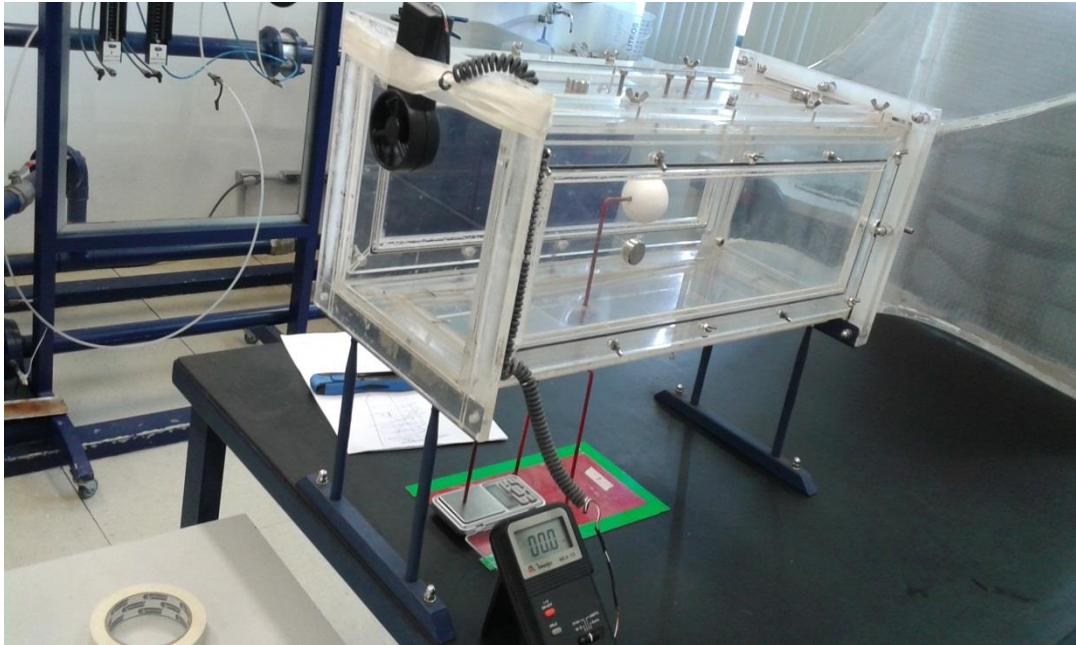


FIGURA 3 – Sistema para medição de arrasto.
FONTE – Os autores

2.3 MEDIDAS DE CALIBRAÇÃO

O sistema foi montado para a esfera de calibração e a velocidade foi variada de 2 a 28m/s. A partir desta velocidade o sistema entrou em instabilidade e não foi possível efetuar a medida. Os dados de calibração podem ser vistos na Figura 4, efetuados em duplicata.

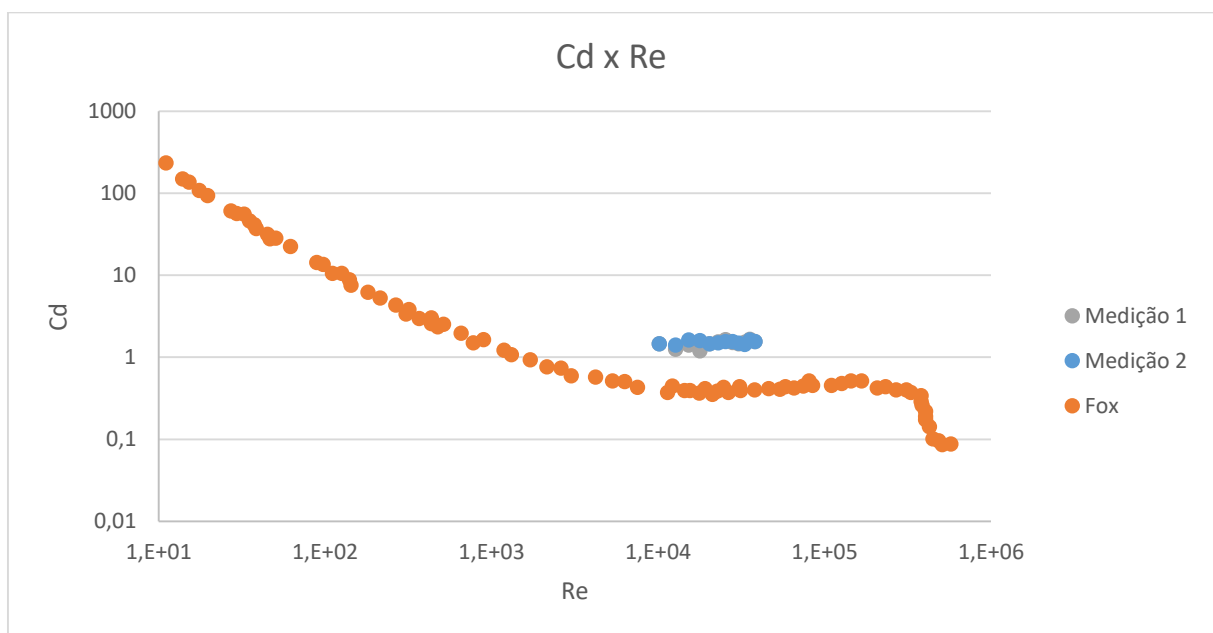


FIGURA 4 – Dados de calibração para uma esfera no túnel de vento
FONTE – Os autores

Observa-se que os coeficientes de arrasto medidos foram superiores às medidas de referência. Esse resultado era esperado, haja visto que na literatura a esfera era lisa, enquanto que a esfera utilizada para calibração foi de isopor, o que é bastante rugoso. Desta forma, observou-se apenas a tendência, que é semelhante aos dados originais, assim, os dados de calibração foram considerados adequados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para as medidas com os foguetes, foi testado um classe E, com comprimento de 30 centímetros. Considerando a gravidade como 9.81 m/s^2 , diâmetro = 0.02 m , $\rho_{\text{ar}} = 1.02 \text{ kg/m}^3$, área = 0.000314159 m^2 , foram obtidos os dados da Tabela 1, expostos em forma de

Tabela 1 – Dados de arrasto no foguete para velocidades analisadas.

Re	Cd	Frequência (Hz)	V(m/s)	Massa (g)	Fd (N)
5,10E+03	6,857518	8,43	2,5	0,7	0,006867
7,34E+03	3,779496	11,04	3,6	0,8	0,007848
8,57E+03	4,859353	13,02	4,2	1,4	0,013734
9,79E+03	5,049171	14,35	4,8	1,9	0,018639
1,12E+04	5,060152	16,13	5,5	2,5	0,024525
1,24E+04	4,936402	17,41	6,1	3	0,02943
1,41E+04	4,629705	19,21	6,9	3,6	0,035316
1,55E+04	4,134151	20,97	7,6	3,9	0,038259

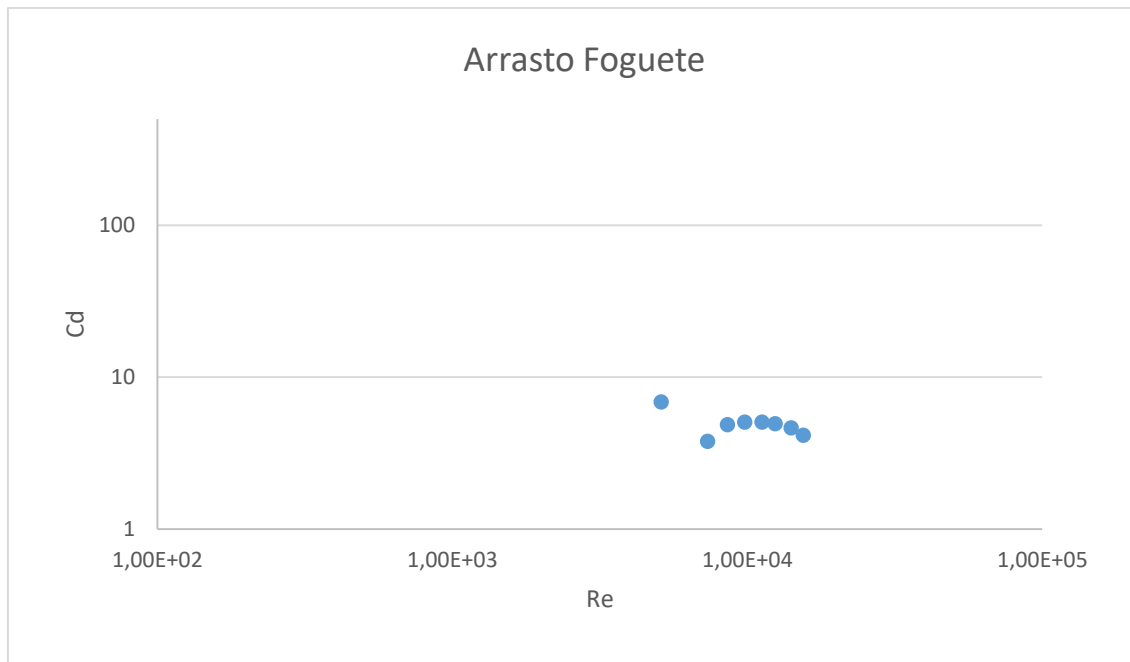


FIGURA 5 – Dados de arrasto no foguete para velocidades analisadas.

FONTE – Os autores

3.1 MODIFICAÇÃO DE FOGUETE

Uma vez efetuadas as medidas no corpo do foguete, que é feito de papelão, foi efetuado o envelopamento do mesmo em plástico adesivo para verificar a influência do envelopamento no coeficiente de arrasto. Da mesma forma, foram utilizadas duas formas de nariz de foguete: elíptica e cônica. Os resultados estão expostos na Figura 6.

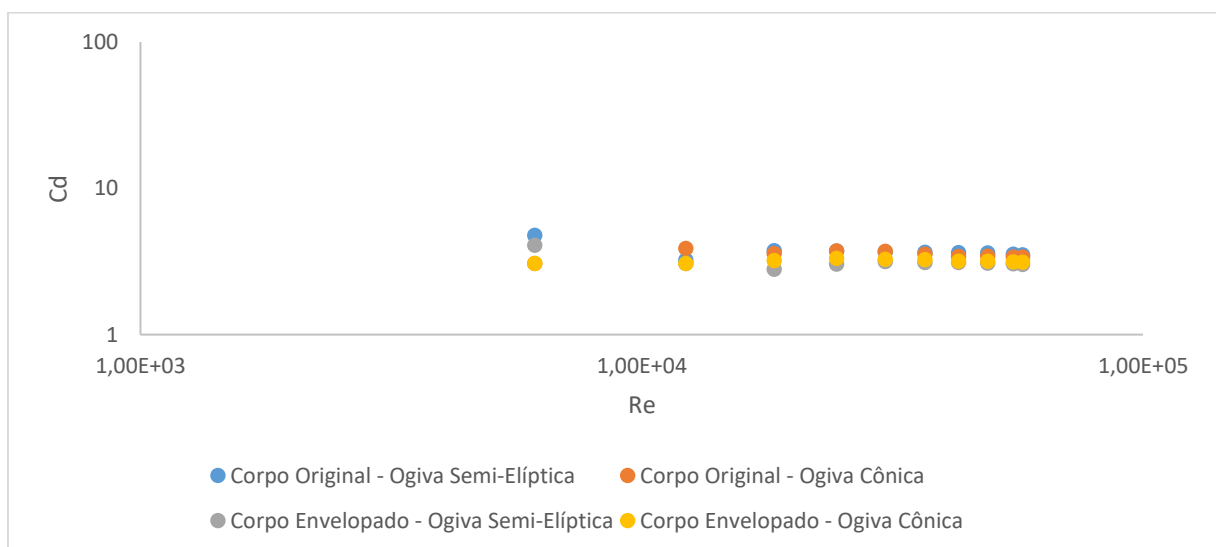


FIGURA 6 – Dados de arrasto para foguete com quatro configurações.

FONTE – Os autores

Como pode-se observar na Figura 6, as duas configurações com menor coeficiente de arrasto foram as duas com o corpo do foguete envelopado, ou seja, adicionar plástico adesivo ao foguete reduz o arrasto.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho, conclui-se que foi possível instrumentar o túnel de vento para medição de arrasto através da confecção de um dispositivo simples utilizando uma estrutura de aço e uma balança de precisão. Foi possível, da mesma forma, efetuar medidas bem sucedidas de calibração e medir o coeficiente de arrasto de um foguetemodelo em várias configurações, adotando a solução de menor coeficiente de arrasto.

5 REFERÊNCIAS

- ANDERSON JR, J. D., 2015. **Fundamentos de Engenharia Aeronáutica**. 7ª Edição. Editora McGraw-Hill. São Paulo – SP.
- FOX, R. W., McDONALD, A. T., PRITCHARD, P. J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos** - 8ª Edição. Editora Livros Técnicos e Científicos, São Paulo – SP, 204.
- NAN, L. 2013. **The Methods Of Drag Force Measurement In Wind Tunnels**, Dissertação de Mestrado. Faculty Of Engineering And Sustainable Development. University of Gävle.
- NASA, DRAG MEASUREMENT, 2016. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/dragdat.html>. Acesso em 13 de Junho de 2016.