

PROJETO DE CONSTRUÇÃO DE UMA BALANÇA AERODINÂMICA

Viviane L. Soethe – vivianes@joinville.ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina
Rua Paulo Malschitzki, nº 10
89219-710– Joinville – Santa Catarina
Hugo B. Quadros – hugobdq@hotmail.com
Patricio E. B. Rejas – patriciorejas@hotmail.com
Herlon F. Linemburg – herlonlinemburg@hotmail.com
Eduarda R. Busnardo – eduarda_busnardo@hotmail.com
Matheus C. Pires – matheus2802@hotmail.com
Jorge H. S. Dircksen – jorge.hsd@hotmail.com
Bruno Backes – bruno.backes@hotmail.com
Fernando R. Demboski – fernandodemboski@hotmail.com

***Resumo:** Para a compreensão do comportamento de objetos que se deslocam em meio fluido, a utilização de uma balança aerodinâmica se faz necessária. Conceitos físicos teóricos são interpretados e colocados em prática, reforçando e complementando conhecimentos fluidodinâmicos no qual esses objetos estão sujeitos. Por meio de um processo didático, que tem início desde a concepção até a montagem de um protótipo, o crescimento intelectual e prático são desenvolvidos, visando à preparação acadêmica a análises aerodinâmica de corpos.*

***Palavras-chave:** Balança aerodinâmica, Túnel de vento, Força de arrasto, Força de sustentação.*

1 INTRODUÇÃO

A análise de elementos imersos em fluidos só é possível graças a dispositivos que, por meio de aquisição e interpretação de dados, revelem os esforços sobre objetos de maneira quantitativa. Assim, o projeto e a construção de uma balança aerodinâmica, com o intuito de ilustrar os esforços exercidos sobre objetos quando sujeitos a ação de fluidos, apresenta-se como um interessante tema de pesquisa e de fundamental importância para o estudo e mensuração de forças aerodinâmicas.

A viabilidade e motivação para o desenvolvimento de uma balança aerodinâmica revelam-se na necessidade da existência de um equipamento deste tipo, que possa ser acoplado a um túnel de vento didático – que se encontra em fase de desenvolvimento, no Centro de Engenharia da Mobilidade da Universidade Federal de Santa Catarina. Tal equipamento visa auxiliar o programa de graduação em Engenharia da Mobilidade, nas atividades de ensino, pesquisa e extensão, possibilitando uma ampliação dos conhecimentos didáticos dos estudantes referentes aos modais de tecnologia veicular.

O túnel de vento, que não é o tema do presente trabalho, é um dispositivo largamente utilizado para o estudo aerodinâmico de modelos com o intuito de avaliar suas características e eficiência aerodinâmicas (sendo muito útil para a validação de cálculos e teste de conceitos).

Basicamente, o princípio de funcionamento dos túneis de vento consiste em direcionar o ar dentro de uma sessão de testes com velocidade controlada (POPE, 1984).

Quando surge a necessidade de caracterização de valores que relacionem, por exemplo, estabilidade e as forças resultantes das ações de fluidos; a balança aerodinâmica se torna instrumento essencial em um túnel de vento, já que este não é capaz de obter tais informações isoladamente.

Balanças aerodinâmicas frequentemente são confeccionadas por componentes microeletrônicos ou células de carga que permitem, por meio de uma interface computacional, adquirir informações sobre os efeitos do fluxo de ar sobre o modelo no momento do teste (SMITH *et al.*, 2009).

Com o desenvolvimento de um dispositivo deste tipo, ou seja, que crie parâmetros de comparação em análises fluidodinâmicas espera-se contribuir com as atividades de extensão propostas na universidade, com a formação dos alunos envolvidos e com toda a comunidade acadêmica, que poderá fazer uso deste equipamento em disciplinas no decorrer do curso, bem como, cooperar de forma expressiva com possíveis projetos de pesquisa que venham a ser desenvolvidos por meio de parcerias entre a universidade e empresas.

2 PLANEJAMENTO DE PROJETO

As etapas de pesquisa – durante o processo de concepção de uma balança integrada a um túnel de vento – contavam com a premissa da construção de um protótipo ilustrativo. Assim, o início do projeto contou com a aplicação de ferramentas de gestão que definiram o planejamento do projeto.

A fim de aplicar conhecimentos adquiridos na área de metodologia de projeto, uma série de etapas foi estabelecida para a definição de um processo de desenvolvimento do produto a partir de alguns métodos. Estas etapas previam a análise do processo, definida pelo planejamento estratégico; o desenvolvimento, no qual estão inseridos os projetos informacional, conceitual e detalhado; e a pós-produção, que envolve o acompanhamento.

A necessidade de iniciar o projeto com a definição de um planejamento está ligada ao cumprimento de tarefas e prazos. O controle das atividades para que os *deliverables* (entregáveis) não atrasem está descrita como forma de prevenção e atuação sobre riscos do projeto, garantindo o cumprimento das tarefas pré-definidas no prazo proposto para execução.

3 OBJETIVOS

O presente trabalho objetiva projetar e executar uma balança aerodinâmica para inserção em um túnel de vento, auxiliando o desenvolvimento humano e acadêmico, apoiando disciplinas relacionadas com as áreas de Engenharia Aeroespacial, Naval e Oceânica e Automobilística. Desta forma, pretende-se elaborar um equipamento que possa ser utilizado didaticamente para ilustrar o comportamento de um corpo quando sujeito a esforços fluidodinâmicos. Por meio deste trabalho, busca-se contribuir para uma formação mais ampla e sólida do estudante, uma vez que o mesmo poderá, na prática, visualizar conceitos físicos utilizados na engenharia.

4 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

A partir de uma hélice que gera uma sucção de ar através do túnel, um modelo sofre esforços verticais e horizontais. No caso de perfis de asa, essas forças são caracterizadas por sustentação (força na direção vertical) e arrasto (força na direção horizontal que é contrária ao movimento) (FOX, 2006).

Os dispositivos utilizados para a medição destas forças são duas molas com mesma dimensão e constantes elásticas, posicionadas na direção da força em um módulo que se encontra abaixo da seção de testes. Para que o sistema esteja em equilíbrio, um contra peso é utilizado como um sistema de zeragem que é função do peso do modelo (grandeza variável) e do peso da estrutura (grandeza fixa).

Ao realizar a medição de arrasto e sustentação de um perfil de asa, algumas considerações devem ser realizadas:

- Fixação do perfil de asa na seção de testes, mais precisamente, na haste que faz a ligação do túnel de vento à balança aerodinâmica;
- Zeragem do sistema (dependência do peso do modelo) com um contra peso;
- Acionamento do motor, gerando sucção;
- O motor esta ligado ao inversor de frequência, fazendo com que seja possível a variação da frequência de rotação, e, conseqüentemente, da velocidade do escoamento;
- A haste vertical que fica entre a seção de testes e a balança aerodinâmica sofrerá um deslocamento vertical e horizontal, o que ocasiona a deformação das molas. Esse descolamento se dá devido à atuação de componentes verticais e horizontais, como pode ser observado na “Figura 1”.

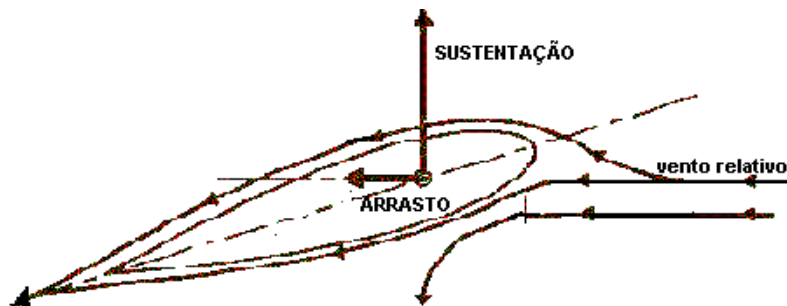


Figura 1: Ilustração das componentes das forças verticais e horizontais (HELICÓPTERO...2011)

- Com a constante elástica das molas é possível determinar as forças atuantes no perfil de asa de acordo com a Lei de Hooke, como apresentado na “Equação (1)”:

$$F = kx \quad (1)$$

Onde k é a constante da mola, definida por x, dado em m, sendo o deslocamento da mola a partir da atuação da força exercida sobre a mola (F[N])

- Determinar o coeficiente de arrasto e sustentação.

5 ANÁLISE TEÓRICA

O escoamento do ar ao longo da seção de testes em um túnel de vento é de extrema importância para a análise do protótipo, sendo que desta forma é possível a obtenção dos dados a partir da utilização do sistema de molas descrito anteriormente. Sabendo-se ainda que a área projetada que possui uma maior força de arrasto é a que apresenta um perfil quadrado, optou-se pela escolha da mesma para a projeção de um protótipo.

Alguns dos objetivos finais do projeto da balança aerodinâmica são as determinações dos coeficientes de arrasto e de sustentação, que estão intimamente ligados ao perfil de asa que se

deseja estudar. Para a avaliação da interação do modelo com o escoamento a definição de arrasto e sustentação se faz útil:

- Arrasto é a componente da força sobre um corpo que atua paralelamente a direção do movimento relativo (FOX, 2006).
- Sustentação é a componente da força do fluido, perpendicular ao fluido (FOX, 2006).

O coeficiente de arrasto pode ser calculado a partir da “Equação (2)” (FOX, 2006), utilizando, nesta equação, a força de arrasto obtida, experimentalmente, na balança desenvolvida:

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^2} \quad (2)$$

Onde F_D [N] é a força de arrasto, C_D [adimensional] o coeficiente de arrasto, obtido através do número de Reynolds, A [m²] área projetada (área projetada no eixo horizontal), V [m/s] a velocidade do vento e ρ [kg/m³] a densidade do fluido (para o ar 1,2kg/m³).

De acordo com a “Equação (3)” (FOX, 2006), o coeficiente de sustentação pode ser definido com a força de sustentação adquirida na balança:

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^2} \quad (3)$$

Onde F_L [N] é a força de sustentação e C_L [adimensional] o coeficiente de sustentação.

De acordo com as “Equações (2) e (3)”, pode-se verificar que os coeficientes de arrasto e sustentação dependem do ângulo de ataque (ângulo entre a linha de corda com a direção do vento) relativo com que este perfil de asa esta posicionado especificamente para o estudo. Uma representação deste ângulo pode ser melhor observada por meio da análise da “Figura 2”.

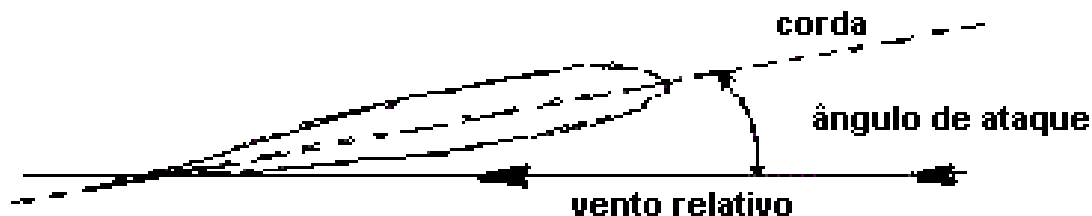


Figura 2: Representação esquemática do ângulo de ataque.

6 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DO PRODUTO

O protótipo foi construído baseado em uma estrutura sob a forma de paralelepípedo reto, constituído de madeira, aberto em duas extremidades laterais e opostas, simulando uma seção de testes com dimensões de 18 x 20 mm. A região lateral foi com coberta com acrílico para facilitar a visualização do modelo e do escoamento. Uma imagem do processo construtivo, realizado pelos estudantes, pode ser visualizada na “Figura 3”.



Figura 3: Imagem do processo construtivo do protótipo

Para a fixação do objeto a ser testado, foram utilizadas hastes de madeira com espessura de 10 mm, fixas entre si por meio de parafusos e articulações móveis, agregando graus de liberdade ao eixo de fixação. Este mesmo suporte é apoiado em uma bancada fixa, também de madeira, por meio de molas. A determinação das constantes elásticas das molas (k) utilizadas foi realizada experimentalmente. Foram traçadas curvas relacionando a deformação da mola em função da massa aplicada. Estas curvas podem ser observadas no gráfico da “Figura 4”.

Análise das Molas

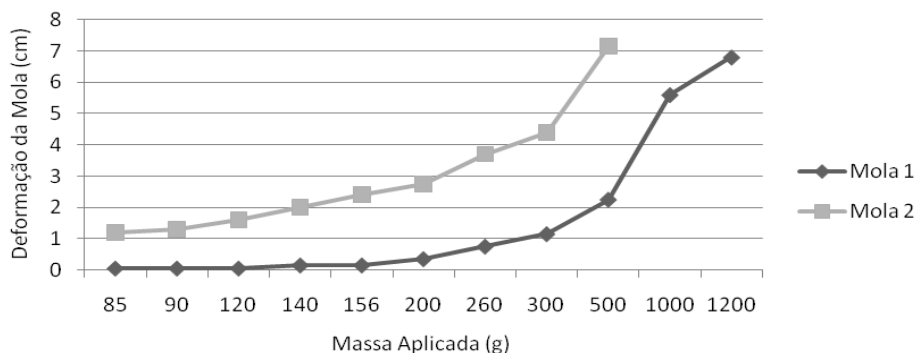


Figura 4: Dados experimentais obtidos para determinação do coeficiente elástico das molas utilizadas na construção do protótipo.

As deformações das molas, durante o ensaio, possibilitam avaliar quantitativamente parâmetros como arrasto e sustentação na balança. No protótipo, as molas ficaram dispostas perpendiculares entre si, sendo uma afixada fixa na parte inferior da bancada e em uma das hastes, e a outra afixada na parede lateral da bancada, e em outra haste.

Basicamente, durante o funcionamento do túnel de vento, ocorre a aplicação de uma força, sobre um modelo, colocado na sessão de testes, devido a passagem de um fluido, neste caso, o ar, com uma dada velocidade provocando um deslocamento do objeto que se encontra neste ambiente. Essa variação na sua posição fará com que as molas sejam deformadas. Com isso, será possível a obtenção de parâmetros dimensionais que ilustrem valores relativos aos esforços aerodinâmicos.

Um estudo realizado em plataformas de modelagem virtual foi realizado a fim de caracterizar aspectos de dimensionamento e efeitos do escoamento sobre a balança aerodinâmica; assim, a “Figura 5” representa tais estimativas sobre a balança:



Modelo
perfil de asa

M

Figura 5 - Modelagem virtual do protótipo a ser construído

O processo construtivo resultou em um modelo, conforme a “Figura 6” que correspondeu às expectativas do projeto: um sistema sólido, de fácil transporte e manuseio, leve e didático. A “Figura 6” apresenta imagens do protótipo da balança do túnel de vento em ensaio.

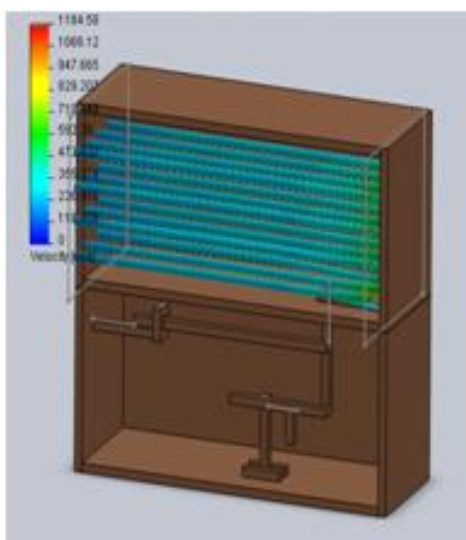


Figura 6: Imagens relativas ao protótipo da balança aerodinâmica elaborada.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal foi alcançado: o planejamento e concepção de um protótipo que quantificasse esforços aerodinâmicos foram realizados em tempo hábil e de maneira eficiente. Além do desenvolvimento de características subjetivas relacionados com aspectos construtivos e de trabalho em grupo, evidenciou-se a importância didática desse tipo de instrumentação no que tange a fluidodinâmica.

Mesmo com construção simplificada, a balança mostrou-se eficiente e respondeu de maneira coerente quando submetida à aplicação de forças.

Agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos ao Msc. Daniel Amado Muraro engenheiro do Laboratório Professor Feng; Prof. Dr. Evandro Luís Nohara, do Departamento de Engenharia Mecânica e Aeronáutica da Universidade de Taubaté; Prof. Dr. Roberto da Mota Girardi, chefe do Departamento de Aerodinâmica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Além disso, também gostaríamos de agradecer a equipe que desenvolveu o túnel de vento, possibilitando pertinentes discussões sobre o trabalho: Arthur e Luiz Fernando, colaborando para a conexão dos dois projetos, criando uma união muito produtiva para ambas as equipes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARLOW, J.B.; RAE, W. H.; POPE, A. **Low-Speed Wind Tunnel Testing**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.

FOX, Robert W. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. p.442-456.

HALLIDAY, David. **Fundamentos da Física 1**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. p. 139.

HELICÓPTERO. Disponível em <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/historia-do-helicoptero/helicoptero-2.php>>. Acesso em: 07 jul. 2011.

HOMA, Jorge M. **Aerodinâmica e teoria de voo – noções básicas**. 29ª ed. São Paulo: Asa, 2010. Página 21.

SMITH, Donald G.; BANCEU, Bruno.; MARKSTALLER, Matthew G. **Vehicle wind tunnel balance**. 2007.

SUHARIYONO, A., KIM, H. J., GOO, N.S., PARK, H. C., YOON K.J. **Design of precision balance and aerodynamic characteristic measurement system for micro aerial vehicles**. Aerospace Science and Technology, South Korea, v.10, n.2, p.92-99, 2006

VALERIANO, D.L. **Gerenciamento estratégico e administração por projetos**. São Paulo: Makron Books, 2011.

VALERIANO, D.L. **Gerência em projetos**. São Paulo: Makron Books, 1998.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN AERODYNAMIC BALANCE

Abstract: *To understand the behavior of objects moving in a fluid, the use of an aerodynamic balance is mandatory. Physical concepts theoretically learned are put into practice, reinforcing and complementing the knowledge of the aerodynamics which these objects are experiencing. Through a didactic process, which has began since the conception until the installation of the balance; the intellectual growth is developed, to prepare a scholarly analysis of aerodynamic.*

Key-words: *Aerodynamic balance, Wind tunnel, Lift, Drag.*