

Proposta Conceitual e Experimental de um Protótipo Aerodinâmico para Medir Arrastos em Túnel de Vento

Fabício Vidal da Costa Júnior

Prof. Dr. Marcos Antonio Barros

RESUMO

Quando um corpo qualquer se movimenta através de um fluido, fica sujeito a uma força que se opõe ao seu movimento. Em se tratando do ar, essa força é chamada de força de resistência do ar ou Arrasto. Notadamente, sua análise é de vital importância para engenharia aeronáutica, no sentido de que, a partir dessa compreensão, é possível saber o desempenho da aeronave e, por conseguinte, sua eficiência. Esse tipo de fenômeno é investigado a partir de ensaios em voo, quando a aeronave deve ser certificada, utilizando-se de um túnel de vento. Neste trabalho de pesquisa, buscamos na literatura algumas referências que subsidiaram a investigação a que nos propomos, procurando acentuar os aspectos conceitual e experimental de um protótipo de asa convencional, confeccionada com material de baixo custo. Isso nos possibilitou analisarmos a influência do arrasto sobre ela, quando colocada em túnel de vento, assim como o cálculo de seu coeficiente. Em que pese os cuidados que tivemos na elaboração das planilhas de cálculos, na confecção do protótipo de asa (Clark Y) e na determinação gráfica dos coeficientes (sustentação e arrasto), os resultados não foram satisfatórios, quando comparados com os valores reais encontrados na literatura. Entendemos que esse fato pode estar associado ao reduzido modelo de asa elaborado, bem às discrepâncias na velocidade do fluxo de ar no interior do túnel de vento utilizado.

Palavras-chave: Túnel de vento. Forças de arrastos. Coeficiente de arrasto. Aerodinâmica.

ABSTRACT

When any body moves through a fluid, it is subject to forces that are opposed to its movements. Talking about air, this force is called the force of resistance of the air or drag. Notably, its analysis is of vital importance for aeronautical engineering. In the sense that, from this understanding, it is possible to know the performance of the aircraft and, consequently, its efficiency. This type of phenomena is investigated from in-flight trials, when an aircraft must be certified, a wind tunnel shall be used. In this research work, we search in the literature some references that subsidized the investigation that we propose, seeking to accentuate the conceptual and experimental aspects of a conventional wing prototype, made with low cost materials. This allowed us to analyze the influence of drag on it, when placed in wind tunnel, as well as the calculation of its coefficient. In spite of the care that we had in the elaboration of spreadsheets of calculation, in the making of the prototype wing (Clark Y) and in the graphical determination of the coefficients (Lift and Drag), the results were not satisfactory, when compared with the actual values found in the literature. We understand that this fact can be associated to the reduced model of elaborated wing, as well as the discrepancies in the airflow velocity within the wind tunnel used.

Keywords: Wind tunnel. Drag force. Drag coefficient. Aerodynamics.

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios do desenvolvimento da sociedade, o homem tem trabalhado em ferramentas e veículos que, inicialmente, visavam vencer ou facilitar o deslocamento em meio a um fluido. Posteriormente, com a experiência e com a solidificação dos conhecimentos físicos, o homem aprendeu não apenas a criar objetos que se deslocassem na presença de um fluido, mas também que passassem a tirar proveito de certos comportamentos físicos que existem quando corpos passam a se deslocar sob a presença de um fluido.

A aviação, hoje em dia, é um mercado amplo, tecnológico e bastante rico em conhecimentos de diversas áreas da ciência, que tem como principal objetivo a utilização de máquinas que possibilitem uma ótima eficiência no deslocamento de diversos tipos de cargas através da atmosfera.

Este trabalho de pesquisa nasceu a partir da necessidade de entendermos, conceitual e experimentalmente, esse fenômeno bastante comum que ocorre sobre estruturas rígidas ou dinâmicas presentes na aviação. Essa necessidade, oriunda das aulas de aerodinâmica e de teoria de voo, nos instigou a investigar o fenômeno do arrasto, especificamente associado ao que conhecemos por arrasto induzido e parasita. Apesar de ser uma situação típica a qualquer objeto em movimento dentro de um fluido, a sua determinação prévia, ainda na concepção de uma aeronave, se constitui num dos fatores mais importantes, no sentido de que, a partir dele, é possível prever desgastes e atritos, proporcionando à aeronave um melhor desempenho aerodinâmico.

A análise desse fenômeno, no âmbito da minha formação como Bacharel em Ciências Aeronáuticas, proporcionou uma aprendizagem diferenciada, tendo em vista que esses aspectos são capitaneados a partir da evolução da Engenharia Aeronáutica, a qual tem tido sucesso nos diversos projetos inovadores, por meio dos quais novos materiais são desenvolvidos, tornando as estruturas aeronáuticas mais leves e, conseqüentemente, mais flexíveis e mais dinâmicas. Esse fato não nos diferencia, pois, assim como os Engenheiros, temos também a necessidade de conhecer e entender as características e os parâmetros aerodinâmicos atuantes em nosso instrumento de

trabalho. Dentro dessa perspectiva, o nosso trabalho de pesquisa tem como objetivo geral:

- Desenvolver um protótipo de asa convencional, a partir do qual serão avaliadas, experimental e conceitualmente, as proporcionais forças de arrastos sobre ele.

A literatura (KEATING, 1999; WELTNER, K. *et al*, 2002; OLIVEIRA, 2009), usada nesta pesquisa, nos proporciona um suporte teórico bastante significativo dentro dos propósitos suscitados em nosso objetivo principal, mostrando-nos as possibilidades de instabilidade aerodinâmica que uma estrutura exposta a um fluxo de ar causa. Este comportamento, como nos alerta essa literatura, é observado até que seja alcançada uma condição de equilíbrio. Paralelamente a essa premissa, os resultados quantitativos encontrados em outros trabalhos (DANIEL *et al*, 2007; CARMO e ARIENZO, 2004) nos apresenta medidas exatas realizadas em túneis de vento maiores e mais sofisticados, nos quais parâmetros essenciais como velocidade, pressão dinâmica, sustentação, demonstram o grau de sofisticação utilizado na busca de valores concretos.

Consonante a essa justificativa literária e na busca pela consolidação do nosso objetivo principal, observamos que outros objetivos, listados a seguir, terminaram por serem atingidos, de forma específica, proporcionando um ganho conceitual mais acentuado.

- Projetar um perfil compacto e compatível com o nosso instrumento de medida (túnel de vento);
- Elaborar uma planilha de cálculo que seja capaz de determinar o coeficiente de arrasto da asa em estudo.

Todos os testes foram realizados no laboratório de física da Escola Superior de Aviação Civil (ESAC), que disponibilizou o seu pequeno e didático túnel de vento, com o qual fizemos as medidas de alguns parâmetros necessários à determinação do coeficiente de arrasto do protótipo de asa. Apesar de se tratar de um equipamento apropriado para realização de experimentos relacionados com os nossos propósitos, tivemos dificuldade com certos parâmetros de medidas, uma vez que a abertura utilizada no túnel para estudos é muito pequena, além da baixa intensidade de velocidade do fluido. Esse fato nos levou a reduzir o protótipo da asa, relativizando seus valores dentro de parâmetros aceitáveis, mas gerando pequenas distorções, o que terminou por influenciar nos resultados finais.

Todos esses aspectos, comparados com os valores encontrados nas referências bibliográficas pesquisadas, apesar das discrepâncias, terminaram por tornar justificável a nossa pesquisa, tendo em vista que fomos além dos cálculos. Ou seja, a pesquisa também nos proporcionou uma aprendizagem mais significativa de alguns parâmetros, apresentando-nos aspectos físicos adequados, que não são comuns nas disciplinas estudadas em nosso curso, a exemplo da análise da força de arrasto susceptível a toda estrutura sólida exposta a um fluxo contínuo. A possibilidade de ver isso, na prática, faz toda uma diferença.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Por meio de uma perspectiva quantitativa, buscamos, na descrição e comprovação experimental, os pressupostos necessários que norteiam os nossos objetivos. Basicamente, este tipo de pesquisa se consolida a partir dos dados coletados nos experimentos e da investigação se sua análise estatística válida ou não a proposta aqui requerida.

Num primeiro instante, foi necessária uma aprofundada discussão teórica sobre as referências aqui apresentadas, para que elas dessem um norte a respeito dos resultados de pesquisas já realizadas, com resultados satisfatórios. Essas leituras foram extremamente importantes, uma vez que não tínhamos ideia de como realizar a captura de dados, utilizando-se de um pequeno protótipo de asa convencional. Na literatura, a exemplo de (DANIEL *et al*, 2007; CARMO e ARIENZO, 2004), encontramos propostas conceituais para cálculo de arrasto para diversas superfícies aerodinâmicas, testadas em ensaios, utilizando-se asas de grande porte em túneis de vento com dimensões dentro do padrão internacional.

Para a execução e dimensionamento da asa testada, utilizamos os resultados das simulações e ensaios realizados e apontados como coerentes nos trabalhos de (DANIEL *et al*, 2007; CARMO e ARIENZO, 2004). De posse desses resultados, verificamos em qual deles foi possível sabermos propriedades importantes, como o coeficiente de arrasto parasita e induzido. A partir desses dados, construímos um protótipo de asa, de baixo custo, funcional e didático, com o qual se foi possível realizar os ensaios no túnel de vento da ESAC. Entendemos que a asa resultante se torna didática, pelo fácil manuseio, podendo ser apresentada em aulas, nas disciplinas de

Aerodinâmica ou Teoria de Voo I, por meio da qual se podem descrever, conceitual e experimentalmente, todas as propriedades intrínsecas ao seu perfil, bem como a determinação dos seus coeficientes de arrastos.

Para efetuarmos as medidas intrínsecas ao modelo pensado, utilizamos o túnel de vento, conforme figura abaixo, pertencente ao laboratório de física da ESAC. Ele refere-se a um equipamento com vento subsônico, de circuito aberto e seus instrumentos de medida, dinamômetro de mola e tubo de Pitot, utilizado para a realização de experimentos, tais como a visualização do escoamento, escoamento em placa plana e cálculo da força de arrasto usando objetos de escala reduzida.

Figura 01: Tunel de vento - ESAC



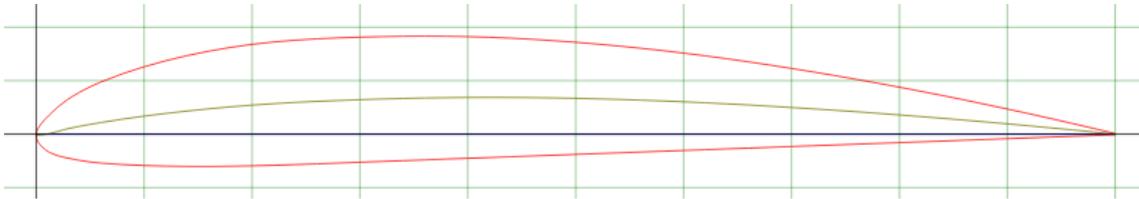
Fonte própria do autor

2.1 O protótipo de asa

A escolha do protótipo de asa recaiu sobre outra, pelo fato de, do ponto de vista prático, apresentar maior visibilidade e ser de fácil criação. Trata-se dos aerofólios usados em aeronaves do tipo Neiva P-56 ou mais conhecido como Paulistinha, chamada de CLARK Y, que, segundo (Rodrigues, 2013), trata-se de um aerofólio comum, de fácil diagramação e muito usado em aeronaves de instrução.

Uma das principais características do aerofólio CLARK Y é que ela possui um intradorso quase plano, o que gera uma facilidade na sua fabricação, barateando, assim, os custos de sua produção. Também é conhecida por ser um modelo de asa que tem um desempenho geral razoável em relação à razão de planeio, com características favoráveis à estabilidade, conforme podemos observar na figura abaixo: O CLARK Y pode ser melhor visualizado com a ajuda do site (Figura 2).

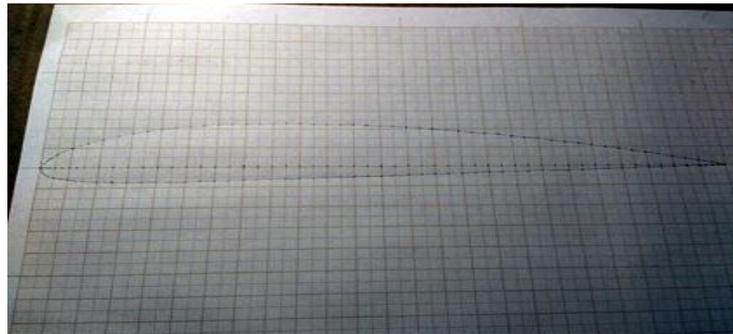
Figura 02: Aerofólio Clark Y



Fonte: <http://airfoiltools.com>. Acessado em 23/12/2017.

Posteriormente, com o auxílio do software livre disponibilizado pelo site (<http://airfoiltools.com>), plotou-se, sobre um plano cartesiano, as dimensões desejadas, e em seguida, as curvas que definiram o aerofólio CLARK Y, com uma corda de 25 cm de comprimento e envergadura de 16,5 cm, como demonstrado na (Figura 03).

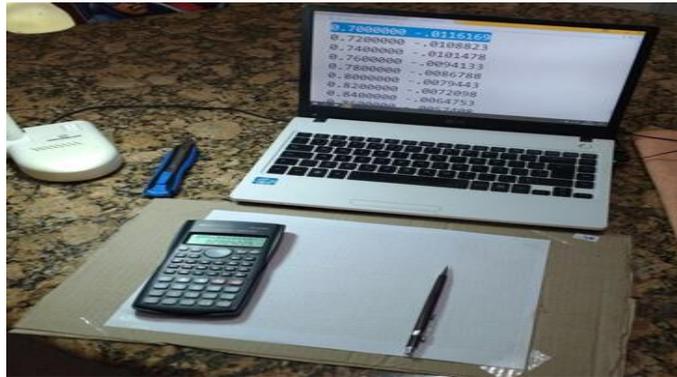
Figura 03: plotagem das dimensoes.



Fonte do próprio autor

Tendo como objetivo a elaboração de um aerofólio de fácil manuseio, pensou-se em construir um aerofólio com uma corda pequena, porém, não tanto, de forma que suas curvas e características não fossem perdidas por completo. Usando-se de um papel milimétrico, tomou-se todos os pontos anteriormente plotados, com o intervalo de 0 até 1 no eixo das abcissas, e multiplicou-se cada uma por 25, como demonstrado nas figuras abaixo:

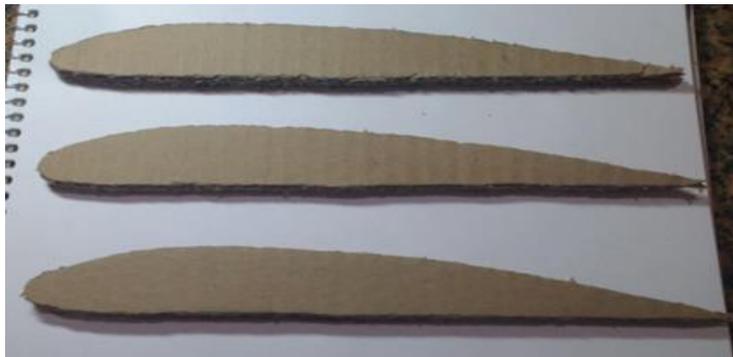
Figura 04: Plotagem em Papel Milimétrico



Fonte do próprio autor

Como forma de experiência e de teste prévio, elaboraram-se moldes de papelão das nervuras de uma asa na forma de um CLARK Y, através do recorte do papel milimétrico sobre uma folha de papelão (Figura 05). Como longarinas, utilizamos duas pequenas hastes de madeira, uma próxima ao Bordo de Ataque e a outra próxima ao Bordo de Fuga.

Figura 05: moldes de papelão.



Fonte do próprio autor

Para simular o revestimento da miniatura de asa, utilizamos folhas de ofício (Figura 06):

Figura 06: Nervuras de Papelão.



Fonte do próprio autor

Após o desenvolvimento do primeiro protótipo da CLARK Y em papelão, pensamos no material final, por meio do qual o aerofólio deveria ser confeccionado. Tomamos como base o aeromodelismo, que é uma atividade que se constitui na construção e na navegação de miniaturas funcionais de aeronaves. Usufruindo-se dos conhecimentos em elaborações de miniaturas funcionais de aeronaves do aeromodelismo, concluímos que um dos melhores e mais baratos materiais utilizados na elaboração das asas de uma miniatura é o DEPRON - Poliestireno Extrudado, de baixa densidade, de rigidez adequada e de dimensões estáveis.

Depois, de forma análoga ao processo anterior, todos os passos foram refeitos, porém com o uso do DEPRON, em substituição ao papelão. Entretanto, como forma de obtenção de uma maior resistência e longevidade para o aerofólio, pensou-se em fazê-lo com ausência de cavidades ocas. Dessa forma, cortou-se cerca de 36 nervuras em DEPRON, colou-se consecutivamente uma após outra, gerando assim, um aerofólio, leve, porém maciço (Figura 07).

Figura 07: Protótipo de DEPRON Maciço



Fonte do próprio autor

Como forma de remover pequenas diferenças e desníveis entre as nervuras geradas dos cortes no DEPRON, foram lixados, de forma leve, o extradorso e o intradorso da asa, para que, de forma seguinte, fosse posto um revestimento de plástico adesivo branco, também utilizado no aeromodelismo, diminuindo, assim, o aspecto áspero do DEPRON recortado e aumentando a homogeneidade das superfícies do extradorso e intradorso.

Por fim, programamos no extradorso, múltiplas tira de papel rosa, para possibilitar a visualização do comportamento do fluxo de ar, como também para possibilitar a observação do descolamento da Camada Limite, estol de asa e, conseqüentemente, o ângulo de elevação que nos dará a possibilidade do cálculo do coeficiente de arrasto (Figura 08).

Figura 08: Protótipo Finalizado.



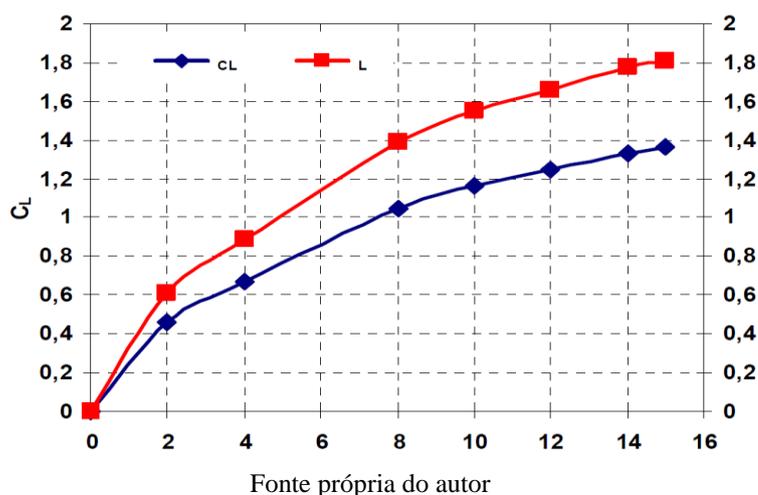
Fonte do próprio autor

Utilizamos o túnel de vento de pequeno porte, pertencente a ESAC, com seção de teste de 36 cm x 36 cm, na qual testamos nosso modelo de aerofólio. Estes testes foram realizados com a velocidade de referência do túnel de vento entre 8,0m/s e 12,0m/s. O Aerofólio possui 12 tomadas de pressão com 1,0 mm de diâmetro interno, abrangendo toda sua extensão. As dimensões do Aerofólio são envergadura de 250 mm e corda de 165 mm. Em cada uma destas tomadas são conectadas mangueiras de silicone com 2,0 mm de diâmetro interno. Essas tomadas de pressão são conectadas ao manômetro digital para determinar a pressão.

3 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Por ser largamente utilizada em diversas classes de aeronaves e ser amplamente estudado em aerodinâmica desde a sua proposição, escolhemos o perfil de asa Clark Y. Portanto, os dados plotados no gráfico da figura a seguir são relativos a este perfil de asa e expressam o coeficiente de sustentação em função do ângulo de ataque oferecido ao modelo, dentro do túnel de vento.

Figura 09: gráfico do coeficiente de sustentação versus ângulo de ataque



Vale lembrar que este aerofólio é constituído por 11 nervuras unidas por três longarinas (sendo que uma delas é utilizada também para sua fixação no interior do túnel de vento), chapeada com DEPRON, medindo 250 mm por 165 mm de corda.

Uma vez confeccionado todos os módulos e seus respectivos valores, passamos a etapa de validação e comprovação do coeficiente de arrasto do protótipo, obtendo um valor nem um tanto preciso ou confiável, uma vez que tivemos várias incertezas com relação às medidas efetuadas com a velocidade de escoamento do fluido sobre o dorso do protótipo. No entanto, a validação do experimento perpassa essa discrepância, pois outros fatores ligados à demonstração da existência de um gradiente de pressão perpendicular à linha de corrente, que contorna o perfil, puderam ser observados, concordando com o que a teoria preconiza, ou seja, a pressão é menor na superfície superior e maior na superfície inferior da asa. Além disso, calculamos o coeficiente de sustentação em função do ângulo de ataque, como exposto no gráfico da figura 09.

Apesar de termos tido todo o cuidado com o posicionamento e caracterização do aerofólio, dentro do túnel de vento, no sentido de possibilitar medidas mais acuradas, porém, logo, nas primeiras medições, observamos que essa reprodutibilidade seria extremamente difícil, uma vez que os valores de velocidade do escoamento do fluido oscilavam, devido a fatores externos, como ventos adicionais na entrada do túnel e em sua porta de teste.

Não possuindo alternativas para diminuir as intercorrências relativas ao túnel de vento, optamos por encerrar os experimentos, calculando o coeficiente de arrasto do nosso protótipo de asa, do tipo Clark Y, apresentando seu valor com erro percentual em

torno de 10,0%, o que é demasiadamente exagerado para medidas em laboratório. A literatura nos aponta que o valor do coeficiente de arrasto deve ser o menor possível, ou seja, o ideal é que fique entre 0,003 e 0,04. O valor que encontramos no nosso experimento foi de 0,08, para um coeficiente de sustentação igual a 1,4, conforme o gráfico apresentado na figura 09.

4 CONCLUSÕES

A realização deste projeto de pesquisa leva-nos à conclusão de que todas as etapas e objetivos, propostos inicialmente, foram atingidos, seguindo à risca as especificações existentes e pertinentes à determinação do coeficiente de arrasto do protótipo de asa (Clark Y), apesar das discrepâncias em relação aos valores de velocidade do fluxo de ar no interior do túnel de vento, gerando erro grosseiro nas medidas dos coeficientes de sustentação e, conseqüentemente, no coeficiente de arrasto.

Entendemos que, num curso de Ciências Aeronáuticas é necessário que a manipulação de práticas e de exemplos palpáveis, como forma de facilitar o ingresso do estudante no contexto físico e matemático, dos mais variados tipos de comportamentos de uma aeronave, seja uma contínua aplicação nas diversas disciplinas, em especial naquelas que lidam com aspectos aerodinâmicos de uma aeronave. A presença do túnel de vento no laboratório de física da ESAC deve ser mais utilizada, no sentido de propiciar o desenvolvimento de aulas práticas, experimentos, simulações e análises em aerodinâmica, despertando o interesse de alunos e professores, possibilitando futuras pesquisas e projetos, além de ser mais um auxílio para a compreensão de certos parâmetros ligados à aviação.

REFERÊNCIAS

CARMO, A. H. M. B.; ARIENZO Junior V. **Balança aerodinâmica didática para medição de forças de arrasto, sustentação e momento de arfagem.** São Paulo, 2004.

DANIEL *et al.* **Instrumentação para estudo da dinâmica dos fluidos complementada e a sustentação da asa.** UFRG, Porto Alegre, 2007.

KEATING, T. M. *et al.* **Analysis of a Science Curricular Resource on the World Wide Web: The Cyber History of Bernoulli's Principle.** Center for Research on Learning and Technology, Indiana University, 1999.

OLIVEIRA, P. M. Sustentação aerodinâmica: denunciando os erros do mecanismo físico. **Física na Escola**, v. 10, n. 1, 2009.

RODRIGUES, L. E. M. J. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica**. 1. ed. São Paul, 2013.

WELTNER, K. et al. A Dinâmica do Fluidos Complementada e a Sustentação da Asa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol 23, 2002.