



## **A FÍSICA NO VOO DE AVIÕES DE PAPEL: UMA ABORDAGEM PRÁTICA E EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE FÍSICA E DE CONCEITOS AERODINÂMICOS**

**Rafael Gallina Delatorre** – rafael.delatorre@ufsc.br

**Mayara Pereira Becker** – may.beckerr@gmail.com

**André Won Dias Baldini Victorette** – andrevictorette@gmail.com

**Bruna Steffen** – brunasteffen2@gmail.com

**Alexandre Mikowski** – mikowski@joinville.ufsc.br

**Maria Simone Kugeratski Souza** – maria.simone@ufsc.br

**Viviane Lilian Soethe** – viviane.s@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville

Rua Pres. Prudente de Moraes, 406

89218-000 – Joinville - Santa Catarina

**Resumo:** *O presente trabalho visa abordar conceitos aerodinâmicos para o ensino de Física e Engenharia, utilizando o controle experimental do voo de aviões de papel e a teoria do voo de aeronaves. Na parte teórica é desenvolvida uma análise levando em conta equações da aerodinâmica e da física clássica que envolvem o voo de aviões e em sequência é explicado a experiência a ser realizada. Na segunda parte é descrito os detalhes da experiência e os resultados experimentais envolvendo um modelo de avião de papel. Através do lançamento controlado de aviões de papel foi possível obter parâmetros aerodinâmicos importantes para o projeto de aeronaves como a Força de Sustentação em função da velocidade e o coeficiente de sustentação. Tendo em vista que a física é uma ciência prática, um dos focos do trabalho é levar para estudantes de ensino médio uma atividade lúdica que tem como objetivo diminuir a barreira que existe em relação às Ciências Exatas e às Áreas Tecnológicas, diminuindo também a evasão e a falta de interesse que existe nas áreas tecnológicas pela maioria dos estudantes.*

**Palavras-chave:** *Aviões de Papel, Física do Voo, Ensino Médio*

### **1. INTRODUÇÃO**

Um fato conhecido no meio tecnológico brasileiro é a deficiência no número de engenheiros frente às necessidades do país. Frequentemente é necessário o emprego de engenheiros estrangeiros para suprir esta deficiência nacional. Recentemente este fato ganhou amplitude devido às necessidades levantadas pelo crescimento econômico do país, levando em conta projetos como os Programas de Aceleração do Crescimento (PAC), a exploração do pré-sal, a Copa do Mundo de Futebol em 2014 e as Olimpíadas de 2016. A ausência de número suficiente de engenheiros qualificados em áreas estratégicas como Engenharia Naval, Aeroespacial e outras ligadas ao tema da



mobilidade, além de Engenharia Civil, Mecânica, entre outros, diminuí consideravelmente o ritmo de crescimento do país.

Um dos problemas levantados como fonte desta constatação é o número insuficiente de cursos gratuitos oferecidos nestas áreas. Com a intenção também de diminuir este entrave, o Governo Brasileiro criou uma série de novas Universidades e Institutos Federais, além de ampliar a estrutura de Universidades Federais já existentes através de novos Campi interiorizados. Neste sentido, um dos novos campi da Universidade Federal de Santa Catarina, localizado em Joinville, foi criado para alterar este panorama de Engenharia, envolvendo a formação de engenheiros em temas relacionados à mobilidade, como Naval, Aeroespacial, Automobilística, Ferroviária e Metroviária, Mecatrônica, Infraestruturas de Transporte e Logística. Com uma entrada anual de 400 estudantes, 200 a cada semestre, o Campus de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina será também responsável pela diminuição do déficit de engenheiros em áreas estratégicas para a nação.

Outro foco de atenção para este problema nacional envolve todo o sistema educacional brasileiro, desde as escalas mais fundamentais ao nível superior. É fato notório em qualquer escola de engenharia a baixa porcentagem de engenheiros formados frente o número de vagas ofertadas, configurando uma elevada taxa de desistência dos estudantes no Ensino Superior. A razão principal destes números é a elevada quantidade de alunos sem a estrutura mínima para acompanhar com eficiência as disciplinas de cursos de Engenharia, bastante focadas em conceitos de ciências exatas fundamentais como Matemática e Física, levando a altas taxas de reprovação.

Uma forma de abordar e tentar melhorar estes números envolve uma reformulação nas formas de abordagem de conceitos de Matemática e Física, que inicia no Ensino Médio. Uma consequência direta deste fato é observada nos resultados do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), onde o desempenho dos estudantes em disciplinas nas áreas exatas, principalmente vindos de escolas públicas, é insatisfatório frente a disciplinas relacionadas às áreas humanas. Uma das principais críticas na maneira ou enfoque dado à Física, e ciência básica em geral, no Ensino Médio é o desligamento ou a falta de conexão entre os temas e a realidade dos jovens (BAZZO et al., 2012). Muitos assuntos considerados complicados em Física podem ser abordados com mais eficiência quando tomados de forma experimental e visual (ERTHAL & GASPAR, 2006).

Há algum tempo, a área de educação científica tem debatido a respeito de novas abordagens de ensino, visando uma maior aproximação entre o ensino de ciências básicas no ensino médio e temas em tecnologia e a sociedade, estabelecendo abordagens alternativas de ensino (PINHEIRO, 2005). Uma abordagem focada na visualização, ou verificação, experimental dos fenômenos físicos, e não na sua descrição exclusivamente teórica, mesmo que em nível apenas qualitativo, tende a contribuir substancialmente na absorção dos conceitos, tendo em vista que a Física é uma disciplina essencialmente experimental. Além disso, este tipo de abordagem valoriza e exercita uma das principais qualidades de aspirantes a engenheiros, que é a intuição física.

Este trabalho é um resultado direcionado neste aspecto, utilizando a experimentação com aviões de papel para abordar temas de Física fundamental e aprofundada. Com este trabalho se observou algumas possibilidades envolvendo o controle do voo destes aviões, permitindo uma alternativa para discussões em temas como Movimento acelerado, Movimento parabólico, Forças aerodinâmicas. Os desdobramentos destas atividades vão desde práticas em sala de aula à atividades mais elaboradas como competições acadêmicas envolvendo o projeto de aeronaves de papel para que cumpram determinadas trajetórias, contribuindo tanto em nível de Ensino

Médio quanto na observação de práticas e conceitos em nível de graduação em Engenharia.

## 2. FÍSICA DO VOO DE AERONAVES

O movimento de planadores como os aviões de papel é descrito pela atuação de três forças e as Leis de Newton. A figura 1 mostra o diagrama de corpo livre de um avião de papel em trajetória ascendente, posicionando a força peso ( $P$ ) a força de sustentação ( $F_S$ ) e a força de arrasto ( $F_A$ ) (HOMA, 2010). As forças  $F_S$  e  $F_A$  tem origem aerodinâmica, ou seja, na interação com a atmosfera, e dependem da velocidade do ar. A força de arrasto está relacionada com a resistência que o choque com as partículas de ar realiza com o objeto em movimento.

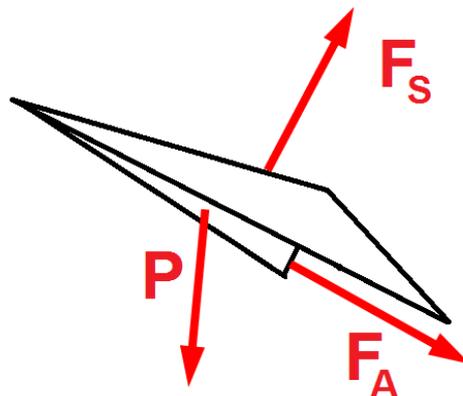


Figura 1: diagrama de corpo livre de um avião de papel.  $P$  é o peso,  $F_S$  a força de sustentação e  $F_A$  a força de arrasto.

A origem da força de sustentação está na interação de objetos com o ar em velocidade (STUDART & DAHMEN, 2006; ANDERSON & EBERHARDT, 2006). A diferença entre as velocidades do volume de ar abaixo e acima do objeto gera uma força direcionada de baixo para cima, que resiste à ação do peso, ou seja, é uma reação devida ao contato com a atmosfera. Esta reação é obtida com facilidade em objetos planos, onde a diferença entre as velocidades do ar acima e abaixo é relativamente alta dependendo da orientação relativa do objeto e a velocidade do ar, gerando a força de sustentação perpendicular a superfície.

A Física envolvida na origem desta força pode ser entendida utilizando 2 princípios, igualmente corretos. O primeiro e mais empregado, envolve a Física de Fluidos e o princípio de Bernoulli, que relaciona a pressão do fluido e a velocidade de escoamento. No caso, o princípio diz que fluidos a velocidades maiores exercem pressões menores. Logo, a pressão acima da asa é menor que abaixo, gerando uma diferença de pressão e a força de baixo para cima. O segundo e mais intuitivo utiliza a 3ª Lei de Newton. Neste caso, quando a velocidade acima do objeto é maior que abaixo, o ar é acelerado para baixo pelo objeto que atravessa o fluido, e a atmosfera reage sobre o objeto com uma força contrária, ou seja, para cima (STUDART & DAHMEN, 2006; ANDERSON & EBERHARDT, 2006).

A teoria sobre o voo de aeronaves, que são objetos com asa, indica o comportamento descrito na equação 1 para a força de sustentação

$$F_S = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_S, \quad (1)$$

onde  $\rho$  é a densidade do fluido (ar),  $v$  é a velocidade relativa do ar,  $A$  é a área da asa e  $C_S$  é o coeficiente de sustentação, cujo valor é dependente da forma da asa e do valor do ângulo de ataque da superfície da asa (HOMA, 2010; STUDART & DAHMEN, 2006).

### 3. METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho é estudar o controle experimental do voo de aviões de papel, relacionando este controle com conceitos físicos envolvidos no voo de aeronaves. Esta seção está subdividida em duas partes. A primeira tem como objetivo descrever a experiência que será realizada. A segunda descreve os detalhes experimentais para a realização dos experimentos.

#### 3.1. Dinâmica do voo de aviões de papel

O estudo do voo de aviões de papel será realizado analisando experimentalmente a trajetória destes aviões. De maneira geral, a trajetória de um avião de papel lançado horizontalmente com uma velocidade  $v_x$  vai obedecer um comportamento parabólico como o ilustrado na figura 2.

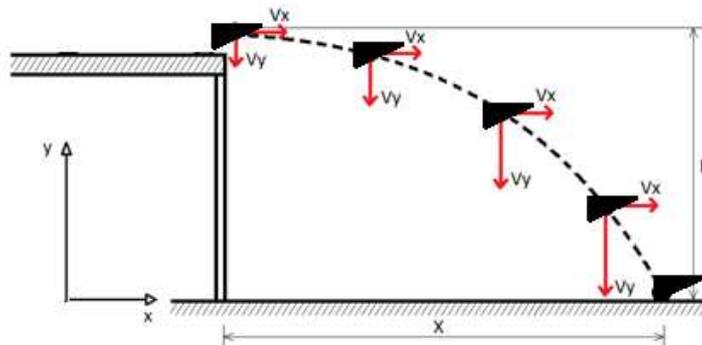


Figura 2: ilustração de um lançamento horizontal de um avião de papel.

A trajetória envolvida na figura 2 é resultado da ação das forças verticais  $P$  e  $F_S$  e da velocidade horizontal inicial  $v_x$ . A velocidade vertical  $v_y$  aumenta de um valor inicial nulo (lançamento horizontal) devido à aceleração vertical  $a_y$  causada pela diferença entre  $P$  e  $F_S$ . Considerando a força  $F_A$  desprezível para os aviões de papel, e, portanto, a velocidade  $v_x$  constante, as equações da cinemática explicam a trajetória através das equações 2 e 3.

$$a_x = 0 \quad (2)$$

$$a_y = 2 \cdot h \cdot \frac{v_x^2}{x^2} \quad (3)$$

Através da equação 3, conhecendo a massa do avião (a massa de uma folha de papel), o valor da velocidade do lançamento  $v_x$  e medindo os correspondentes valores de  $h$  e  $x$ , altura do lançamento e alcance, obtêm-se experimentalmente o valor da aceleração vertical que pode ser utilizada para caracterizar o valor da força de sustentação envolvida através da equação 4.

$$F_S = m. (g - a_y) \quad (4)$$

### 3.2. Medição experimental do voo de aviões de papel

Para realizar os experimentos com os aviões, e obter os valores de alcance, altura e velocidade de lançamento, foi desenvolvido um equipamento lançador de aviões. O objetivo deste equipamento é lançar aviões horizontalmente onde o valor da velocidade de lançamento possa ser controlado. Assim, utilizou-se o impulso de uma mola como propulsor dos aviões, inserida em um tubo com uma fenda para o apoio dos mesmos. A intensidade da deformação da mola altera a velocidade de lançamento dos protótipos. A figura 3 ilustra o equipamento lançador desenvolvido para o estudo.

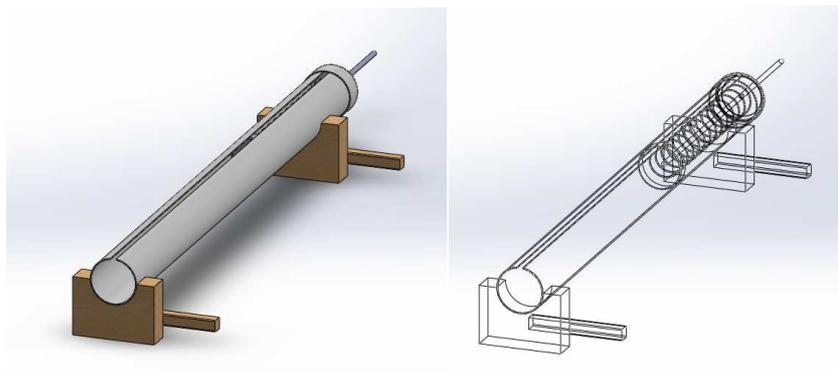


Figura 3: desenho do equipamento lançador de aviões de papel.

A calibração do equipamento foi realizada empregando um objeto com a mesma massa de um avião de papel, que foi uma folha de tamanho A4 (210 x 297 mm) trabalhada para obter a forma esférica, de maneira que pode ser considerada uma partícula em lançamento parabólico, onde a sustentação é nula. A figura 4 ilustra a trajetória do objeto.

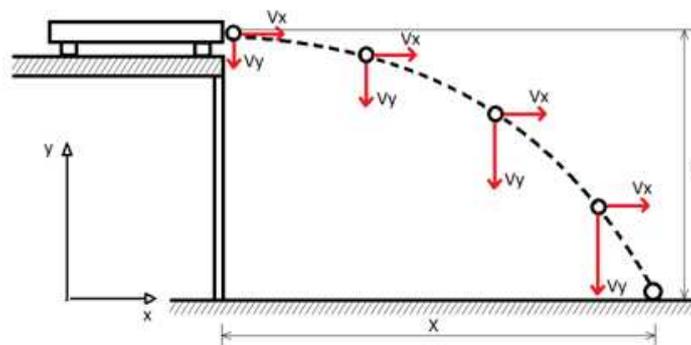


Figura 4: ilustração da trajetória de um objeto esférico (sem asas).

A medida do alcance  $x$  em função da deformação da mola permite caracterizar o controle da velocidade de lançamento do lançador através da equação 5.

$$v_x = \sqrt{\frac{g}{2 \cdot h}} \cdot x \quad (5)$$

#### 4. RESULTADOS

As medidas para a caracterização do lançador estão na figura 5. Os gráficos mostram medidas que foram realizadas em número de 10 para cada deformação da mola, configurando a barra de erros visualizada. Os resultados encontrados ilustram um comportamento estável e com boa precisão nos lançamentos da partícula para deformações até 150 mm. Valores superiores deformam a estrutura da mola gerando imprecisão grande na velocidade de lançamento.

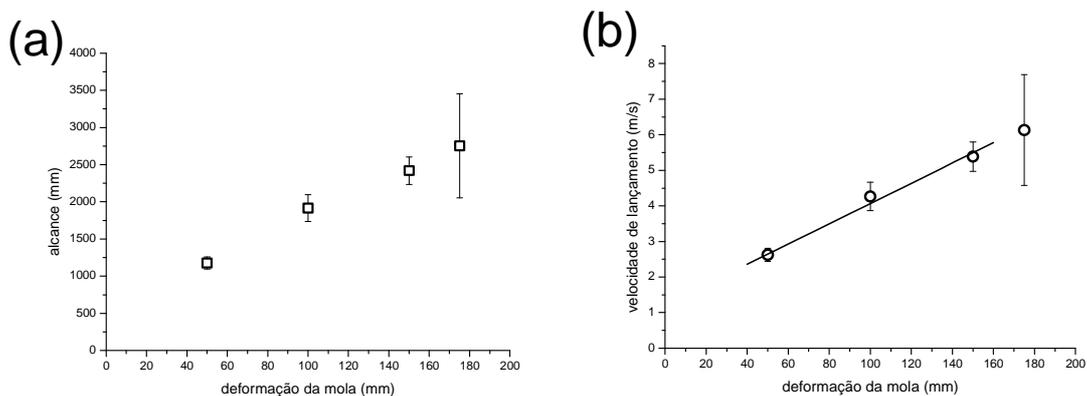


Figura 5: (a) gráfico com os valores de alcance medidos em função da deformação da mola no lançador; (b) valores calculados para a velocidade de lançamento em função da deformação na mola.

A função linear observada na velocidade de lançamento em função da deformação na mola até 150 mm fornece o comportamento da equação 6, onde  $d$  é a deformação da mola. A equação 6 poderá ser utilizada para determinar a velocidade de lançamento de qualquer objeto com a mesma massa da folha de papel, ou seja, para os aviões de papel confeccionados em A4.

$$v_x = 1,2227 + 0,02845 \cdot d \quad (6)$$

O lançador de aviões foi então empregado para caracterizar o voo de uma aeronave confeccionada com papel A4. O modelo escolhido foi encontrado em sítio da internet (ORIGAMI-KIDS, 2013). A forma da asa do modelo utilizado está ilustrada na figura 6a. Dois protótipos com as mesmas dimensões, que apresentaram um percurso de voo retilíneo foram testados em 3 valores de velocidade de lançamento, controlada pela deformação na mola propulsora de acordo com a equação 6. Foram realizados 5 lançamentos para cada deformação na mola, configurando uma estatística, a exceção a

maior deformação para o protótipo 2, onde foram realizados 2 lançamentos. A figura 6b mostra os dados levantados durante os experimentos.

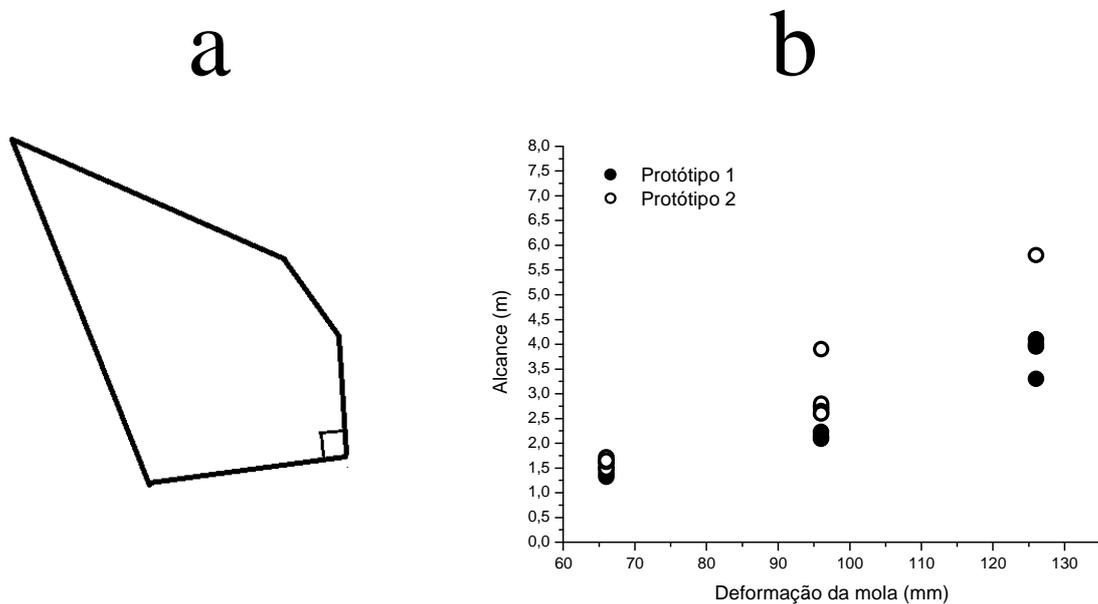


Figura 6: (a) desenho da asa do modelo analisado e (b) gráfico com os dados de alcance em função da deformação na mola para o modelo de avião de papel.

A figura 7 mostra os dados tratados para determinar os valores de aceleração vertical em função da velocidade de lançamento, calculada pela equação 3, e força de sustentação em função da velocidade de lançamento calculada pela equação 4. A velocidade de lançamento foi encontrada pela equação 6. A massa da folha foi calculada utilizando os dados do fabricante, de valor 4,68 g, que equivale a um peso de 45,9 N se a aceleração da gravidade for  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

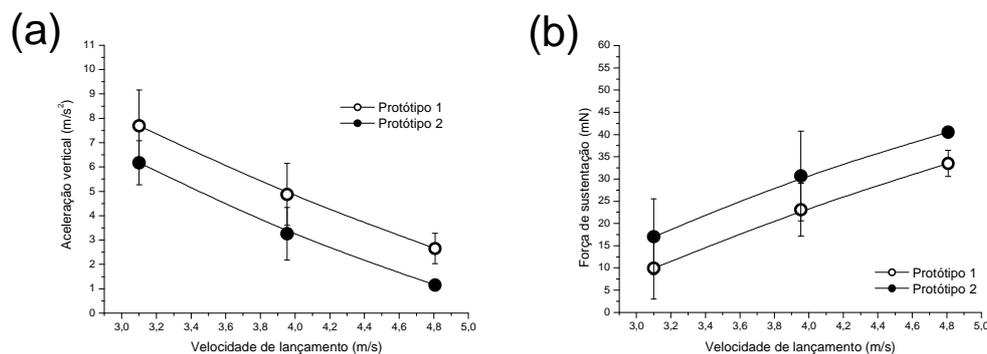


Figura 7: (a) valores calculados para a aceleração vertical do avião de papel em função da velocidade de lançamento e (b) os correspondentes valores da força de sustentação calculada.

A análise destes resultados mostra que para pequenas velocidades, o modelo se aproxima de uma partícula, e a força de sustentação se aproxima de zero. Para maiores



velocidades, a força de sustentação se torna consideravelmente maior, habilitando o voo planado da aeronave. A barra de erro envolvida nos dados experimentais ilustra a imprecisão nas medidas, que pode estar associada à pequenas variações na orientação do avião em cada lançamento ou alterações no modelo a cada lançamento, que ocorrem devido ao choque com o solo e outras interações. Para altas velocidades, a imprecisão diminui consideravelmente, demonstrando um voo mais estável, independente destas modificações estruturais. A diferença entre os valores de cada protótipo é bastante sistemática, e pode ser relacionada com a área da asa, que possui certo nível de falta de reprodutibilidade durante a confecção dos protótipos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho nos permitiu estabelecer algumas atividades envolvendo o exercício do ensino em Engenharia e a Física do voo: oficinas e minicursos de física do voo. Utilizando conceitos de Física fundamental como o lançamento parabólico é possível inserir assuntos mais complexos como a geração de forças aerodinâmicas. Desta forma, práticas como esta, podem auxiliar a fixação de conceitos básicos de Física como as Leis de Newton, e servir como introdução a conceitos mais avançados. A proposta de atividade em nível de Ensino Médio envolve a realização de oficinas e minicursos extra classe envolvendo o estudo experimental do voo de aviões de papel.

Esta prática com aviões de papel pode também auxiliar o Ensino Superior em Engenharia. A competição acadêmica com aviões de papel já é uma realidade em diversas universidades porém com esta atividade esta sendo avaliada a viabilidade da criação de uma nova modalidade onde os aviões confeccionados devem pousar o mais próximo possível de um alvo pré-estabelecido. Com um conhecimento adquirido anteriormente através do estudo de conceitos aerodinâmicos, os competidores deverão projetar o modelo que melhor se adapta a esta tarefa, e lançá-lo com destreza para fazer com que o avião de papel chegue o mais próximo possível.

### *Agradecimentos*

Agradecemos à UFSC pelo apoio através das bolsas de extensão (programa PROBOLSAS 2012) e de permanência à estudantes do campus de Joinville, fundamentais para a execução das atividades. Agradecemos à escolas públicas da região de Joinville que acolheram o projeto para trabalho junto aos alunos de Ensino Médio.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, D.; EBERHARDT, S. Como os Aviões Voam: uma Descrição Física do Voo. Física na Escola, v. 7, n.2, 2006. p[43]-51

BAZZO, W. A.; TONINI, A. M.; VILLAS-BOAS, V.; DE CAMPOS, L. C.; LODER, L. L. Desafios da Educação em Engenharia: Vocação, Formação, Exercício Profissional, Experiências Metodológicas e Proposições. ed: ABENGE / EdiFURB, 2012.



ERTHAL, J. P. C. & GASPAR, A. Atividades experimentais de demonstração para o ensino da corrente alternada ao nível do ensino médio. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, n. 3, 2006. p.[345]-359.

HOMA, J. Aerodinâmica e Teoria do Voo - Noções Básicas. 29<sup>a</sup> edição. ed: Asa Edições e Artes Gráficas, 2010.

ORIGAMI-KIDS. Disponível em: <<http://www.origami-kids.com/avioesdepapel-2-theflypt.htm>>. Acesso em 06 jun 2013.

PINHEIRO, N. A. M.; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Educação crítico-reflexiva para um ensino médio científico-tecnológico: a contribuição do enfoque CTS para o ensino-aprendizagem do conhecimento matemático, 2005. Tese(Doutorado)

STUDART, N.; DAHMEN, S. R. A Física do Voo em Sala de Aula. Física na escola, v. 7, n. 2, 2006. p.[36] - 42,

## **THE PHYSICS OF PAPER AIRPLANE: AN EXPERIMENTAL AND PRACTICAL APPROACH FOR TEACHING PHYSICS AND AERODYNAMIC CONCEPTS**

**Abstract:** *The present work aims to approach aerodynamics concepts for physics and engineering teaching, using the experimental control of paper airplanes and the theory of airplane flight. The work is divided in two parts: theoretical and practical. In the first one is developed one analysis considering classical physics and aerodynamics equations involving the airplane flight and in sequence is explained the experience. The second part details the experimental approach and the results involving one model of paper airplane. Through the launch control of the paper airplane was possible to measure important aerodynamics parameters for the airplane project like sustaining force (lift) in function of velocity and the lift coefficient. Considering that physics is a practical science, the focus of this work is also to take to high school students one playful activity aiming the decrease of the barrier to the exact sciences and to the technological areas, also decreasing the evasion and the lack of interest of the most part of regular students.*

**Key-words:** *Paper Airplane, Physics of Flight, High School*