

## DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE CONTROLE DE SUBIDA E ATERRISAGEM DE UM MINI DIRIGÍVEL

Marina Slompo (PIBIC/CNPq), Guilherme Lança Fuzeti (PIBIT/CNPq), Mônica Ronobo Coutinho (Coorientadora), Wagner André dos Santos Conceição (Orientador). E-mail: wasconceicao@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

### Engenharias / Engenharia Mecânica.

**Palavras-chave:** Dirigível, Malha de controle, Arduino.

### RESUMO

Este trabalho de iniciação científica teve como objetivo desenvolver um sistema de controle de um mini dirigível. Para a construção do dirigível em pequena escala, utilizou-se pequenos motores elétricos e um balão grande de látex, o qual foi inflado com gás hélio. Como o gás hélio possui densidade menor que a do ar ambiente ele flutua, fazendo com que todo o conjunto flutue junto com o balão. Para o controle, foi utilizado a placa Arduino UNO, juntamente com a ferramenta XCOS do Software Scilab para a construção da malha de controle. Inicialmente foi adotado um controle manual, no qual um operador controla os movimentos dos motores de forma separada. Após essa etapa, foi realizado um controle mais automatizado, substituindo o controle manual do operador pelas funções de perturbação degrau e pulso, fazendo com que os motores ligassem e desligassem sozinhos de acordo com a programação.

### INTRODUÇÃO

Dirigíveis são dispositivos mais leves que o ar, fazendo com que a aeronave flutue. Os dirigíveis se movimentam por meio da propulsão gerada pelas hélices motorizadas. Seu funcionamento se dá pela relação de peso e empuxo, fazendo com que um supere o outro para que o dispositivo suba ou desça.

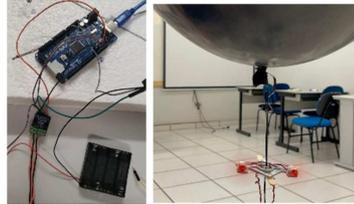
A engenharia de controle utiliza inúmeros softwares, dentre eles, Matlab®, LabView™, Maple®, porém estes apresentam uma licença de alto valor de aquisição. Em contrapartida, o Scilab é um software gratuito que possui uma ferramenta denominada XCOS, a qual permite a construção de uma malha de controle por meio da interligação de blocos.

O software Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica open source e de fácil acesso, o qual possibilita a integração com o Arduino UNO com a malha de controle gerada no Scilab.

### MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste projeto foram: dois motores elétricos de 3.7V e 22000rpm, um balão de látex revestido internamente com um gel específico para

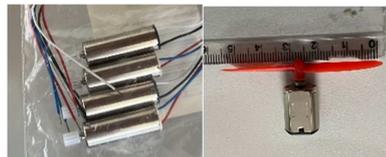
auxiliar a retenção do gás hélio dentro do balão, estruturas impressas na impressora 3D as quais foram utilizadas para dar suporte aos motores e um conjunto de quatro pilhas de 1,5V cada. Utilizou-se uma ponte H do modelo L9110s, um Arduino UNO, bem como fios e jumpers (Figura 1).



Figuras 1 - Materiais utilizados no projeto

### *Cálculo da força dos motores*

Para a seleção do motor mais vantajoso para o projeto fez-se uso da Equação 1 para calcular a força dos mesmos. A figuras 2 apresenta os modelos de motores adquiridos.



Figuras 2 - Modelos de motores

$$F = m * g * \sin\theta \quad (1)$$

Onde  $m$  é a massa total, composta pela estrutura de palitos mais a massa dos motores,  $g$  corresponde a aceleração da gravidade e o ângulo que os motores fazem com o eixo vertical do pêndulo. Utilizou-se o aplicativo de celular Angle Meter, que possibilitou através de uma foto medir o ângulo quando os motores apresentavam máxima eficiência e se projetavam para frente, como mostram as figuras 5.

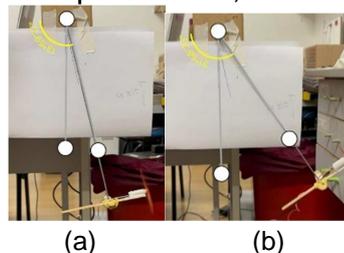


Figura 3 - Medição do ângulo para os motores do tipo 1 e 2.

Após realizar a medição com os motores fez-se uma média e a força encontrada para o primeiro conjunto de motores foi de  $2,846 \cdot 10^{-2} \text{ N}$  (Figura 3a) e para o segundo foi de  $4,446 \cdot 10^{-2} \text{ N}$  (Figura 3b). Dessa maneira, o motor escolhido foi do tipo dois, que apresenta as seguintes características: voltagem de 3 a 3,7 V, rotação de 22000 rpm para a tensão de 3,7 V e eixo de rotação de 1 mm.

### *Cálculo do Diâmetro do balão esférico*

Para determinar o diâmetro do balão de gás hélio que seria necessário para fazer com que toda estrutura flutuasse fez-se um somatório de forças no eixo y, de acordo com a equação 2. As forças atuantes neste eixo são a força de empuxo exercida pelo balão e a força peso exercida pelo conjunto. Pode-se expandir os termos da força de empuxo e força peso como apresentado na equação 3, onde as forças foram igualadas a zero, pois estão em equilíbrio.

$$\Sigma F = F_e - F_p \quad (2)$$

$$0 = \rho * g * vb - m * g \quad (3)$$

Na força de empuxo, é a densidade do ar atmosférico, equivalente a  $1,184 \text{ kg/m}^3$ ,  $g$  corresponde a aceleração da gravidade e  $vb$  o volume do balão. Na força peso, corresponde a massa total do conjunto (estrutura + motores) e  $g$  a aceleração da gravidade. Isolou-se o volume do balão obtendo a equação 4.

$$vb = \frac{F_p}{\rho * g} \quad (4)$$

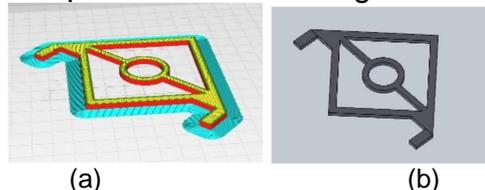
O valor encontrado para o volume do balão foi equivalente a aproximadamente 70L. Adotou-se um balão de formato esférico, sendo assim, o volume de uma esfera é dado pela equação 5.

$$V = \frac{3}{4} * \pi * r^3 \quad (5)$$

Igualando-se o valor do volume encontrado com equação 5, calculou-se um diâmetro de aproximadamente 0,51m, ou seja, um balão com 51cm de diâmetro.

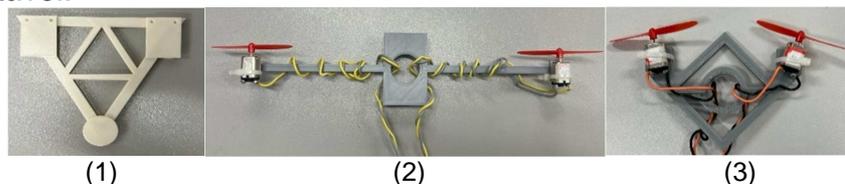
#### Seleção da estrutura do dirigível

As estruturas de suporte utilizados no projeto foram desenvolvidos no software SolidWorks e impressos na impressora 3D Criality Ender 3, por meio do software Ultimaker Cura. As etapas do projeto estão ilustradas nas figuras 7(a) e 7(b), sendo a 7(a) a imagem referente ao software Cura, responsável por transformar imagens em coordenadas o qual as impressoras 3D conseguem trabalhar.



Figuras 4 - Suporte dos motores

Alguns dos modelos desenvolvidos durante o projeto estão apresentados na figura 5. Para a confecção dos suportes visou-se a redução máxima da massa e uma estrutura estável.



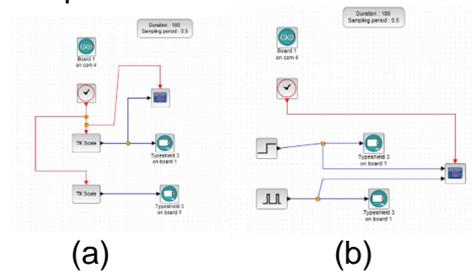
Figuras 5 - Modelos 1, 2 e 3 desenvolvidos para o suporte dos motores

Para a escolha final do suporte, optou-se pelos mais leves e que apresentassem uma estrutura simples e estável, como os modelos 2 e 3.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a primeira malha de controle, apresentada na figura 6(a), fez-se uso do bloco TK Scale, o qual gera um sinal que é definido pelo operador no decorrer da simulação por meio de uma widget. Os valores máximos de 250 e mínimos de -250 foram definidos.

Já a figura 6(b) apresenta a malha de controle utilizando as funções de perturbação degrau e pulso para determinar a atuação dos motores. A perturbação degrau faz com que um dos motores fique ligado durante o período todo da simulação, enquanto a perturbação pulso faz com que o motor ligue e desligue em intervalos iguais de tempo. Esta malha foi montada como uma alternativa para o dirigível realizar curvas, pois verificou-se que o controle da manobrabilidade com um leme e servo motor seriam mais complexos.



Figuras 9 - Malha de controle 1 e 2

Os gráficos correspondentes da malha de controle aberta 1 e 2 estão representados na figura 10. Eles mostram o comportamento dos motores.

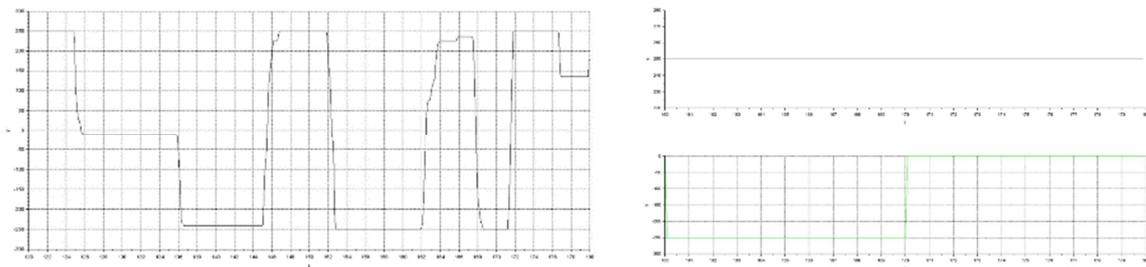


Figura 10- Gráficos correspondentes as malhas de controle 1 e 2

## CONCLUSÕES

Após a montagem do conjunto e a realização de testes, observou-se que o balão escolhido possuía força suficiente para levantar toda estrutura, fazendo com que a utilização de contrapesos fosse necessária para igualar a força de empuxo do balão com a força peso do conjunto. Observou-se também que foi necessário confeccionar uma rede de barbante para que o dirigível ficasse mais estável, tracionando os fios na estrutura, fazendo com que o conjunto se movimentasse como um todo. Notou-se também que a estrutura 2 era mais adequada para realizar curvas, porém era mais instável, enquanto a estrutura 3 era mais estável, porém não realizava curvas muito bem.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq, à Universidade Estadual de Maringá, ao Governo do Paraná, pela oportunidade e pelo financiamento do projeto e aos meus orientadores pelo suporte durante a minha pesquisa.

## REFERÊNCIAS

32º Encontro Anual de Iniciação Científica  
12º Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior



23 e 24 de Novembro de 2023

[1] COUGHANOWR, D. R.; LEBLANC, S. E. Process Systems Analysis and Control. McGraw Hill, 3rd, 2009.