



BANCADA DE ENSAIOS AERODINÂMICOS PARA AERONAVES RÁDIO CONTROLADAS.

V.Q. Cavalcanti^{1,*}; S.M. Lugones¹

1 Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos - Professor Jessen Vidal
Av. Cesare Mansueto Giulio Lattes, 1350 - Eugênio de Melo, São José dos Campos/SP,
CEP.: 12247-014, Brasil.
Telefone: (12) 3905-2423

*vinicius.cavalcanti@fatec.sp.gov.br

RESUMO: O presente trabalho relata a concepção, detalhamento e realização de um protótipo de bancada para ensaios de sustentação e arrasto de asas de aeronaves rádio controladas de baixo custo para fins de aquisição de dados e validação de cálculos e estruturação de relatórios da equipe Megazord AeroDesign, representante da Faculdade de Tecnologia Professor Jessen Vidal de São José dos Campos. Mediante o uso de Arduino e redundância de componentes eletrônicos de custos relativamente baixos, pretende-se elaborar um protótipo de balança que consiga medir a sustentação e arrasto de um aeromodelo rádio controlado.

PALAVRAS-CHAVE: bancada, ensaio, célula de carga, arduino, sustentação, arrasto

ABSTRACT: The present work reports the design, detailing and realization of a prototype bench for tests of wing support and drag of controlled low-cost aircrafts for the purpose of data acquisition and validation of calculations and structuring of reports of the team Megazord AeroDesign, representative of the Faculty of Technology Professor Jessen Vidal of São José dos Campos. Through the use of Arduino and redundancy of electronic components with relatively low costs, we intend to develop a prototype scale that can measure the support and drag of a radio-controlled model aircraft.

KEYWORDS: bench, test, load cell, arduino, support, drag

1. INTRODUÇÃO.

As faculdades de tecnologia relacionadas ao Centro Paula Souza foram concebidas com um enfoque integralmente tecnológico. Este conceito expressa que o foco do ensino é orientado às necessidades imediatas do mercado empresarial brasileiro, diferentemente de instituições e universidades de ensino clássicas focadas mais na pesquisa e desenvolvimento científico. A unidade de São José dos Campos aspira a estimular a todos os envolvidos a participarem em projetos com foco na sustentabilidade e relacionados com o Desenvolvimento Integrado do Produto.

A equipe Megazord Aerodesign já tem vários anos de participação na competição SAE, contudo o problema mais crítico e recorrente que a equipe carrega devido a ser uma instituição de ensino tecnológico é a mudança de participantes da equipe a cada três anos aproximadamente e, por tanto a perda de talentos e de conhecimento. É com o intuito de mitigar este problema, que se pretende documentar estes projetos a través de publicações.

Na presente publicação pretende-se documentar os desafios encarados pelos alunos que participam na competição SAE aplicando os conhecimentos teóricos e práticos adquiridos durante a preparação. O desafio apresentado no presente documento foi de elaborar uma bancada para ensaios aerodinâmicos mediante o uso de Arduino e redundância de componentes eletrônicos de custos relativamente baixos. O protótipo tem como objetivo medir a sustentação e arrasto de um aeromodelo

rádio controlado. O desafio do projeto radica nas condições exógenas envolvidas tais como confecção de material rígido e barato, fixação numa torre projetada para tal, modelo da bancada com mínimo de arrasto, condições climáticas entre outras.

Em um primeiro momento, este projeto simples contempla o auxílio de aquisição de dados utilizados pela equipe Megazord Aerodesign, representante da Faculdade de Tecnologia Professor Jessen Vidal de São Jose dos Campos, mas o seu aprendizado pode ser utilizado em qualquer outra situação desde que o objeto medido esteja próximo do dispositivo projetado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo visa elucidar a integração teórico-prática que foi levada em consideração para a concepção deste projeto onde se envolve a utilização de um Arduino e de 4 células de carga para a medição de forças aplicadas e geradas por uma asa de aeromodelo.

A lógica do projeto se baseia em uma balança utilizando células de carga. A deformação das células gera um sinal elétrico proporcional a forças aplicadas sobre elas.

$$L = \frac{1}{2} \cdot Cl \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$$

Eq. 1.

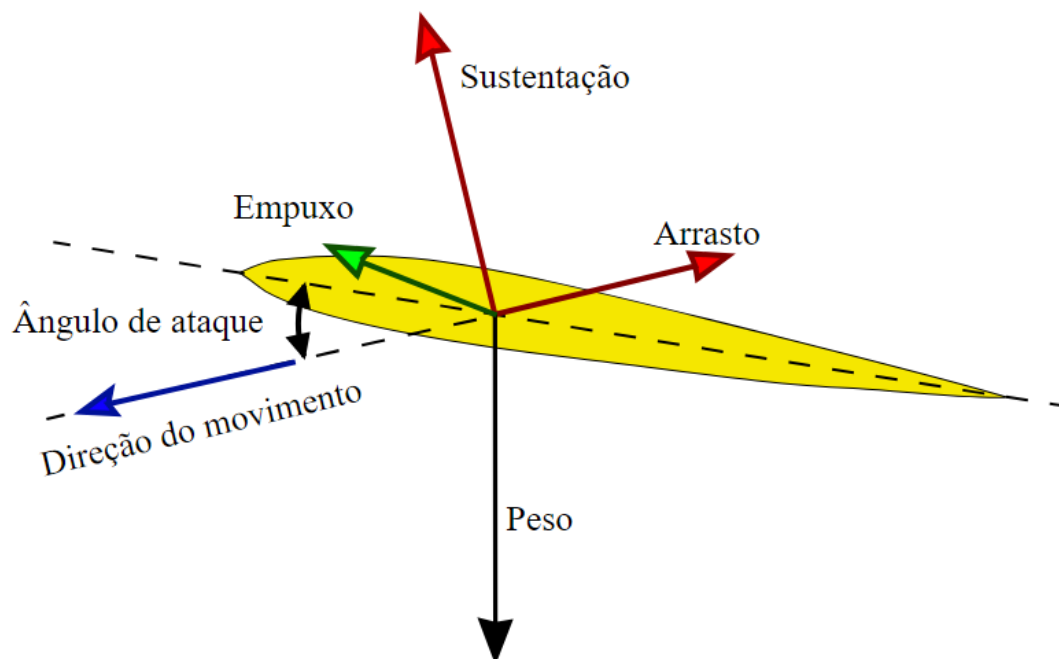


Figura 1. Forças Atuantes em um Aerofólio

A Eq.1 representa a equação da sustentação de perfis aeronáuticos. Esta é a componente da resultante aerodinâmica perpendicular ao vento relativo. A resultante aerodinâmica surge em virtude do diferencial de pressão entre o intradorso e o extradorso do aerofólio (Figura 1) e tende a empurrá-lo para cima, auxiliada ainda pela reação do ar na parte inferior da mesma. Ela é representada como um vetor que, quando decomposto, dá origem a duas forças componentes que são: a força de sustentação e a força de arrasto. A sustentação é formulada em função da densidade do ar (ρ), do coeficiente de sustentação (C_l), da área da asa (S) e da velocidade de voo (V) elevada ao quadrado.

Em aeronáutica é a principal força que permite que uma aeronave com asas se mantenha em voo. Além disso, o coeficiente de sustentação depende diretamente do ângulo de ataque (inclinação

do perfil aerodinâmico em relação à linha de horizonte), da geometria da asa, do número de mach (razão entre a velocidade do objeto e a velocidade do som) e o número de Reynolds (razão entre forças de inércia e forças de viscosidade do ar), aumentando até chegar a um ponto máximo, depois do qual o fluxo de ar que passa sobre o extradorso, não consegue correr em sua totalidade e manter-se aderido ao perfil aerodinâmico dando origem à perda de sustentação, mais conhecido como estol.

$$D = \frac{1}{2} \cdot Cd \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$$

Eq. 2.

A Eq. 2 é a equação relativa à força de arrasto gerado pelo movimento do aerofólio, mostra-se semelhante à equação de sustentação, porém o coeficiente específico é alterado para (Cd) coeficiente de arrasto.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

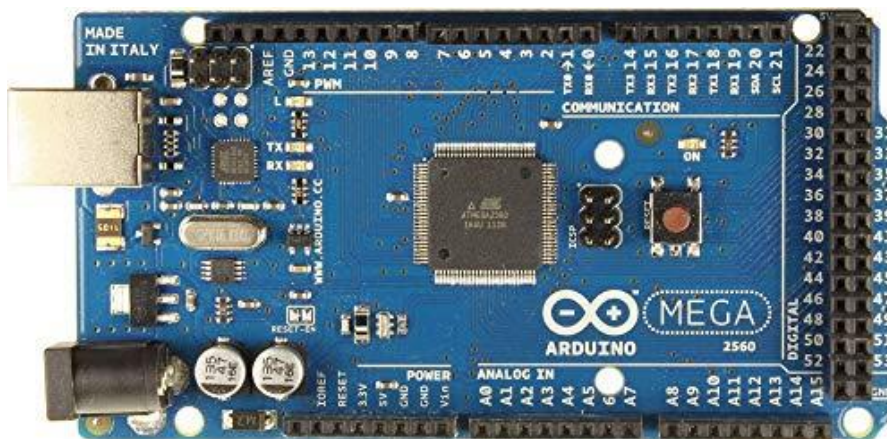


Figura 2. Arduino MEGA

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única, composta por um microcontrolador com suporte a entradas e saídas embutidas. Possui linguagem de programação padrão de origem em Wiring e é essencialmente baseado em C e C++. O objetivo desse dispositivo é criar ferramentas que são acessíveis, com baixo custo, flexíveis e de fácil operação por iniciantes e profissionais, principalmente para aqueles que não teriam alcance aos controladores mais sofisticados e ferramentas mais complicadas.

É utilizado para o desenvolvimento de projetos interativos independentes, diversão, robótica entre outras diversas aplicações. Uma típica placa Arduino MEGA (Figura 2) é composta por um controlador, algumas linhas de E/S digitais e analógicas, além de uma interface serial ou USB para interligar-se ao hospedeiro, que é usado para interagir e programá-la em tempo real. A placa em si não possui qualquer recurso de rede, porém é comum combinar um ou mais Arduinos usando extensões apropriadas chamadas de shields. A interface do software é simples, podendo ser escrita em várias linguagens. A mais popular é a Processing, mas outras que podem comunicar-se com a conexão serial são: Max/MSP, Pure Data, SuperCollider, ActionScript e Java.

A Figura 3 representa uma célula de carga de baixo custo facilmente encontrada em lojas de componentes eletrônicos. Seu princípio de funcionamento se dá pela alteração da tensão elétrica pela deformação de resistências ali presentes. Ela possui três fios as quais representam terminais de dois resistores em série como na Figura 4, veja que se assemelha a um divisor de tensão comum.

A confecção deste dispositivo se baseia nas pesquisas elaboradas pelo Físico alemão Georg Simon Ohm (1787-1854) o qual verificou e comprovou dois fenômenos físicos. As Eq. 3 e Eq. 4 simplificam seus descobrimentos. O dispositivo é alimentado com 5.0V, ao passar pela primeira resistência esse valor diminuirá. Essa é uma maneira de reduzir a tensão de um circuito, o outro resistor presente auxilia a não deixar o dispositivo entrar em curto circuito e também na impedância resistiva.



Figura 3. Célula de Carga



Figura 4. Esquema Elétrico de uma Célula de Carga

$$U = R \cdot I$$

Eq. 3.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Eq. 4.

A Eq. 4 representa a segunda lei de Ohm, a qual nos diz que a resistência de qualquer material depende do comprimento da amostra (l), da sua área transversal (A) e de uma constante única do material (ρ) que aliás depende das condições ambientais e seu estado físico.

Desse modo, ao aplicar uma força sobre a célula de carga irá deformar as resistências, alterando seus comprimentos, suas áreas transversais e conseqüentemente suas resistências gerando um valor de tensão elétrica no terminal vermelho (Figura 4) proporcional, em escala, à força aplicada. Mas esse sinal de saída varia muito, de uma maneira muito rápida e com um range muito pequeno necessitando assim de uma associação de células para informar uma maior precisão e de um módulo amplificador desse sinal como o da Figura 5.

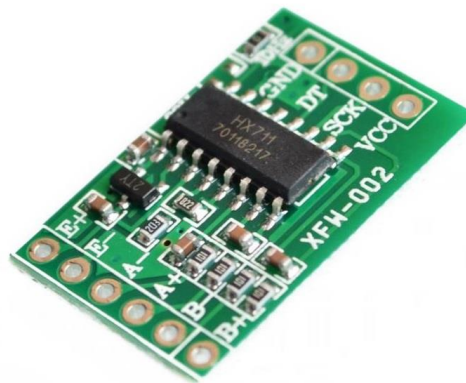


Figura 5. Módulo HX711

Este módulo HX711 é um conversor e amplificador de 24 bits, utilizado para amplificar o sinal de dispositivos como as células de carga, fazendo a interligação entre as células e o multiplexador analógico/ digital, depois enviando um sinal digital à um microcontrolador Arduino. Especificamente este módulo foi desenhado para interagir diretamente com sensores em ponte de wheatstone (Figura 6) para aplicações de medição de carga. O multiplexador de entrada seleciona entre dois canais diferenciais A e B. Cada canal diferencial pode ser ligado em até duas células de carga ($A+$ e $A-$) e/ou ($B+$ e $B-$), cada qual ligado na saída de uma célula de carga em meia ponte).

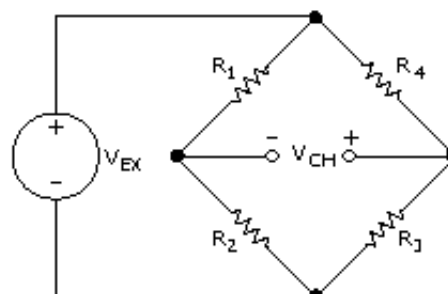


Figura 6. Exemplo de Ponte de Wheatstone

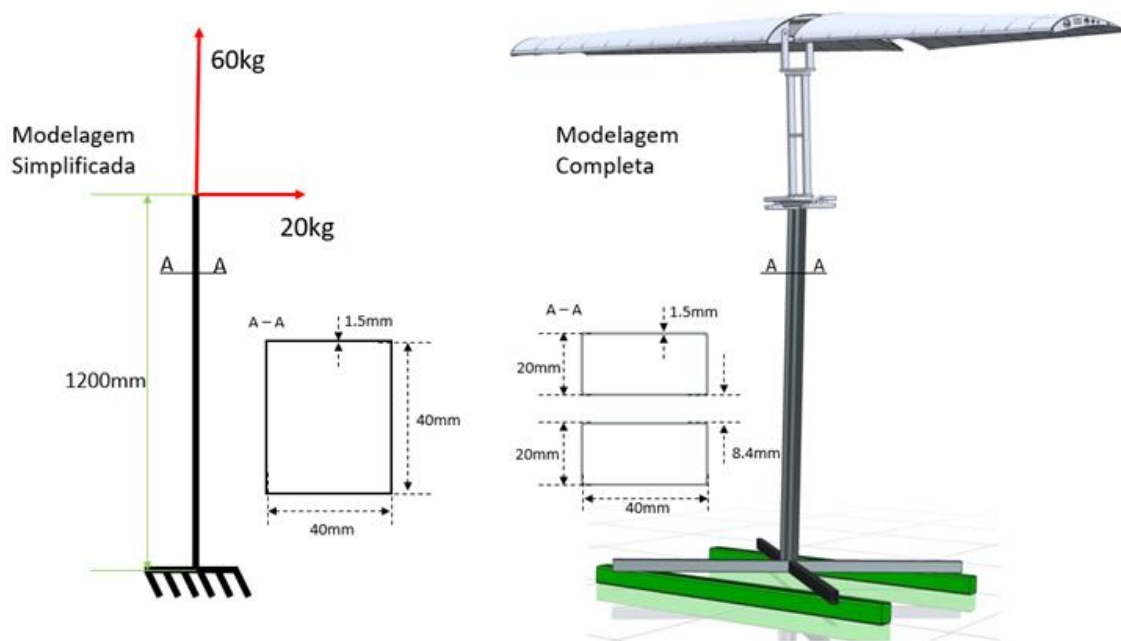


Figura 7. Projeto Conceitual

A Figura 7 apresenta o projeto conceitual dessa publicação. Para tal, a bancada deve ter uma liberdade relativa para o movimento para cima e para trás em relação a direção do movimento do ensaio. Era sabido que a própria estrutura de fixação geraria um arrasto considerável o que atrapalharia a resolução da medição de arrasto da asa, também que a força para deslocar a estrutura, naquela liberdade relativa, iria atrapalhar nas medições e que a estrutura da bancada no projeto faltava reforços estruturais. Tendendo solucionar estes problemas foi pensado na utilização de madeira disponível na faculdade como material estrutural alocados de uma maneira que reduzisse ao máximo o arrasto gerado por tal, que fosse adaptável para fixação de qualquer asa semelhante e que possuísse devidos reforços para suportarem uma carga prevista pela equipe em torno de 60.0kg para cima e 20.0kg aos redores, isso contando com um fator de carga maior que três.

Como as madeiras foram usadas conforme a disponibilidade no local, então todas as peças não possuem a mesma densidade ou resistências estruturais. Para tal, foi feito alguns esboços chegando no desenho final apresentado na Figura 8 com redundância de reforços.

Os materiais utilizados foram: escala, caneta, serrote, arco serra, lima, cantoneiras, parafusos, balança de mão, furadeira manual, dois pares de corredeiras tipo telescópicas, quatro células de carga, Arduino MEGA, dois módulos amplificadores HX711 e jumpers para Arduino.

Foi utilizado um par de células de carga conectadas em forma de ponte de wheatstone para cada medição. As corredeiras permitem que toda a estrutura tenha o seu movimento relativo (Figura 9) em direção às células, estas se encontram em posições fixas em relação ao movimento. Ao centro vemos um retângulo com corredeiras nas laterais, penas essa parte é móvel, responsável por pressionar as células de sustentação. O restante da estrutura é responsável por suportar esforços e pressionar as células de arrasto, fixas na parte traseira da estrutura.

Como toda a bancada é composta de madeira, a pressão aplicada nos sensores causaria uma deformação na mesma, gerando erro de leitura. Para solucionar este problema, foi utilizado uma chapa de aço como superfície rígida com a função de apenas pressionar as células sem deformação.

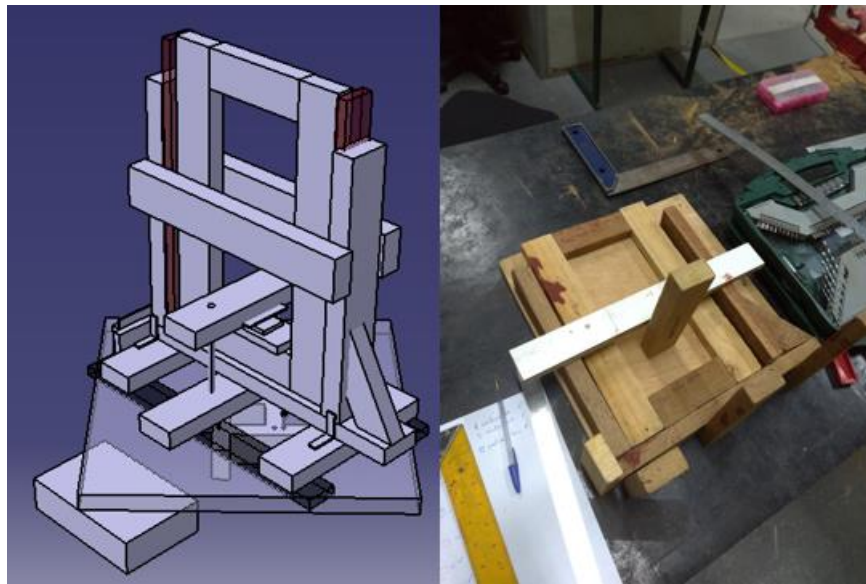


Figura 8. Projeto Preliminar

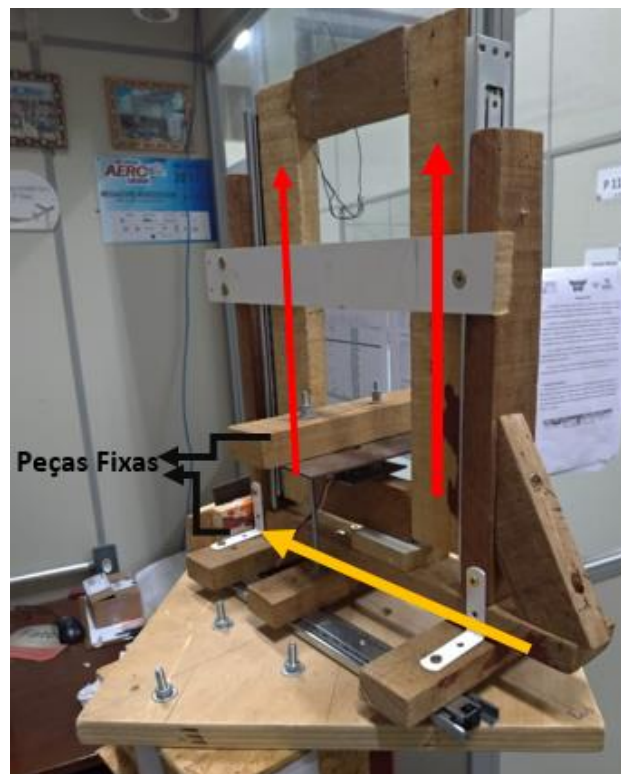


Figura 9. Movimento Relativo

O circuito elétrico foi montado baseado em artigos encontrados na internet [4]. Tendendo evitar diferença de arrasto entre o lado direito e o lado esquerdo da bancada, foi decidido que o local para proteção do circuito ficasse embaixo da base da bancada (Figura 10). Após a montagem, foi efetuada um processo de calibração das balanças (Figura 11), que se baseia na correção do fator de calibração Eq.5 onde a estrutura sofria um esforço usando uma balança de mão indicando um valor de referência e a partir daí foi encontrado o valor do fator de calibração no qual gera uma leitura mais próxima dos lidos na balança de mão.



Figura 10. Proteção do Circuito

$$\text{Fator de Calibração} = \frac{\text{Valor Interpretado pelo Arduino}}{\text{Peso Verdadeiro Aplicado}}$$

Eq. 5.

O Arduino é responsável por interpretar os valores emitidos pelos módulos amplificadores, efetuar uma manipulação algébrica e emitir o a resolução da medição de cada conjunto de células de carga através da função monitor serial.



Figura 11. Ajuste do Fator de Calibração

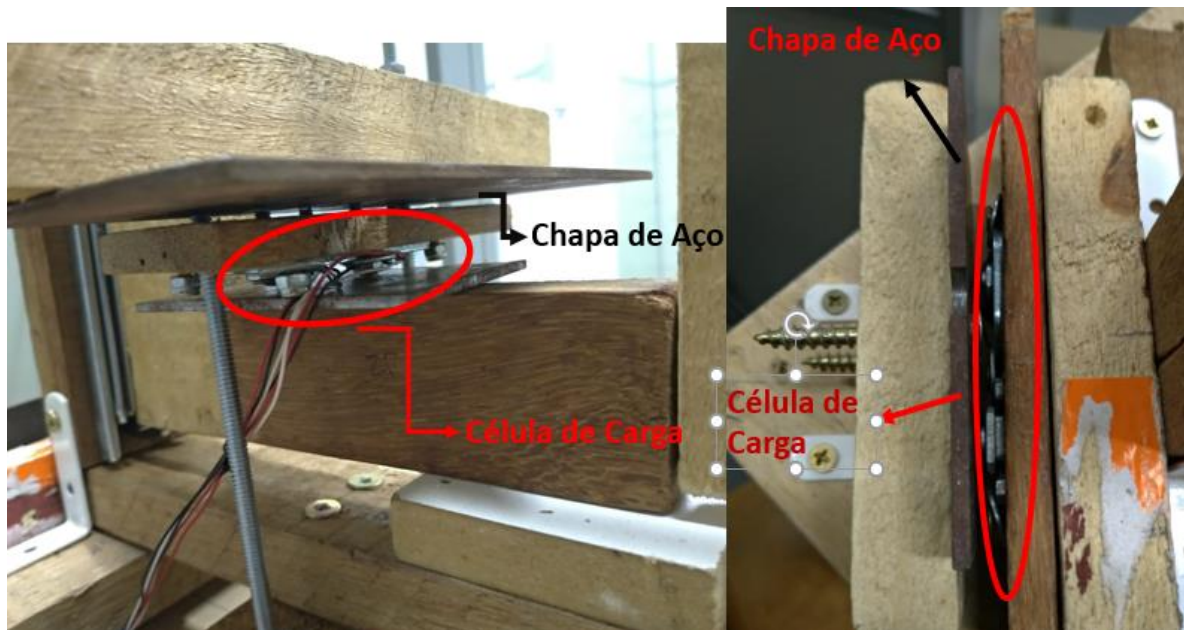


Figura 12. Posição das Células de Carga

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Ao efetuar a instalação de uma asa protótipo da equipe de Aerodesign e a fixação num rack de carro, foi realizado diversos ensaios.

Com o objetivo de simular bem um túnel de vento, o ensaio consiste em registrar os valores gerados pelos sensores e interpretados pelo arduino, para uma boa medição foi necessário realizar os ensaios em um trecho de estrada retilínea e plana, sempre tendendo a manter a velocidade do carro constante. Foi necessário um motorista, focado na direção por questões de segurança, e uma segunda pessoa para monitorar a velocidade do carro e registrar os valores de forças de sustentação e de arrasto da asa.

Após diversos ensaios em velocidade de decolagem, prevista para a aeronave deste ano, foi realizado uma média dos registros. Verificou-se que os resultados finais obtidos apresentaram valores 13,1% (força de sustentação) e 7,54% (força de arrasto) superiores aos projetados, isso pode significar que a velocidade de decolagem prevista seja menor, mesmo sabendo que houve interferência aerodinâmica da estrutura em ambas medições apresentando defeitos de projeto ou que as condições climáticas no período de ensaio possam ter causado interferência nos sensores, apresentando valores imprecisos.

Podemos concluir que esse projeto é funcional e cumpriu satisfatoriamente seu objetivo, mas que aprimorações são necessárias para que se gere resultados mais precisos e confiáveis.

5. REFERÊNCIAS

[1] Sustentação (aerodinâmica) Disponível em [https://pt.wikipedia.org/wiki/Sustenta%C3%A7%C3%A3o_\(aerodin%C3%A2mica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sustenta%C3%A7%C3%A3o_(aerodin%C3%A2mica)) Acesso em: 14/05/2019

[2] Arduino Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Arduino> Acesso em: 14/05/2019



[3] Leis de Ohm Disponível em <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/leis-de-ohm-resistencia-eletrica-resistividade-e-leis-de-ohm.htm> Acesso em: 02/06/2019

[4] Balança digital com Arduino e célula Strain Gauge Disponível em <http://blog.eletrogate.com/balanca-digital-com-arduino-aprenda-a-usar-a-celula-de-carga/> Acesso em: 23/05/2019

[5] Como fazer uma balança digital com Arduino Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=hErjptfZA> Acesso em: 23/05/2019

[6] MCROBERTS, M. *Arduino Básico*. São Paulo: Novatec Editora, 2018.

[7] HOMA, J, M. *Aerodinâmica e Teoria de Voo*. São Paulo: Editora ASA, 2016.

[8] JOHNSON, D, E. *Fundamentos de Análise de Circuitos Elétricos*. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, 1994.