



**FACULDADE HORIZONTINA**

**AUGUSTO CESAR DAHMER LEICHTWEIS**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA TESTES DE UM  
MOTOR DE PISTÃO TIPO *GLOW***

**HORIZONTINA**

**2016**

**FACULDADE HORIZONTINA**  
**Engenharia Mecânica**

**AUGUSTO CESAR DAHMER LEICHTWEIS**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA TESTES DE UM  
MOTOR DE PISTÃO TIPO *GLOW***

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Cristiano Rosa dos Santos, Mestre.

**HORIZONTINA**

**2016**



**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**“Desenvolvimento de uma Bancada para Testes de um Motor de Pistão Tipo *Glow*”**

**Elaborada por:**

**Augusto Cesar Dahmer Leichtweis**

**Aprovado em: 21/11/2016  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Mestre. Cristiano Rosa dos Santos  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Mestre. Rafael Luciano Dalcin  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

---

**Mestre. Adalberto Lovato  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina  
2016**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho especialmente aos meus pais Alice e Amauri Leichtweis, a minha irmã Anabel, e a minha namorada Daiana que sempre me motivaram e deram forças para alcançar os objetivos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me acompanharam no decorrer da jornada acadêmica e de alguma forma me auxiliaram para o desenvolvimento deste trabalho.

Inicialmente agradeço a Deus por sempre me guiar pelo caminho correto, me auxiliar a vencer os desafios e, especialmente, por permitir a conquista de mais esta etapa em minha vida.

Muito obrigado Pai, muito obrigado Mãe! Agradeço por todos os ensinamentos, valores e apoio que no decorrer destes anos não faltou. A conquista deste objetivo não seria possível sem vocês, serei eternamente grato por tudo!

A minha namorada, por estar sempre ao meu lado, tanto em momentos bons quanto em momentos de dificuldade. Muito obrigado por me auxiliar sempre que possível. Saiba que esta conquista é tanto minha quanto sua.

Aos meus amigos, que compartilharam tantos momentos especiais e souberam entender nos momentos em que não pude estar presente.

Agradeço a equipe Masbáh *AeroDesign*, a qual possibilitou a construção de um conhecimento ímpar que foi fundamental no desenvolvimento da minha carreira acadêmica e futuramente profissional. Agradeço também pela equipe ter oportunizado esta pesquisa, obrigado a todos os integrantes da equipe que me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

Por último, porém não menos importante, agradeço a todos os mestres que foram fundamentais no desenvolvimento do conhecimento, sem vocês o caminho para chegar até aqui seria mais longo e tortuoso. Em especial gostaria de agradecer ao meu orientador, Mestre Cristiano pela dedicação e conhecimento.

"Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável, mas não uma especialidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto. Deve aprender a compreender as motivações dos homens, suas quimeras e suas angústias para determinar com exatidão seu lugar a seus próximos e à comunidade." (Albert Einstein).

## RESUMO

Na indústria aeronáutica é comum projetos de aeronaves de pequeno/médio porte optarem pela utilização de hélices e motores para desempenhar a propulsão do avião. Ao definir quantitativamente o grupo motopropulsor mais adequado para determinado projeto, é importante coletar os dados de tração e rotação, mesclando as hélices, recomendadas pelo fabricante, para cada modelo de motor. Tratando-se de *aerodesign* a linha de pensamento deve ser a mesma, avaliar quantitativamente os quesitos de desempenho das possíveis combinações de grupo motopropulsor, somado a estes parâmetros também deve-se analisar a massa que cada conjunto irá agregar à aeronave. Sendo os dados coletados na bancada informações de entrada para cálculos subsequentes no projeto de uma aeronave, as variáveis espúrias são indesejadas, pois estas irão mascarar os dados coletados podendo ocasionar em escolhas erroneamente feitas, acarretando em projetos de baixa confiabilidade e desempenho. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma bancada para coletar dados de empuxo e rotação dos conjuntos motopropulsores comumente utilizados no *aerodesign*. A metodologia é definida como uma pesquisa experimental, sendo esta uma investigação empírica na qual o pesquisador manipula e controla variáveis independentes e observa as variações que tal manipulação e controle produzem em variáveis dependentes. Os resultados obtidos no presente trabalho são satisfatórios, pois a bancada foi concluída e devidamente testada. O resultado do teste foi comparado com dados coletados da antiga bancada utilizada, sendo possível concluir que houve significativa melhoria na acuidade dos dados de tração coletados.

**Palavras-chave:** *Aerodesign*. Motor de Pistão. Bancada de Testes. Coleta de Dados.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração do grupo motopropulsor em uma montagem convencional.....	19
Figura 2 - Ilustração de motor de pistão tipo <i>glow-plug</i> . ....	21
Figura 3 - Relação entre potência do eixo e potência disponível. ....	21
Figura 4 - Características geométricas de uma hélice. ....	22
Figura 5 - Ilustração de modelos comerciais de célula de carga. ....	25
Figura 6 - Ambiente de desenvolvimento do Arduino. ....	26
Figura 7 - Ilustração de placa eletrônica do Arduino. ....	26
Figura 8 - Módulo conversor amplificador HX711.....	27
Figura 9 - Método de fixação do motor.....	29
Figura 10 - Furação para ajuste de fixação.....	29
Figura 11 - Montagem do primeiro conceito de bancada.....	30
Figura 12 - Fixação do motor remodelada. ....	31
Figura 13 - Leiaute do sistema de medição de tração. ....	31
Figura 14 - Montagem da bancada com alterações. ....	32
Figura 15 - Ilustração de célula de carga tipo S. ....	33
Figura 16 - Interface PLX-DAQ-Excel.....	34
Figura 17 - Estrutura base. ....	35
Figura 18 - Conjunto de medição de tração. ....	35
Figura 19 - Montagem da bancada. (A): vista frontal, (B): vista lateral .....	36
Figura 20 - Dispositivo de interação entre a célula de carga e o programa.....	37
Figura 21 - Série 1 de coleta de amostras de peso.....	37
Figura 22 - Série 2 de coleta de amostras de peso.....	38
Figura 23 - Série 3 de coleta de amostras de peso.....	39
Figura 24 - Identificação dos componentes na bancada.....	41
Figura 25 - Dados de tração Motor 0.61 e hélice 12.25 x 3.75 APC. ....	42
Figura 26 - Dados históricos de tração do motor 0.61 e da hélice 12.25 x 3.75 APC.....	43
Figura 27 - Dados de tração Motor 0.61 e hélice 13 x 6 APC. ....	43
Figura 28 - Dados históricos de tração do motor 0.61 e da hélice 13 x 6 APC.....	44



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 TEMA.....	13
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	13
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA .....	13
1.4 JUSTIFICATIVA.....	14
1.5 OBJETIVO GERAL .....	15
1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
2.1 A COMPETIÇÃO SAE AERODESIGN .....	16
2.2 VEÍCULOS AEREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs) .....	16
2.3 BANCADAS DE TESTES.....	17
2.4 GRUPO MOTOPROPULSOR.....	19
<b>2.4.1 O Motor.....</b>	<b>19</b>
2.4.1.1 Motores de Pistão.....	20
<b>2.4.2 A Hélice.....</b>	<b>22</b>
2.5 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....	22
<b>2.5.1 Instrumentação .....</b>	<b>23</b>
2.5.1.1 Célula de Carga.....	24
<b>2.5.2 Arduino .....</b>	<b>25</b>
2.5.2.1 Módulo Conversor Amplificador HX711 .....	27
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	28
3.2 DEFINIÇÃO DE CONCEITOS E MODELAMENTO.....	29
<b>3.2.1 Remodelamento da bancada conforme materiais disponíveis na FAHOR</b>	
<b>31</b>	
3.3 DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA PARA COLETA DE DADOS DA BANCADA.....	33
3.4 DESENVOLVIMENTO DA BANCADA .....	34
<b>3.4.1 Fabricação da bancada .....</b>	<b>34</b>
<b>3.4.2 Ajuste de interação entre a célula de carga e o software .....</b>	<b>37</b>
<b>3.4.3 Teste de funcionamento.....</b>	<b>39</b>

<b>3.4.4 Limpeza e pintura .....</b>	<b>39</b>
<b>3.5 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....</b>	<b>39</b>
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
4.1 BANCADA DE TESTES .....	41
4.2 COLETA DE DADOS UTILIZANDO A BANCADA .....	42
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE DE INTERAÇÃO ENTRA CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE.....</b>	<b>48</b>
<b>APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DE OPERAÇÃO DA BANCADA.....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desejo de voar sempre esteve presente na vida do homem. Ao ver os pássaros em movimento, ainda na pré-história, o homem já devia imaginar como seria poder sobrevoar o seu território. Entre os primeiros registros sobre a tentativa do homem voar está um de 400 a.C. Archytas, um estudioso da Grécia Antiga, que construiu um pombo de madeira que podia voar em média 180 metros. No decorrer dos anos, com o desenvolvimento dos primeiros aviões no século XX, este desejo tomou forma e vem desde então em rápido crescimento, seja como meio de transporte, seja pela utilização militar. A agilidade, a eficiência e a diminuição dos custos deste modal de transporte, nas últimas décadas, o fez avançar a passos largos, tanto na amplitude de sua atuação, quanto nas notáveis mudanças tecnológicas no setor, o qual alimenta um processo de permanente inovação (POZZEBON, 2016).

Desde os primeiros aviões produzidos no século XX até os tempos atuais, a indústria aeronáutica vem sendo suporte para novos estudos e aplicação de tecnologias avançadas. Como forma de incentivar os jovens futuros engenheiros a buscar conhecimento para inovar, a SAE Brasil promove anualmente a competição SAE Brasil *Aerodesign*. Este programa é um desafio lançado aos estudantes de Engenharia que tem como principal objetivo propiciar a difusão e o intercâmbio de técnicas e conhecimentos de Engenharia Aeronáutica, através de aplicações práticas e da competição entre equipes. Ao participar do programa SAE *Aerodesign* o aluno se envolve com um caso real de desenvolvimento de projeto aeronáutico, envolvendo a concepção, projeto detalhado, construção e testes (SAE BRASIL, 2016). As avaliações e classificação das equipes são realizadas em duas etapas, a primeira, consiste na competição de projeto e a segunda na competição de voo, nas quais, os projetos são avaliados, comparativamente, por engenheiros da indústria aeronáutica, com base na concepção e desempenho dos projetos (SAE BRASIL, 2016). Para o projeto da aeronave rádio controlada, são obrigatórios estudos nas seguintes áreas, aerodinâmica, desempenho, estabilidade e controle, cargas e estruturas e projeto elétrico.

A equipe Masbáh *Aerodesign* da Faculdade Horizontina, anteriormente intitulada equipe Águia FAHOR, nasceu em 2008, e desde então participa da competição SAE *Aerodesign*. A equipe está enquadrada na classe regular, a qual possui, todos os anos, regulamento para o projeto com restrições definidas, como por exemplo, dimensionais ou área projetada de vista superior. Com o intuito de buscar a melhoria contínua em todas as áreas que o projeto abrange, anualmente a equipe visa o aprofundamento e inovação em metodologias

de concepção e detalhamento, bem como na automação e melhoria de ferramentas de análises e testes.

Alinhado as aspirações da equipe, o objeto de estudo deste trabalho vem a ser uma bancada para coleta dos dados de tração do conjunto motopropulsor de um veículo aéreo não tripulado (VANT). As informações coletadas são utilizadas para seleção do conjunto moto propulsor com maior desempenho, também são utilizados para cálculos subsequentes relacionados a área de desempenho da aeronave. A pergunta a qual o presente trabalho busca responder é: O desenvolvimento da bancada irá aumentar a competitividade da equipe em termos de desempenho da aeronave?

### 1.1 TEMA

O tema do presente trabalho é o desenvolvimento de uma bancada de testes estáticos que visa a coleta de dados de tração gerados por diferentes combinações de motores de pistão tipo *glow* e hélices recomendadas pelo fabricante para cada modelo de motor. A bancada deve acomodar qualquer motor permitido pelo regulamento da competição SAE *Aerodesign* 2016 para a classe Regular.

### 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O estudo proverá o desenvolvimento de conceito para acomodação dos diferentes tipos de motores, o modelamento e detalhamento dos componentes da bancada, a programação para comunicação entre a célula de carga e o Excel. Também será testado a calibração da célula de carga, bem como o funcionamento da bancada simulando a condição que esta irá atuar, onde os resultados gerados serão comparados com os dados coletados da antiga bancada utilizada pela equipe Masbáh *Aerodesign*.

No presente trabalho não será abordada a parte de comparação quantitativa entre os parâmetros de tração gerados pelas diversas possíveis combinações entre motores e hélices. Desta forma, não será apontado o conjunto motopropulsor que possui o melhor desempenho para a aeronave em projeto pela equipe Masbáh *Aerodesign* para a competição de 2016.

Também não será prevista a coleta dos dados de rotação do motor.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Ao definir o motor A combinado com a hélice B, conseqüentemente, o projetista estará limitando a carga paga com que a aeronave será capaz de decolar, visto que há um

comprimento máximo de pista para decolagem definido por regulamento. Sendo assim, é importante que a bancada seja afetada pelo menor número possível de variáveis espúrias, tais como, o atrito dos mecanismos de rolagem ou deslizamento da bancada, vibração e imprecisão dos instrumentos de medição.

Na atual bancada da equipe Masbáh o processo de aquisição de dados, tanto de rotação quanto de tração, é feito manualmente onde o operador deve ficar atento aos instrumentos de medição para coletar os valores, o que torna a tarefa ineficaz, pois há grande possibilidade dos valores coletados serem irreais, além da atividade não prover a segurança e ergonomia adequada para os operadores da bancada.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

Este trabalho final de curso justifica-se pela importância da coleta de dados com a menor influência possível da bancada. Tratando-se de projetos voltados a competição SAE *Aerodesign*, onde os dados adquiridos são informações de entrada para cálculos subsequentes de desempenho da aeronave, enfatiza-se a necessidade da obtenção de dados confiáveis, pois estes, se coletados erroneamente, afetarão o desempenho de decolagem impossibilitando que o avião alce voo.

Para que os dados de tração e rotação sejam coletados com as situações de voo mais semelhantes possíveis a condições reais, onde há a influência de rajadas de vento de todas as direções, por exemplo, é recomendado submeter o conjunto motopropulsor a baterias de simulações em túneis de vento, onde há o total controle de variáveis como a velocidade do vento, temperatura e pressão. Porém, como este é um projeto com alto valor econômico agregado, inviabiliza financeiramente a execução do mesmo, visto que a equipe Masbáh *Aerodesign* não possui fins lucrativos e depende dos recursos financeiros de patrocinadores para desenvolver suas atividades.

Para o Engenheiro Mecânico, o desenvolvimento deste tipo de trabalho científico é de suma importância, pois exige a aplicação do conhecimento adquirido na graduação, além de instigar a busca por conhecimentos específicos de engenharia aeronáutica, contribuindo para o desenvolvimento pessoal e profissional, visando o auxílio na preparação dos futuros engenheiros para o mercado de trabalho. Por último, porém não menos importante, o presente trabalho poderá ser usufruído pelos próximos integrantes da equipe Masbáh *Aerodesign* da FAHOR.

## 1.5 OBJETIVO GERAL

O trabalho em questão tem como objetivo geral desenvolver uma bancada estática de testes para coletar dados de um motor de pistão do tipo *glow* utilizado no *aerodesign*.

## 1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Com o auxílio de um software de CAD, projetar a bancada de modo que esta seja capaz de acomodar diferentes modelos de motores, com diferentes dimensões de encaixe;
- Utilizar a plataforma de programação do *software* Arduino e desenvolver código capaz de manipular os dados coletados, além de plotar os resultados em gráficos para análise posterior;
- Manufaturar, comprar e/ou adequar os componentes da bancada;
- Montar os componentes da bancada;
- Fazer a instrumentação da bancada;
- Realizar teste funcional da bancada;
- Fazer a coletar dados de tração de um motor e duas hélices comparando-os com os dados obtidos nos anos anteriores com a antiga bancada.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem por objetivo descrever os aspectos teóricos que formam a base do um processo de coleta de dados de um motor de combustão interna tipo *glow*. Para tanto, será conceituado a competição SAE *AeroDesign*, VANTs, bancadas de testes, grupo moto propulsor e seus componentes, além do embasamento teórico sobre o sistema de aquisição de dados, instrumentação e os instrumentos de medição, plataforma de programação utilizada para automatização e controle do presente projeto.

### 2.1 A COMPETIÇÃO SAE AERODESIGN

Para a SAE Brasil (2016) a competição é um desafio lançado aos estudantes de Engenharia que tem como principal objetivo propiciar a difusão e o intercâmbio de técnicas e conhecimentos de Engenharia Aeronáutica, através de aplicações práticas e da competição entre equipes. Ao participar do programa SAE *AeroDesign* o aluno se envolve com um caso real de desenvolvimento de projeto aeronáutico, desde sua concepção, projeto detalhado, construção e testes.

A Competição SAE *AeroDesign* ocorre nos Estados Unidos desde 1986, tendo sido concebida e realizada pela SAE *International*. A partir de 1999 esta competição passou a constar também do calendário de Programas Estudantis da SAE BRASIL, onde, ao longo de sua existência, tornou-se visivelmente um evento crescente em quantidade e qualidade dos projetos participantes, uma resposta direta às exigências técnicas por parte das Regras da Competição. A evolução, presente nas aeronaves atuais frente a suas precursoras é considerável, não somente sob o ponto de vista construtivo, mas também nos métodos de projeto utilizados, desenvolvidos com o uso de ferramentas sofisticadas criadas pelas próprias equipes (SAE BRASIL, 2016)

### 2.2 VEÍCULOS AEREOS NÃO TRIPULADOS (VANTS)

ANDERSON JUNIOR (2015) define VANT como aviões sem seres humanos a bordo, pilotados remotamente por indivíduos no solo ou em outras aeronaves. Esses veículos surgiram na década de 1950, com a introdução do Ryan Firebee, que era remotamente pilotado para fins de reconhecimento e foi bastante utilizado no Vietnã. Em seus primeiros anos, essas aeronaves eram chamadas de Veículos Aéreos Remotamente Pilotados (VARPs). Israel foi o primeiro país a usar VARPs em situações de combate, argumentando que, para

missões de reconhecimento, a perda de um VARP era considerada mais barata, quando comparada a perda de um piloto e de um avião que custava milhões de dólares.

Em termos de projeto de aviões, Anderson Junior (2015) destaca que os VANTs oferecem um espaço de projeto muito mais amplo, em parte porque o piloto, os passageiros e os equipamentos correlatos de suporte de vida, segurança e conforto não são mais necessários, o que reduz o peso e a complexidade da aeronave. Além disso, as restrições físicas impostas pelos limites do corpo humano, como a perda de consciência quando exposto a aceleração de 9 Gs ou mais, mesmo por alguns segundos, são eliminados. Os veículos aéreos não tripulados representam novos e incríveis desafios de projeto para os engenheiros; tais veículos oferecem a chance de um desempenho muito superior, além de novas aplicações exclusivas.

### 2.3 BANCADAS DE TESTES

Segundo Padilha (2007) o uso das bancadas de teste permite recriar comportamentos de uso do motor em condições controladas para calibrar, monitorar e avaliar as características do seu funcionamento. Existem diversos tipos de bancadas de teste disponíveis, e um resumo será apresentado a seguir.

As bancadas podem ser classificadas segundo suas características construtivas e suas capacidades, sendo que a escolha de cada tipo de bancada depende da aplicação para a qual se considerou o uso da bancada. Elas podem ser escolhidas em função de:

- Tipo de carga:
  - Estática: dissipa a potência do motor, de forma controlada ou não, permitindo atingir um valor arbitrário para a velocidade angular do motor, que pode ser variável ou fixa conforme a necessidade. Tipicamente utilizada para testes de calibração e de durabilidade do motor.
  - Dinâmica: não dissipa a potência do motor durante o ensaio. Consiste em uma carga inercial que armazena a potência fornecida pelo motor através do aumento da sua energia cinética rotacional. O monitoramento da aceleração angular do motor acoplado à massa inercial fornece uma estimativa para torque do motor. Tipicamente utilizados para avaliação de desempenho do motor.
- Tipos de ensaios que podem ser realizados:
  - Estáticos: com o motor fixado em rotações determinadas, realizando as medições em intervalos de velocidade angular. Permite o levantamento das características estáticas do motor, por exemplo, testes de vazão mássica de ar



na admissão, calibração de mapas de injeção, curvas de torque, de potência e consumo específico do motor.

- Dinâmico: permite a avaliação do comportamento do motor durante variações de velocidade angular para avaliar também os transientes de aceleração e desaceleração, permitindo reproduzir condições similares ao uso do motor em veículos.
- Duração dos ensaios:
  - Curtos: típico de calibrações e avaliações de desempenho do motor, onde normalmente o equipamento exige um tempo de espera mínimo entre ensaios para resfriamento.
  - Longos: tipicamente utilizados para avaliação de características de durabilidade do motor.
- Grau de controle de carga:
  - Sem controle: a carga imposta ao motor é alterada em função da velocidade angular do conjunto, conforme a característica do equipamento utilizado para dissipar a potência.
  - Parcialmente controlada: a carga imposta ao motor pode ser alterada dentro de limites impostos pelo funcionamento.
  - Controlada: permite determinar a carga imposta ao motor, ou a velocidade angular do motor.
- Funções de controle oferecidas:
  - Controle de torque: é aplicado um valor de torque arbitrário, independente da velocidade angular do motor.
  - Controle de velocidade: modula o torque aplicado ao motor de forma automática para manter uma velocidade angular constante.
  - Reprodução de condições de uso: permite reproduzir as condições reais de uso do motor, incluindo variações climáticas e cargas com rápidas variações de torque.

A escolha da bancada de testes ideal deve ser feita levando em consideração os diferentes tipos de ensaios que se pretende realizar e as características do motor a ser estudado, também deve-se analisar a disponibilidade de recursos de tempo, de capital, de mão-de-obra e de espaço físico.

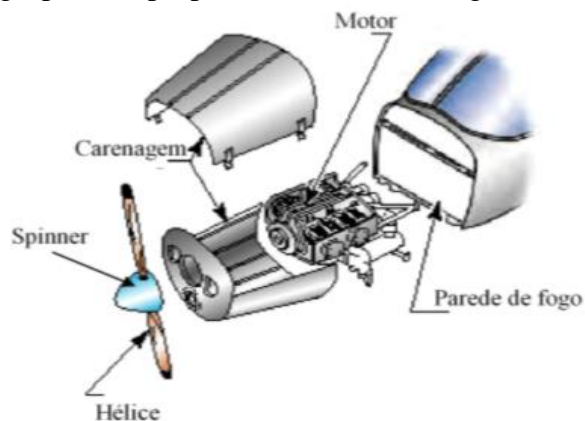
## 2.4 GRUPO MOTOPROPULSOR

Rodrigues (2014) menciona que o grupo motopropulsor é formado pelo conjunto motor e hélice. A função primária do motor é fornecer a potência necessária para colocar a hélice em movimento de rotação, e, uma vez obtido esse movimento, a hélice possui a função de gerar tração para impulsionar o avião.

A classificação das aeronaves, segundo Rodrigues (2014), é definida de acordo com a quantidade de motores existentes na estrutura, podendo ser monomotores, bimotores e multimotores.

Os principais componentes necessários para a montagem do grupo motopropulsor são o motor, a hélice, a carenagem, o *spinner* e a parede de fogo que recebe o berço para o alojamento do motor. A Figura 1 ilustra as peças mencionadas.

Figura 1 - Ilustração do grupo motopropulsor em uma montagem convencional.



**Fonte:** Adaptado de Rodrigues, L., 2014, p.18.

## 2.5 O MOTOR

Para Rodrigues (2004) o motor é o componente que fornece energia capaz de assegurar a tração necessária para que haja o deslocamento do modelo. O motor é, fundamentalmente, um transformador de energia. Consoante a sua natureza, ele transforma a energia térmica ou elástica em energia mecânica, a qual, imprimindo rotação a hélice ou criando forças de reação, assegura a velocidade de translação do modelo.

### 2.5.1 Motores de Pistão

O motor de pistão, também designado por motor de explosão, baseia-se no princípio da expansibilidade dos gases, obtidos por combustão de um fluido. A mistura ar-combustível, ao explodir no interior do cilindro, gera gases, que tendem a expandir-se. A elevada pressão assim originada atua sobre o êmbolo ou pistão, conferindo-lhe um movimento alternativo, que é transformado, depois, por processos mecânicos, no movimento de rotação que o hélice aproveita. O motor de pistão transforma a energia térmica ou calorífica, resultante da combustão, em energia mecânica. No Aeromodelismo os motores mais utilizados são os de dois tempos, pois estes são de maior simplicidade mecânica que os motores a quatro tempos, realizam todo o trabalho em apenas dois passeios do êmbolo (RODRIGUES, 2004)

Segundo Rodrigues (2004), os primeiros motores de pistão que se utilizaram em aeromodelos foram os de inflamação por faísca. A explosão da mistura era provocada por uma faísca proveniente de um sistema elétrico, que compreendia uma fonte de alimentação (pilha seca ou acumulador), uma bobina para transformar a corrente de baixa em alta tensão, um condensador para absorver as faíscas parasitárias e ajudar o aumento de tensão, platinados para interromper a corrente na altura própria, um comando da ignição e uma vela para fornecer a faísca que iria inflamar a mistura. Estes motores, chamados também motores a gasolina, por consumirem esta espécie de combustível, forneciam regimes elevados de rotação e eram de uma grande regularidade de funcionamento, transmitindo ao modelo pouca vibração. Todavia, o peso exagerado de todo aquele equipamento elétrico, bem como os frequentes fracassos, resultantes de um tão complicado sistema de inflamação, muito contribuíram para que viessem a ser totalmente postos de parte.

Posteriormente apareceram os motores *Diesel* e *semi-Diesel*, hoje largamente utilizados, que dispensavam aquele complexo conjunto elétrico. Muito mais leves e de uma maior simplicidade de manuseamento, forneciam também potências mais altas. Nestes motores, denominados de autoignição, a explosão dá-se em virtude da elevada compressão a que a mistura é submetida. Sabe-se que uma mistura de ar e combustível, ao ser comprimida, vai aumentando a sua temperatura ao mesmo tempo que diminui o seu ponto de ignição. Ao ser comprimida, a mistura vai, portanto, diminuindo gradualmente o seu ponto de ignição. Nos motores Diesel, dá-se a explosão quando o ponto de ignição for idêntico à temperatura das paredes da câmara. Quer dizer, a mistura explode espontaneamente em virtude da alta compressão a que foi submetida, não necessitando de qualquer sistema de inflamação. Já nos

motores semi-*Diesel* (*glow-plug*) a compressão não precisa de ser tão elevada, pois basta que o ponto de ignição da mistura desça à temperatura da vela de incandescência.

A Figura 2 apresenta um dos modelos de motores de pistão comumente utilizados no *aerodesign*.

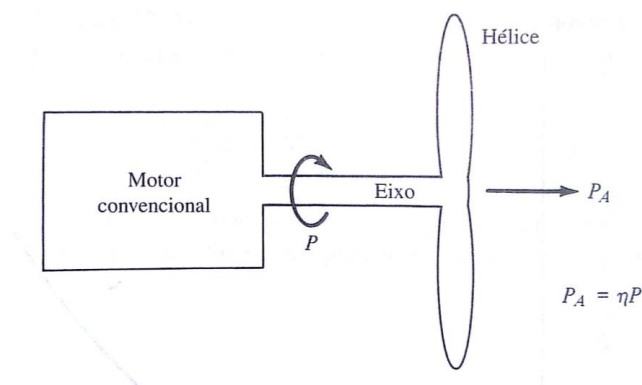
Figura 2 - Ilustração de motor de pistão tipo *glow-plug*.



**Fonte:** Adaptado de *OS Engines* (2016).

Para Anderson Junior (2015) um motor de pistão gera potência consumindo combustível em cilindros confinados e usando essa energia para mover os pistões, que, por sua vez, transmitem potência para o virabrequim, como esquematizado na Figura 3. A potência para o virabrequim é definida como potência do eixo  $P$ . Contudo, nem todo valor de  $P$  está disponível para mover o avião; parte dele é dissipado por ineficiência da hélice em si. Assim, a potência disponível para propelar o avião é  $P_A$ .

Figura 3 - Relação entre potência do eixo e potência disponível.



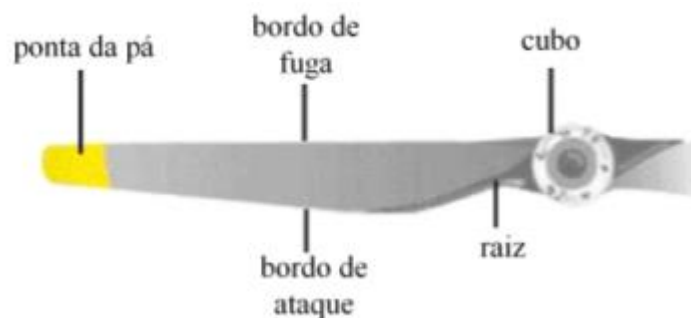
**Fonte:** Adaptado de Anderson (2015, p.466).

### 2.5.2 A Hélice

Segundo Rodrigues (2014) a hélice tem a função de fornecer a força de tração necessária ao voo. Ou seja, um aerofólio trabalhando em uma trajetória circular, com ângulo de ataque positivo em relação ao fluxo de ar, de forma a produzir tração em uma direção paralela ao plano de voo da aeronave. O desempenho de uma hélice depende de alguns fatores, entre eles podem se citar: o diâmetro em função da rotação, a área das pás em função da absorção de potência e o passo.

Cada hélice é caracterizada por duas dimensões características, o diâmetro e o passo, normalmente indicados em polegadas. A Figura 4 mostra as principais características geométricas de uma hélice.

Figura 4 - Características geométricas de uma hélice.



**Fonte:** Adaptado de Rodrigues (2014) p.126.

- Diâmetro da hélice: representa a distância entre as pontas das pás para o caso de uma hélice bi-pá, no caso de hélices mono-pá ou com múltiplas pás, o diâmetro é representado pela circunferência realizada durante o movimento.
- Passo: representa o avanço (teórico) que a hélice daria em uma única volta, ou seja, uma hélice 13"x4" tem um diâmetro de 13" e seu passo é de 4", indicando que esta hélice se deslocaria 4" para frente a cada volta realizada.

## 2.6 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Para Padilha (2007) o sistema de aquisição de dados é responsável por coletar amostras das variáveis de funcionamento do motor e do ambiente que o cerca, além de armazenar esses valores de tal forma que seja possível proceder à análise posterior desses

valores. Atualmente, tais sistemas são baseados em placas de aquisição micro controladas, que realizam a aquisição e a conversão dos dados para o formato binário, armazenando os dados na forma digital, pela facilidade de análise posterior. De acordo com suas características os sistemas de aquisição de dados podem ser qualificados, por exemplo:

- A portabilidade do equipamento: determinada principalmente pelas dimensões físicas dos equipamentos de aquisição e armazenamento;
- O armazenamento de dados: o armazenamento ser realizado num dispositivo de armazenamento de massa, como cartões de memória, ou diretamente num computador;
- O número de canais de entrada: os canais são definidos como as variáveis que podem ser medidas simultaneamente, e as variáveis podem ser do tipo analógico ou digital;
- A frequência de amostragem: o número de amostras coletadas por segundo, determina a frequência de sinal que pode ser detectada pelo sistema de aquisição.

Sistemas de aquisição de dados são passíveis a limitações na quantidade e qualidade das grandezas que podem medir:

- Os valores recebidos pela placa são convertidos para o formato digital, tornando-os suscetíveis a possíveis erros de conversão de valores;
- Os sensores, assim como a placa de aquisição, conseguem apenas captar sinais de baixa frequência, atuando como filtro passa-baixas;
- O espaço de memória disponível limita o número de amostras consecutivas que podem ser armazenadas.

Para definir as características que o sistema de aquisição deverá atender, do ponto de vista de implementação, é importante ponderar entre a fidelidade e quantidade de dados a coletar, e os recursos disponíveis para a instalação de tal sistema.

### **2.6.1 Instrumentação**

Braga, A. e Braga, C. (2016) definem a instrumentação como sendo o conjunto de equipamentos (sensores, transmissores, e *hardware/software* para procedimento de validação) que possibilitam a medição, monitoração e controle de variáveis de processo, propriedades físicas e composições dentro de um processo industrial. Os instrumentos de medição são divididos quanto as suas classes de aplicação:

- Monitoração: algumas aplicações de instrumentos de medida possuem a simples função de monitoração da variável medida, ou seja, suas medidas não são utilizadas para controle.
- Análise Experimental de Engenharia: refere-se às aplicações onde a medição fornecida por algum instrumento tem uso destinado à uma análise pós-medição, para determinação de algum parâmetro, modelo e/ou validação do.
- Controle de Processos: o caso mais clássico, com o qual engenheiros e técnicos trabalham no dia a dia, relaciona-se à especificação de instrumentos de medida como elementos de uma malha de controle.

Tratando-se da aplicação de instrumentos de medição em projetos, é importante identificar em qual das classes de aplicação os equipamentos estarão inseridos, a partir desta definição busca-se os instrumentos adequados para o uso.

#### 2.6.1.1 Célula de Carga

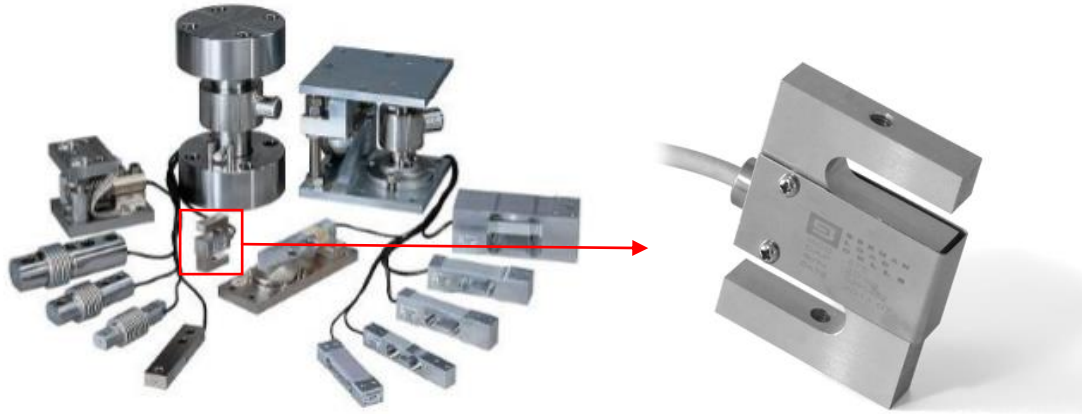
A célula de carga é um dispositivo eletromecânico, que tem como propriedade a medição das deformações ou a flexão de um corpo transformando-a em tensão. Para a obtenção destes sinais é utilizado o *strain gauge* (extensômetro), que converte a deformação em tensão, em conjunto com um circuito, a ponte de *Wheatstone*, que junto com o *strain gauge*, proporciona um sinal em micro volts que é alterada proporcionalmente à medida que se aplica maior peso ou força na estrutura (CARER; CARRARO, 2010).

Para Beck (1983) extensômetro é um transdutor capaz de medir deformações nos corpos. Quando há deformação em um material a sua resistência é alterada, em função disto seu comprimento também é alterado proporcionalmente. Quando esticados esses elementos sofrem uma variação na resistência proporcional à força aplicada, ocorrendo uma mudança de sua resistência elétrica, o que gera um sinal elétrico proporcional à força aplicada.

Segundo Reggiani (2002), as células de carga são versáteis, possuem alta precisão e baixo custo. Também cita que as principais características dos extensômetros são: Adequada precisão (1%); boa linearidade; fácil instalação; ampla faixa de temperatura; São dispositivos pequenos, leves e baratos; Ampla faixa de temperatura; Adequada resposta estática e dinâmica; Aplicável mesmo sob condições severas; Pequeno custo por ponto de medida.

Há diversos tipos de célula de carga comercializados, cada um com suas respectivas aplicações (Figura 5).

Figura 5 - Ilustração de modelos comerciais de célula de carga.



**Fonte:** Camargo (2009).

Para o presente trabalho a célula de carga que melhor se adapta ao projeto é a tipo S, conforme evidenciado em detalhe na Figura 5.


### 2.6.2 Arduino

O projeto Arduino foi criado na Itália em 2005 com o objetivo de oferecer uma plataforma de prototipagem eletrônica de baixo custo e de fácil manuseio por qualquer pessoa interessada em criar projetos com objetos e ambientes interativos (ARDUINO, 2016). A plataforma Arduino é composta de uma placa eletrônica (*hardware*) e de um ambiente de desenvolvimento (*software*) para criação dos projetos pelos usuários.

A Figura 6 ilustra o ambiente de programação oferecido pelo Arduino.



Figura 6 - Ambiente de desenvolvimento do Arduino.



```

Arduino - 0011 Alpha
File Edit Sketch Tools Help
Blink
/*
 * Blink
 *
 * The basic Arduino example. Turns on an LED on for one second,
 * then off for one second, and so on... We use pin 13 because,
 * depending on your Arduino board, it has either a built-in LED
 * or a built-in resistor so that you need only an LED.
 *
 * http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink
 */

int ledPin = 13;           // LED connected to digital pin 13

void setup()               // run once, when the sketch starts
{
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // sets the digital pin as output
}

void loop()                // run over and over again
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // sets the LED on
  delay(1000);                // waits for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW);  // sets the LED off
  delay(1000);                // waits for a second
}

Done compiling.

Binary sketch size: 1098 bytes (of a 14336 byte maximum)

22
  
```

**Fonte:** Pinto *et al.* (2012).

A placa eletrônica do Arduino contém várias entradas e saídas, analógicas e digitais, além de interface serial via conexão USB para comunicação com o computador. Existem diversos modelos oficiais e não oficiais da placa eletrônica (*hardware*) do Arduino, a Figura 7 ilustra um dos modelos mais utilizados (ARDUINO, 2016).

Figura 7 - Ilustração de placa eletrônica do Arduino.



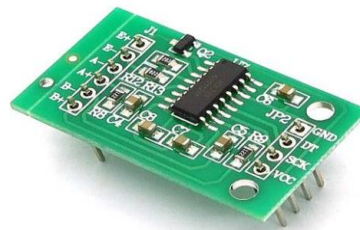
**Fonte:** Pinto *et al.* (2012).

### 2.6.2.1 Módulo Conversor Amplificador HX711

O Módulo Conversor HX711 foi desenvolvido com a finalidade de fazer a conversão das alterações de valor da resistência dos sensores de uma balança em dados digitais, por meio do circuito ADC de 24-bit. Além desta funcionalidade, o módulo HX711 também amplifica o sinal aumentando a exatidão dos dados oferecidos.

Seu princípio de funcionamento é converter as mudanças medidas em alteração do valor de resistência, através do circuito de conversão em potência elétrica. Geralmente é empregado na indústria aeroespacial, mecânica, elétrica, dentre outras. Suas características físicas podem ser observadas através da Figura 8.

Figura 8 - Módulo conversor amplificador HX711.



**Fonte:** Usinainfo (2016).

### 3 METODOLOGIA

A necessidade de melhoria no processo de coleta de dados do conjunto motopropulsor do *aerodesign* resultou no desenvolvimento de uma nova bancada de testes.

Com base no exposto, este TFC caracteriza-se como uma pesquisa experimental, que, segundo Moresi (2003), é a investigação empírica na qual o pesquisador manipula e controla variáveis independentes e observa as variações que tal manipulação e controle produzem em variáveis dependentes. Desta forma, variável é um valor que pode ser dado por quantidade, qualidade, característica, magnitude, variando em cada caso individual. Variável independente é aquela que influencia, determina ou afeta a dependente. É conhecida, aparece antes, é o antecedente. Variável dependente é aquela que vai ser afetada pela independente. É descoberta, é o consequente. A pesquisa experimental permite observar e analisar um fenômeno, sob condições determinadas.

#### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Definido o tipo de pesquisa no qual o presente projeto está inserido, executou-se os seguintes passos para o desenvolvimento da bancada:

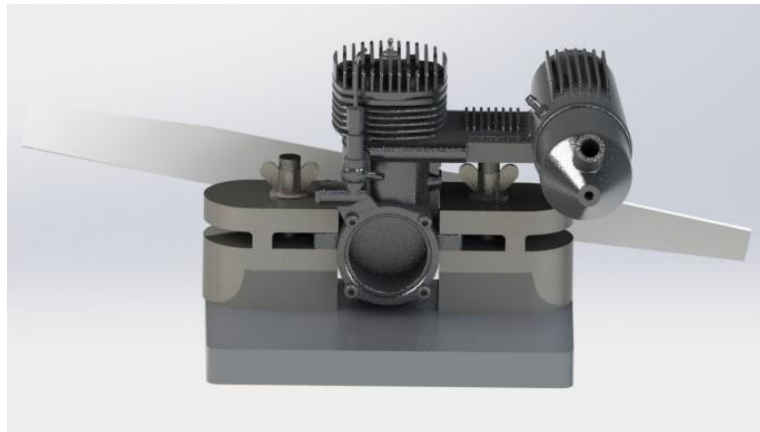
- Pesquisou-se modelos de bancadas de coleta de dados de motores tipo *glow*, já existentes no âmbito do *aerodesign*, que tenham atingido o nível esperado de confiabilidade e eficiência;
- A partir dos conceitos de bancadas observados, desenvolveu-se um modelo próprio de bancada que atendera todas as necessidades da equipe Masbáh *Aerodesign*, além de possuir um baixo custo de fabricação;
- Verificou-se os materiais disponíveis em estoque na FAHOR e no box do *aerodesign*, bem como avaliou-se a possibilidade de utilização deste material;
- Fez-se revisão do modelo de bancada adaptando-o conforme os materiais já existentes na faculdade;
- Analisou-se quais componentes da bancada teriam necessidade de ser comprados e efetuou-se a compra dos mesmos;
- Desenvolvidos o detalhamento dos subconjuntos da bancada, iniciou-se a adequação da mesa de sustentação, fabricação da chapa-base e do conjunto de suporte do motor. Finalizado a fabricação dos subconjuntos, realizou-se a montagem dos mesmos;

- De modo a automatizar a coleta de dados da bancada, desenvolveu-se um código de programação no *software* Arduino para armazenar os dados da coleta, além de plotar gráficos mostrando a variação de parâmetros durante a bateria de teste.
- Com a bancada concluída, realizou-se uma série de testes com o intuito de verificar a confiabilidade dos dados entregues pela bancada e encontrar potenciais oportunidades de melhoria;
- Executou-se as melhorias contínuas identificadas e, por fim, foi feita a pintura e os acabamentos na bancada.

### 3.2 DEFINIÇÃO DE CONCEITOS E MODELAMENTO

O conceito inicial da bancada partiu de um método de fixação de motor apresentada por Rodrigues (2004). Optou-se por utilizar tal conceito por ele possibilitar ajustes nos mancais de fixação da carcaça do motor, desta forma, tornando viável a realização de testes de todos os possíveis motores permitidos para competição SAE *Aerodesign* sem necessitar a substituição de componentes da bancada. A Figura 9 ilustra o método de fixação mencionado.

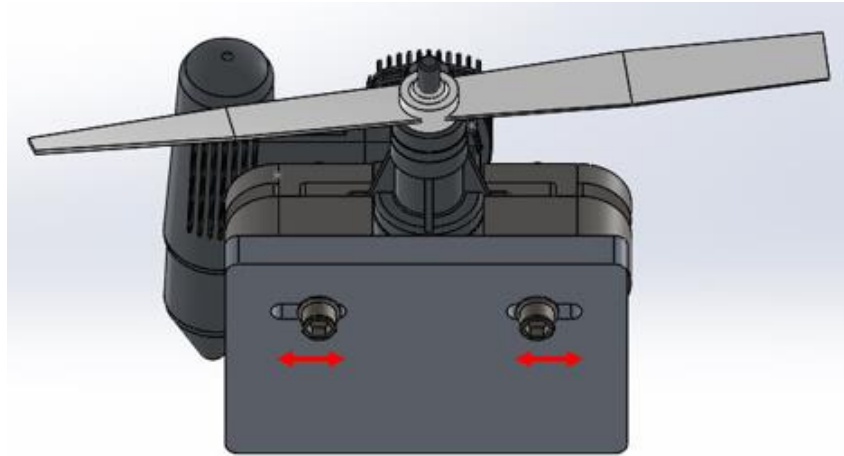
Figura 9 - Método de fixação do motor.



**Fonte:** Rodrigues (2004).

Na Figura 10 pode-se observar os furos oblongos que permitem o ajuste conforme a largura da carcaça do motor.

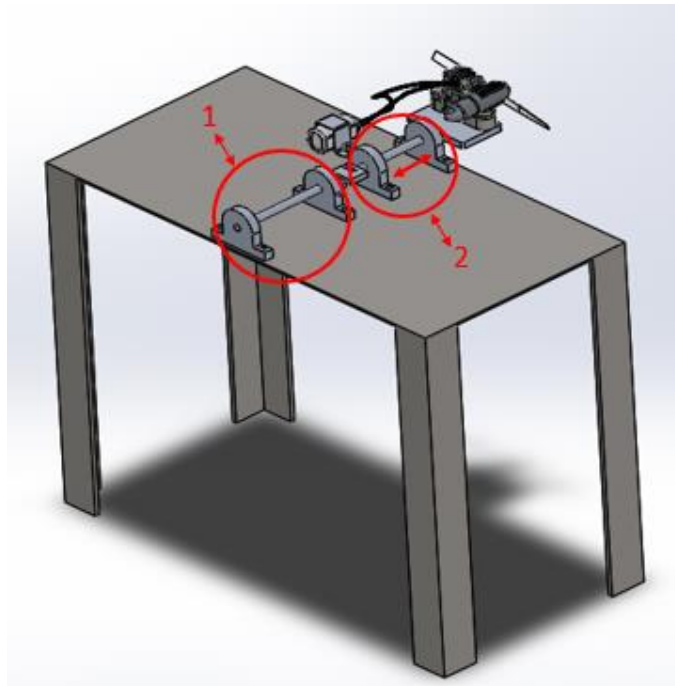
Figura 10 - Furação para ajuste de fixação.



**Fonte:** O autor (2016).

Definido o conceito de fixação o motor, desenvolveu-se o conceito de acoplamento da célula de carga e leiaute da bancada. A Figura 11 ilustra a montagem completa do projeto.

Figura 11 - Montagem do primeiro conceito de bancada.



**Fonte:** O autor (2016).

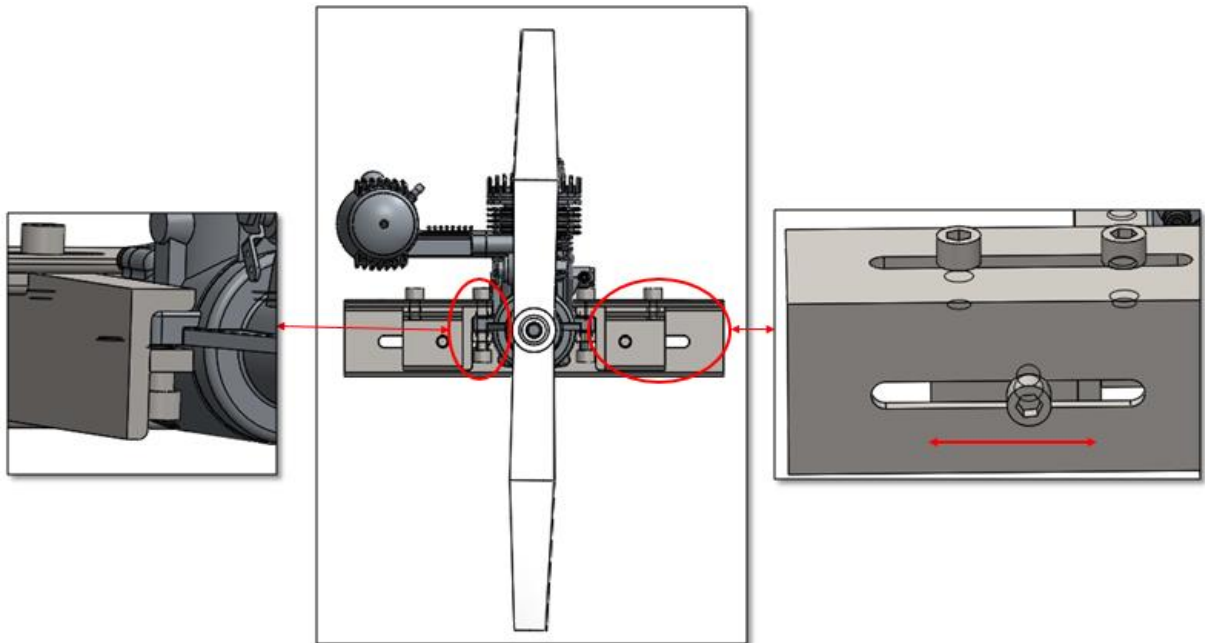
Para que houvesse o diferencial de força aplicada, conseqüentemente a deformação do *strain gauge* da célula de carga, necessitou-se adotar um conjunto de mancais e haste fixos, representados no detalhe 1 da Figura 11, bem como um conjunto de mancais e haste deslizante, ilustrados pelo detalhe 2.

### 3.2.1 Remodelamento da bancada conforme materiais disponíveis na FAHOR

Com a necessidade de um baixo investimento por parte da equipe Masbáh *Aerodesign* e da FAHOR, optou-se por reutilizar materiais que estavam em desuso na faculdade e em bom estado de conservação. Para que fosse possível utilizar o material foi necessário readequar o projeto alterando significativamente os conceitos adotados anteriormente.

Sendo assim, o novo conceito de fixação do motor adotado pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 - Fixação do motor remodelada.

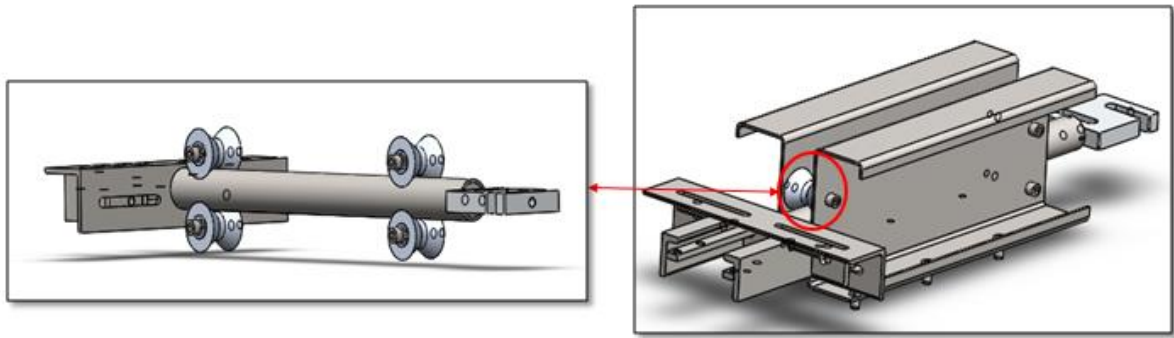


**Fonte:** O autor (2016).

Da mesma forma que no conceito anteriormente adotado, o ajuste para as diferentes larguras das carcaças dos motores foi provido por furos oblongos nos quais é possível que as cantoneiras deslizem fazendo o ajuste necessário.

O sistema adotado para fazer a medição da tração do motor também precisou ser alterado conforme Figura 13.

Figura 13 - Leiaute do sistema de medição de tração.

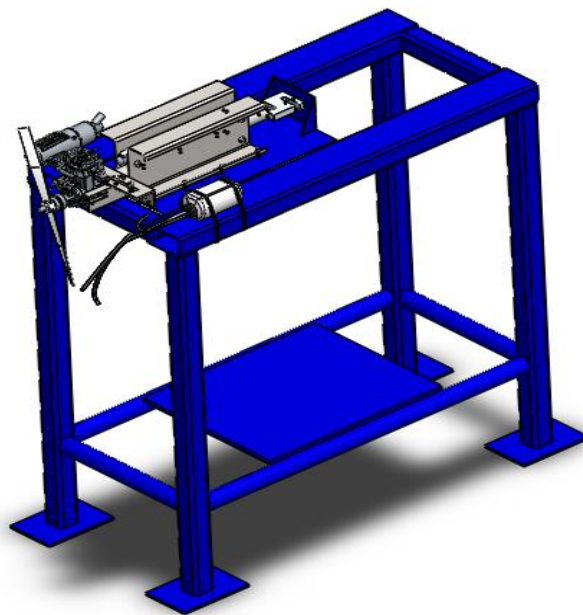


**Fonte:** O autor (2016).

Como pode-se observar, foi substituído os mancais por roletes de nylon evitando, desta forma, grande parte do atrito que havia no sistema anterior.

Por fim, adequou-se a mesa da bancada para uma estrutura que estava disponível na faculdade. A Figura 14 ilustra a montagem da bancada com as devidas alterações feitas.

Figura 14 - Montagem da bancada com alterações.



**Fonte:** O autor (2016).

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA PARA COLETA DE DADOS DA BANCADA

Com o auxílio do *software/hardware* Arduino, desenvolveu-se um programa para coletar, armazenar e gerar um gráfico para cada dado característico do motor do aeromodelo. O código do programa pode ser consultado no APÊNDICE A.

Com o intuito de obter-se valores precisos foi necessário fixar alguns parâmetros iniciais, tais como: motor atuando a plena carga, tempo de cada ciclo de coleta de dados de 48 segundos, aquisição de 30 amostras de tração. Com estes parâmetros definidos foi-se possível ter amostragens suficiente para fazer uma média dos valores e, desta forma, obter resultados apropriados.

Os valores de tração do motor foram viabilizados por uma célula de carga do tipo S, conforme Figura 15.

Figura 15 - Ilustração de célula de carga tipo S.



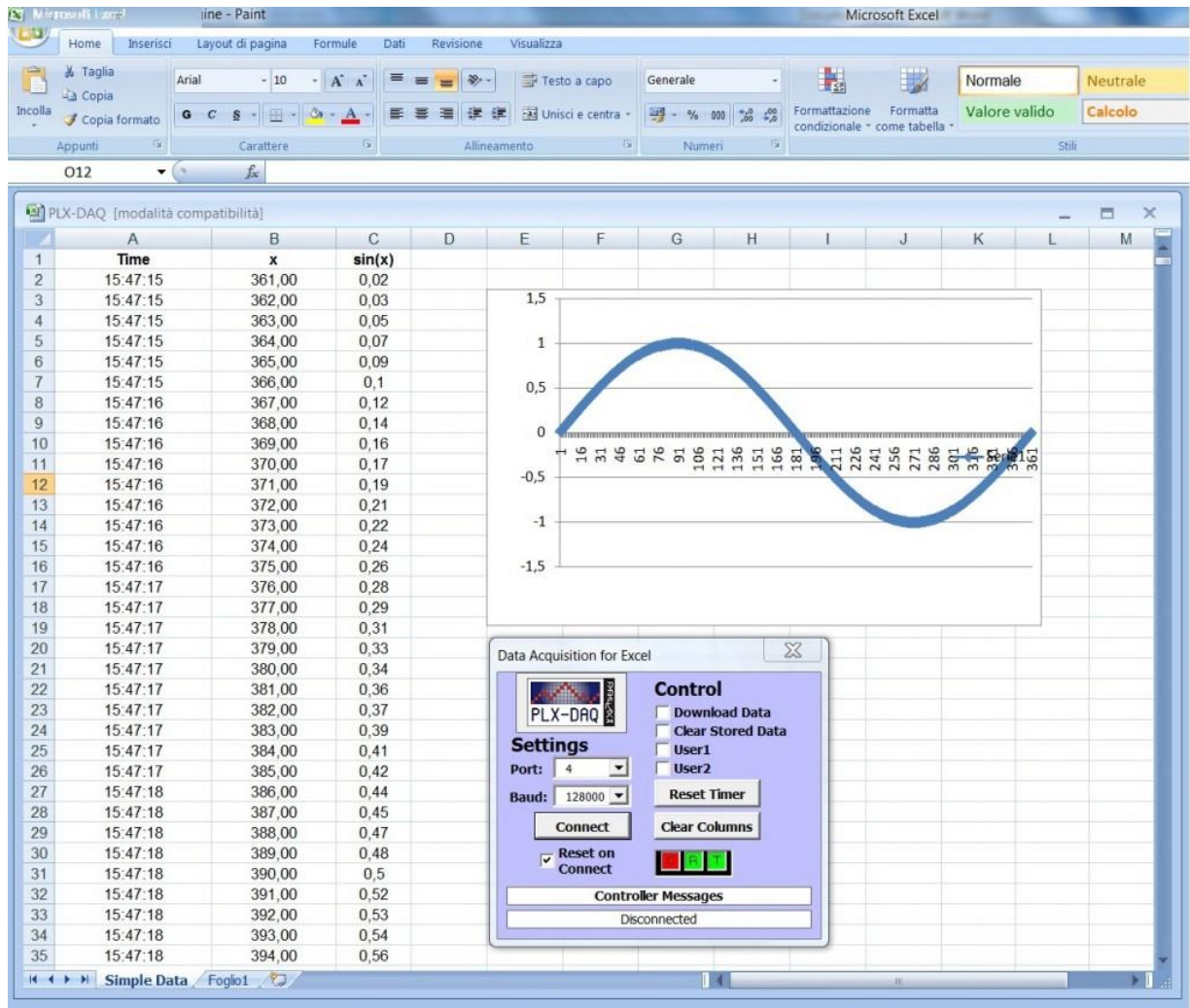
**Fonte:** Weigtech (2016).

A conversão de sinal (analógico-digital) da célula de carga foi provido pelo módulo conversor amplificador HX711.

Para armazenar os dados e gerar os gráficos utilizou-se o *software* Excel somado ao *software* manipulador PLX-DAQ, este último permite ao operador da bancada iniciar a coleta de dados, pará-la e também limpar as colunas com dados plotados. Deste modo, tornou-se possível a plotagem de dados e geração de gráficos em tempo real. A partir da Figura 16 pode-se ter uma ideia da *interface* do PLX-DAQ com o Excel.



Figura 16 - Interface PLX-DAQ-Excel.



Fonte: O autor (2016).

### 3.4 DESENVOLVIMENTO DA BANCADA

O desenvolvimento da bancada de testes para coleta de dados de um motor de pistão do tipo *glow* foi dividido em quatro fases: Fabricação da bancada, ajuste de interação entre a célula de carga e software, teste de funcionamento, limpeza e pintura.

#### 3.4.1 Fabricação da bancada

A bancada de teste foi fabricada tendo como base uma estrutura metálica com medidas externas de 750 mm de comprimento e 360 mm de largura, não sendo necessário ajustes quanto ao dimensional dela. Porém, houve a necessidade de remover a pintura deteriorada e a oxidação existente. A estrutura encontrava-se obsoleta do depósito da faculdade.

Estando a estrutura base livre de oxidação e tinta, uniu-se a ela, por meio de solda, as chapas que servem como base para o sistema de medição de empuxo do motor, conforme Figura 17.

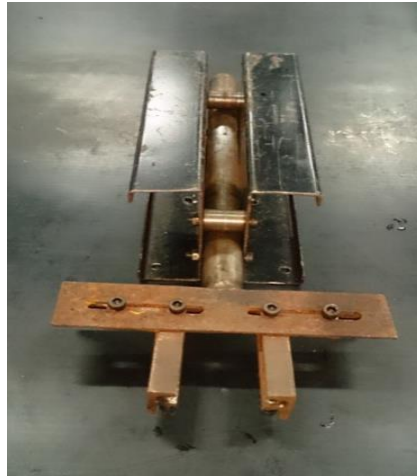
Figura 17 - Estrutura base.



**Fonte:** O autor (2016).

O próximo passo foi a fabricação do suporte para o motor. Para isto utilizou-se cantoneiras de diversas dimensões unidas por solda, bem como um tubo com diâmetro externo de 25 mm. Na fabricação dos demais componentes do sistema de medição de empuxo foi utilizado cantoneiras para as laterais de suporte aos roletes e uma barra de aço SAE 1020 para os roletes, estes usinados em um torno mecânico disponível na FAHOR. A Figura 18 representa o conjunto de medição de tração e suporte do motor.

Figura 18 - Conjunto de medição de tração.



**Fonte:** O autor (2016).

Por fim, montou-se a o conjunto de medição de tração e o suporte do motor na estrutura base, fixando-os por meio de parafusos allen M6 de 16 mm de comprimento. Da mesma forma, instalou-se a célula de carga. A montagem pode ser observada através da Figura 19.

Figura 19 - Montagem da bancada. (A): vista frontal, (B): vista lateral



(A)



(B)

**Fonte:** O autor (2016).

### 3.4.2 Ajuste de interação entre a célula de carga e o software

Com o intuito de otimizar a interação entre a célula de carga e o programa desenvolvido para coletar os dados de tração do motor, fabricou-se um dispositivo para simular a força real a qual a célula de carga estará sujeita. Assim, pôde-se refinar os valores de força para se obter maior precisão nas informações plotadas na planilha do Excel. A Figura 20 representa o dispositivo desenvolvido.

Figura 20 - Dispositivo de interação entre a célula de carga e o programa.



**Fonte:** O autor (2016).

É relevante mencionar que o peso do gancho utilizado para manter a sacola plástica com o peso padrão suspenso foi descontado via programação de forma a não influenciar nos testes realizados.

Testou-se a acuracidade dos dados providos pela célula de carga utilizando pesos conhecidos. Para isto, o procedimento adotado foi: pesar chapas metálicas, dispô-las dentro de um saco plástico, pendurar o saco plástico no gancho metálico preso junto a célula de carga, rodar o programa para que este faça a coletas de 10 amostras e salvar os dados coletados. A Figura 21 demonstra a massa em gramas do peso padrão e as 10 amostragens coletadas pelo programa.

Figura 21 - Série 1 de coleta de amostras de peso.



Hora	Peso(N)
16:30:29	1,62
16:30:30	1,62
16:30:31	1,62
16:30:33	1,62
16:30:34	1,63
16:30:36	1,63
16:30:37	1,63
16:30:38	1,63
16:30:40	1,63
16:30:41	1,63

**Fonte:** O autor (2016).

Tomou-se como padrão a aceleração da gravidade de  $9,81 \text{ m/s}^2$ , ao transformar o valor em gramas para Newtons, pode-se observar que os valores coletados foram próximos do valor teórico (1,70 Newtons). Pode-se atribuir esta defasagem a variação da aceleração da gravidade, pois esta é inversamente proporcional a altitude, portanto quanto maior a altitude em relação o nível do mar (0 metros) menor será a ação da aceleração da gravidade, visto que Horizontina encontra-se a aproximadamente 343 metros acima do nível do mar (BRASILCHANNEL, 2016).

Com o objetivo de sacramentar a confiabilidade dos dados coletados pelo programa fez-se mais duas séries de coleta de amostras utilizando diferentes pesos. A segunda série pode ser observada na Figura 22.

Figura 22 - Série 2 de coleta de amostras de peso.



Hora	Peso(N)
16:34:38	9,40
16:34:39	9,40
16:34:41	9,40
16:34:42	9,40
16:34:43	9,40
16:34:45	9,40
16:34:46	9,40
16:34:48	9,41
16:34:49	9,40
16:34:50	9,41

**Fonte:** O autor (2016).

Da mesma maneira que na primeira série, pode-se observar os dados precisamente coletados pelo programa.

Na terceira série de coleta de amostragens utilizou-se o menor peso dentre todas as séries, como pode-se observar na Figura 23.

Figura 23 - Série 3 de coleta de amostras de peso.



Hora	Peso(N)
16:36:08	0,82
16:36:09	0,82
16:36:10	0,82
16:36:12	0,82
16:36:13	0,82
16:36:15	0,82
16:36:16	0,82
16:36:17	0,82
16:36:19	0,82
16:36:20	0,82

**Fonte:** O autor (2016).

A partir da análise dos resultados obtidos na terceira série de coleta de amostras de peso, pode-se concluir que o sistema de aquisição de dados de tração está apto a prover resultados próximos dos valores reais.

### 3.4.3 Teste de funcionamento

Calibrado os instrumentos de medição, realizou-se um teste de funcionamento para identificar possíveis melhorias e verificar se o instrumento de medição estavam atuando corretamente.

### 3.4.4 Limpeza e pintura

Com a bancada atuando em pleno funcionamento e sem mais melhorias a fazer, realizou-se a limpeza dela removendo impurezas (óleo, limalhas de ferro e poeira) e oxidação remanescente. Para fazer a pintura utilizou-se um pincel convencional para pintura dos cantos e um pincel de rolo para pintura das superfícies planas.

## 3.5 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para fabricação da bancada, além das ferramentas tradicionais foram utilizados:

- Esmerilhadora angular 4.1/2”, fabricante Bosch, com disco para corte de metais e disco para desbaste;
- Máquina de Solda Mig-205 monofásica fabricante V8 BRASIL com Tocha conector Euro de 3 Metros e arame 1,2 mm;
- Furadeira convencional, monofásica, fabricante Bosch;
- Torno mecânico.

Os principais equipamentos do projeto foram:

- Computador portátil;
- Célula de carga tipo S, modelo TSD, fabricante Aeph, capacidade máxima 10 kg;
- Placa Arduino UNO;
- Módulo conversor amplificador HX711.

Os materiais utilizados para a fabricação foram:

- Cavalete metálico disponibilizado pela FAHOR;
- Cantoneiras de aço de diversas dimensões diferentes;
- Tubo de aço de 25 mm de diâmetro externo;
- Barra de aço SAE 1020;
- Parafusos allen M6 com 16 mm de comprimento.

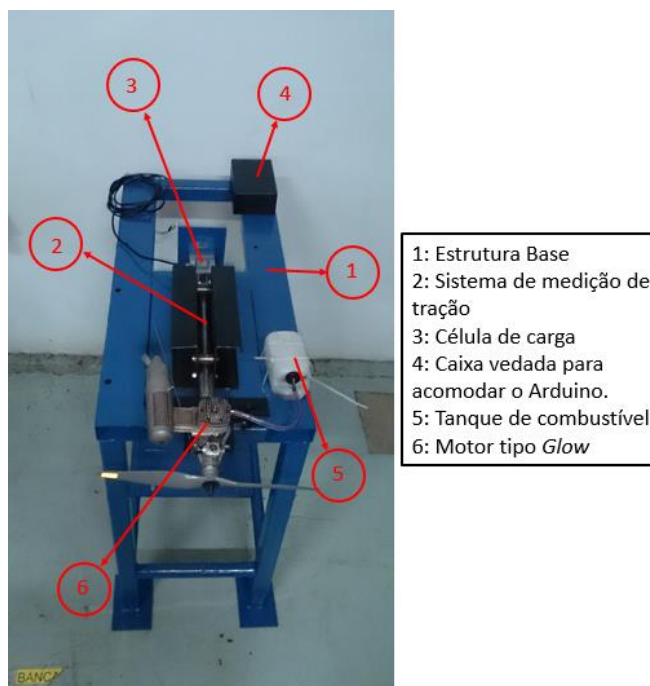
## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Conforme o tema do trabalho, o desenvolvimento da bancada de testes está ligado a uma necessidade da equipe Masbáh *Aerodesign* da FAHOR, a qual deve mensurar o desempenho das possíveis combinações de motores e hélices. Desta forma, os resultados do estudo estão diretamente relacionados aos objetivos descritos no item 1.3, conferidos os objetivos específicos, naturalmente alcançou-se o objetivo principal, desenvolver a bancada de testes. A partir da correta utilização da bancada, os acadêmicos e integrantes do projeto *Aerodesign*, obterão resultados de tração disponível no eixo do motor precisos e confiáveis, tornando assim mais clara a escolha do motor e hélice adequados para cada novo projeto.

### 4.1 BANCADA DE TESTES

A bancada foi desenvolvida seguindo rigorosamente o projeto descrito na metodologia para, desta forma, elevar o nível de acurácia do equipamento visando minimizar a possibilidade de falhas ou insucessos ao fazer uso da bancada. A Figura 24 representa a bancada finalizada, nesta imagem também observa-se os principais componentes identificados.

Figura 24 - Identificação dos componentes na bancada.



**Fonte:** O autor (2016).

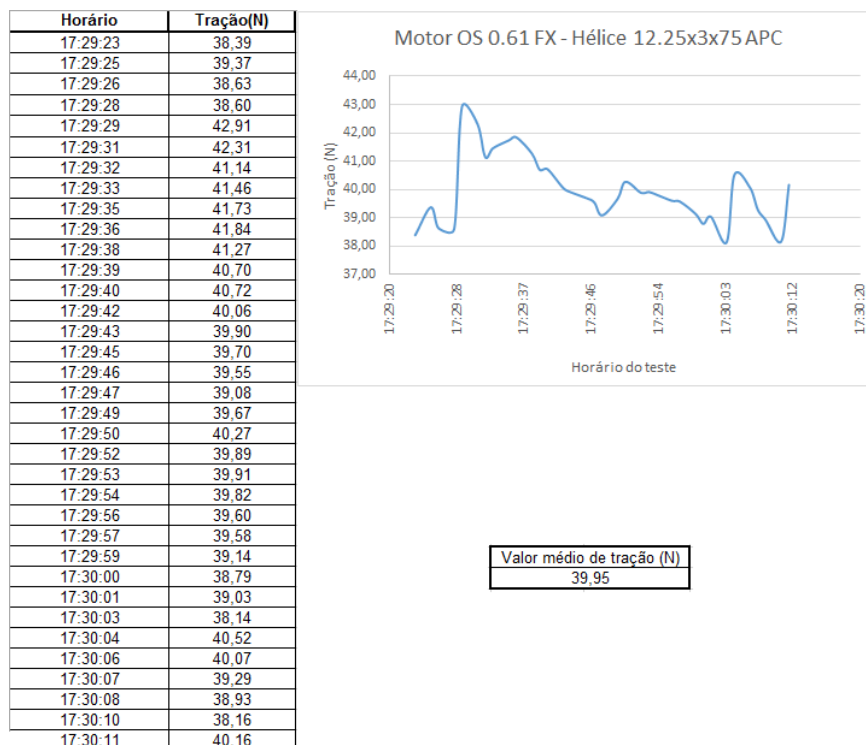


Após finalizar a construção da bancada de testes, conclui-se que os objetivos específicos: Modelamento em *software* CAD; Programação em Arduino; Manufatura, compra e/ou adequação de componentes; Montagem dos componentes; Instrumentar a bancada, foram alcançados.

#### 4.2 COLETA DE DADOS UTILIZANDO A BANCADA

Como forma de validar o funcionamento da bancada realizou-se duas seções de coleta de dados de tração. Na primeira seção utilizou-se como propulsão o motor OS 0.61 FX e a hélice 12.25 x 3.75 APC. A Figura 25 apresenta a série de dados coletados num período de 48 segundos, também mostra o gráfico de tração em relação ao tempo, bem como o valor médio de tração no eixo de motor.

Figura 25 - Dados de tração Motor 0.61 e hélice 12.25 x 3.75 APC.



Fonte: O autor (2016).

Para checar a acuidade das informações coletadas na bancada desenvolvida utilizou-se o método histórico comparativo, onde comparou-se os dados coletados na nova bancada e os dados coletados na antiga bancada, considerando o mesmo motor e hélice. É possível verificar os valores de tração coletados nos anos de 2014 e 2013 analisando a Figura 26.

Figura 26 - Dados históricos de tração do motor 0.61 e da hélice 12.25 x 3.75 APC.

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE HÉLICE - 2014								
	D(pol)	n(rpm)	v	Peixo (W)	roSJC	Td(N)	ef%	Pd
Hélice 12,25x3,75 - OS.61	12,25	13660	0		1,1504	<b>36,39</b>	0	0
	12,25	13660	5	799,88	1,1504	35,13552888	21,963	175,6776
	12,25	13660	10	785,8	1,1504	32,02135	40,75	320,2135
	12,25	13660	12	774,84	1,1504	30,3240091	46,963	363,8881
	12,25	13660	15	715,06	1,1504	26,01578963	54,574	390,2368
	12,25	13660	20	687,71	1,1504	21,17631018	61,585	423,5262
	12,25	13660	25	588,32	1,1504	13,65608384	58,03	341,4021
	12,25	13660	30	445,82	1,1504	4,825258467	32,47	144,7578

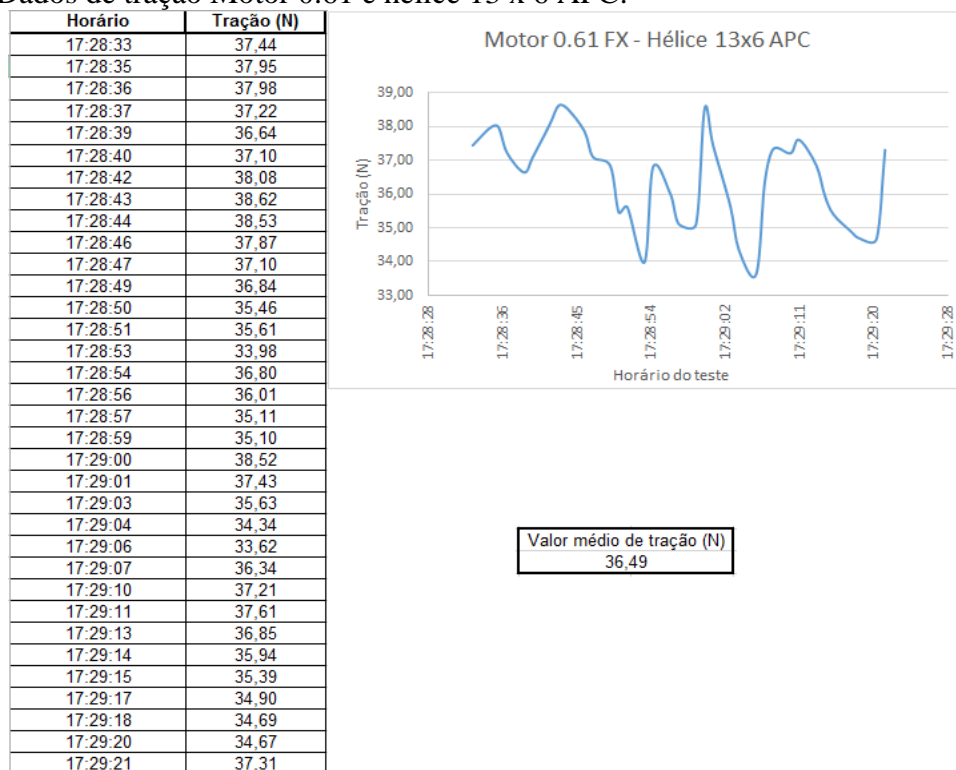
  

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE HÉLICE - 2013								
	D(pol)	n(rpm)	v	Peixo (W)	roSJC	Td(N)	ef%	Pd
Hélice 12,25x3,75 - OS.61	12,25	13660	0		1,1504	<b>38,15</b>	0	0
	12,25	13660	5	799,88	1,1504	35,13552888	21,963	175,6776
	12,25	13660	10	785,8	1,1504	32,02135	40,75	320,2135
	12,25	13660	12	774,84	1,1504	30,3240091	46,963	363,8881
	12,25	13660	15	715,06	1,1504	26,01578963	54,574	390,2368
	12,25	13660	20	687,71	1,1504	21,17631018	61,585	423,5262
	12,25	13660	25	588,32	1,1504	13,65608384	58,03	341,4021
	12,25	13660	30	445,82	1,1504	4,825258467	32,47	144,7578

Fonte: Memorial de cálculo de desempenho Masbáh Aerodesign (2013; 2014).

A segunda seção de coleta de dados utilizou-se o mesmo motor da primeira seção porém equipado com a hélice 13 x 6 APC. A Figura 27 representa os resultados obtidos com o teste.

Figura 27 - Dados de tração Motor 0.61 e hélice 13 x 6 APC.



Fonte: O autor (2016).

Da mesma forma que a seção de coleta de dados anterior, realizou-se um comparativo histórico dos dados, cujo resultado pode ser visto na Figura 28.

Figura 28 - Dados históricos de tração do motor 0.61 e da hélice 13 x 6 APC

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE HÉLICE - 2014								
	D(pol)	n(rpm)	v	Peixo (W)	roSJC	Td(N)	eF%	Pd
Hélice 13x6 - OS.61	13	10612	0		1,1504	<b>35,796</b>	0	0
	13	10612	5	783,95	1,1504	34,7164418	22,142	173,5822
	13	10612	10	770	1,1504	32,03585	41,605	320,3585
	13	10612	12	759,16	1,1504	30,57580163	48,331	366,9096
	13	10612	15	735,61	1,1504	27,99486457	57,085	419,923
	13	10612	20	672,89	1,1504	22,7033086	67,48	454,0662
	13	10612	25	574,48	1,1504	16,23158771	70,636	405,7897
	13	10612	30	433,4	1,1504	8,6324612	59,754	258,9738

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE HÉLICE - 2013								
	D(pol)	n(rpm)	v	Peixo (W)	roSJC	Td(N)	eF%	Pd
Hélice 13x6 - OS.61	13	10612	0		1,1504	<b>36,051</b>	0	0
	13	10612	5	783,95	1,1504	34,7164418	22,142	173,5822
	13	10612	10	770	1,1504	32,03585	41,605	320,3585
	13	10612	12	759,16	1,1504	30,57580163	48,331	366,9096
	13	10612	15	735,61	1,1504	27,99486457	57,085	419,923
	13	10612	20	672,89	1,1504	22,7033086	67,48	454,0662
	13	10612	25	574,48	1,1504	16,23158771	70,636	405,7897
	13	10612	30	433,4	1,1504	8,6324612	59,754	258,9738

**Fonte:** Memorial de cálculo de desempenho Masbáh Aerodesign (2013; 2014).

Pode-se observar em ambas seções de coleta de dados que houve incremento do valor de tração gerado pelo grupo motopropulsor, fato ocorrido, possivelmente, pela diminuição das variáveis espúrias atuantes quando comparado o equipamento desenvolvido no presente trabalho e a bancada anteriormente utilizada pela equipe Masbáh Aerodesign. Nota-se que, apesar dos componentes do motor utilizado para as seções de coleta de dados estar mais desgastado em comparação as medições feitas em 2013 e 2014, os valores médios providos do da nova bancada são superiores evidenciando a melhoria que este trabalho irá proporcionar para a equipe Masbáh Aerodesign e conseqüentemente para a FAHOR, elevando ainda mais o nível competitivo deste projeto extraclasse perante as demais faculdades e universidades do Brasil.

## CONCLUSÃO

Face ao que foi apresentado nas seções anteriores pode-se facilmente observar a importância do presente trabalho perante a necessidade indicada por acadêmicos integrantes da equipe Masbáh *Aerodesign*. Ao passo que a bancada está finalizada e operável, conclui-se que todos os objetivos propostos foram alcançados.

Os resultados obtidos tornaram-se viáveis através do planejamento pré-projeto claro e objetivo, no qual buscou-se informações sobre os pré-requisitos que o projeto deveria atender, bem como o desenvolvimento de uma relação de materiais e instrumentos de medição que seriam necessários para a concretização da bancada. Da mesma forma, realizou-se um estudo para definição da concepção a qual melhor se encaixaria com as necessidades e limitações do projeto, também visando a melhor forma de fabricar a bancada evitando possíveis dificuldades de manufatura.

A partir dos testes de validação do projeto evidenciou-se a eficácia da bancada, pelo fato dos valores médios de tração para determinados conjuntos motopropulsores ser superior aos coletados nos testes realizados pela equipe Masbáh *Aerodesign* nos anos de 2013 e 2014. Soma-se a este fato a possibilidade de os acadêmicos analisar uma série de dados adquiridos em um período de tempo definido, viabilizando a identificação de possíveis quedas de potência do motor, as quais podem prejudicar o circuito de voo da aeronave.

De modo a qualificar a operação da bancada, desenvolveu-se no APÊNDICE B um procedimento detalhado com a descrição da atividade e a ordem em que estas devem ser executadas.

Ao descrever estas observações, conclui-se que conceitos de engenharia aprendidos em classe são facilmente aplicados na prática. Pode-se citar ainda que os acadêmicos das engenharias da FAHOR poderão interagir com a bancada no sentido de conhecer instrumentos de medição, explorar linguagens de programação para interação entre *hardware* e *software*, além de adquirir conhecimento acerca do funcionamento e alguns parâmetros de motores de um pistão do tipo *glow*.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON JUNIOR., J. D. **Fundamentos de engenharia aeronáutica: introdução ao Voo**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015. 944 p.
- ARDUINO. **Arduino**. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 10 de maio de 2016.
- BECK, J. C. P. **Projeto, Construção e Análise de Célula de Carga de Placa e de Anel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983.
- BRAGA, A. e BRAGA, C. **Instrumentação Industrial: Notas de Aula**. Disponível em: <[http://www.cpdee.ufmg.br/~palhares/Instrumentacao\\_NotasAula.pdf](http://www.cpdee.ufmg.br/~palhares/Instrumentacao_NotasAula.pdf)>. Acesso em: 03 de abril de 2016.
- BRASILCHANNEL. **Dados Gerais: Horizontina – RS**. Disponível em: <[http://www.brasilchannel.com.br/municipios/mostrar\\_municipio.asp?nome=Horizontina&uf=RS](http://www.brasilchannel.com.br/municipios/mostrar_municipio.asp?nome=Horizontina&uf=RS)>. Acesso em: 08 de setembro de 2016.
- CAMARGO, A. P. **Desenvolvimento de um Medidor de Vazão Utilizando Célula de Carga**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Piracicaba: Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009.
- CARER, M; CARRARO, E. **Célula de Carga**. Artigo. Caxias do Sul, RS. 2010. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/46478581/Celulas-de-carga-Experimento>>. Acesso em: 10 de abril de 2016.
- MORESI, Eduardo. **Metodologia da Pesquisa**. Brasília, 2003, Universidade Católica De Brasília UCB, Pró-Reitoria de Pós-Graduação – PRPG Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu Em Gestão do Conhecimento E Tecnologia Da Informação. Disponível em: <[http://www.unisc.br/portal/upload/com\\_arquivo/metodologia\\_da\\_pesquisa.pdf](http://www.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/metodologia_da_pesquisa.pdf)>. Acesso em: 21 de maio de 2016.
- OS Engines. **Engine OS 0.55 AX**. Disponível em: <<http://www.osengines.com/engines-airplane/osmg0557/index.html>>. Acesso em: 03 de abril de 2016.
- PADILHA, R. S. **Desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento Eletrônico e de um Ambiente de Aferição para Motores Mono Cilíndricos de Pequeno Porte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- PINTO, M. C.; ELIA, M. F.; SAMPAIO, F. F. **Formação de professores em robótica educacional com Hardware Livre Arduino no contexto Um Computador por Aluno**. Artigo acadêmico (*Workshop* de Informática na Escola) – Núcleo de Computação Eletrônica. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
- POZZEBON, R. **A história da Aviação**. Disponível em: <<https://www.oficinadanet.com.br/post/14654-a-historia-do-aviao>>. Acesso em: 14 de março de 2016.
- REGGIANI, L. P.; MARCICANO, J. P. P. **Célula de Carga para Matriz de Hidroconformação**. Disponível em: <<http://www.poli.usp.br/pesquisapoli/publicacoescpq/producaoic2002/pdfs/pmrluc02.pdf>>. Acesso em: 30 de março de 2016.

RODRIGUES, J. C. **Aeromodelismo Teórico e Prático**. Versão Digital Comemorativa dos 40 Anos de Edição por José Manuel Padinha Colarejo, 2004. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/17000849/livro-aeromodelismo-teorico-e-pratico---jose-carlos-rodrigues/4>>. Acesso em: 25 de março de 2016.

RODRIGUES, L. D. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica com Aplicações ao Projeto SAE Aerodesign: Aerodinâmica e Desempenho**. 1. ed. São Paulo: Edição do Autor, 2014.

SAE BRASIL *AERODESIGN*. **Site da competição 2016**. Disponível em: <<http://portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/sae-brasil-aerodesign>>. Acesso em: 14 de março de 2016.

USINAINFO. **Módulo Conversor Amplificador HX711 24bit 2 canais para Sensor de Peso / Célula de Carga**. Disponível em: <[http://www.usinainfo.com.br/modulos-para-arduino/modulo-conversor-amplificador-hx711-24bit-2-canais-para-sensor-de-peso-celula-de-carga2818.html?search\\_query=HX711&results=2](http://www.usinainfo.com.br/modulos-para-arduino/modulo-conversor-amplificador-hx711-24bit-2-canais-para-sensor-de-peso-celula-de-carga2818.html?search_query=HX711&results=2)>. Acesso em: 10 de maio de 2016.

WEIGHTECH. **Célula de carga tipo S**. Disponível em: <<http://www.weightech.com.br/detalhes.asp?id=100449&n=BTS>>. Acesso em: 30 de maio de 2016.

WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA. *Anais Formação de professores em robótica educacional com Hardware Livre Arduino no contexto Um Computador por Aluno*. 18 ed., 2012, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

## APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE DE INTERAÇÃO ENTRA CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE



```
Carregar
gramas_novo_no_excel_03_09_2016

#include <Hx711.h>
Hx711 scale(A2, A3); // A2=dt e A3=sck

float potpin = 0; // variavel que define a porta do potenciometro.
int ROW = 0; // variavel que se refere as linhas do excel
int LABEL = 1;
int val = 0; // variavel que guarda o valor lido do potenciometro
void setup() {
  Serial.begin(9600); // inicialização da comunicação serial
  Serial.println("CLEARDATA"); // Reset da comunicação serial
  Serial.println("LABEL,Hora,Peso(g),Rotacao"); // Nomeia as colunas
}

void loop() {

  ROW++; // incrementa a linha do excel para que a leitura pule de linha em linha
  val = analogRead(potpin); // faz a leitura do potenciometro e guarda o valor em val.
  Serial.print("DATA,TIME,"); //inicia a impressão de dados, sempre iniciando
  Serial.print(scale.getGram(), 1);
  Serial.print(",");
  Serial.println(val);
  if (ROW > 100) //laço para limitar a quantidade de dados
  {
    ROW = 0;
    Serial.println("ROW,SET,2"); // alimentação das linhas com os dados sempre iniciando
  }
  delay(200); // espera 200 milisegundos
}
```

## APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DE OPERAÇÃO DA BANCADA

