

Universidade de Brasília – UnB
Projeto Integrador II

Projeto 2Row: Sistema de Monitoramento para Remo Indoor

Professores: Alex Reis, Guillermo Alvarez Bestard, Ricardo Matos Chaim,
Rhander Viana, Sebastien R. M. J. Rondineau

Gama, DF
2018



Guilherme Pontilho Ribeiro, Kleiton Nunes Silva, Pedro Jorge Soares Correa,
Gabriel de Araujo A. de Oliveira, Tainara da Silva Costa, Thayane de Oliveira
Vieira Figueiredo, Victor Miguel Cunha de Sousa, Jonathan Henrique Maia de
Moraes, Luan Guimarães Lacerda, Lucas Vasconcelos Mattioli, Luciana Alves
Fernandes, Paulo Henrique Gomes Machado, Vitor Meirelles Oliveira

Projeto 2Row: Sistema de Monitoramento para Remo Indoor

Orientador: Alex Reis, Guillermo Alvarez Bestard, Ricardo Matos Chaim,
Rhander Viana, Sebastien R. M. J. Rondineau

Gama, DF

2018

Sumário

Sumário	2	
1	Introdução	5
2	Problematização	8
3	Termo de Abertura do Projeto	10
3.1	Objetivo do Projeto	10
3.1.1	Definição do Produto	11
3.2	Características do Produto	12
3.2.1	Características de 2RBoat	12
3.2.1.1	2RB-Primary	14
3.2.1.2	2RB-Seat	14
3.2.1.3	2RB-Row	15
3.2.1.4	2RB-Case	16
3.2.2	Características de 2RPower	16
3.2.2.1	2RP-Generator	16
3.2.2.2	2RP-Resistance	17
3.2.2.3	2RP-Battery	18
3.2.3	Características de 2REletronic	19
3.2.3.1	Características do 2RE-Suit	19
3.2.3.2	2RE-Cardio - Subsistema Monitor de Frequência Cardíaca	19
3.2.3.3	2RE-IMU - Subsistema de Unidade de Medidas Iniciais	21
3.2.3.4	2RE-Volt - Subsistema Medidor de Tensão nas Cargas do Gerador	22
3.2.3.5	2RE-Relay - Subsistema Controlador dos Relés Ativadores das Cargas no Gerador	22
3.2.3.6	2RE-Kernel - Subsistema da Central de Processamento de Eletrônica	23
3.2.3.7	2RE-UI - Subsistema de Interface de Botões	25
3.2.4	Características de 2RSSystem	25
3.2.4.1	2RS-Controller - Subsistema de Controle	26
3.2.4.2	2RS-Receiver - Subsistema de Aquisição de Dados	27
3.2.4.3	2RS-Processer - Subsistema de Processamento	28
3.2.4.4	2RS-Viewer - Subsistema de Visualização de Performance	29
3.2.4.5	2RS-Transmitter - Subsistema Atuador	29
3.3	Critérios de Aceitação do Projeto	30
3.3.1	Critérios de Aceitação do 2RBoat	30
3.3.1.1	Critérios de Aceitação do 2RB-Primary	30
3.3.1.2	Critérios de Aceitação do 2RB-Seat	30
3.3.1.3	Critérios de Aceitação do 2RB-Row	30

3.3.1.4	Critérios de Aceitação do 2RB-Case	31
3.3.2	Critérios de Aceitação do 2RPower	31
3.3.2.1	Critérios de Aceitação do 2RP-Generator	31
3.3.2.2	Critérios de Aceitação do 2RP-Resistance	31
3.3.2.3	Critérios de Aceitação do 2RP-Battery	31
3.3.3	Critérios de Aceitação do 2RElectronic	31
3.3.3.1	Critérios de Aceitação do 2RE-Suit	31
3.3.3.2	Critérios de Aceitação do 2RE-Cardio	32
3.3.3.3	Critérios de Aceitação do 2RE-IMU	32
3.3.3.4	Critérios de Aceitação do 2RE-Volt	32
3.3.3.5	Critérios de Aceitação do 2RE-Relay	32
3.3.3.6	Critérios de Aceitação do 2RE-Kernel	32
3.3.3.7	Critérios de Aceitação do 2RE-UI	32
3.3.4	Critérios de Aceitação do 2RSystem	32
3.3.4.1	Critérios de Aceitação do 2RS-Controller	33
3.3.4.2	Critérios de Aceitação do 2RS-Receiver	33
3.3.4.3	Critérios de Aceitação do 2RS-Processer	33
3.3.4.4	Critérios de Aceitação do 2RS-Viewer	34
3.3.4.5	Critérios de Aceitação do 2RS-Transmitter	34
3.4	<i>Stakeholders</i>	34
3.5	Premissas do Projeto	35
3.6	Restrições do Projeto	36
3.7	Análise de Risco	37
3.8	Custos do Projeto	39
3.8.1	Custos da Estrutura	39
3.8.2	Custos de Eletrônica	39
3.8.3	Custos de <i>Software</i>	40
3.8.4	Custos de Energia	40
3.8.5	Custos Totais	41
4	Estrutura Analítica do Projeto	41
5	Planos de Gerenciamento do Projeto	41
5.1	Plano de gerenciamento de tempo	42
5.2	Plano de Gerenciamento de Custos	43
5.2.1	Procedimento de Gerenciamento de Custos	44
5.3	Plano de Gerenciamento de Pessoas	44
5.3.1	Papéis, Responsabilidades & Competências	44
5.3.2	Características da Aquisição de Pessoas	46
5.3.3	Ferramentas de Comunicação	46
5.4	Plano de Gerenciamento de Riscos	47

6	Soluções e Testes	48
6.1	2RBoat	48
6.1.1	Simulações Estruturais	48
6.2	2RPower	68
6.2.1	Freio Eletromagnético	69
6.2.2	Eletroímã	72
6.2.3	Fonte de Corrente Constante	77
6.2.4	Disco	77
6.3	2RElectronic	78
6.3.1	3.3.1 2RE-Suit	79
6.3.1.1	2RE-Cardio	79
6.3.2	2RE-IMU:	80
6.3.2.1	Calibração	82
6.3.2.2	Protocolo de comunicação I2C	86
6.3.2.3	Leitura dos dados das IMUs	86
6.3.3	2RE-Kernel	87
6.3.3.1	MQTT	87
6.3.3.2	Publish/subscribe	88
6.3.3.3	Aplicação no projeto	88
6.3.4	2RE - Relay	89
6.3.5	2RE-UI	91
6.3.6	2RE-Watt	93
6.3.6.1	Código para leitura dos valores de força	104
6.4	2RSys	105
6.4.1	Arquitetura	105
6.4.2	Módulos	105
6.4.2.1	2RS-Controller	105
6.4.2.2	2RS-Processer	105
6.4.2.3	2RS-Viewer	106
6.4.2.4	2RS-Processer	108
7	Plano de Integração	109
7.1	Integração – 2RBoat/2RPower	109
7.2	Integração – 2RBoat/2RElectronic	110
7.3	Integração - 2RElectronic/2RPower	110
7.4	Integração – 2RElectronic/2RSys	115
8	Considerações Finais	115
Referências		115

1 Introdução

Relatos e informações sobre a origem do remo são pouco precisos. Sabemos que antigos escritos gregos, fenícios e romanos já indicavam a prática do que hoje seria considerado um importante esporte olímpico. Existem indícios sobre eventos de regatas primitivas, que foram provavelmente organizadas na antiguidade por barqueiros egípcios do Nilo. Não se sabe ao certo sobre as honrarias vinculadas à essas competições, supostamente os participantes remavam pela oportunidade de fazer parte das nobres procissões funerárias dos faraós.

O remo atravessou centenas de anos sendo praticado das mais diversas formas em várias sociedades e contextos. Foi só no final do século XVIII que os ingleses iniciaram o processo de regulamentação das regatas, e com isso o remo passou a evoluir gradualmente rumo a sua forma moderna. Com definição de regras, em 1775 foram disputadas as primeiras competições oficiais do esporte, realizadas no rio Tâmisa, na Inglaterra.

Em pouco tempo essa prática esportiva se popularizou em todo o mundo. As associações e clubes foram organizados de maneira que, em 1900, o remo estreasse nas Olimpíadas de Paris. Iniciou assim, um ininterrupto processo de modernização do esporte para permitir melhorias significativas no desempenho dos esportistas. As embarcações foram aperfeiçoadas e novas regras e técnicas foram criadas. Em consonância com os contemporâneos ecossistemas esportivos, as tecnologias envolvidas passaram a ser um fator decisivo para competitividade dos atletas.

O remo *indoor*, também conhecido como remo ergométrico (Figura 1), surgiu como um complemento para quem já praticava a modalidade. É nesse estilo de simulador que os atletas faziam o aquecimento antes de ir para a água ou reforçavam seu condicionamento físico. A atividade acabou ganhando contornos importantes para os resultados obtidos nas provas reais. Novos métodos de treinamento cada vez mais sofisticados utilizam esses mecanismos *indoor* para extrair informações sobre a performance dos atletas que podem ser enviadas e analisadas pelos treinadores e especialistas.



Figure 1 – Remo ergométrico¹

Na maioria dos lugares, essa sistematização do treinamento ainda possui diversas etapas burocráticas e manuais que dependem de profissionais, o que encarece os processos e assim inviabiliza tanto o aperfeiçoamento de atletas que já praticam o esporte quanto a iniciação de pessoas interessadas. Neste contexto, diversos equipamentos de baixo custo são disponibilizados pela indústria. Esses produtos nem sempre respondem a uma experiência de treinamento efetiva e envolvem poucas tecnologias de auxílio de treinamento ao esportista.

Os mais prejudicados são os praticantes iniciantes, que encontram uma grande barreira para o aprendizado da técnica correta no movimentos das remadas. Essa técnica consiste em uma sequência de movimentos que, se realizados da maneira correta, potencializam a performance do atleta. Essa potência é obtida pela combinação do movimento das pernas, costas e braços do remador. Para um melhor aproveitamento da energia em cada ciclo de remadas deve-se organizar os movimentos em uma série de etapas bem definidas. Iniciando com o remador com as pernas estendidas e as pás do remo imersas na água perpendicularmente à superfície, temos as seguintes fases:

1. **Afastamento (release)**: movimento rápido da mão do remador para baixo que remove o remo da água;
2. **Molinete (feathering)**: movimento de virar a pá de uma posição perpendicular para uma posição paralela à água;
3. **Recuperação (recovery)**: movimento realizado desde afastamento até o ponto em que o remo está prestes a entrar na água;

¹ Fonte: <http://www.sportsister.com/2013/10/24/row-your-way-to-fitness-2/>

4. **Preparação** (*squaring*): contrário do movimento de molinete, é um giro gradual das mãos dentro da recuperação de forma que as pás fiquem novamente perpendiculares à superfície da água;
5. **Pegada** (*catch*): movimento dos braços para cima que insere as pás na água;
6. **Empurrada** (*drive*): movimento corporal em que o remador exerce força no remo, primeiro através da empurrada das pernas, seguidas pela declinação do tronco e, finalmente, pela puxada dos braços;
7. **Final** (*finish*): parte final do movimento de empurrada, em que a força é aplicada, principalmente, pela declinação do tronco e puxada dos braços;
8. **Inclinação** (*layback*): movimento de inclinação do tronco na conclusão da fase final. Após a inclinação vem a liberação da força e o ciclo da remada recomeça.

Este movimento na água é simplificado na maioria dos mecanismos *indoor*, já que estes não possuem remos. Observe a Figura 2. No primeiro movimento, as pernas se esticam enquanto os braços permanecem estendidos. No segundo, os braços começam a puxar as alças enquanto o tronco se inclina para trás. Note que as pernas ainda não estarão completamente estendidas no início do segundo movimento. No terceiro, o atleta puxa as alças até que alcancem seu abdômen. Então, se inicia o retorno, para o qual há um processo de inverso. Os braços se alongam enquanto as costas continuam inclinadas para trás; o atleta inclina o tronco para frente e então flexiona as pernas até que as panturrilhas fiquem em posição vertical.

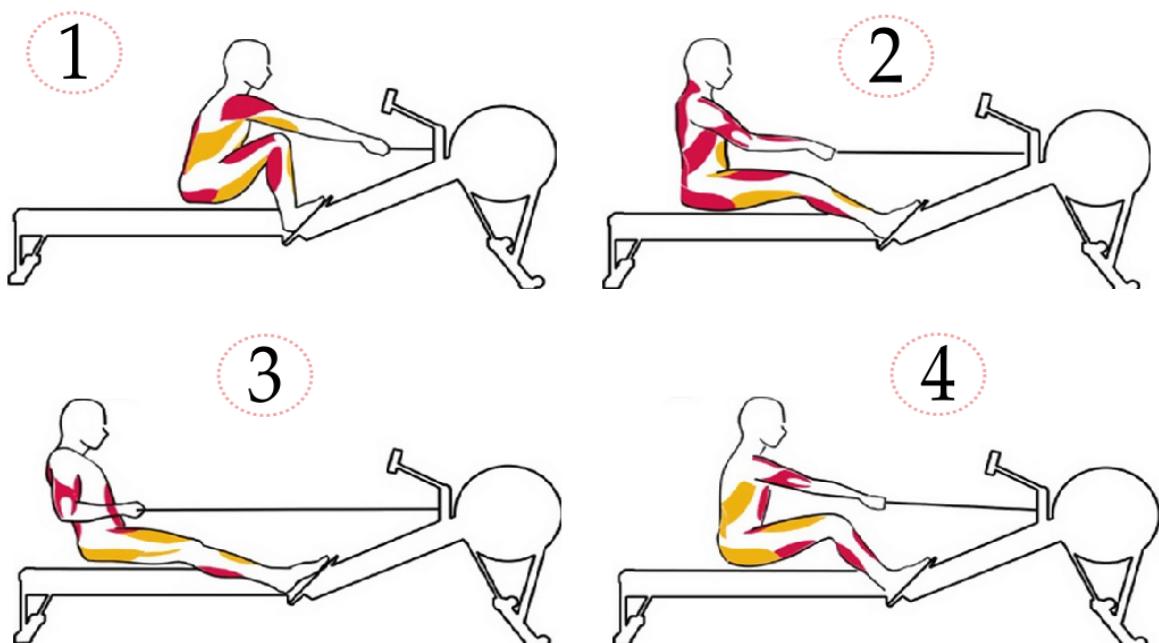


Figure 2 – Movimentos do Remo²

² Fonte: <https://fitseven.com.br/vida/artigos-esportivos/maquina-de-remo-tecnica>

O aprendizado desse processo é lento e necessita auxílio. É difícil dizer sem a chancela de um especialista se determinado praticante está executando os movimentos adequadamente. Estatísticas mais precisas sobre os treinos, como uma análise cinemática ou cinética, são realidade apenas em contextos específicos para atletas de alta performance, e geralmente fornecem um conjunto de informações que ainda precisam ser interpretadas por especialistas. Mecanismos dessa classe, repensados para uma abordagem de contato inicial com o esporte, podem favorecer uma menor curva de aprendizado, com segurança e qualidade, de forma que o esporte ganhe a aderência de novos atletas.

O trabalho a seguir apresenta o progresso durante o processo de desenvolvimento da construção do remo indoor, 2Row, desde a apresentação do primeiro ponto de controle. A finalidade desta etapa é a projeção de soluções e testes, através de modelagens e cálculos matemáticos, testes computacionais e simulações, como também o desenvolvimento dos componentes propostos para cada subsistema, a fim de avaliar e validar resultados. É importante frisar que mesmo a etapa sendo para construção dos subsistemas isolados, os subsistemas estiveram se comunicando a todo momento, para que houvesse alinhamento de toda a equipe. Nesta etapa do trabalho, também inserimos o plano de integração dos subsistemas, parte fundamental para que o protótipo funcione da melhor forma possível. Assim, esse ponto de controle enfatiza as soluções adotadas e os testes para conclusão das mesmas e no próximo ponto de controle, serão integrados todos os subsistemas, finalizando o projeto.

2 Problematização

As pesquisas científicas relacionadas aos parâmetros biomecânicos são escassas quando se trata de esportes náuticos no Brasil (Souza 2014). Isso não infere apenas em atletas de alto rendimento, mas também, em iniciantes no esporte. Os parâmetros que implicam no rendimento e desempenho para esse tipo de esporte são a potência, condições cardíacas e a postura relacionada aos movimentos do atleta/usuário.

Um dos maiores problemas relacionados a esse esporte é a postura do praticante. Existe uma técnica de movimentos ciclícicos, em que cada um determina uma remada e esses movimentos requerem uma postura adequada. Atualmente, a postura é analisada através da observação em vídeo, possuindo total dependência de um instrutor. As modificações prospostas nesse trabalho apresenta como dificuldade inicial analisar o movimento corporal realizado pelo iniciante, ou seja, determinar os ângulos normalizados de uma das pernas e consequentemente a calibração dos sensores biomecânicos.

Outro ponto importante é a escassez de mecanismos para integração do sensoreamento biomecânico acoplado ao sistema. Os estudos científicos de (Borges 2013) apresenta a análise dos parâmetros de potência, postura, ciclo cardíacos e seus comportamentos

aplicados separadamente, o que dificulta exergar o desempenho do iniciante como um todo.

Além disso, diante do cenário da construção de um aparelho de remo focado em treinamento de atletas iniciantes, é necessário que haja a simulação da força exigida na remada que ocorre no ambiente natural do esporte.

Segundo o funcionamento de um dinamômetro eletrônico, pode-se empregar uma máquina elétrica, operando no modo gerador, como um eficiente dispositivo de torque ajustável, se houver um meio de ajustar a carga. Porém, essa tecnologia empregada a realidade do projeto, carece de aplicações práticas.

Desta forma, a complexidade se encontra em gerar níveis de dificuldade para o atleta durante o treinamento, que podem ser controlados eletronicamente e ainda, aproveitar a energia mecânica gerada durante o ciclo de remada e armazená-la para uma posterior alimentação do próprio sistema.

Outro problema existente na atualidade no treinamento de atletas iniciantes de remo é conseguir um aparelho de treinamento que possua uma estrutura capaz de comportar novas tecnologias, que ofereça dados que informem ao atleta como deixar o seu treinamento mais eficiente, e assim, ajudá-lo a melhorar o seu desempenho. Atrelado a essa dificuldade também se tem o fato de que os aparelhos mais tecnológicos existentes no mercado possuem preços elevados, tornando a aquisição de um aparelho como esse inviável para um grande grupo de atletas.

Outra dificuldade é que os aparelhos encontrados no mercado não possuem a sua resistência mecânica ocasionada por um gerador, limitando a capacidade de controlar a dificuldade da remada.

Estruturalmente existe o desafio de construir um aparelho que seja resistente, seguro e que atenda as necessidades de um atleta de remo, podendo competir no mercado não apenas no quesito de preço mas também ser um produto que tenha um *design* competitivo.

Outro ponto importante a ser analisado é que os materiais utilizados na construção do aparelho seja de fácil acesso no mercado e uma montagem simplificada tudo isso levando em consideração características estruturais satisfatórias.

Há uma dificuldade teórica no contexto dos algoritmos para aferição da qualidade de performance através da comparação de modelos simulados em *software*. Essa dificuldade se dá principalmente sobre o grande conjunto de variáveis que influenciam modelos extraídos de situações reais. Estes são extremamente dependentes do contexto, do equipamento, do ambiente, do atleta, etc. É necessário um grande esforço de desenvolvimento para garantir uma comparação a nível de *software* que leve em consideração várias das intempéries que podem afetar um treinamento assistido por computador.

Existe também uma complexidade elevada para construção de uma arquitetura de *software* que permita o processamento, a análise, e a exibição das informações coletadas em tempo real. Garantir o mínimo possível de atraso entre a coleta, a transmissão, o processamento, a análise e a exibição, são fatores que juntos determinam o sucesso de uma ferramenta capaz de interpretar a performance do atleta no mundo real e apresentá-la em um tempo suficiente para que um ser humano possa reagir às informações exibidas.

Nesse contexto, contabilizamos poucas ferramentas de código aberto que fornecem uma API para construção e análise de modelos computacionais a partir de um conjunto de dados cinemáticos das juntas do corpo humano. Essas ferramentas, como o OpenSim da Universidade de Stanford, estão em fase de desenvolvimento e necessitam de um estudo aprofundado para definir se pode ser aplicada ou não em uma solução de *software*.

3 Termo de Abertura do Projeto

O presente termo define os principais requisitos que satisfazem as expectativas para o projeto e seu respectivo contexto. A aceitação de tais definições formaliza o início do projeto.

O termo é composto pelas seguintes seções:

1. **Objetivo do Projeto:** Descreve o objetivo do projeto e o produto que será desenvolvido para satisfazer tal objetivo;
2. **Características do Produto:** Descreve as principais características e funcionalidades de cada sistema/módulo do produto;
3. **Critérios de Aceitação:** Descreve os principais requisitos que cada produto deve satisfazer de modo a garantir a concordância com os resultados esperados durante sua validação;
4. **Stakeholders:** Descreve os principais envolvidos no projeto;
5. **Premissas:** Descreve os principais fatores do projeto que são garantidos como verdadeiros;
6. **Restrições:** Descreve os principais limites definidos para o projeto;
7. **Riscos:** Descreve os principais riscos identificados e suas respectivas ações estratégicas;
8. **Custos:** Descreve os principais custos identificados para o projeto.

3.1 Objetivo do Projeto

O objetivo do projeto é desenvolver um sistema integrado de treinamento para o esporte do remo, focado para atletas iniciantes do esporte. O sistema, de nome **2Row** (pronuncia-se “*to row*”, do inglês: para remar), é composto por um aparelho de remo

indoor, uma vestimenta de sensores cinemáticos e de um simulador virtual cujo papel é disponibilizar o progresso do usuário e compará-lo com modelos ideais, proporcionando, assim, a possibilidade de otimização do treinamento.

3.1.1 Definição do Produto

O aparelho de remo *indoor*, de nome **2RBoat**, é uma máquina de alta durabilidade e que oferece conforto e segurança para o treinamento. A estrutura é composta por 4 subsistemas mecânicos:

1. **2RB-Primary**: A estrutura física primária do equipamento, composta pela trave que contem os demais subsistemas de todas as áreas;
2. **2RB-Seat**: A estrutura de acomodação do usuário. É conectada ao 2RB-Primary por um trilho que permite movimento;
3. **2RB-Row**: Formada por um conjunto de polias e correias que transmitem o movimento da remada e do sistema de restituição feito por cordas elásticas;
4. **2RB-Case**: Estrutura que abriga os componentes eletrônicos responsáveis pelo controle dos sistemas embarcados.

É acoplado à estrutura do 2RBoat o sistema **2RPower**, composto pelos seguintes subsistemas:

1. **2RP-Generator**: O gerador elétrico que fornece resistência mecânica à remada do atleta;
2. **2RP-Resistance**: O banco de resistências que auxilia no controle de carga do gerador, que por sua vez atuará no sistema através do conjugado elétrico;
3. **2RP-Battery**: A bateria que é responsável por armazenar a energia elétrica proveniente dos ciclos de remada, transformada pelo gerador. O 2RP-Battery também tem a função de alimentar, ou seja, de fornecer energia para o 2Row.

Outro subproduto do 2Row é o sistema eletrônico embarcado de nome **2RElectronic**, este responsável pela instrumentação biomecânica e biomédica, seus condicionamentos e controle do acionamento do subsistema 2RP-Resistance. Seus subsistemas são:

1. **2RE-Suit**: É descrito como a vestimenta de sensores cinemáticos, onde estarão contidos dois sensores IMUs e o sensor de pulso cardíacos. Além de proteger os sensores, traz conforto ao usuário e possibilita que este continue realizando seus movimentos para que haja a coleta de forma segura;
2. **2RE-Cardio**: Subcomponente do 2RE-Suit, coleta os dados de batimentos cardíacos para calcular a frequência cardíaca e realiza o processamento desse sinal e o possível condicionamento, esse último, caso seja necessário;

3. **2RE-IMU:** Subcomponente do 2RE-Suit, está associado à instrumentação biomecânica, que comporta calibração, coleta de dados, condicionamento e processamento do sinal para a obtenção do ângulo relacionado ao movimento do membro inferior do atleta;
4. **2RE-Volt:** Afere a tensão no banco de resistores do subsistema 2RP-Resistance e através de um modelo matemático calcula a potência condicionada pelo rendimento do atleta;
5. **2RE-Relay:** Recebe as informações do 2RS-Transmitter sobre a necessidade de mudança de nível de carga de dificuldade, com essa informação o microcontrolador responsável irá acionar os relés para ativar/desativar a carga de resistência;
6. **2RE-Kernel:** É o núcleo de todo o sistema embarcado. A atuação dos microcontroladores e microcomputador dar-se-ão nesse subsistema, assim como a integração entre 2RE-Suit e 2RS-Receiver, para que haja a transmissão de dados;
7. **2RE-UI:** O usuário ao apertar botões físicos determinam o nível de dificuldade da carga, e esse subsistema o remete ao subsistema 2RS-Transmitter. Essa aplicação é submetida a um tratamento de *debounce* dos botões, para prevenir possíveis falhas de leitura.

Por fim, um sistema de *software* de nome **2RSSystem** é um subproduto integrado ao 2Row responsável pela inovação do simulador virtual e pelo controle do sistema de carga. Seus subsistemas são:

1. **2RS-Receiver:** Dessaializa as informações recebidas do 2RE-Kernel, as converte em modelo de dados do sistema e as transmite para a controladora (2RS-Controller);
2. **2RS-Controller:** Recebe informações dos outros subsistemas e as direciona para o subsistema responsável por lidar com aquele tipo de informação;
3. **2RS-Processor:** Recebe os dados dos sensores cinéticos e aplica algoritmos matemáticos para definição da performance do atleta, retornando tais resultados para a controladora (2RS-Controller);
4. **2RS-Transmitter:** Recebe o fator de mudança de carga de dificuldade, serializa-o e transmite para o 2RE-Kernel;
5. **2RS-Viewer:** Renderiza as informações de performance do atleta, o simulador de atividade ideal e o estado da carga de dificuldade, transmitindo a renderização para a interface de visualização (monitor).

3.2 Características do Produto

3.2.1 Características de 2RBoat

2RBoat é uma estrutura de remo *indoor* composta por:

- Um cavalete;
- Um trilho no cavalete para a movimentação suave do assento;
- Um assento ergonômico;
- Uma base ajustável para os pés do atleta;
- Uma corda de alta resistência;
- Suportes para os sistemas;
- Cabos de transmissão de força.

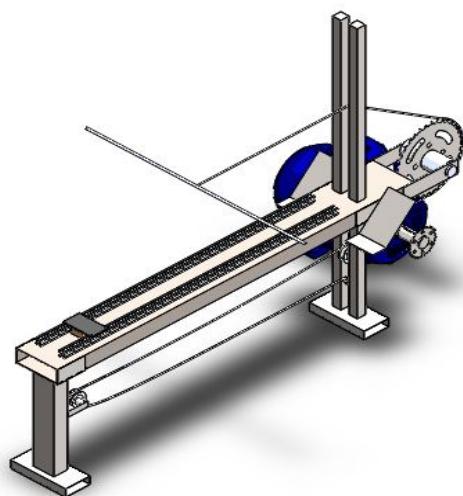


Figure 3 – Estrutura do 2RBoat

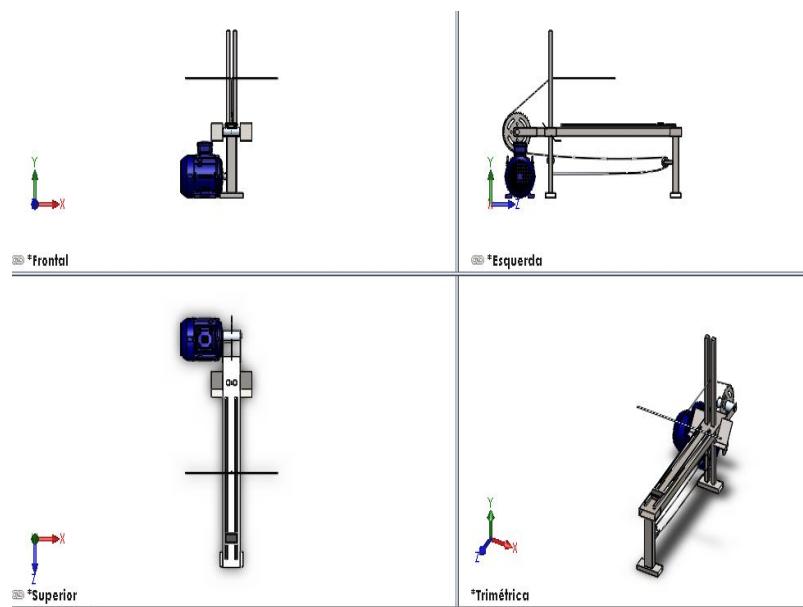


Figure 4 – Vistas Isométricas do 2RBoat

3.2.1.1 2RB-Primary

A estrutura física primária do equipamento composta pela trave que contem os demais subsistemas. O perfil dessa trave, que é a maior parte dos esforços da estrutura, está representado na Figura 5.

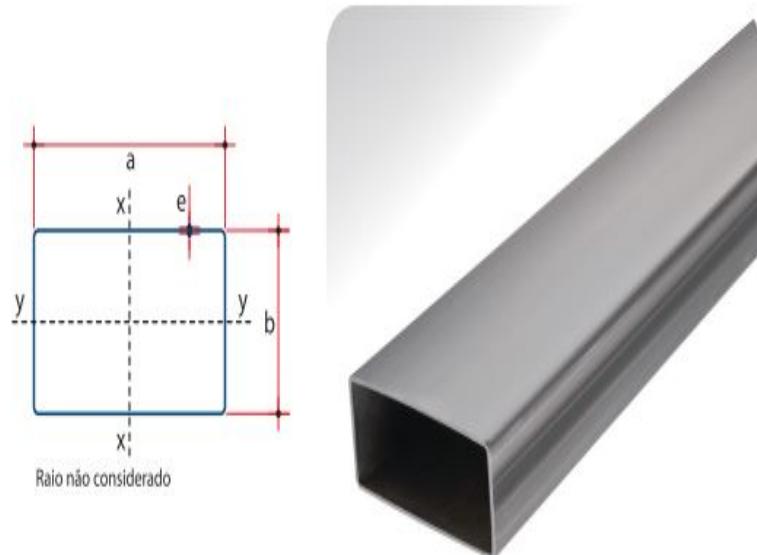


Figure 5 – Perfil do 2RB-Primary

3.2.1.2 2RB-Seat

A estrutura de acomodação do usuário, é ligada a estrutura primária por um trilho que permite movimento. A Figura 6 descreve o perfil que será utilizado no trilho para receber o banco.

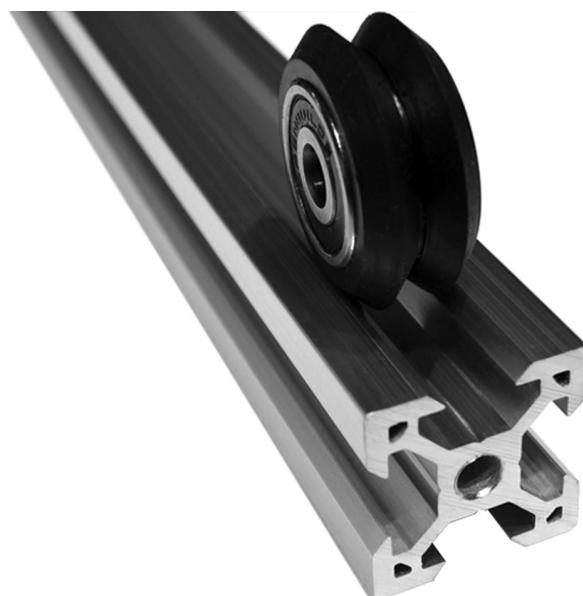


Figure 6 – Perfil do 2RB-Seat

3.2.1.3 2RB-Row

Formada por um conjunto de polias e correias que transmitem o movimento da remada e do sistema de restituição feito por cordas elásticas. A Figura 7 ilustra o que tem no mercado no que tange sistemas de restituição. A Figura 8 descreve o outro componente que será utilizado nesse sistema.



Figure 7 – Conjunto para transmissão de força³



Figure 8 – Cordas elásticas

³ Fonte: <http://www.riffel.com.br/kit-relacao-transmissao-suzuki-gsr-150i-13-42z-x-15z-c-corrente-428hx-116l-premium/p>

3.2.1.4 2RB-Case

Estrutura que abriga os componentes eletrônicos responsáveis pelo controle dos sistemas embarcados.

3.2.2 Características de 2RPower

O sistema planejado para gerar uma carga variável para a remada do atleta será baseado em um Dinamômetro Eletrônico.

Quando o gerador opera sem carga (resistência), haverá uma tensão induzida, mas nenhuma corrente. Ao inserirmos uma carga, uma corrente passará a circular pelas bobinas do gerador e pela carga. Com isso, o gerador deve gerar energia para alimentar a carga. Quanto mais corrente exigida, mais força será necessária para girar o eixo do gerador.

Partindo desse princípio, o movimento que simula a remada do atleta irá puxar um cabo que será conectado a um gerador, que por sua vez irá gerar uma potência que será dissipada no banco de resistores. O banco de resistores será útil para regular a corrente e consequentemente a força necessária para que o atleta realize o exercício.

O controlador de carga que irá carregar a bateria e alimentar o sistema será acoplado em paralelo com o módulo de resistores.

3.2.2.1 2RP-Generator

Os critérios considerados para escolher os geradores foram:

- Preço;
- Facilidade de acesso;
- Necessidade de poucas adaptações;
- Geração de energia em baixas rotações.

Considerando esses critério, dois sistemas foram selecionados como soluções para a geração de energia: o alternador automotivo (Figura 9) e um motor de esteira ergométrica (Figura 10).



Figure 9 – Alternador de Carro



Figure 10 – Motor de Esteira Ergométrica

O motor de esteira pode ser usado no modo gerador, e dentre os critérios de seleção ele foi o mais viável economicamente e tecnicamente. Dessa forma ele é o mais indicado para confecção do sistema.

3.2.2.2 2RP-Resistance

Sabendo a potência máxima possível que pode ser obtida com a remada do atleta, poderemos dimensionar a potência que os resistores e os relés irão ter que suportar.

O sistema será composto por:

- 3 relés que irão controlar os níveis de resistência
- 3 resistores que irão controlar a corrente do gerador

Usaremos relés de caminhão (80A) ou de carro (40A). Estamos considerando usar resistores de chuveiro elétrico ou de fornos elétricos. A determinação da corrente suportada pelos relés e da potência suportada pelos resistores dependerá da determinação da potência da remada do atleta. Usaremos uma margem de segurança de 100% para dimensionar os resistores e relés.

Os níveis do exercício serão acionado pelo 2RElectronic de acordo com a figura Figura 11.

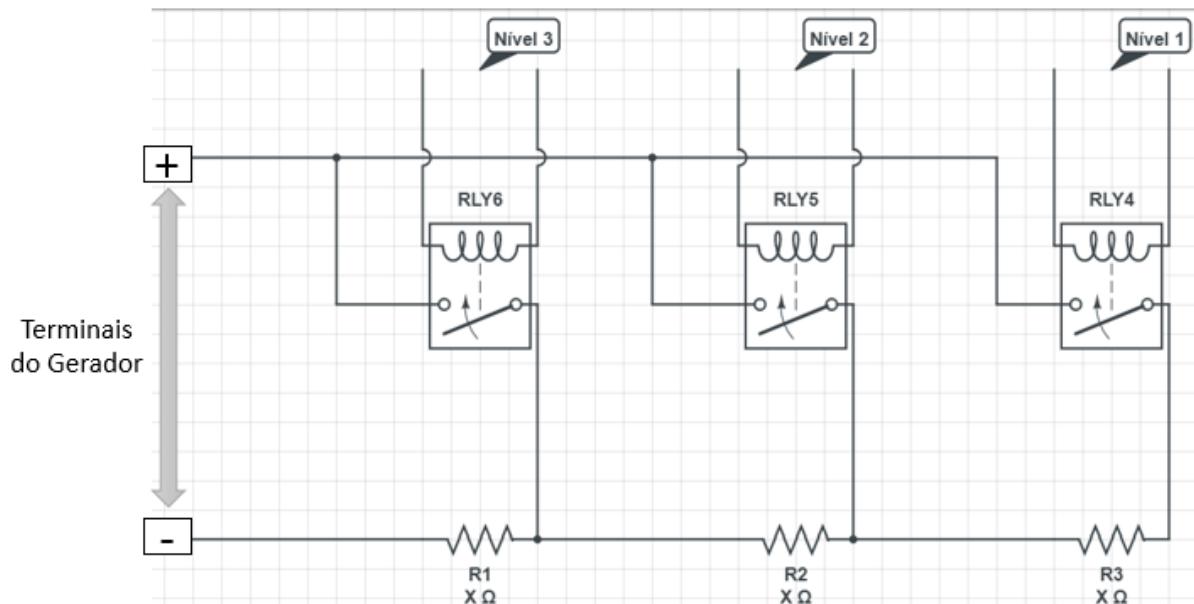


Figure 11 – Circuito do banco de resistores

3.2.2.3 2RP-Battery

O armazenamento de energia será realizado por meio da utilização de uma bateria, o qual será feito por um controlador de carga acoplado em paralelo com o módulo de resistores. Dessa forma, o sistema de armazenamento será capaz de alimentar o sistema eletrônico aproveitando a energia gerada pela movimentação do atleta durante o ciclo de remada.

3.2.3 Características de 2REletronic

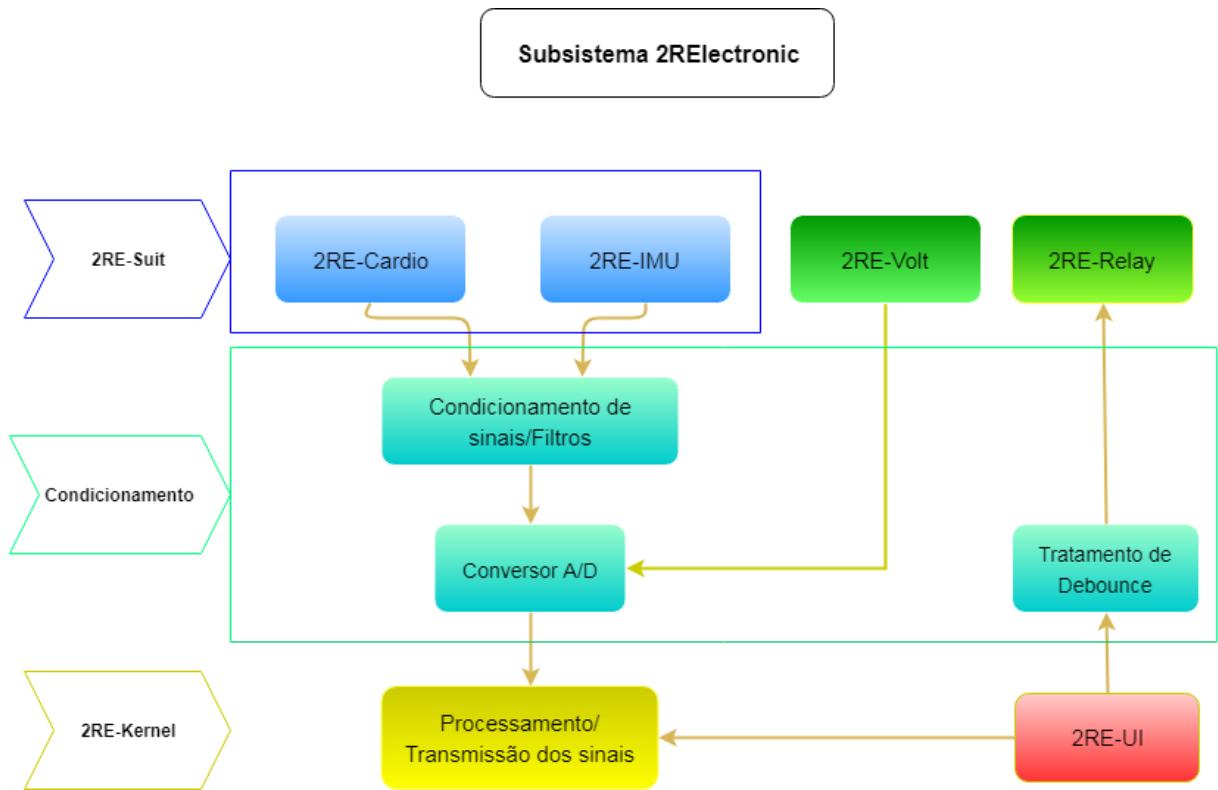


Figure 12 – Diagrama_Eletrônica

3.2.3.1 Características do 2RE-Suit

O 2RE-Suit é um subproduto de eletrônica e sua aplicação se baseia em medições de posição das pernas através do 2RE-IMU e do 2RE-CARDIO, respectivamente sendo os produtos de **Subsistema de unidade de medidas iniciais** e **Subsistema monitor de frequência cardíaca**.

3.2.3.2 2RE-Cardio - Subsistema Monitor de Frequência Cardíaca

É o subsistema responsável pela aquisição dos dados de frequência cardíaca do atleta que está utilizando o aparelho de remo.



Figure 13 – Sensor_Cardiaco⁴

Suas principais características são:

- **Característica 2RE-Cardio-1:** É composto pelo sensor de frequência cardíaca 4MD69 e por um microcontrolador;
- **Característica 2RE-Cardio-2:** Pode necessitar de condicionamento de sinal;
- **Característica 2RE-Cardio-3:** O sensor utilizado apresenta baixo consumo de energia (cerca de 4 mA) e tensão de operação de 3 a 5 V;
- **Característica 2RE-Cardio-4:** A transmissão dos dados pode ser feita via cabos ou *wi-fi*;
- **Característica 2RE-Cardio-5:** Tem comunicação com o 2RE-Kernel.

Suas principais funcionalidades são:

- **Feature 2RE-Cardio-1:** Aquisição dos sinais cardíacos do usuário do remo;
- **Feature 2RE-Cardio-2:** Condicionamento do sinal para tratamento de ruídos;
- **Feature 2RE-Cardio-3:** Transmissão do sinal para o subsistema 2RE-Kernel.

O MSP 430, será um dos microcontroladores utilizados, isso porque comporta um conversor analógico/digital de 10 bits, além de possuir baixo consumo de corrente causado, devido a forma de trabalho da CPU, da ordem de $0,1\mu\text{A}$. A tensão de operação é baixa, o permite que opere de 1,8V a 3,6V. Esse microcontrolador é utilizado para desenvolver atividades complexas tendo em vista as instruções objetivas em um período de tempo relativamente pequeno. Ele utiliza um barramento de 16 bits, o endereçamento é permitido

⁴ Fonte:<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-frequencia-cardiaca/>

para qualquer operação o que facilita o processo de compilação. Os registrados usados para diversas atividades vão de R4 a R15.

O MSP apresenta um sistema de clock, sendo o Timer_A o mais completo e mais usado.

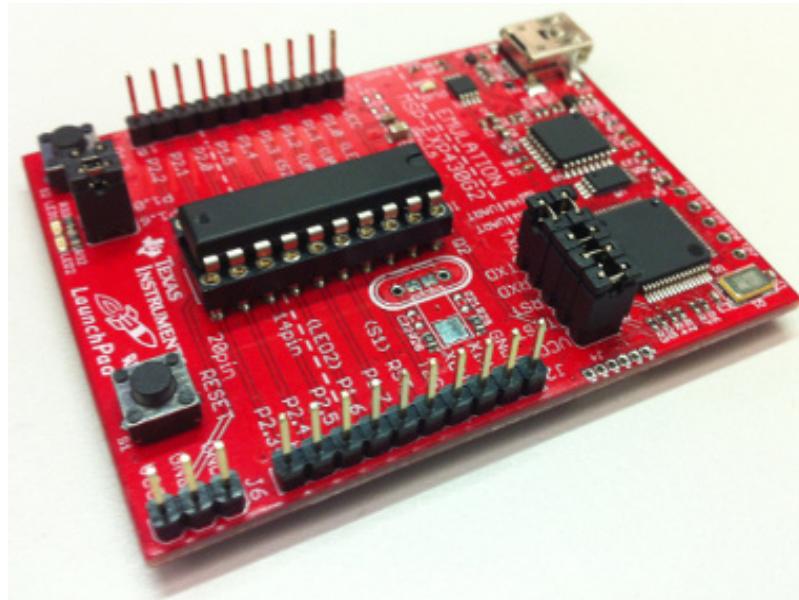


Figure 14 – MSP430⁵

3.2.3.3 2RE-IMU - Subsistema de Unidade de Medidas Inerciais

É o subsistema responsável por adquirir medidas por meio dos IMU's alocados nas pernas do atleta para saber a posição exata do movimento e poder comparar com modelos padrões para ajustar a execução da remada.

Suas principais características são:

- **Característica 2RE-IMU-1:** Composto por sensores de unidades de medida inerciais MPU-5091 e um microcontrolador;
- **Característica 2RE-IMU-2:** Pode ser necessário condicionar o sinal;
- **Característica 2RE-IMU-3:** Comunica com o 2RE-Kernel;
- **Característica 2RE-IMU-4:** Transmissão dos sinais é feita com cabos;
- **Característica 2RE-IMU-5:** Alocado por meio de elásticos com velcro em pontos da coxa e panturrilha.

Suas principais funcionalidades são:

⁵ Fonte: <https://www.embarcados.com.br/msp430-com-iar/>

- **Feature 2RE-IMU-1:** Sensor capaz de medir por meio do acelerômetro, magnetômetro e giroscópio a posição e ângulo em que a parte monitorada da perna está;
- **Feature 2RE-IMU-2:** Medição do ângulo na perna posterior ao joelho;
- **Feature 2RE-IMU-3:** Transmissão dos dados para o 2RE-Kernel;
- **Feature 2RE-IMU-4:** Cada ciclo de remada possui uma postura adequada, para iniciantes no remo é importante que as devidas correções nesse quesito sejam realizadas para que o rendimento seja garantido.

3.2.3.4 2RE-Volt - Subsistema Medidor de Tensão nas Cargas do Gerador

Subsistema responsável por obter a tensão nas cargas do gerador e transmitir a informação para o 2RE-Kernel para obtenção da potência elétrica e tratamento para obtenção do valor de potência mecânica realizada durante o ciclo de remada.

Suas principais características são:

- **Característica 2RE-Volt-1:** Composto por um conversor analógico-digital, um circuito e um microcontrolador;
- **Característica 2RE-Volt-2:** Comunica com o 2RE-Kernel;
- **Característica 2RE-Volt-3:** Mínima interferência no valor das cargas presentes no gerador;
- **Característica 2RE-Volt-4:** Resolução da conversão binária feita conforme a necessidade de exatidão.

Suas principais funcionalidades são:

- **Feature 2RE-Volt-1:** Quando o 2RP-Generator é ativado, a medida da tensão nas cargas começa a ser realizada e ocorre a conversão para binário;
- **Feature 2RE-Volt-2:** A transmissão para o 2RE-Kernel é feita por meio de cabos;

3.2.3.5 2RE-Relay - Subsistema Controlador dos Relés Ativadores das Cargas no Gerador

Subsistema que controla, a partir da escolha realizada pelo 2RE-UI, os relés chaveados nas resistências dos geradores para aumentar e diminuir o esforço a ser realizado pelo atleta durante o movimento de remo.

Suas principais características são:

- **Característica 2RE-Relay-1:** Composto por um circuito de conversão de sinal analógico para digital e um microcontrolador;

- **Característica 2RE-Relay-2:** Utiliza componentes eletrônicos para o funcionamento;
- **Característica 2RE-Relay-3:** Transmissão por meio de fios;
- **Característica 2RE-Relay-4:** Comunica com o 2RE-Kernel.

Suas principais funcionalidades são:

- **Feature 2RE-Relay-1:** A partir da requisição do atleta nos botões do 2RE-UI e transmitido para o 2RE-Kernel, o comando para chavear os relés e mudar a carga presente no 2RP-Generator é recebido;
- **Feature 2RE-Relay-2:** Cada relé será responsável por acionar a atuação de um nível de carga, ou seja, essa carga a princípio é controlada.

3.2.3.6 2RE-Kernel - Subsistema da Central de Processamento de Eletrônica

Subsistema que processa todas as informações de sensores do 2RE-Cardio, do 2RE-IMU, dos botões do 2RE-UI e do 2RE-Volt, processa e transmite os sinais para os atuadores do 2RE-Relay e para o 2RS-Receiver.

Suas principais características são:

- **Característica 2RE-Kernel-1:** Composta por uma Raspberry Pi 3 e os cabos de entrada e saída para os diversos sensores e atuadores;
- **Característica 2RE-Kernel-2:** Composta por Microcontrolador ESP 8266;
- **Característica 2RE-Kernel-3:** Processa as informações sem atraso significativo;
- **Característica 2RE-Kernel-4:** Alocada no 2RB-Case.

Suas principais funcionalidades são:

- **Feature 2RE-Kernel-1:** Recebe os sinais do 2RE-Cardio;
- **Feature 2RE-Kernel-2:** Recebe os sinais do 2RE-IMU;
- **Feature 2RE-Kernel-3:** Recebe os sinais do 2RE-Volt;
- **Feature 2RE-Kernel-4:** Recebe os sinais do 2RE-UI;
- **Feature 2RE-Kernel-5:** Envia os comandos para chaveamento do 2RE-Relay;
- **Feature 2RE-Kernel-6:** Envia sinais para o 2RE-Receiver.

Detalhando um pouco mais a solução, para atuar na captação e processamento de sinais a Raspberry será fundamental, integrada com outros dispositivos como MSP430, circuitos de condicionamento, será possível adquirir sinais analógicos. Visto que a Raspberry não possui conversor A/D pode-se utilizar o conversor do MSP430. Para transmitir os sinais

para a Raspberry uma ideia foi utilizar um protocolo de comunicação ou um módulo *wi-fi*. O ESP8266 é um microcontrolador com um processamento considerável para a aplicação em questão e possui um excelente diferencial, o módulo *wi-fi* acoplado. Além disso já traz consigo, conversor analógico-digital (ADC) e vários protocolos de comunicações, isso traria ao sistema versatilidade para aquisição e trato de sinais.



Figure 15 – Raspberry Pi 3⁶

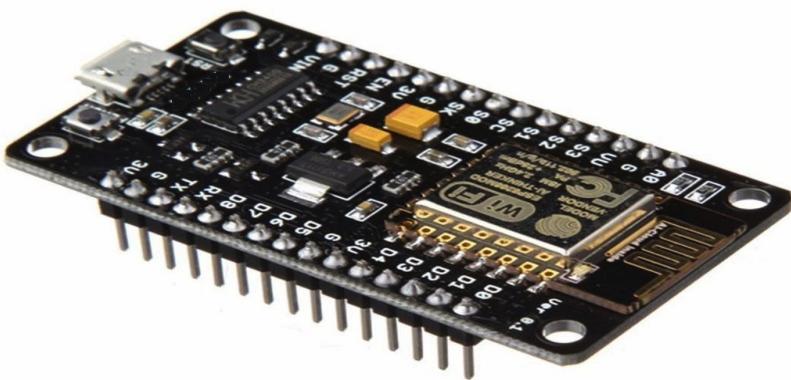


Figure 16 – ESP8266⁷

⁶ Fonte: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

⁷ Fonte: <https://www.robocore.net/loja/produtos/nodemcu-esp8266-12-v2.html>

3.2.3.7 2RE-UI - Subsistema de Interface de Botões

Subsistema alocado com botões próximos à interface de vídeo (monitor) com o usuário para que o mesmo possa controlar o aumento e diminuição das cargas no gerador, chaveadas pelo 2RE-Relay e assim poder aumentar e diminuir o esforço na aplicação do movimento do remo.

Suas principais características são:

- **Característica 2RE-UI-1:** Composta por botões e um circuito para *debouncer*;
- **Característica 2RE-UI-2:** Transmissão do sinal via cabos;
- **Característica 2RE-UI-3:** Comunicação com o 2RE-Kernel.

Suas principais funcionalidades são:

- **Feature 2RE-UI-1:** Receber a informação do usuário do desejo de mudar o peso nas cargas;
- **Feature 2RE-UI-2:** Tratar o sinal com *debouncer* para que não haja duplo aperto tanto na falha de leitura, quanto na recepção do sinal ao clicar no *push-button*;
- **Feature 2RE-UI-3:** Transmitir o sinal do usuário para o 2RE-Kernel;

3.2.4 Características de 2RSys

A arquitetura do subproduto de *software* do projeto, de nome **2RSys**, é definida por um conjunto de subsistemas encapsulados, de tal forma que cada um realize suas tarefas específicas e, quando necessário, troquem dados e informações entre si.

Levando a arquitetura em conta, foram projetados 5 subsistemas:

- **Subsistema de Controle (2RS-Controller);**
- **Subsistema de Aquisição de Dados (2RS-Receiver);**
- **Subsistema de Processamento (2RS-Processor);**
- **Subsistema de Visualização de Performance (2RS-Viewer) e;**
- **Subsistema Atuador (2RS-Transmitter).**

A interação entre eles pode ser visualizada na diagramação a seguir:

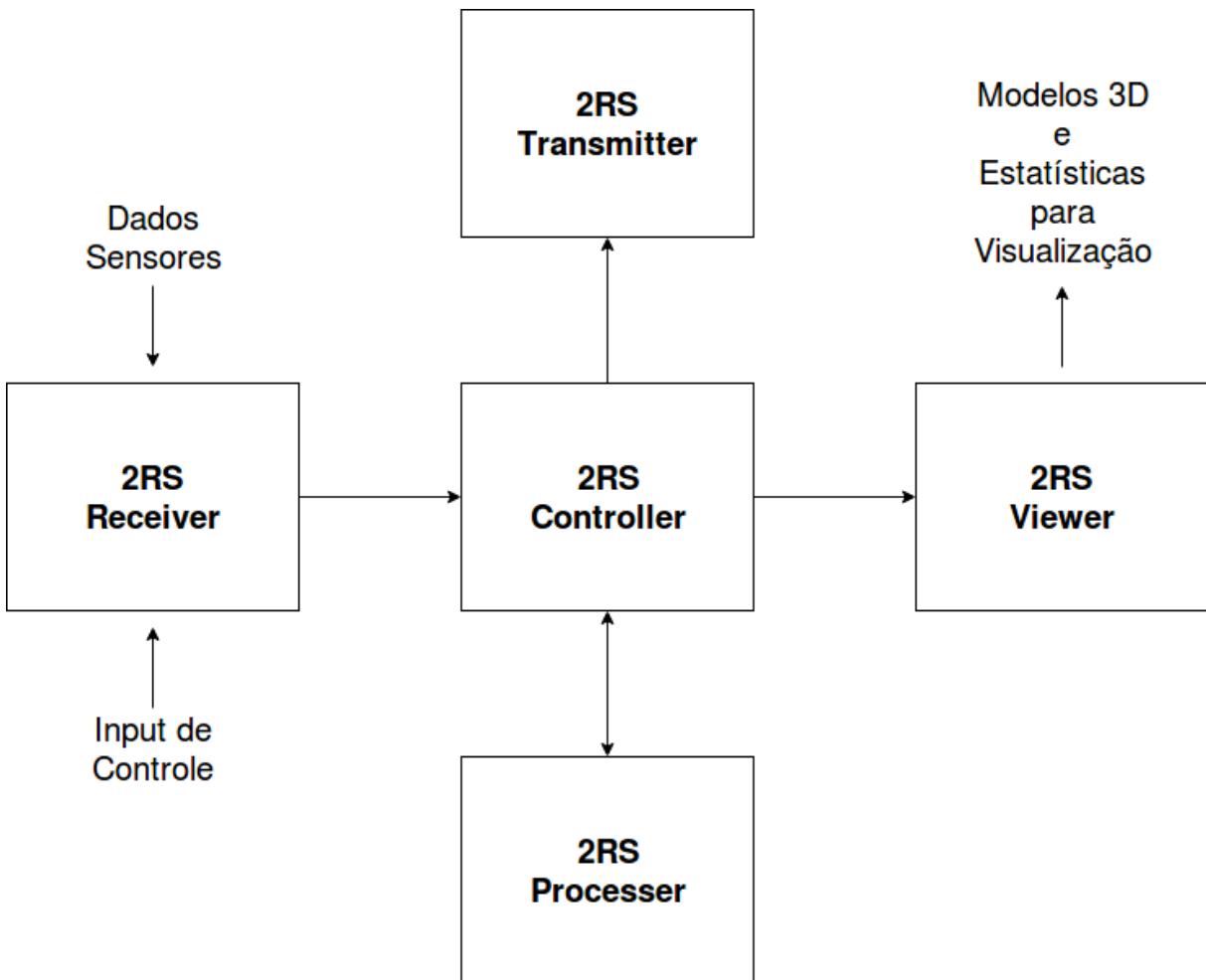


Figure 17 – Arquitetura de Software⁸

3.2.4.1 2RS-Controller - Subsistema de Controle

Este subsistema é responsável por intercambiar dados, informações e tarefas entre os outros subsistemas. 2RS-Controller é um delegador de tarefas que tem ciência de todas as operações que acontecem no 2RSystem.

Suas principais características são:

- **Característica 2RS-Controller-1:** É um *software* embarcado na 2Row;
- **Característica 2RS-Controller-2:** Possui otimização de uso de memória;
- **Característica 2RS-Controller-3:** Não utiliza armazenamento de dados em disco rígido;
- **Característica 2RS-Controller-4:** Possui interface de comunicação com todos os outros subsistemas do 2RSystem;
- **Característica 2RS-Controller-5:** Seu código-fonte é modularizado através do SRP (*Single-Responsibility Principle*, Príncípio da Responsabilidade Única);

⁸ Fonte: Do autor.

- **Característica 2RS-Controller-6:** Sua estrutura é definida de acordo com o *design pattern Delegation*.

Suas principais funcionalidades são:

- **Feature 2RS-Controller-1:** Receber informações do 2RS-Receiver sobre requisições de início de treino e inicializar todos os subsistemas do 2RSystem;
- **Feature 2RS-Controller-2:** Receber informações do 2RS-Receiver sobre requisições de fim de treino e inicializar as ações de restauração para o estado inicial de todos os subsistemas do 2RSystem;
- **Feature 2RS-Controller-3:** Receber informações do 2RS-Receiver sobre requisições de mudança da carga de dificuldade e delegar para o 2RS-Transmitter;
- **Feature 2RS-Controller-4:** Receber informação do 2RS-Receiver sobre a carga de dificuldade atual e transmitir a informação para o 2RS-Processer;
- **Feature 2RS-Controller-5:** Receber informações do 2RS-Receiver sobre os sensores cinemáticos/cinéticos e delegar o processamento para o 2RS-Processer;
- **Feature 2RS-Controller-6:** Receber informações processadas pelo 2RS-Processer e delegar a apresentação para o 2RS-Viewer.

3.2.4.2 2RS-Receiver - Subsistema de Aquisição de Dados

Este subsistema é responsável por receber e preprocessar, se necessário, os dados oriundos dos sensores cinemáticos e cinéticos e dos botões de ação presentes na interface do 2Row. Após tais etapas, os dados são, então, repassados para o 2RS-Controller, este que direciona os dados ao subsistema responsável pelas próximas tarefas do 2RSystem.

Suas principais características são:

- **Característica 2RS-Receiver-1:** É um *software* embarcado na 2Row;
- **Característica 2RS-Receiver-2:** Possui otimização de uso de memória;
- **Característica 2RS-Receiver-3:** Não utiliza armazenamento de dados em disco rígido;
- **Característica 2RS-Receiver-4:** Possui interface de comunicação com o 2RS-Controller;
- **Característica 2RS-Receiver-5:** Possui interface para receber dados do 2RE-Suit;
- **Característica 2RS-Receiver-6:** Possui interface para receber dados dos botões de ação do 2RE-UI, entregue pelo 2RE-Kernel;
- **Característica 2RS-Receiver-7:** Possui interface para receber dados sobre a potência do atleta, entregue pelo 2RE-Kernel;
- **Característica 2RS-Receiver-8:** Possui interface para receber dados do 2RE-Kernel;

- **Característica 2RS-Receiver-9:** Seu código-fonte é modularizado através do SRP (*Single-Responsibility Principle*, Príncípio da Responsabilidade Única);

Suas principais funcionalidades são:

- **Feature 2RS-Receiver-1:** Receber dados dos botões de ação do 2RE-UI, entregue pelo 2RE-Kernel, convertê-los em modelo e transmitir a informação para o 2RS-Controller;
- **Feature 2RS-Receiver-2:** Receber dados do sensor de potência, entregue pelo 2RE-Kernel, convertê-los em modelo e transmitir a informação para o 2RS-Controller;
- **Feature 2RS-Receiver-3:** Receber dados do 2RE-Suit, convertê-los em modelo e transmitir a informação para o 2RS-Controller;
- **Feature 2RS-Receiver-4:** Receber dados do controlador de carga, entregue pelo 2RE-Kernel, convertê-los em modelo e transmitir a informação para o 2RS-Controller;

3.2.4.3 2RS-Processer - Subsistema de Processamento

Este subsistema é responsável por processar e calcular dados transmitidos pelo 2RS-Controller, principalmente sobre o desempenho do atleta. Os dados processados são devolvidos para o 2RS-Controller, este que direciona para o subsistema do 2RSystem responsável pelo uso dos dados processados.

Suas principais características são:

- **Característica 2RS-Processer-1:** É um *software* embarcado na 2Row;
- **Característica 2RS-Processer-2:** Possui otimização de uso de memória;
- **Característica 2RS-Processer-3:** Possui otimização em termos de complexidade de algoritmos;
- **Característica 2RS-Processer-4:** Possui interface de comunicação com o 2RS-Controller;

Suas principais funcionalidades são:

- **Feature 2RS-Processer-1:** Receber informações do 2RS-Controller sobre as métricas do atleta e definir a performance do atleta;
- **Feature 2RS-Processer-2:** Definir o modelo de performance ideal;
- **Feature 2RS-Processer-3:** Comparar a performance do atleta com o modelo de performance ideal;
- **Feature 2RS-Processer-4:** Realizar cálculos de renderização e conversões lineares da performance do atleta e da performance ideal para um modelo de animação do corpo humano;

- **Feature 2RS-Processor-5:** Gerar estatísticas relevantes para o contexto do projeto;
- **Feature 2RS-Processor-6:** Transmitir as informações processadas para o 2RS-Controller.

3.2.4.4 2RS-Viewer - Subsistema de Visualização de Performance

Este subsistema é responsável por tornar visível as informações de interesse do atleta, as quais são providas pelo 2RS-Controller.

Suas principais características são:

- **Característica 2RS-Viewer-1:** É um *software* embarcado na 2Row;
- **Característica 2RS-Viewer-2:** Possui interface para receber dados do 2RS-Controller;
- **Característica 2RS-Viewer-3:** Possui interface para transmitir dados para o *hardware* de visualização (monitor);
- **Característica 2RS-Viewer-4:** Utiliza um motor (*engine*) para renderizar a interface gráfica de usuário (GUI - *Graphic User Interface*).

A GUI é definida pelas seções:

- **Feature 2RS-Viewer-1:** De apresentação do movimento atual do atleta;
- **Feature 2RS-Viewer-2:** De apresentação do movimento ideal;
- **Feature 2RS-Viewer-3:** De apresentação dos batimentos cardíacos;
- **Feature 2RS-Viewer-4:** De apresentação da potência atual do atleta;
- **Feature 2RS-Viewer-5:** De apresentação da velocidade atual do atleta, em *rev/min* (*RPM - rotations per minute*);
- **Feature 2RS-Viewer-6:** De apresentação do nível atual da carga de dificuldade;
- **Feature 2RS-Viewer-7:** De apresentação do tempo de treino do atleta.

3.2.4.5 2RS-Transmitter - Subsistema Atuador

Este subsistema é responsável por enviar sinais para os microcontroladores eletrônicos responsáveis pela ação de mudança da carga de dificuldade requisitada pelo atleta através dos botões no 2RE-UI.

Os pedidos de mudança (i.e., o aperto de botões) são, primeiramente, recebidos pelo 2RS-Receiver, repassados para o 2RS-Controller e, então, delegados para este subsistema.

Suas principais características são:

- **Característica 2RS-Transmitter-1:** É um *software* embarcado na 2Row;

- **Característica 2RS-Transmitter-2:** Possui interface para receber dados do 2RS-Controller;
- **Característica 2RS-Transmitter-3:** Possui interface para transmitir dados para o 2RE-Kernel;

Sua principal funcionalidade é:

- **Feature 2RS-Transmitter-1:** Receber o fator de mudança de carga de dificuldade da 2RS-Controller, serializar o fator e transmitir o fator para o 2RE-Kernel.

3.3 Critérios de Aceitação do Projeto

Definir critérios de aceitação é uma atividade essencial para a validação do produto à ser desenvolvido em um projeto. Tais critérios aqui definidos são elementos *sine qua non* que devem ser satisfeitos ao longo do desenvolvimento do produto.

3.3.1 Critérios de Aceitação do 2RBoat

3.3.1.1 Critérios de Aceitação do 2RB-Primary

- **CA 2RB-Primary-1:** A estrutura não deve falhar (quebrar ou deformar plasticamente) em sua faixa de operação, limitada ao peso do usuário de até 150kg.
- **CA 2RB-Primary-2:** A estrutura deve comportar confortavelmente usuários que estejam dentro do espectro de estatura compreendido até o percentil masculino 95th americano.
- **CA 2RB-Primary-3:** A estrutura deve acomodar todos os demais subsistemas e suas necessidades.

3.3.1.2 Critérios de Aceitação do 2RB-Seat

- **CA 2RB-Seat-1:** Deve deslizar de maneira suave sobre o trilho.
- **CA 2RB-Seat-2:** O atleta não deve deslizar sobre o banco ao realizar o movimento de remada.

3.3.1.3 Critérios de Aceitação do 2RB-Row

- **CA 2RB-Row-1:** A restituição do movimento deve ser realizada de tal forma que o atleta realize o movimento completamente.
- **CA 2RB-Row-2:** A resistência criada pelo gerador deve ser transmitida integralmente ao movimento da remada.

- **CA 2RB-Row-3:** A estrutura deve suportar sem falhar (quebrar ou deformar plasticamente) as cargas dinâmicas a que será submetida em seu uso natural.
- **CA 2RB-Row-4:** O manete não deve escorregar da mão do usuário durante a utilização do equipamento.

3.3.1.4 Critérios de Aceitação do 2RB-Case

- **CA 2RB-Case-1:** Deve comportar o subsistema 2RE-Kernel sem interferir em seu funcionamento.

3.3.2 Critérios de Aceitação do 2RPower

Os *stakeholders* da disciplina em comum acordo com o subsistema de energia definiram que alguns parâmetros serão aferidos e dimensionados após o Ponto de Controle 1 (PC1), devido as dificuldades de medir ou encontrar em bibliografias essas variáveis.

3.3.2.1 Critérios de Aceitação do 2RP-Generator

- **CA 2RP-Generator-1:** O gerador irá receber a potência mecânica da remada do atleta e gerar uma corrente elétrica que irá variar de acordo com a carga alimentada pelo gerador.

3.3.2.2 Critérios de Aceitação do 2RP-Resistance

- **CA 2RP-Resistance-1:** A variação dessa corrente irá gerar um conjugado elétrico nas bobinas do estator que se oporá ao conjugado mecânico da remada aplicado no rotor.

3.3.2.3 Critérios de Aceitação do 2RP-Battery

- **CA 2RP-Battery-1:** A energia excedente gerada será armazenada em uma bateria, que por sua vez irá alimentar o sistema eletrônico. A potência necessária para manter o sistema funcionando ainda será dimensionado.

3.3.3 Critérios de Aceitação do 2RElectronic

3.3.3.1 Critérios de Aceitação do 2RE-Suit

- **CA 2RE-Suit-1:** A vestimenta deve ser posta no usuário para aquisição dos dados. Para execução de tal tarefa, a vestimenta deverá posicionar os sensores de forma firme para aquisição dos dados e que não atrapalhe o usuário na execução do movimento de remada.

3.3.3.2 Critérios de Aceitação do 2RE-Cardio

- **CA 2RE-Cardio-1:** O sensor de frequência cardíaca deverá fornecer dados filtrados, tratados e condicionados para o microcomputador (Raspberry Pi) presente no 2RE-Kernel.

3.3.3.3 Critérios de Aceitação do 2RE-IMU

- **CA 2RE-IMU-1:** Os sensores de unidades iniciais serão posicionados nas pernas do usuário e deverão entregar como informação o movimento realizado ao longo do tempo, utilizando ferramentas do IMU como acelerômetro, magnetômetro e giroscópio.

3.3.3.4 Critérios de Aceitação do 2RE-Volt

- **CA 2RE-Volt-1:** O sistema apresentará uma variação quanto às especificações de tensão na carga para aferição da potência exercida pelo atleta.

3.3.3.5 Critérios de Aceitação do 2RE-Relay

- **CA 2RE-Relay-1:** Os relés de acionamento farão parte do sistema de controle. Cada relé implicará em alterações na carga relativa às resistências.

3.3.3.6 Critérios de Aceitação do 2RE-Kernel

- **CA 2RE-Kernel-1:** Receber e processar os sinais recebidos pelos sensores(IMU e Cardíaco).
- **CA 2RE-Kernel-2:** Este é o sistema núcleo da eletrônica embarcada e deverá controlar e acionar os sistemas de relé.

3.3.3.7 Critérios de Aceitação do 2RE-UI

- **CA 2RE-UI-1:** O acionamento do funcionamento das cargas deve ser feito utilizando três botões que estão presentes nesta seção. O controle e debounce dos botões será uma ação da interface física para o funcionamento do aparelho.

3.3.4 Critérios de Aceitação do 2RSystem

- **CA 2RSystem-1:** O sistema deve possuir uma função *failsafe* onde requisita a anulação da carga de dificuldade em caso de erro;
- **CA 2RSystem-2:** O sistema deve ser capaz de fornecer as informações de performance do atleta com atraso máximo de 600 ms (*milliseconds*);

- **CA 2RS-System-3:** O sistema deve ser capaz de realizar o *pipeline* de início de treino (definido em características) na íntegra;
- **CA 2RS-System-4:** O sistema deve ser capaz de realizar o *pipeline* de fim de treino (definido em características) na íntegra;
- **CA 2RS-System-5:** O sistema deve ser capaz de realizar o *pipeline* de processamento de dados da 2RE-Suit (definido em características) na íntegra;
- **CA 2RS-System-6:** O sistema deve ser capaz de realizar o *pipeline* de processamento de potência do atleta (definido em características) na íntegra;
- **CA 2RS-System-7:** O sistema deve ser capaz de realizar o *pipeline* de controle de dificuldade (definido em características) na íntegra.

3.3.4.1 Critérios de Aceitação do 2RS-Controller

- **CA 2RS-Controller-1:** O subsistema deve ser capaz de ser integrado com todos os outros subsistemas do 2RS-System, fornecendo um aviso de sucesso ou erro em sua tentativa de conexão;
- **CA 2RS-Controller-2:** O subsistema não deve, em hipótese alguma, modificar as informações recebidas pelos outros subsistemas.

3.3.4.2 Critérios de Aceitação do 2RS-Receiver

- **CA 2RS-Receiver-1:** O subsistema deve ser capaz de ser integrado com o 2RE-Suit, fornecendo um aviso de sucesso ou erro em sua tentativa de conexão;
- **CA 2RS-Receiver-2:** O subsistema deve ser capaz de ser integrado com o 2RE-Kernel, fornecendo um aviso de sucesso ou erro em sua tentativa de conexão;
- **CA 2RS-Receiver-3:** O subsistema deve ser capaz de ser integrado com o subsistema 2RS-Controller, fornecendo um aviso de sucesso ou erro em sua tentativa de conexão;
- **CA 2RS-Receiver-4:** O subsistema deve ser capaz de desserializar os dados e convertê-las em variáveis/objetos modelos.

3.3.4.3 Critérios de Aceitação do 2RS-Processer

- **CA 2RS-Processer-1:** O subsistema deve ser capaz de ser integrado com o subsistema 2RS-Controller, fornecendo um aviso de sucesso ou erro em sua tentativa de conexão;
- **CA 2RS-Processer-2:** O subsistema deve ser capaz de fazer todo o processamento e cálculos (criação dos modelos, determinação de ciclos por minuto etc) em, no máximo, 400 ms, para que o atraso máximo de 600 ms para a visualização seja obedecido.

3.3.4.4 Critérios de Aceitação do 2RS-Viewer

- **CA 2RS-Viewer-1:** O subsistema deve ser capaz de ser integrado com o subsistema 2RS-Controller, fornecendo um aviso de sucesso ou erro em sua tentativa de conexão;
- **CA 2RS-Viewer-2:** O subsistema deve ser capaz de mostrar as animações do atleta e do modelo ideal com taxa média de 20 fps (*frames per second*);
- **CA 2RS-Viewer-3:** O subsistema deve ser capaz de mostrar a frequência cardíaca do atleta;
- **CA 2RS-Viewer-4:** O subsistema deve ser capaz de mostrar a quantidade de tempo que passou desde o início do treino;
- **CA 2RS-Viewer-5:** O subsistema deve ser capaz de mostrar o nível de potência da estrutura selecionado (1 - mínimo possível, 2 - médio ou 3 - máximo possível);
- **CA 2RS-Viewer-6:** O subsistema deve ser capaz de mostrar a quantidade de ciclos (de treinamento) por minuto que o atleta está realizando.

3.3.4.5 Critérios de Aceitação do 2RS-Transmitter

- **CA 2RS-Transmitter-1:** O subsistema deve ser capaz de ser integrado com o subsistema 2RS-Controller, fornecendo um aviso de sucesso ou erro em sua tentativa de conexão;
- **CA 2RS-Transmitter-2:** O subsistema deve ser capaz de ser integrado com o subsistema 2RE-Kernel, fornecendo um aviso de sucesso ou erro em sua tentativa de conexão;
- **CA 2RS-Transmitter-3:** O subsistema deve ser capaz de enviar 4 tipos de requisições para o 2RE-Kernel: 0% de potência, 33% de potência, 66% de potência e 100% de potência;

3.4 Stakeholders

Stakeholders são pessoas que possuem interesse no projeto e estabelecem algum vínculo com seu planejamento, execução e/ou com o produto a ser desenvolvido. São eles:

- **Stakeholders da Disciplina:** Composto por professores que integram a mesa avaliadora da disciplina Projeto Integrador 2. São responsáveis por orientar e avaliar a concepção e execução do projeto proposto.
- **Equipe do Projeto:** A equipe do projeto é composta por alunos das engenharias do campus UnB-Gama: Engenharia Aeroespacial, Automotiva, Eletrônica, Energia e Software divididos em 4 grandes áreas: Software, Energia, Eletrônica e Estrutura.

- **Possíveis Clientes:** Os interessados no equipamento seriam academias, amadores interessados na prática do remo e centros olímpicos onde ocorra o treinamento de atletas profissionais.

3.5 Premissas do Projeto

Premissas são fatores associados ao escopo do projeto que, para fins de planejamento, são assumidos como verdadeiros sem a necessidade de prova. Entretanto, vale salientar que determinar as premissas não significa que elas serão satisfeitas ao longo do projeto e há um risco agregado que deve ser monitorado conforme o plano de risco.

As premissas aqui definidas permitem estabelecer de forma clara quais fatores não foram analisados substancialmente mas que impactam no projeto se não satisfeitas.

De acordo com o contexto deste projeto, as premissas são:

1. Parte-se do princípio que o atleta tenha o conhecimento básico de como funciona a estrutura e a maneira correta de manuseá-la e que não possua impedimentos físicos à atividade física na qual se destina o aparelho;
2. Parte-se do princípio que para treinamento no remo o atleta deve entender que o 2Row é um produto desenvolvido para simular a força necessária que ele deve realizar, mas não substitui o treinamento convencional;
3. Parte-se do princípio que todos os recursos necessários para o desenvolvimento do 2RPower estarão satisfeitos. Tais como: ferramentas para elaboração e manutenção do banco de resistores, gerador, bateria, controle de carga, entre outros;
4. Parte-se do princípio que será possível gerar uma potência para ser dissipada no banco de resistores e assim, regular a corrente e consequentemente a força necessária para que o atleta realize o exercício;
5. Parte-se do princípio que será possível carregar a bateria e alimentar o sistema acoplado em paralelo com o módulo de resistores;
6. Parte-se do princípio de que será possível obter todos os sinais propostos com os recursos que o grupo possui, tanto de instrumentação como a medida de potência elétrica gerada pelo remador;
7. Parte-se do princípio que os componentes principais descritos como requisitos são suficientes para a montagem de todos os subsistemas de eletrônica;
8. Parte-se do princípio que a estrutura não apresenta vibrações capazes de atrapalhar o sistema de aquisição.
9. Parte-se do princípio que todos os recursos necessários para o desenvolvimento de *software* estarão satisfeitos. Tais como: computadores, ferramentas, internet, servidor, etc;

10. Parte-se do princípio que toda ferramenta, módulo ou sistema utilizado para desenvolver as aplicações do projeto será *Open Source*;
11. Parte-se do princípio que três estudantes de engenharia aeroespacial estarão designados no grupo ao longo de todo o projeto;
12. Parte-se do princípio que um estudante de engenharia automotiva estará designado no grupo ao longo de todo o projeto;
13. Parte-se do princípio que três estudantes de engenharia eletrônica estarão designados no grupo ao longo de todo o projeto;
14. Parte-se do princípio que três estudantes de engenharia energia estarão designados no grupo ao longo de todo o projeto;
15. Parte-se do princípio que três estudantes de engenharia de *software* serão disponibilizados para desenvolvimento das aplicações;
16. Parte-se do princípio que os integrantes do grupo possuem ao menos 8 horas semanais para trabalhar especificamente para o projeto.

3.6 Restrições do Projeto

As restrições são ações que podem delimitar a execução do projeto, fatores internos e externos associados ao escopo que limitam as opções de gerenciamento, sendo conhecidas como inibidores de atuação dos principais *stakeholders* de um projeto, sejam eles a equipe, fornecedores ou clientes, por exemplo.

De acordo com o contexto deste projeto, as restrições são:

1. O projeto deverá ser concluído até o dia 22/06/2018;
2. O time do projeto deve ser composto por até 14 integrantes;
3. O orçamento do projeto é equivalente ao total que a equipe está disposta a colaborar;
4. O andamento do projeto deve satisfazer as datas impostas pela disciplina Projeto Integrador 2;
5. O gerador deve gerar energia suficiente para alimentar a carga;
6. A potência que será dissipada no banco de resistores tem que ser suficiente para regular a corrente e consequentemente a força;
7. O controlador de carga deve carregar a bateria e alimentar o sistema acoplado em paralelo com o módulo de resistores;
8. Os resistores e os relés deverão suportar a potência dimensionada;
9. Deve existir integração com a parte de estrutura e eletrônica para acoplar o sistema de energia na estrutura do remo e elaborar o controle de carga, consequentemente;
10. O tamanho e o peso dos sensores devem ser compatíveis com a funcionalidade e conforto do usuário durante os exercícios de remada para não atrapalhar os movimentos;

11. O local de instalação do produto final deve contar com pontos de energia pois a alimentação de toda a instrumentação e microcontroladores dependem de uma fonte estável para o bom funcionamento;
12. Os sensores vestíveis devem ser colocados sobre a pele sem pelos e nos locais específicos para uso;
13. Toda ferramenta, módulo ou sistema de *software* desenvolvido pelo projeto deverá ser licenciada em GPL 3.0;
14. O código-fonte de toda ferramenta, módulo ou sistema de *software* desenvolvido pelo projeto deverá ser disponibilizada na plataforma GitHub em visibilidade pública;
15. O código-fonte de toda ferramenta, módulo ou sistema de *software* desenvolvido pelo projeto deverá ser redigida em inglês;
16. O código-fonte de toda ferramenta, módulo ou sistema de *software* desenvolvido pelo projeto deverá seguir os padrões de escrita da linguagem/*framework*;
17. O código-fonte de toda ferramenta, módulo ou sistema de *software* desenvolvido pelo projeto deverá seguir as boas práticas de programação.

3.7 Análise de Risco

Riscos são fatores externos e internos que podem afetar positivamente ou negativamente o andamento do projeto. Entender quais riscos circundam o projeto é uma atividade essencial que permite definir ações estratégicas para mitigar os riscos negativos e/ou promover os riscos positivos.

A Tabela ?? ilustra o levantamento realizado dos possíveis riscos para o projeto.

Table 1 – Riscos do projeto e respectivas ações estratégicas{#tbl:riscos}

Risco	Consequência	Probabilidade	Impacto	Ação estratégica
Falha mecânica do equipamento	O eixo de transmissão não funcionar	Média	Alto	Fazer cálculos e simulações corretamente
Atraso na fabricação da estrutura	Entrega atrasada do projeto	Média	Alto	Seguir o cronograma corretamente
Não comportar outros subsistemas	A integração não funcionar	Baixa	Médio	Ter uma boa comunicação com as outras áreas
Estrutura dimensionada incorretamente	O aparelho não funcionar	Baixa	Alto	Realização de dimensionamento detalhado

Risco	Consequência	Probabilidade	Impacto	Ação estratégica
Dimensionamento incorreto do gerador	Torque insuficiente para o movimento necessário	Média	Alto	Fazer cálculos e simulações antes da escolha
Dimensionamento incorreto do banco de resistências	Queima de equipamentos e níveis de dificuldade esperados não atingidos	Média	Alto	Fazer cálculos e simulações antes da montagem e verificar sistema antes da ligação
Controle de carga	Não conseguir controlar a intensidade da corrente, consequentemente, não conseguir ajusta a carga	Média	Alto	Verificação de todo o sistema
Sistema de armazenamento	Escolha de bateria que não atende as especificações e exigir mais dela, encurtando sua vida útil	Média	Médio	Realizar corretamente o dimensionamento
Falha na leitura de algum sensor	Leitura incorreta do sinal adquirido	Baixa	Alto	Troca do sensor após testes
Calibração incorreta do IMU	Distorção do sinal e impossibilidade de gerar o movimento visual 3D	Média	Alto	Recalibração
Integração do wattímetro com a estrutura	Deixar de ter a medida de potência	Média	Alto	Medir a rotação do eixo com um potenciômetro multigiro
Queima de componentes	Aumento no tempo de entrega dos resultados	Média	Alto	Repor componente e refazer o circuito necessário

3.8 Custos do Projeto

A mão-de-obra é exclusiva dos membros do grupo, considerando o rendimento responsável de cada um, então não haverá investimento em pessoal a não ser físico e nunca financeiro. Caso os serviços prestados pelos estudantes do grupo na disciplina fossem contabilizados para caráter de informação, cada um poderia ser considerado como aluno de projeto da UnB com custo de R\$ 400,00, para 13 membros por 4 meses, totalizando um gasto total de R\$ 20800,00, segundo equação abaixo:

$$\text{Gasto total com mão-de-obra: } 400,00 \times 3 \times 4 = 20800,00$$

3.8.1 Custos da Estrutura

O serviço relacionado à estrutura está sob a responsabilidade dos alunos de Engenharia Automotiva e Aeroespacial. Quanto à estrutura do projeto, a maior demanda está relacionada com os materiais que serão, em sua grande maioria, de madeira e ferro. A descrição mais detalhada dos materiais está conforme tabela subsequente.

Requisitos de Estrutura	Quantidade	Preço (R\$)	Fornecedor
Tubo aço 1020 6m	1	55	Gravia
Barra perfil retangular 20x20 #14	2	35	Ferro e Aço
Barra perfil retangular 30x90	1	60	Gravia
Barra perfil retangular 30x50	1	45	Gravia
Barra perfil U	1	55	Ferro e Aço
Kit de redução de moto	1	90 / 500	Riffel
Parafusos, Porcas e Arruelas	x	50,00	POPA, porcas e parafusos
Polia Aluminio	1	20	Leroy Merlin
Roldana com Parafuso	4	19	Leroy Merlin
Correia V	1	15	Leroy Merlin
Corda Elástica 10m	1	15	Japão da Construção
Banco Estofado	1	45	Breno Estofamentos
Pedal Bicicleta	2	60	Mercado Livre
Chapa de Aço Zincado	3m	35	Ferro e Aço

3.8.2 Custos de Eletrônica

Os custos na parte de eletrônica estão vinculados aos componentes eletrônicos, sensores, microcontrolador e microcomputador. Esses componentes em conjunto forneceram o controle do remo e monitoramento do usuário. Esse trabalho terá sua apresentação em interface em conjunto com a parte de Engenharia de Software e a parte Elétrica em conjunto com a Engenharia de Energia.

Os componentes mais caros, nessa seção, são referentes a parte embarcada e de interface, ou seja, RaspberryPi e o display.

A descrição mais detalhada dos materiais está conforme tabela subsequente.

Requisitos de Eletrônica	Quantidade	Preço (R\$)	Fornecedor
Cabos	x	10,00	Contato
ESP	1	20,00	Mercado Livre
Sensor Monitor cardíaco	1	29,90	TD TEC
Monitor Raspberry	1	240,00	Mercado Livre
MSP-430	1	90,00	Mercado Livre
Peças para Wattímetro	x	40,00	
Placa de circuito impresso	5	25,00	HU Infinito
Raspberry Pi 3	1	150,00	Mercado Livre
Sensores IMU	2	19,00	HU Infinito

3.8.3 Custos de *Software*

Não há custos esperados para a frente de *software* do projeto.

3.8.4 Custos de Energia

Os gastos com relação a aplicação da Engenharia de Energia diz respeito, em sua maioria, ao gerador elétrico. Todavia esse componente está com suas especificações variáveis devido à sua aplicação no projeto. Os gastos com relé de acionamento para as resistências está decidido para economia, tendo em vista que transistors para potências mais altas aumentariam os valores.

Requisitos de Energia	Quantitadade	Valor Unitário (R\$)	Fornecedor
Relé Auxiliar 4 Terminais 12V 80A	3	20,83	Mercado Livre
Motor de esteira	1	200,00	Mercado Livre
Resistores 1000W	3	20,00	Mercado Livre
Equipamentos para construção do controlador de carga	1	100,00	Mercado Livre
Bateria	1	54,00	Mercado Livre

3.8.5 Custos Totais

Os custos gerais de todas as partes do projetos ficam em R\$ 1921,39. Como o grupo possui 13 integrantes o valor gasto esperado, por pessoa é de R\$ 147,80.

4 Estrutura Analítica do Projeto

A Estrutura Analítica do Projeto (EAP) é um processo de subdivisão das entregas do projeto em componentes menores e mais facilmente gerenciáveis, que fornece uma visão estruturada do que será entregue, o que facilita o entendimento das partes interessadas em relação ao escopo do projeto além de servir como base no planejamento das outras áreas de conhecimento.

O projeto será desenvolvido dentro da disciplina de Projeto Integrador 2, que se subdivide em 3 pontos de controle. Para o primeiro ponto de controle serão executadas as etapas de Pré-projeto e Planejamento, que tem como objetivo a definição do produto, o Termo de Abertura do Projeto, os planos de gerenciamento e o cronograma.

Já o segundo ponto de controle contempla a fase de Execução onde todos os subsistemas planejados inicialmente serão desenvolvidos e testados para garantir o seu total funcionamento de acordo com as necessidades do projeto. Para esse ponto de controle, nomeamos os subsistemas relacionando o nome do subsistema com a atividade que o mesmo vai desenvolver.

Por fim, o terceiro ponto de controle engloba a fase de Integração e Encerramento do projeto, onde todos os subsistemas serão integrados a fim de finalizar e entregar o produto.

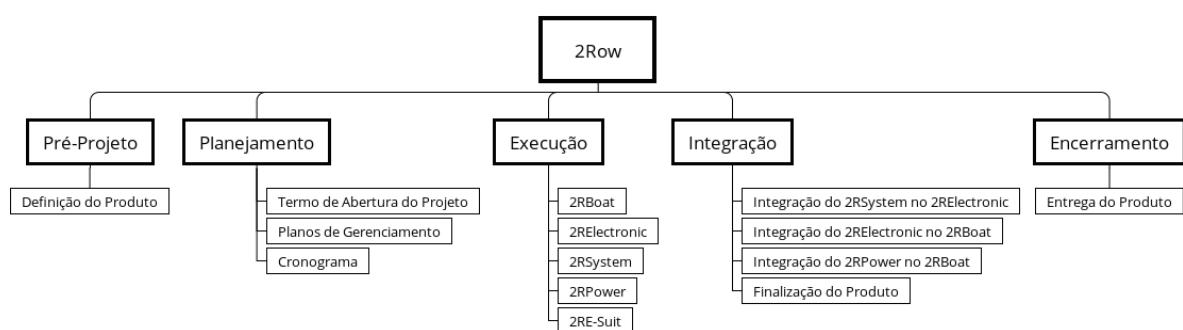


Figure 18 – Estrutura analítica do projeto

5 Planos de Gerenciamento do Projeto

Quatro planos de gerenciamento foram definidos para o presente projeto. São eles:

- **Plano de Gerenciamento de Tempo:** Definido pelo cronograma esperado de atividades que serão realizadas ao longo do projeto;
- **Plano de Gerenciamento de Custos:** Breve descrição dos procedimentos para gerenciamento dos custos do projeto;
- **Plano de Gerenciamento de Pessoas:** Sumário dos principais papéis do projeto e definição do ambiente para gerenciamento de pessoas;
- **Plano de Gerenciamento de Riscos:** Práticas para gerenciamento de riscos.

5.1 Plano de gerenciamento de tempo

Com intuito de otimizar o gerenciamento do projeto, foi criado um cronograma geral, o qual contempla a divisão de tarefas que serão realizadas pelo grupo durante o semestre e permite o acompanhamento pela equipe do andamento do trabalho.

O cronograma foi dividido de acordo com as frentes de atuação: Eletrônica, Energia, Estrutura e Software, e destaca as fases e atividades do projeto, assim como datas de início e fim.

Fase	Atividade	Área de atuação	Início	Fim
Pré-projeto	Definir projeto	Todas	07/03/18	16/03/18
Pré-projeto	Definir solução	Todas	07/03/18	16/03/18
Planejamento	Definir funcionalidades do sistema	Todas	16/03/18	23/03/18
Planejamento	Definir requisitos do sistema	Todas	16/03/18	23/03/18
Planejamento	Definir requisitos de energia	Energia	16/03/18	23/03/18
Planejamento	Definir requisitos de estrutura	Estrutura	16/03/18	23/03/18
Planejamento	Definir requisitos de eletrônica	Eletrônica	16/03/18	23/03/18
Planejamento	Definir requisitos de software	Software	16/03/18	23/03/18
Planejamento	Definir Tecnologias	Todas	16/03/18	23/03/18
Planejamento	Levantamento de materiais	Todas	16/03/18	23/03/18
Planejamento	Elaborar o Termo de Abertura do Projeto (TAP)	Todas	16/03/18	28/03/18
Planejamento	Elaborar Estrutura Analítica do Projeto (EAP)	Todas	16/03/18	28/03/18
Planejamento	Definir cronograma de atividades	Energia	16/03/18	23/03/18
Planejamento	Levantamento de custos	Eletrônica	16/03/18	28/03/18
Planejamento	Alocação de recursos humanos	Software	16/03/18	28/03/18
Planejamento	Levantamento de Riscos	Estrutura	16/03/18	28/03/18
Execução	Dimensionar Gerador Elétrico	Energia	28/03/18	04/04/18
Execução	Testar e Validar a Solução Proposta	Energia	11/04/18	18/04/18

Fase	Atividade	Área de atuação	Início	Fim
Execução	Dimensionar Banco de Resistências	Energia	18/04/18	25/04/18
Execução	Testar o Controle de Carga	Energia	25/04/18	02/05/18
Execução	Dimensionar bateria	Energia	02/05/18	09/05/18
Execução	Realizar comunicação com sensores	Eletrônica	02/04/18	13/04/18
Execução	Realizar controle utilizando Raspberry e micro	Eletrônica	09/04/18	20/04/18
Execução	Testar interfaceamento com software	Eletrônica	23/04/18	05/05/18
Execução	Análise de sinal e controle do wattímetro	Eletrônica	07/05/18	25/05/18
Execução	Realização do CAD	Estrutura	28/03/18	04/04/18
Execução	Análise estrutural (Ansys, Catia, Adams)	Estrutura	04/04/18	18/04/18
Execução	Criação de desenhos técnicos para a construção	Estrutura	11/04/18	18/04/18
Execução	Aquisição de Material	Estrutura	11/04/18	18/04/18
Execução	Início e Finalização da construção	Estrutura	25/04/18	15/04/18
Execução	Entrega da estrutura	Estrutura	28/03/18	16/05/18
Execução	Protótipo do 2RS-Viewer	Software	28/03/18	13/04/18
Execução	Protótipo do 2RS-System	Software	13/04/18	27/04/18
Execução	Otimizações no 2RS-Viewer	Software	13/04/18	27/04/18
Execução	Finalização do 2RS-Viewer	Software	27/04/18	11/05/18
Execução	Finalização do 2RS-Processor	Software	27/04/18	11/05/18
Execução	Finalização do 2RS-System	Software	11/05/18	16/05/18
Integração	Integrar subsistemas	Todas	16/05/18	28/05/18
Integração	Testar o sistema integrado	Todas	28/05/18	11/06/18
Integração	Identificar possíveis falhas	Todas	11/06/18	18/06/18
Integração	Aplicar ações corretivas	Todas	18/06/18	25/06/18
Encerramento	Apresentação e entrega do produto	Todas	25/06/18	06/07/18

5.2 Plano de Gerenciamento de Custos

Os custos do projeto serão controlados quinzenalmente, de acordo com a necessidade do projeto. O integrante do grupo responsável por receber e controlar todos os recursos

será o *Project Tracker*.

5.2.1 Procedimento de Gerenciamento de Custos

O *Project Tracker* receberá uma quantia pré determinada nos sistemas formais de comunicação. Esse recurso será destinado para a compra de materiais e componentes, desse modo, o responsável tem de ser capaz de responder acerca desses recursos.

Os gastos detalhados e a quantia restante deve ser apresentada para os integrantes quinzenalmente. Todos os valores estão estimados segundo as tabelas de custos para cada subsistema. Eventualmente podem ocorrer alterações durante o desenvolvimento do projeto.

Quanto a base dos valores dos planejamento dos custos, foi considerado o valor médio de fontes de compras variadas. Os valores relativos ao transporte e frete de peças está vinculado ao valor, além disso não foi considerado o envio de nenhuma peça que envolva custo do exterior, até o momento.

5.3 Plano de Gerenciamento de Pessoas

O gerenciamento de pessoas inclui processos que organiza, gerencia e direciona o time do projeto. O objetivo deste plano é identificar e documentar os papéis, as responsabilidades e as competências necessárias.

Além da identificação dos papéis, responsabilidades e competências, entende-se como parte deste plano a definição das características de aquisição de pessoas, a definição das ferramentas de comunicação e a definição dos procedimentos de atribuição de papéis.

5.3.1 Papéis, Responsabilidades & Competências

- **Especialista em Eletrônica:** Responsável pelo projeto e desenvolvimento de sistemas eletrônicos de sensoriamento, aquisição, condicionamento, processamento e controle. Principais competências incluem:

1. Conhecimento avançado em cálculo e métodos numéricos;
2. Conhecimento básico em algoritmos de programação;
3. Conhecimento avançado em física;
4. Conhecimento avançado em eletrônica digital;
5. Conhecimento avançado em circuitos eletrônicos;
6. Conhecimento em sistemas de controle;
7. Conhecimento em sistemas embarcados.

- **Especialista em Elétrica:** Responsável pelo projeto e desenvolvimento de máquinas e circuitos elétricos. Principais competências incluem:

1. Conhecimento avançado em cálculo e métodos numéricos;

- 2. Conhecimento avançado em física;
 - 3. Conhecimento em eletricidade aplicada.
- **Especialista em Energia:** Responsável pelo projeto e desenvolvimento de sistemas de conversão eletromecânica e armazenamento de energia elétrica. Principais competências incluem:
 1. Conhecimento avançado em cálculo e métodos numéricos;
 2. Conhecimento avançado em física;
 3. Conhecimento em fontes de energia;
 4. Conhecimento em sistemas de conversão de energia.
 - **Especialista em Estrutura:** Responsável pelo projeto e desenvolvimento de sistemas mecânicos estáticos para integração dos subsistemas. Principais competências incluem:
 1. Conhecimento avançado em cálculo e métodos numéricos;
 2. Conhecimento avançado em física;
 3. Conhecimento em desenho industrial;
 4. Conhecimento em sistemas mecânicos;
 5. Conhecimento em ergonomia do produto;
 6. Conhecimento em tecnologias de fabricação.
 - **Especialista em Dinâmica:** Responsável pelo projeto e desenvolvimento de sistemas mecânicos dinâmicos para transmissão de movimento. Principais competências incluem:
 1. Conhecimento avançado em cálculo e métodos numéricos;
 2. Conhecimento avançado em física;
 3. Conhecimento em desenho industrial;
 4. Conhecimento em sistemas mecânicos;
 5. Conhecimento em dinâmica de corpos;
 6. Conhecimento em tecnologias de fabricação.
 - **Especialista em Software:** Responsável pelo projeto e desenvolvimento de sistemas de *software*. Principais competências incluem:
 1. Conhecimento avançado em cálculo, matemática aplicada e métodos numéricos;
 2. Conhecimento avançado em algoritmos de programação;
 3. Conhecimento avançado em técnicas de programação e *design pattern*;
 4. Conhecimento avançado em sistemas distribuídos e embarcados;
 5. Conhecimento avançado em sistemas e protocolos de comunicação;
 6. Conhecimento avançado em redes.

- **Project Tracker:** Responsável pelo monitoramento do desenvolvimento do projeto em termos de entregabilidade e qualidade do produto. Principais competências incluem:
 1. Conhecimento em gerência de projetos;
 2. Conhecimento em técnicas de medição e análise;
 3. Competência em relações humanas;
 4. Capacidade de avaliar problemas e encontrar soluções;
 5. Capacidade de orientar, liderar e apoiar pessoas.

5.3.2 Características da Aquisição de Pessoas

A aquisição de pessoas foi realizada através dos critérios definidos pelos *stakeholders* da disciplina, que são:

1. O time do projeto deve ser composto por até 14 integrantes;
2. A composição do time deve consistir de:
 - Até quatro estudantes de engenharia aeroespacial;
 - Até dois estudantes de engenharia automotiva;
 - Até quatro estudantes de engenharia eletrônica;
 - Até quatro estudantes de engenharia de energia;
 - Até quatro estudantes de engenharia de *software*;

Até a presente data de confecção deste termo, a equipe consolidada constitui de 13 integrantes, onde:

- Três estudantes de engenharia aeroespacial serão atribuídos aos papéis de especialista em dinâmica, especialista em estrutura e *project tracker*;
- Um estudante de engenharia automotiva será atribuído aos papéis de especialista em dinâmica, especialista em estrutura e *project tracker*;
- Três estudantes de engenharia de energia serão atribuídos aos papéis de especialista em elétrica, especialista em energia e *project tracker*;
- Três estudantes de engenharia de *software* serão atribuídos aos papéis de especialista em *software* e *project tracker*.

5.3.3 Ferramentas de Comunicação

As ferramentas de comunicação podem ser divididas em duas categorias:

1. **Comunicação interpessoal:** Capaz de proporcionar um ambiente virtual de troca de mensagens de texto, áudio e/ou vídeo;

2. **Comunicação operacional:** Capaz de proporcionar um meio para compartilhamento de informação e artefatos relevantes para o projeto;

As ferramentas de comunicação interpessoal definidas para uso são:

- **Telegram:** Mensageiro para dispositivos móveis, computadores e *web*, é a ferramenta escolhida para conversações informais e de informes de rápido alcance ao time do projeto;
- **Slack:** Mensageiro para dispositivos móveis, computadores e *web*, é a ferramenta escolhida para conversações formais gerais e específicas de cada segmento do time do projeto;
- **Hangouts:** Mensageiro e ferramenta de videoconferência para dispositivos móveis e *web*, é a ferramenta escolhida para videoconferências.

As ferramentas de comunicação operacional definidas para uso são:

- **Google Drive:** Gerenciador de arquivos em nuvem, é a ferramenta escolhida para o gerenciamento de artefatos gerais do projeto;
- **GitHub:** Versionador de arquivos de texto em nuvem, é a ferramenta escolhida para o gerenciamento de documentos de texto e código-fonte dos sistemas de *software*;
- **Slack:** Mensageiro para dispositivos móveis, computadores e *web*, é a ferramenta escolhida para o mapeamento e controle de tarefas.

5.4 Plano de Gerenciamento de Riscos

O gerenciamento de riscos fornece a estrutura necessária para o entendimento e avaliação de riscos, sua aceitabilidade por técnicas de ponderamento de riscos e práticas que determinem como lidar caso tais riscos venham a ocorrer. O gerenciamento de risco gira em torno de 3 práticas:

1. Reconhecer e avaliar potenciais riscos e seus efeitos;
2. Identificar e priorizar ações que podem eliminar potenciais falhas, reduzir a chance de ocorrência e aproveitamento de oportunidades;
3. Documentação das avaliações de riscos e atividades corretivas para que o controle de qualidade aumente ao longo do tempo.

O uso de ferramentas de gerenciamento de riscos ao longo das diversas fases do projeto e seu ciclo de operação compõem uma metodologia. Os benefícios que o gerenciamento de riscos provê ao projeto é uma estratégia sistemáticas e disciplinadas para entender os meios pelo qual o produto pode vir a falhar.

Os tópicos a seguir são alguns dos benefícios que o gerenciamento de riscos fornece ao projeto:

- Fornece meios para revisão do produto e projeto;
- Ajuda a identificar características críticas do produto e processo;
- Aumenta a produtividade, qualidade, segurança e eficiência de gastos;
- Ajuda a determinar a necessidade de selecionar materiais, dispositivos, componentes e peças alternativas;
- Fornece meios de comunicação entre diferentes departamentos do projeto;
- Garante que potenciais falhas e seus efeitos no sistema serão identificados e avaliados, consequentemente ajudando a identificar erros e definir ações corretivas.

A Figura 19 descreve o fluxograma de avaliação de medidas corretivas, principal processo de gerenciamento de riscos definido para este projeto.

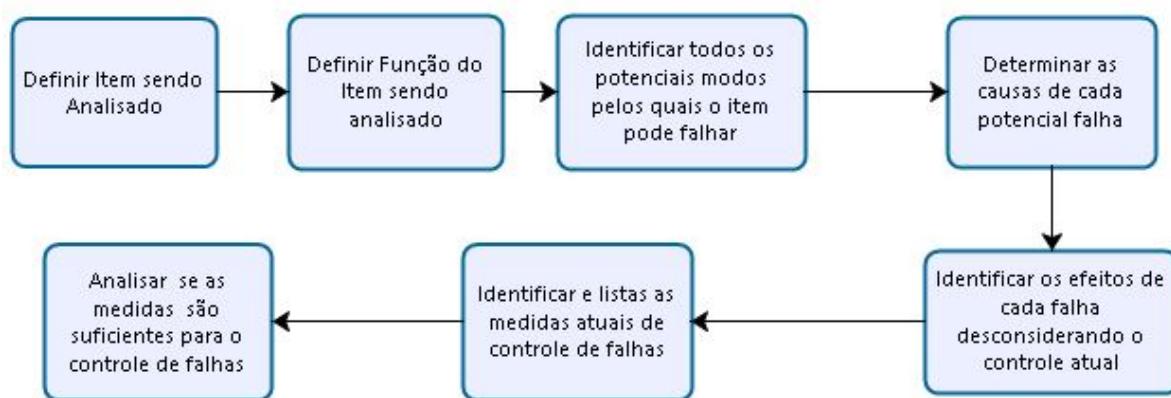


Figure 19 – Fluxograma de avaliação de medidas corretivas

6 Soluções e Testes

6.1 2RBoat

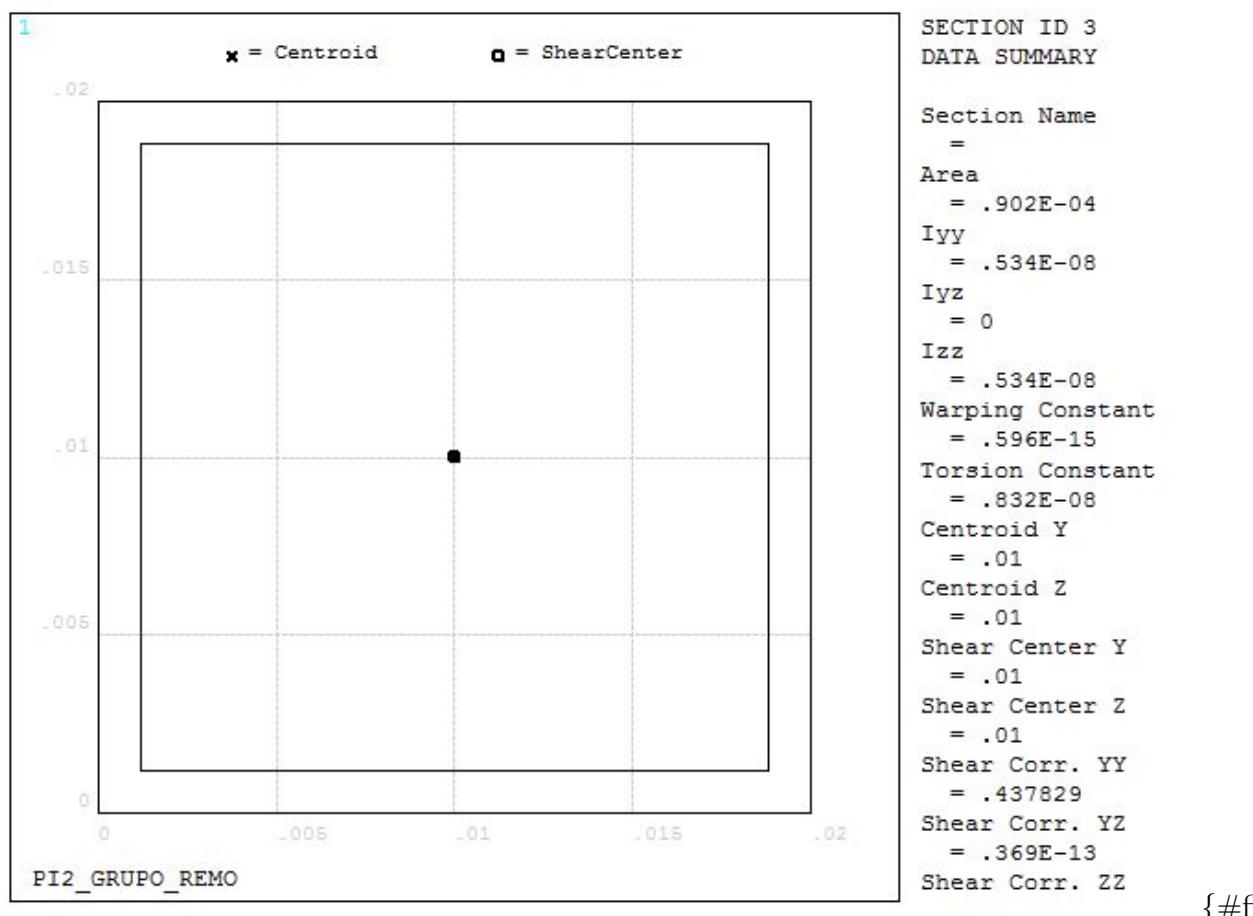
6.1.1 Simulações Estruturais

Para se definir o perfil a ser utilizado para construção da estrutura se construiu um modelo em elementos finitos no software *Ansys Mechanical APDL*. A escolha da ferramenta utilizado se deu principalmente por dois fatores:

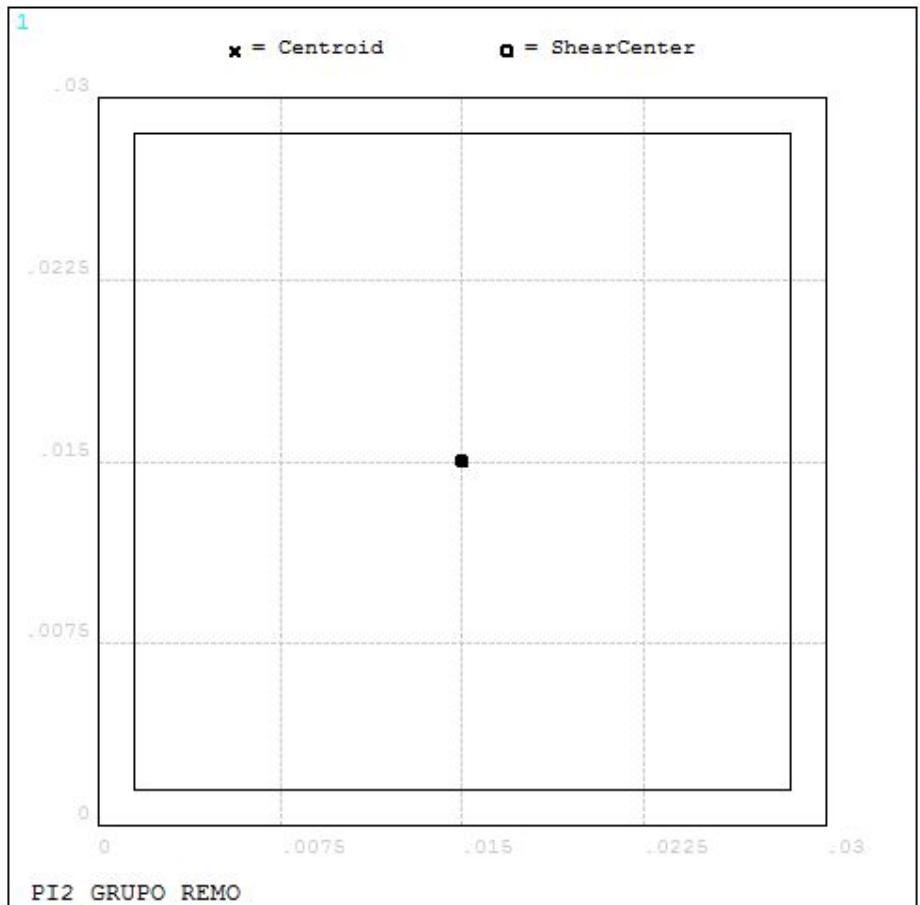
- Velocidade de Simulação: A estrutura principal, formada pela trave, é composta por perfis de aço unidos por solda. É uma estrutura que pode ser simplificada através de elementos lineares em um *software* de elementos finitos. Elementos lineares

são computacionalmente mais leves e propiciam resultados altamente precisos em estruturas simples.

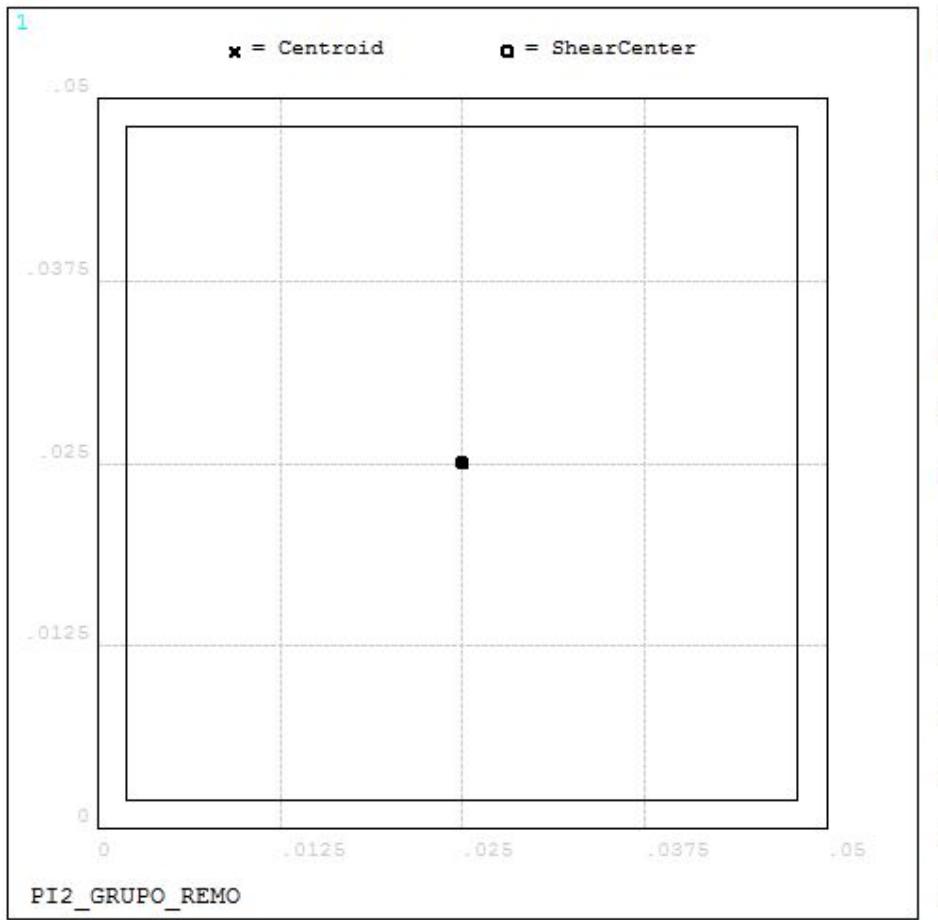
- Parametrização da Estrutura: A princípio o principal objetivo das simulações era a escolha do perfil a ser utilizado, o *Mechanical APDL* permite mudar o perfil estrutural escolhido com a alteração de apenas uma linha de comando. Eliminando o processo de alterar o CAD, exportar geometria, importar no *ANSYS* e realizar a simulação.



SECTION DATA SUMMARY
Section = Area = .171
Iyy = .232
Iyz = 0
Izz = .232
Warping = .444
Torsion = .360
Centroid = .015
Centroid = .015
Shear Cen = .015
Shear Cen = .015
Shear Co = .434
Shear Co = -.98
Shear Co



Quadrado 20x20x1.2mm}



Quadrado 30x30x1.5mm}
 Quadrado 50x50x2mm}

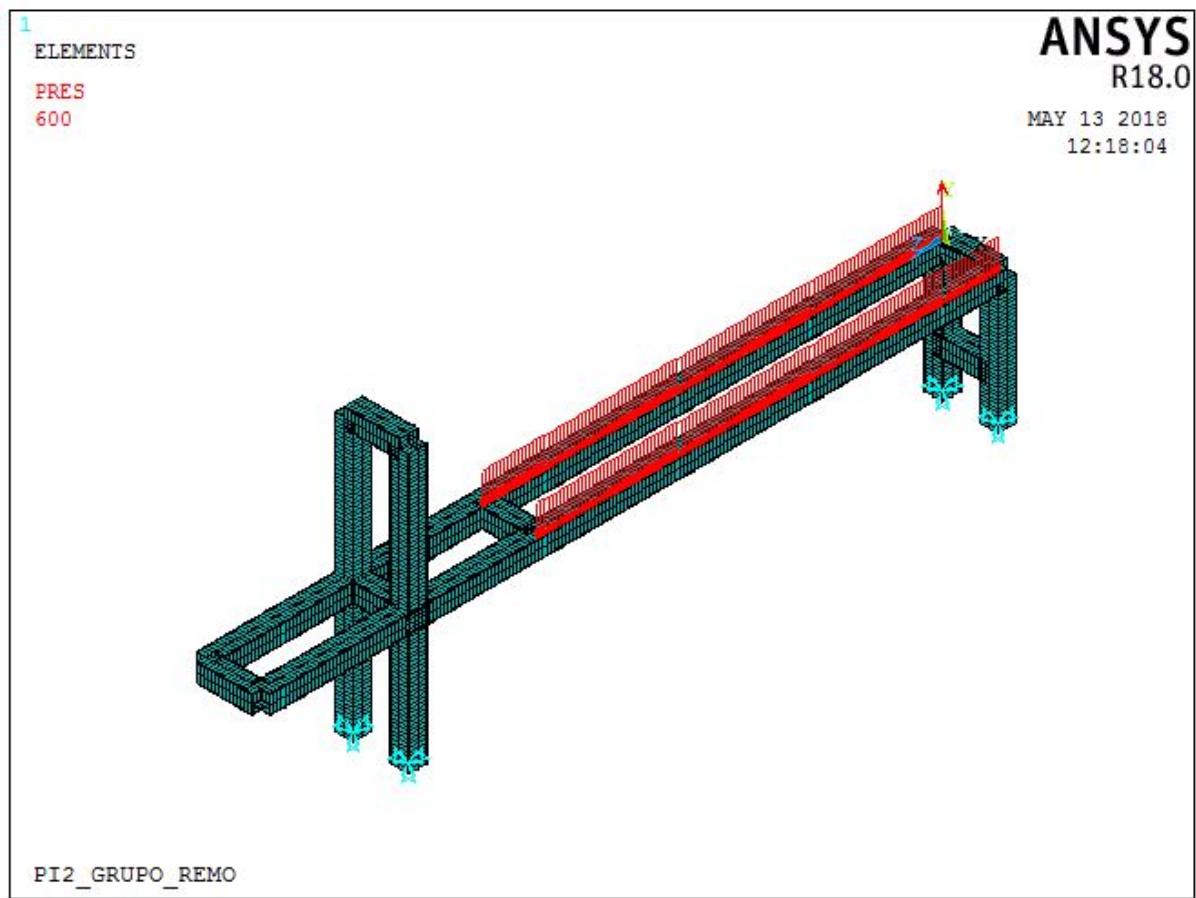
O ANSYS MAPDL requer que o usuário alimente o programa com as informações referentes ao material utilizado nas simulações, para tal utilizamos as informações para o Aço 1020 retiradas do Apêndice B da referência.

Material	Aço 1020
Módulo de Elasticidade	207 GPa
Coef. de Poisson	0.33
Densidade	7850 kg/m ³

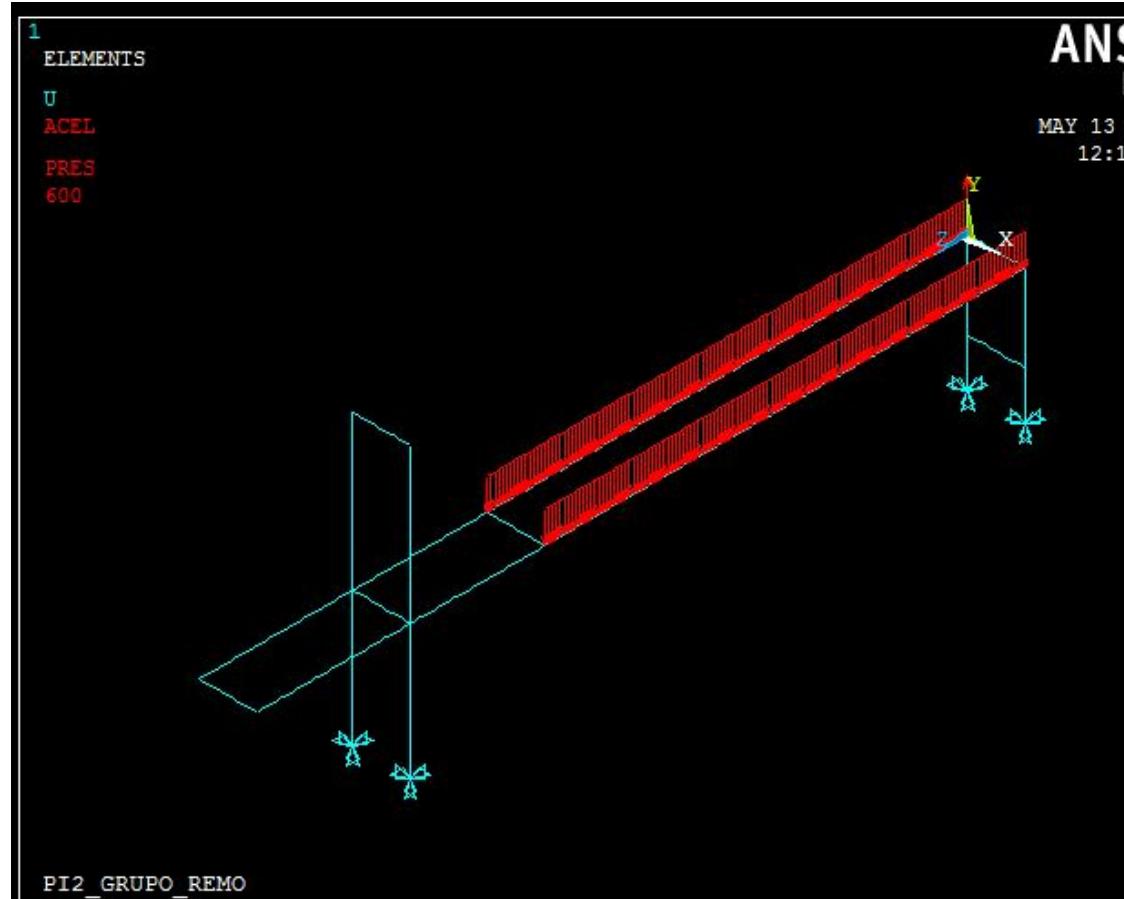
O Elemento linear utilizado foi o *BEAM188*, apesar das vantagens mencionadas ao se utilizar o elemento linear, o elemento possui limitações quanto aos resultados que pode fornecer. O programa não é capaz de calcular tensão equivalente de Von-Mises ou tensão de cisalhamento na seção transversal. Os valores que o programa é capaz de entregar são de tensão normal causada por esforço axial e de tensão normal causada por flexão. Logo, não foi utilizado critério de falha nessa etapa. O principal critério para a escolha do perfil foi o deslocamento máximo da estrutura e a tensão normal causada por flexão.

As condições de contorno utilizadas para a simulação foram as de deslocamento

restrito nos pés da estrutura e a aplicação de um força distribuída sobre o comprimento que se encontrará o trilho, simulando o peso que o usuário fará na estrutura principal, além disso o peso próprio da estrutura foi contabilizado ao se inserir na simulação uma aceleração na direção vertical de valor equivalente a 1 gravidade.



{#fig:Cor

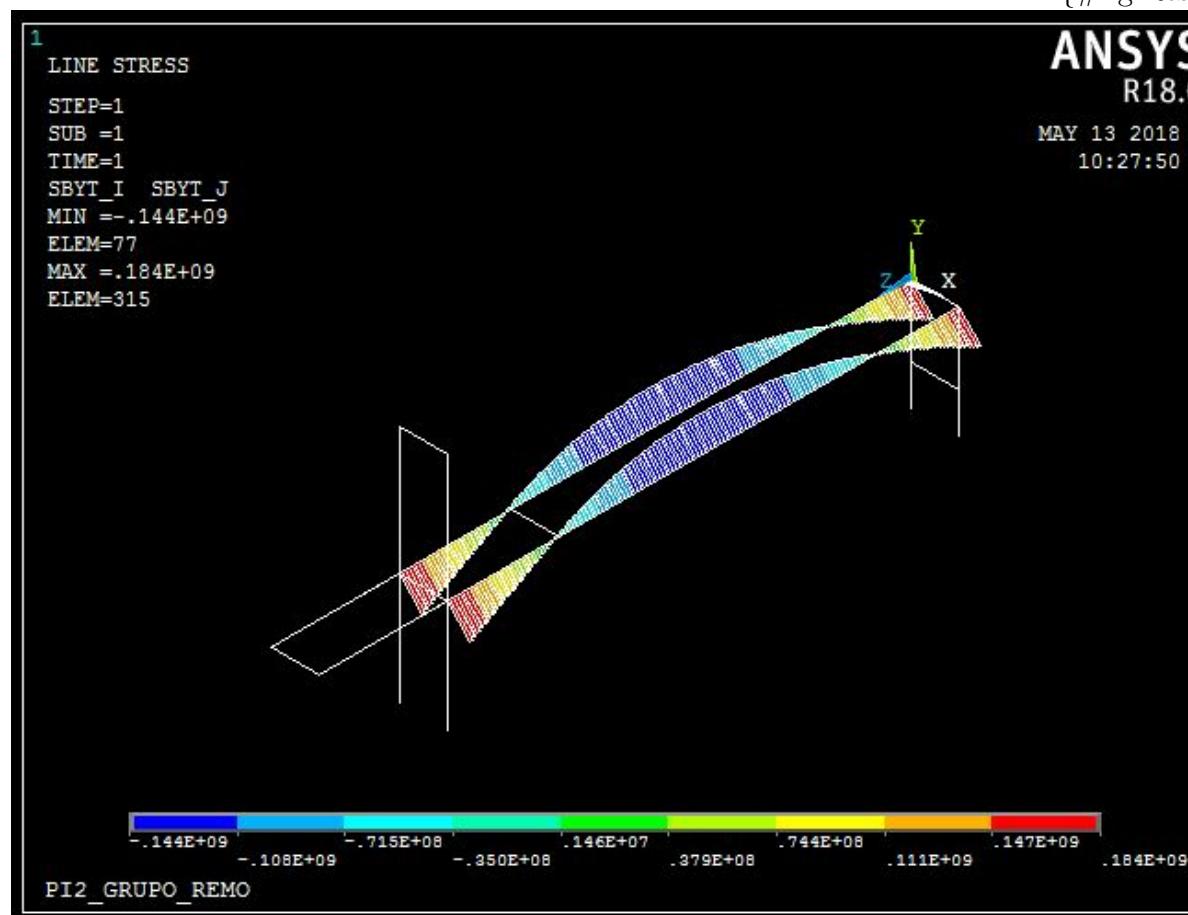


de Contorno (a)}
de Contorno (b)}

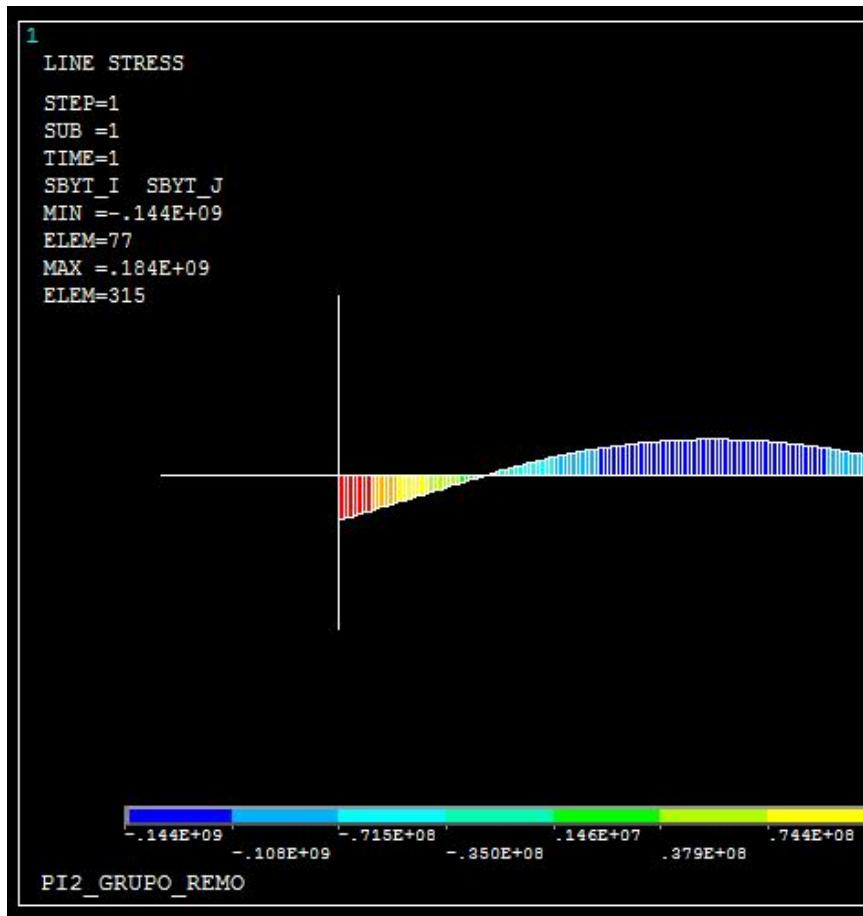
Todos os perfis simulados são de formato quadrado, o primeiro a ser simulado possui dimensões de 20x20x1.2mm. O deslocamento máximo da estrutura foi de 12,9mm e a tensão máxima foi de 184 MPa.



{#fig:Res



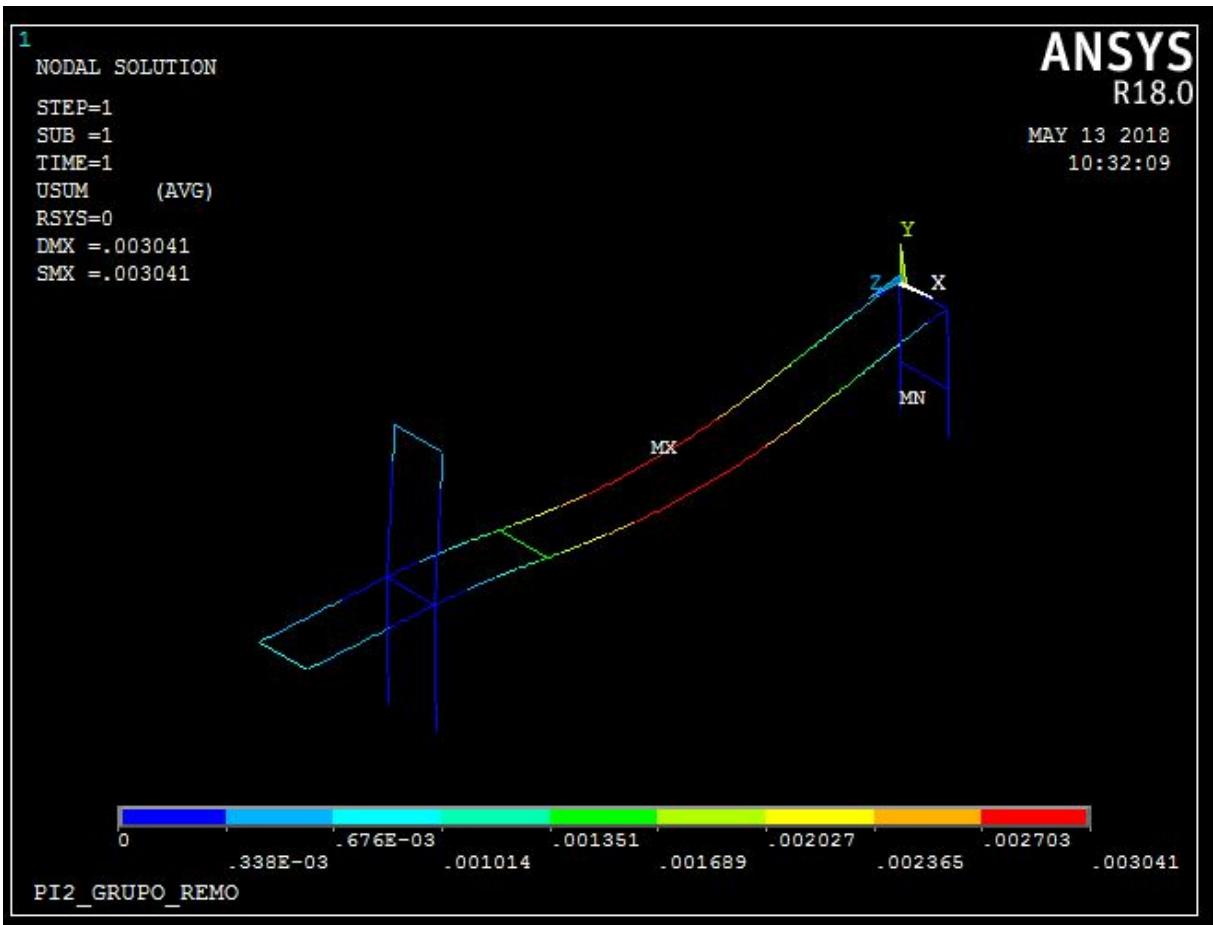
de Deslocamento}



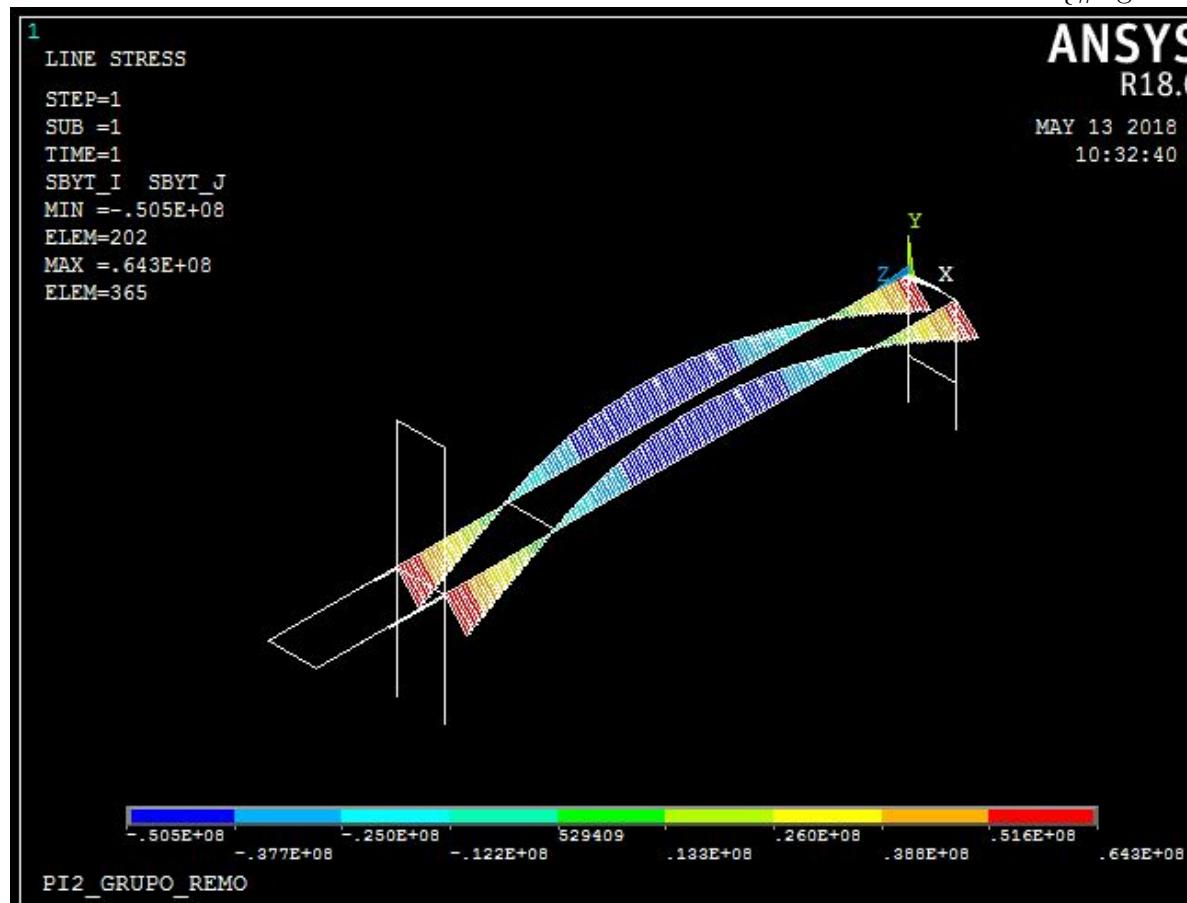
Resultante na Seção Transversal (1)}

Resultante na Seção Transversal (2)}

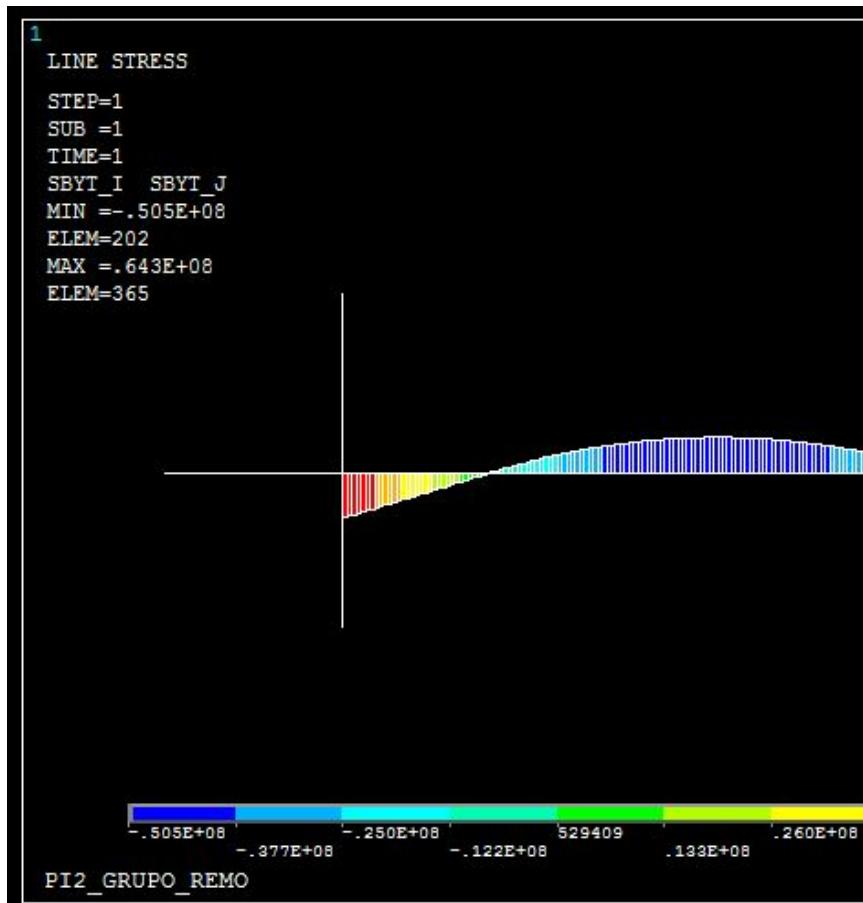
O segundo perfil simulado tinha dimensões de 30x30x1.5mm. O deslocamento máximo encontrado foi de aproximadamente 3mm. A tensão máxima causada por flexão foi de 64.3 MPa.



{#fig:Res



de Deslocamento}



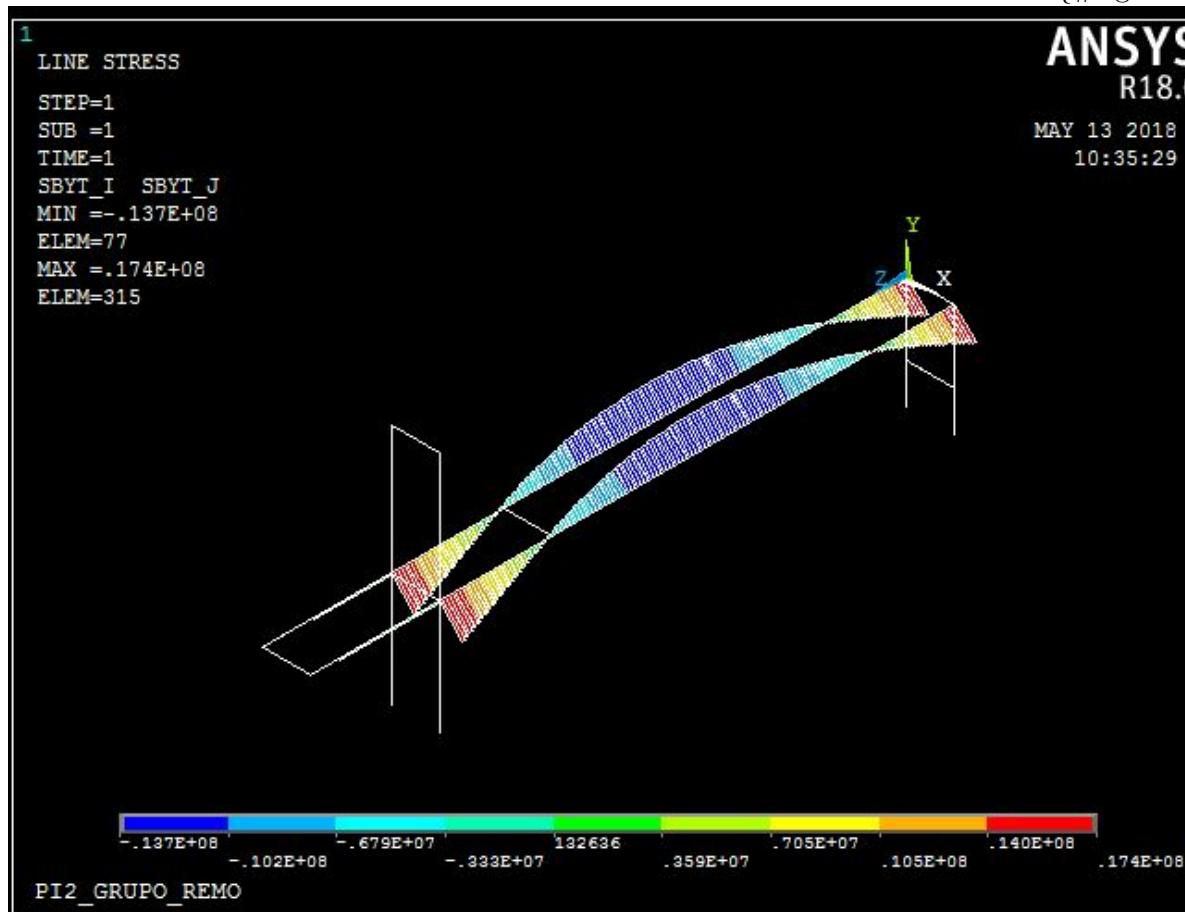
Resultante na Seção Transversal (1)}

Resultante na Seção Transversal (2)}

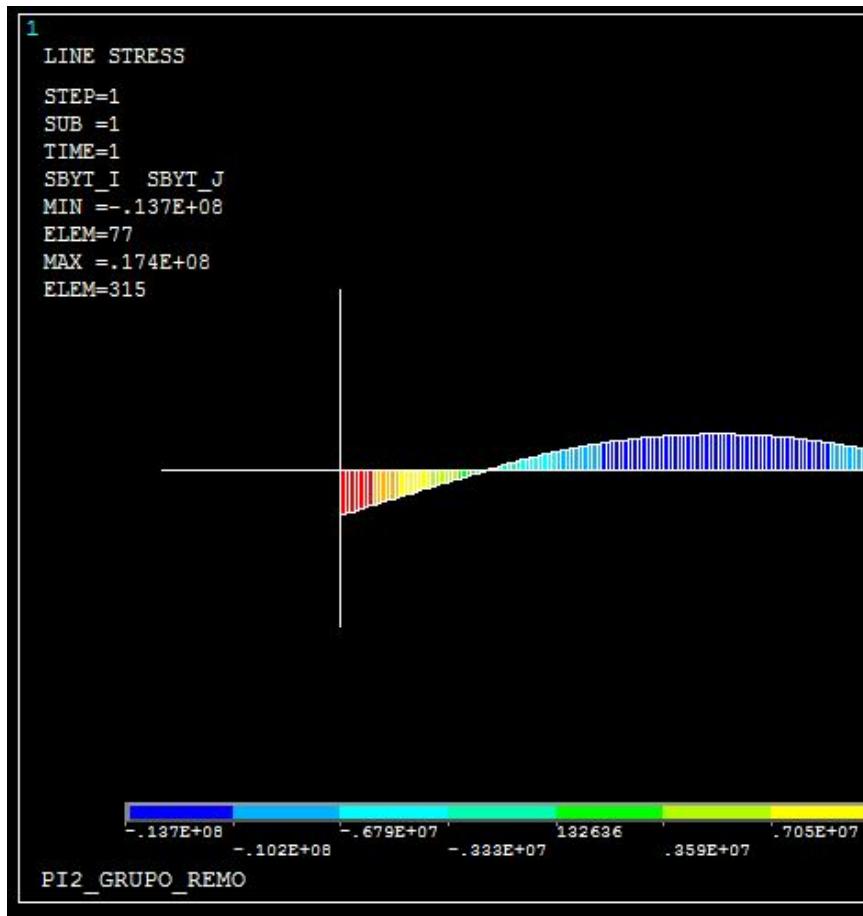
O último perfil escolhido tinha dimensões 50x50x2mm. O deslocamento máximo encontrado foi de 0.508mm, e a tensão máxima 17.4 MPa.



{#fig:Res



de Deslocamento}



Resultante na Seção Transversal (1)}

Resultante na Seção Transversal (2)}

O último perfil verificado apresenta baixo deslocamento e tensão máxima muito abaixo do limite de escoamento, foi decidido utilizar tal perfil principalmente pelo fato dos dois perfis anteriores apresentarem deslocamentos muito grandes e o limite de escoamento estar muito distante, uma vez que se utilizou um aço não certificado (Methalon), que possui propriedades mecânicas desconhecidas.

A estrutura construída estará em contato com uma série de cargas dinâmicas, como o eixo de transmissão que apresentará movimento rotacional ou o movimento de remada realizado pelo usuário da máquina, obter as frequências naturais da estrutura é necessário para se averiguar a ocorrência de ressonância ou a necessidade de adicionar amortecimento à estrutura.

Utilizando as mesmas condições de contorno para se obter as frequências naturais obtivemos as seguintes frequências em *Hertz*:

SET,LIST Command

File

***** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE *****

SET	TIME/FREQ	LOAD	STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	52.242		1	1	1
2	69.836		1	2	2
3	106.52		1	3	3
4	111.78		1	4	4
5	176.82		1	5	5
6	194.02		1	6	6
7	194.73		1	7	7
8	198.91		1	8	8
9	266.39		1	9	9
10	298.70		1	10	10
11	317.55		1	11	11
12	358.65		1	12	12
13	427.65		1	13	13
14	519.74		1	14	14
15	525.42		1	15	15
16	595.75		1	16	16
17	596.07		1	17	17
18	640.28		1	18	18
19	679.39		1	19	19
20	684.15		1	20	20

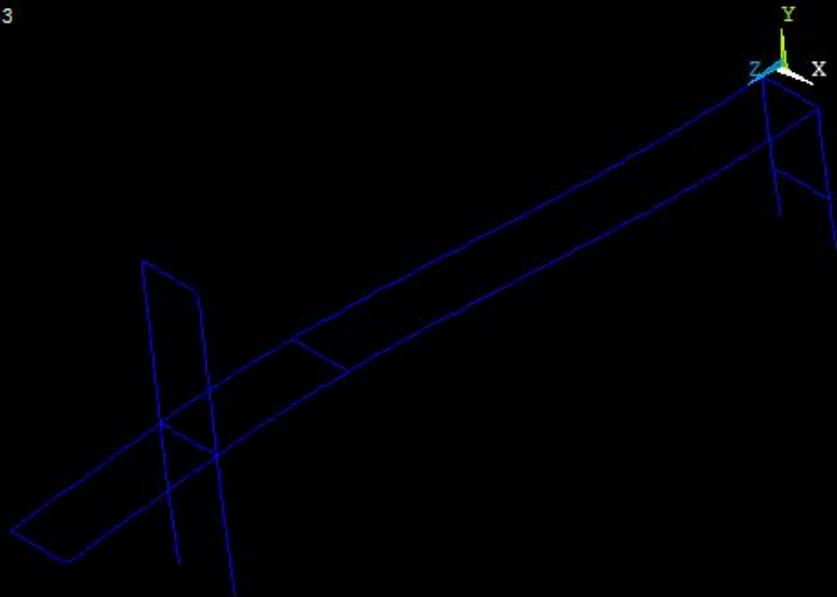
{#fig:20 Primeiros Modos

de Vibração da Estrutura}

ANSYS
R18.0

MAY 13 2018
10:44:49

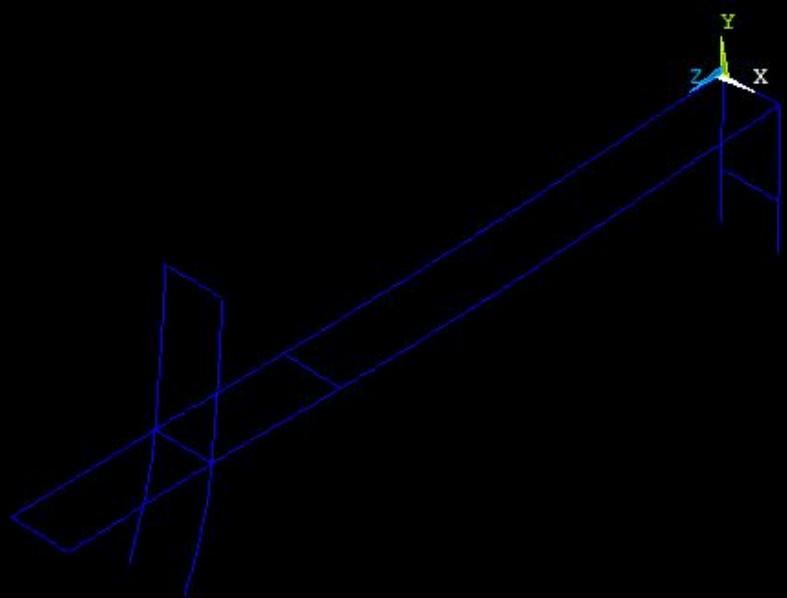
```
1
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =1
FREQ=52.2418
DMX = .403653
```



PI2_GRUPO_REMO

{#6

```
1
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =2
FREQ=69.8363
DMX = .359107
```

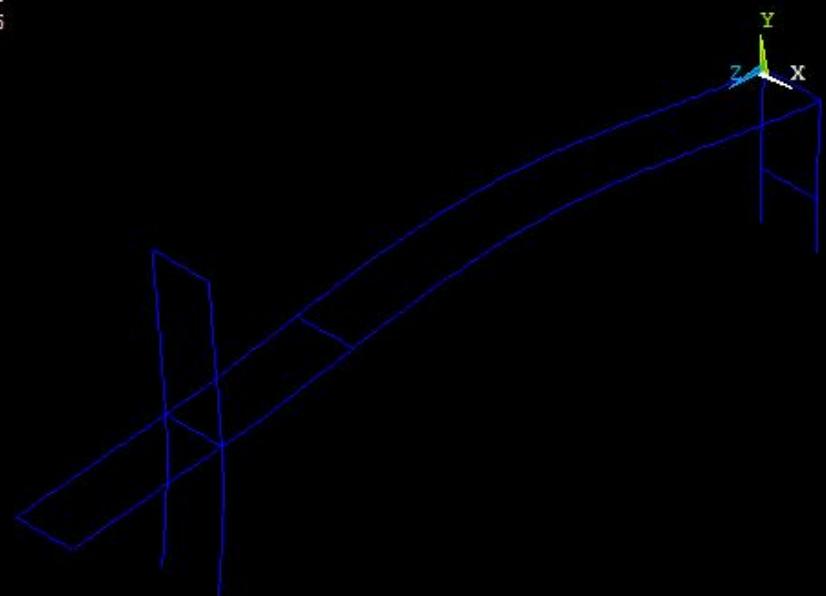


PI2_GRUPO_REMO

Modo de Vibração}

ANSY
R18

MAY 13 2018
10:46:01

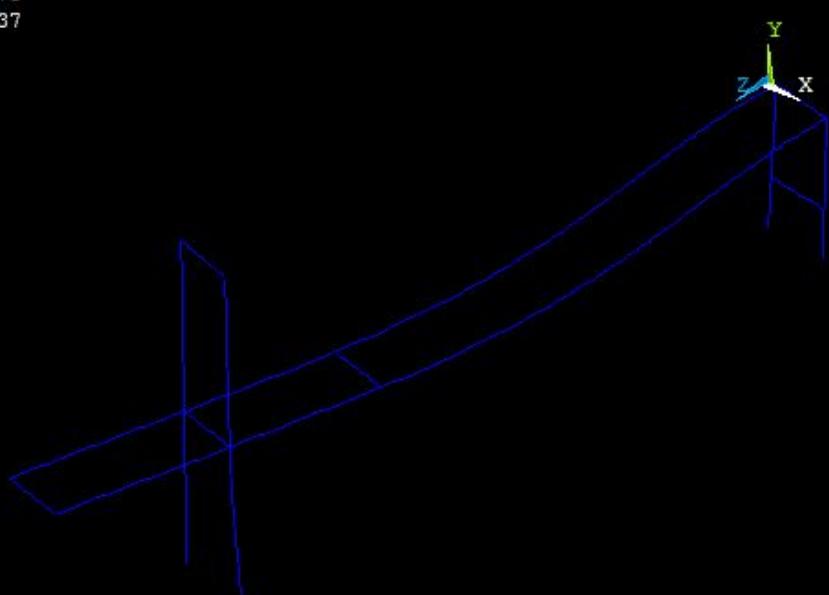


PI2_GRUPO_REMO

Modo de Vibração}

ANSY
R18

MAY 13 2018
10:46:44

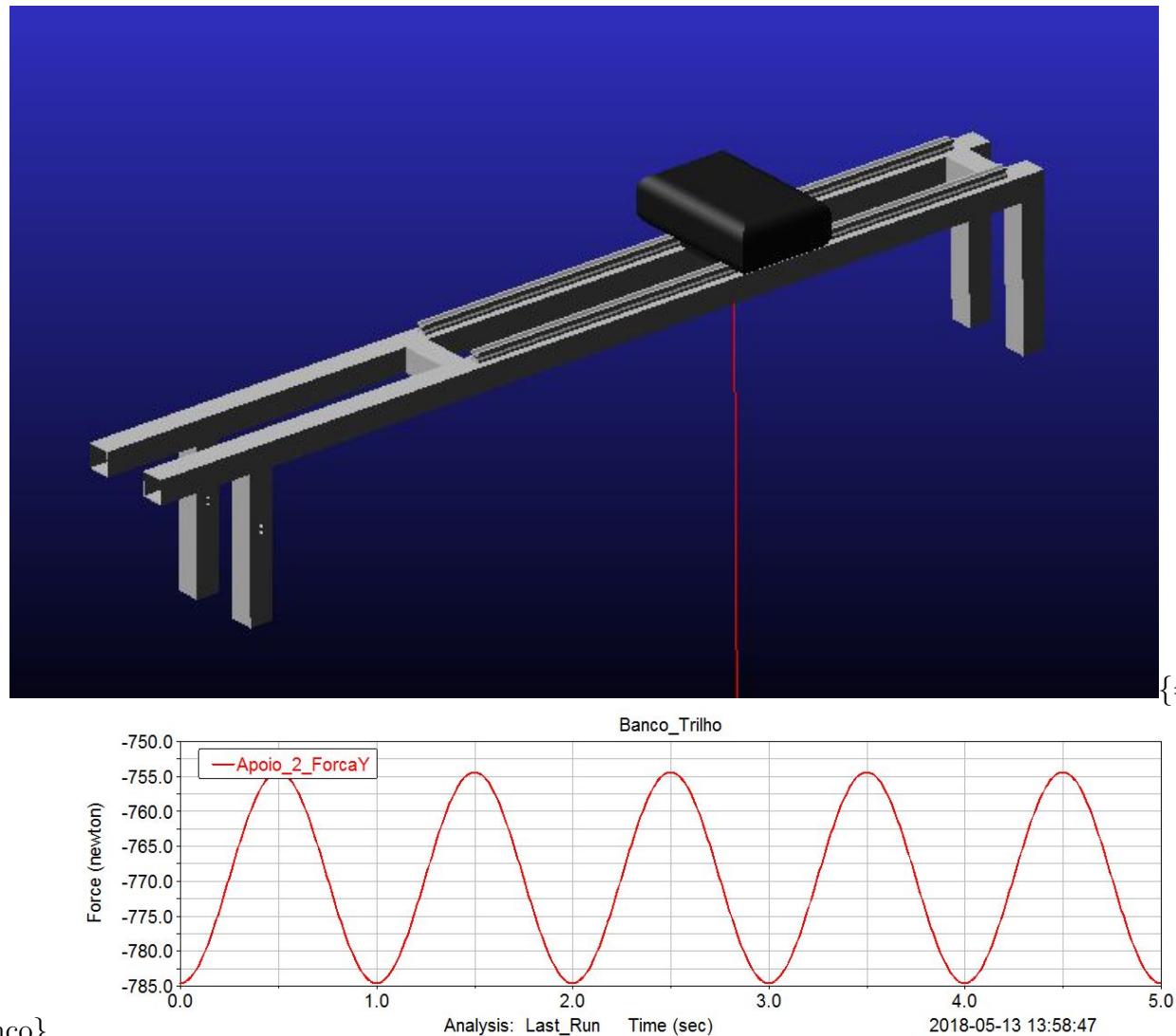


PI2_GRUPO_REMO

Modo de Vibração}

Modo de Vibração}

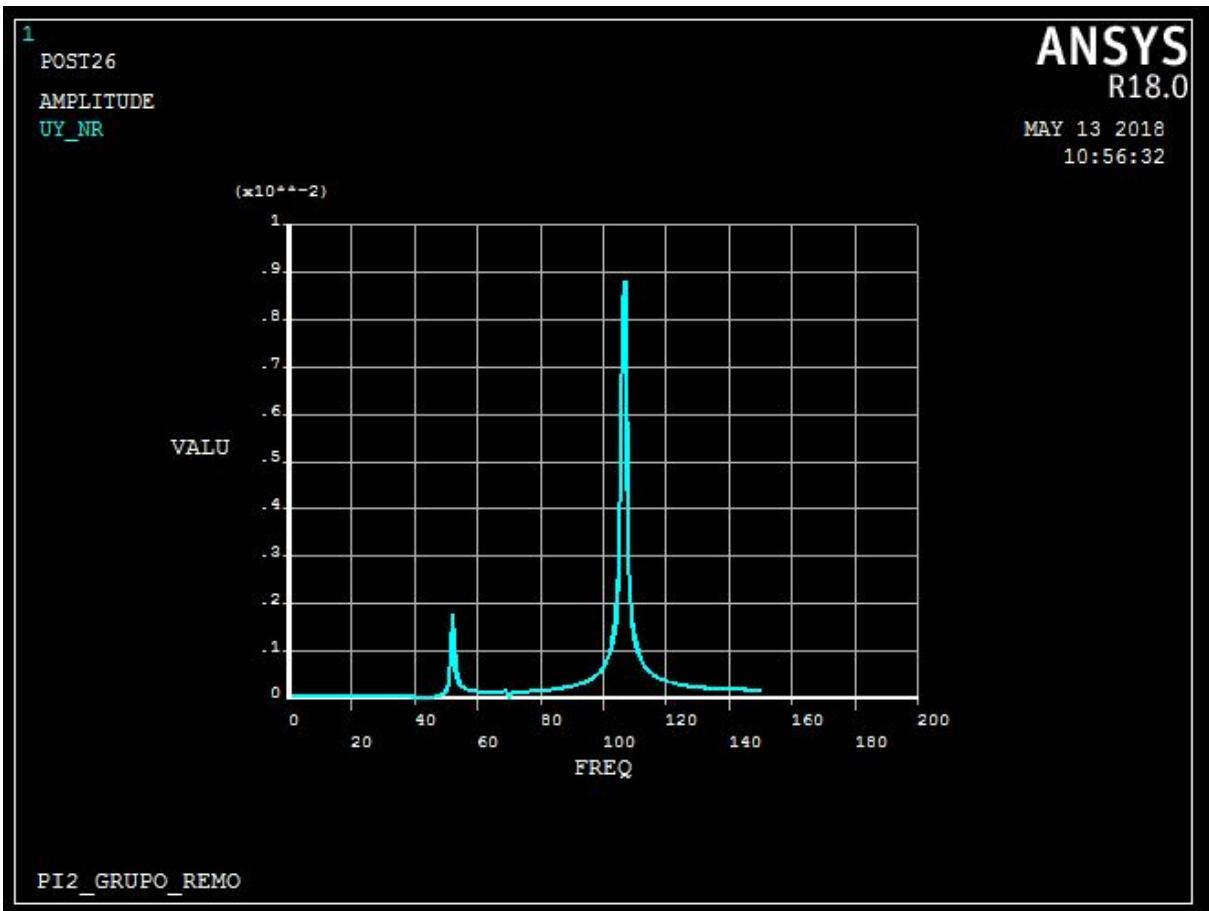
O movimento ideal de remada de um atleta obedece ciclos de 1 segundo, o movimento foi modelado utilizando o software *MSC ADAMS* para que se determine a amplitude da força que será exercida na estrutura com ciclos de frequência igual a 1 *Hertz*.



do Banco}

Exercida pelo Banco na Estrutura}

A análise harmônica foi realizada na estrutura com a amplitude de força encontrada através da modelagem do movimento do banco. O espectro de frequências estudado foi de 0 à 150 *Hertz*. A análise da figura abaixo mostra os picos de ressonâncias nas frequências de aproximadamente 52.242 *Hz* e 106.52 *Hz*.



{#fig:Res

Harmônica do Banco sobre Estrutura}



Figure 20 – Estrutura1

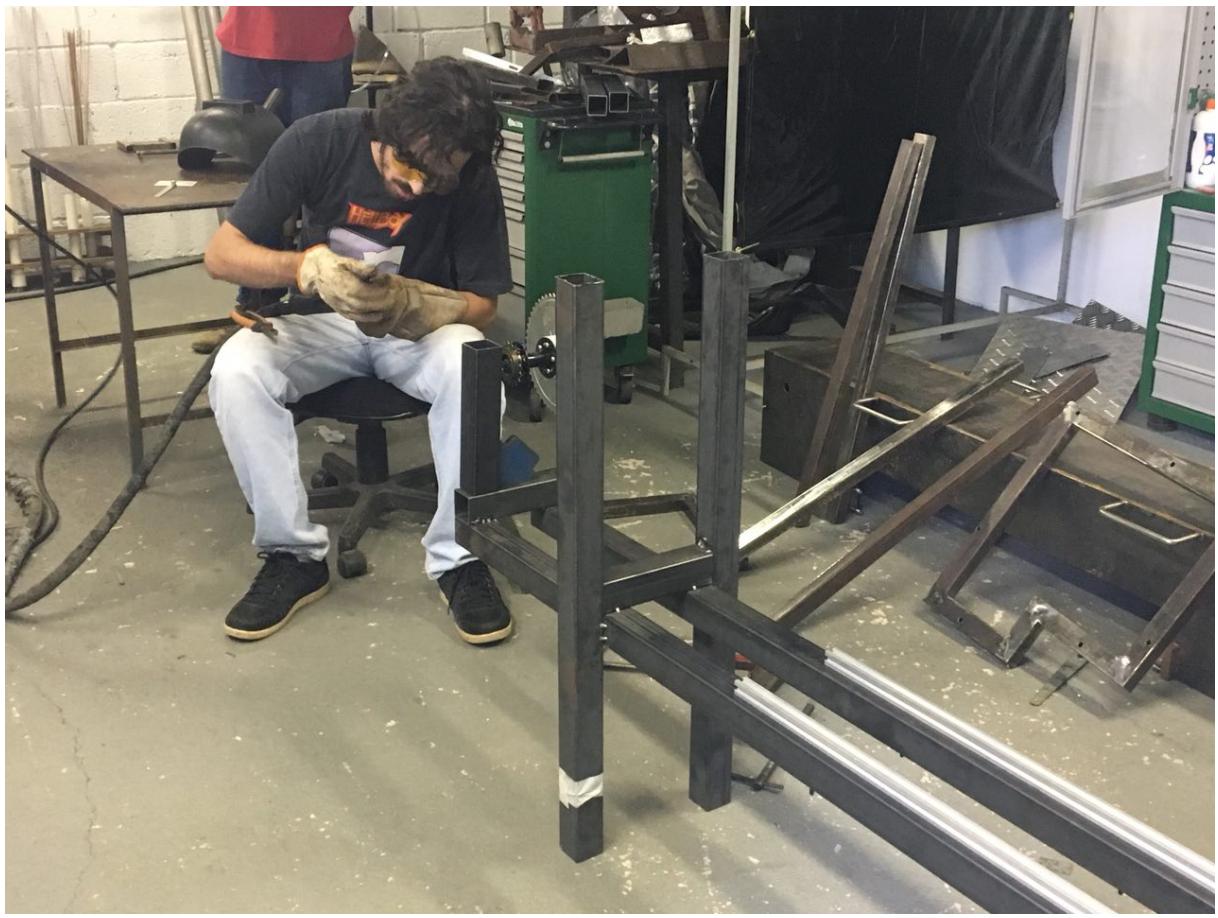


Figure 21 – Estrutura2



Figure 22 – Estrutura3

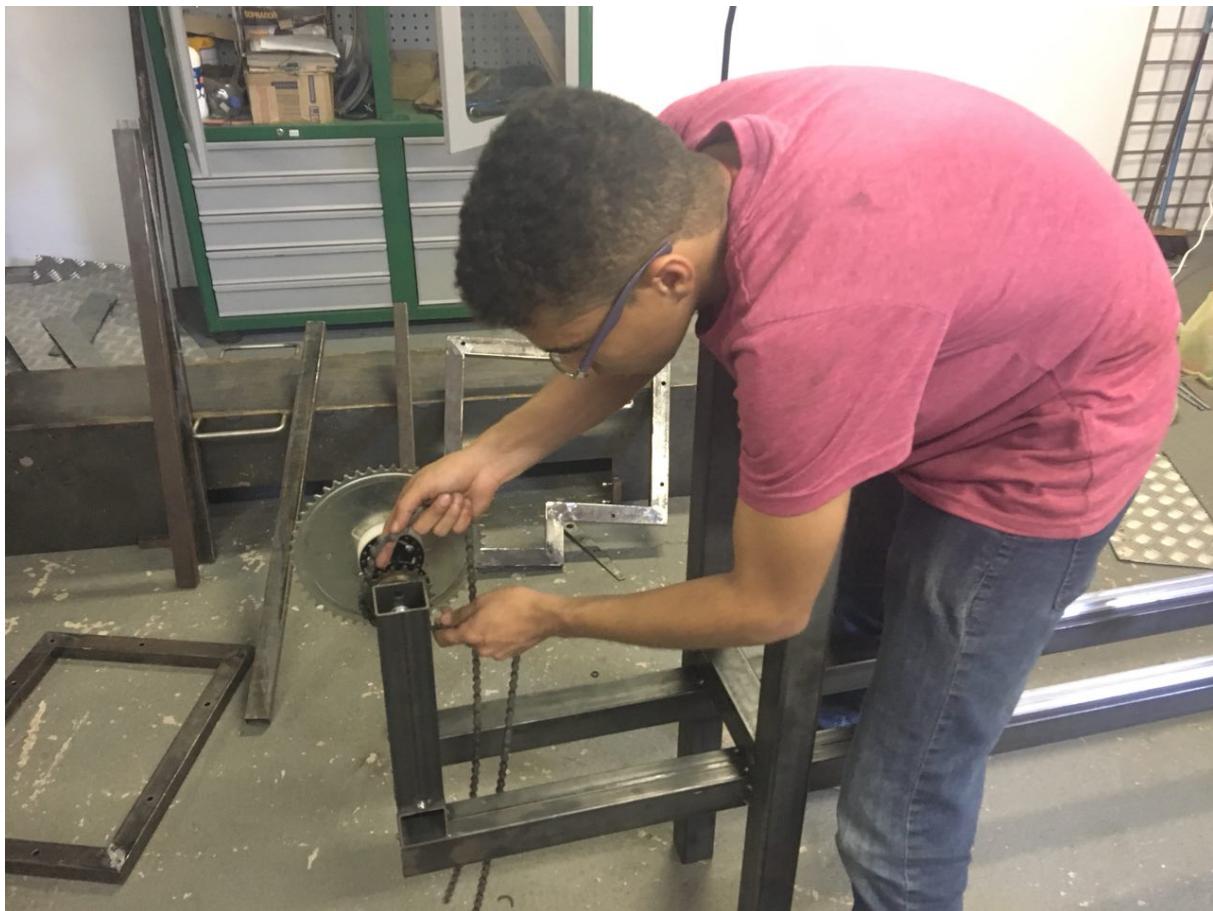


Figure 23 – Estrutura4

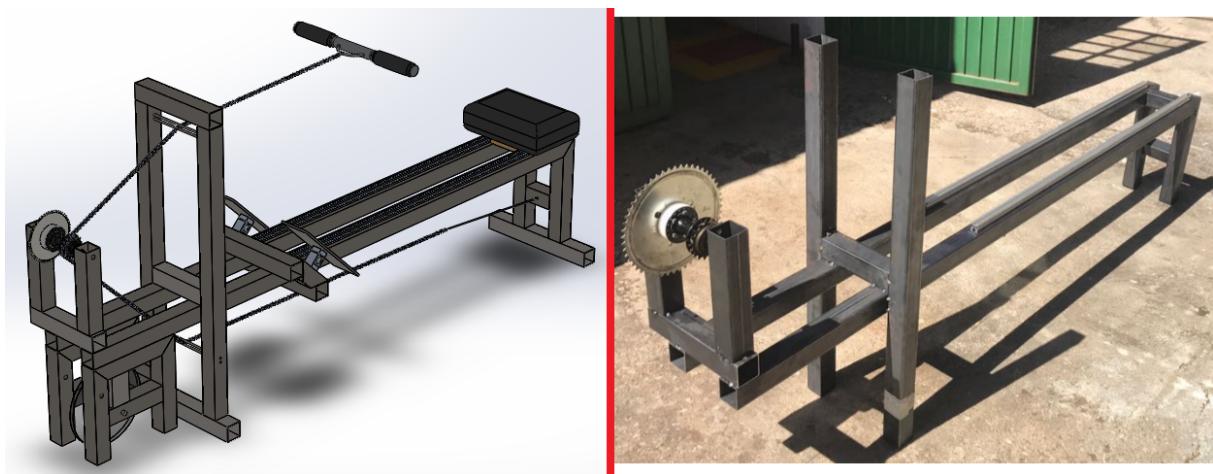


Figure 24 – Estrutura5

6.2 2RPower

O sistema de energia, que tem por objetivo gerar uma carga variável para a remada do atleta, inicialmente, havia escolhido como solução um sistema que empregava um gerador elétrico acoplado a um banco de resistores. Contudo, a construção desse sistema se apresentou muito complexa para ser realizada durante o tempo estipulado para a

disciplina, dessa forma, a alternativa foi testar um alternador automotivo, segunda solução encontrada.

Durante os testes o alternador não correspondeu a validação de projeto a qual o grupo estava a procura para satisfazer as necessidades da solução proposta. Sendo assim, a solução escolhida, por fim, para o funcionamento adequado do remo indoor foi a construção de um freio eletromagnético, também conhecido como freio de Foucault.

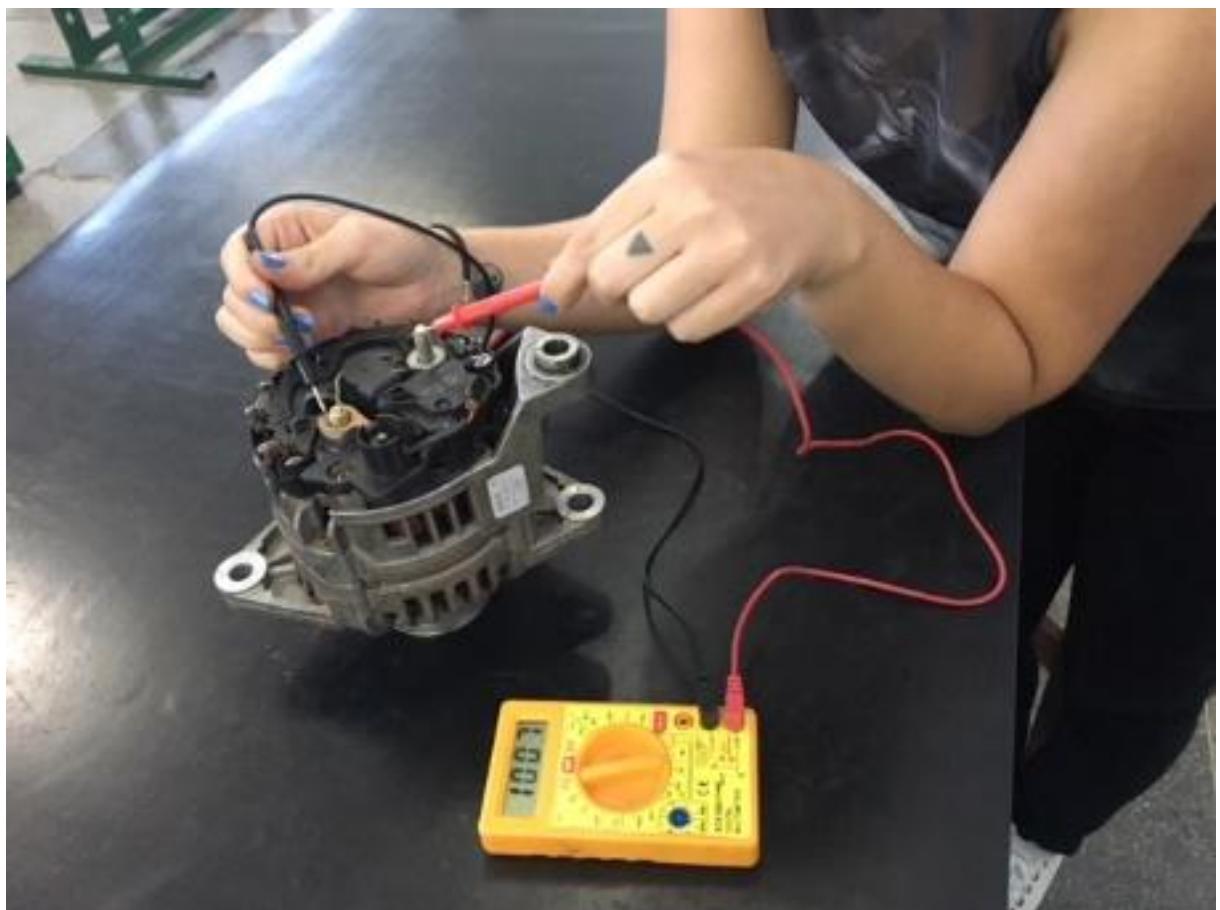


Figure 25 – Realização do teste com o alternador automotivo

6.2.1 Freio Eletromagnético

O uso do efeito de correntes parasitas na frenagem eletromagnética já é bastante difundido, tanto em meios acadêmicos, quanto industriais, um exemplo clássico é o freio de Foucault ou também como é conhecido, freio eletromagnético. Nele, utiliza-se um disco de alumínio ou cobre para interpor uma resistência ao torque de máquinas rotativas no intuito de reduzir a sua velocidade, simular uma variação da carga mecânica acoplada ao seu eixo ou até mesmo abreviar a sua frenagem no momento de seu desligamento, dissipando sua energia inercial na forma de efeito Joule, pela ação das correntes parasitas circulantes no disco (Pinheiro 2014).

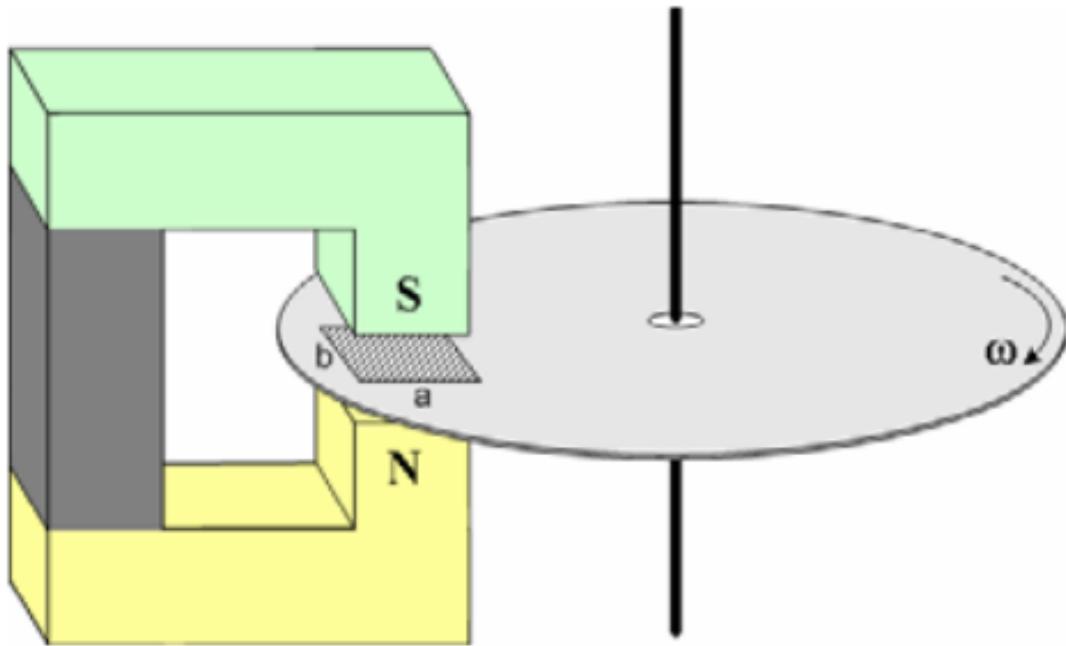


Figure 26 – Ilustração conceitual de um freio eletromagnético (Medeiros 1980)

O surgimento das correntes parasitas, é uma consequência direta do efeito da indução eletromagnética descrito por Faraday. As tensões elétricas são induzidas em um condutor sempre que este atravessar as linhas de fluxo de campo magnético constante ou quando este condutor for submetido a um campo magnético variável no tempo. Seja qual for o modo, as correntes induzidas percorrem caminhos a fim de manter oposição ao movimento relativo do condutor ou oposição à variação do campo magnético (Pereira 2006).

Em outras palavras, o efeito eletromagnético que caracteriza esse sistema, pode ser explicado a partir da lei de Ampère, que descreve que uma corrente elétrica circulando em um meio condutor induz um campo magnético cujas linhas de fluxo se posicionam em direção tangencial ao caminho de circulação da corrente. Como dito anteriormente, pela lei da indução de Faraday, sabe-se que uma variação de fluxo magnético resulta na indução de um campo elétrico, consequentemente, se um campo elétrico confinado a um meio condutor na forma de um circuito fechado produz a circulação de uma corrente neste circuito, tem-se que a variação de fluxo magnético concatenado a um circuito fechado leva analogamente à indução de um campo elétrico, e uma corrente proporcional à variação de fluxo que a gerou (Pereira 2006).

Por fim, a lei de Lenz determina que a corrente induzida (ou o campo elétrico da qual ela resulta) se projeta no sentido de se opor à variação de fluxo que a produziu. Ou, mais especificamente, o sentido da corrente induzida pela variação de um fluxo magnético é tal que ela venha a induzir um novo fluxo magnético (contra-fluxo) que virá a se opor à variação do fluxo que a induziu.

Diante do exposto, o projeto de solução visa a construção de um sistema composto por dois eletroímãs posicionados nas faces de um disco de aço que estará conectado ao eixo que transmite o movimento de remada do atleta, como podemos observar a seguir.

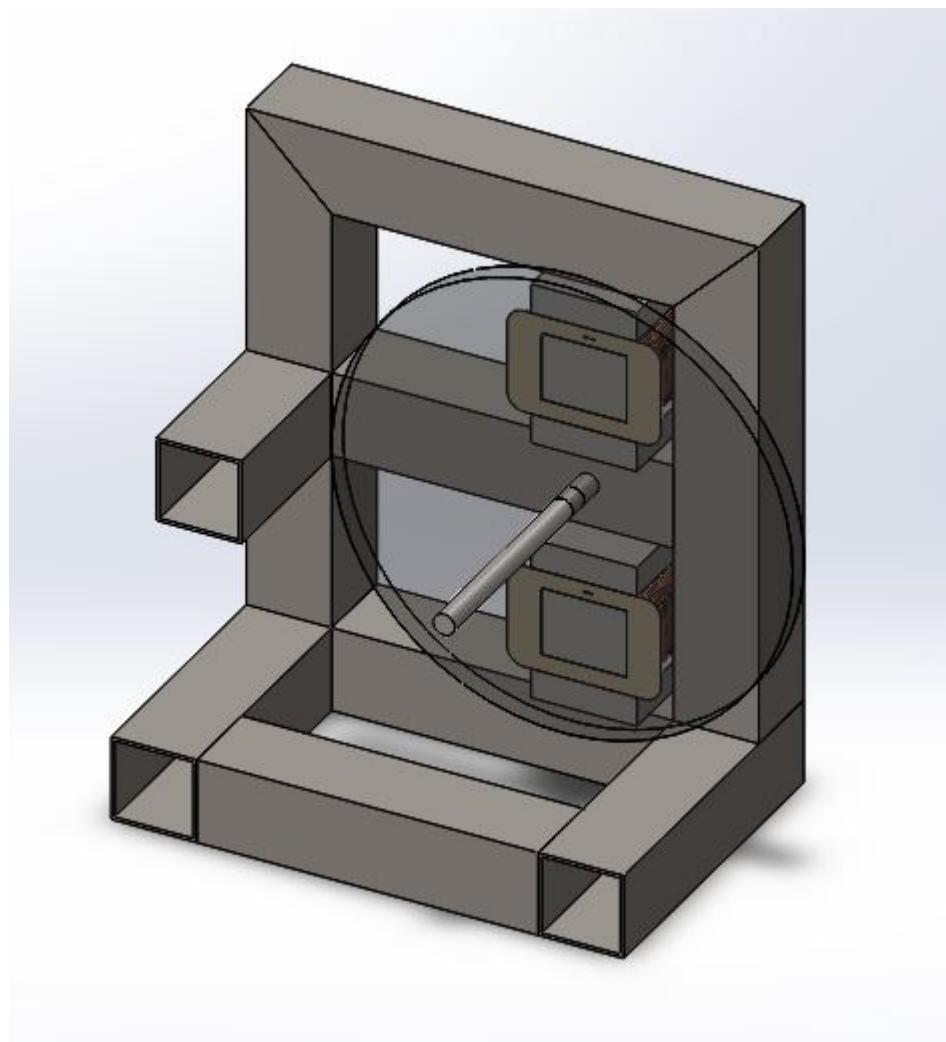


Figure 27 – Projeto de Solução do 2RPower.

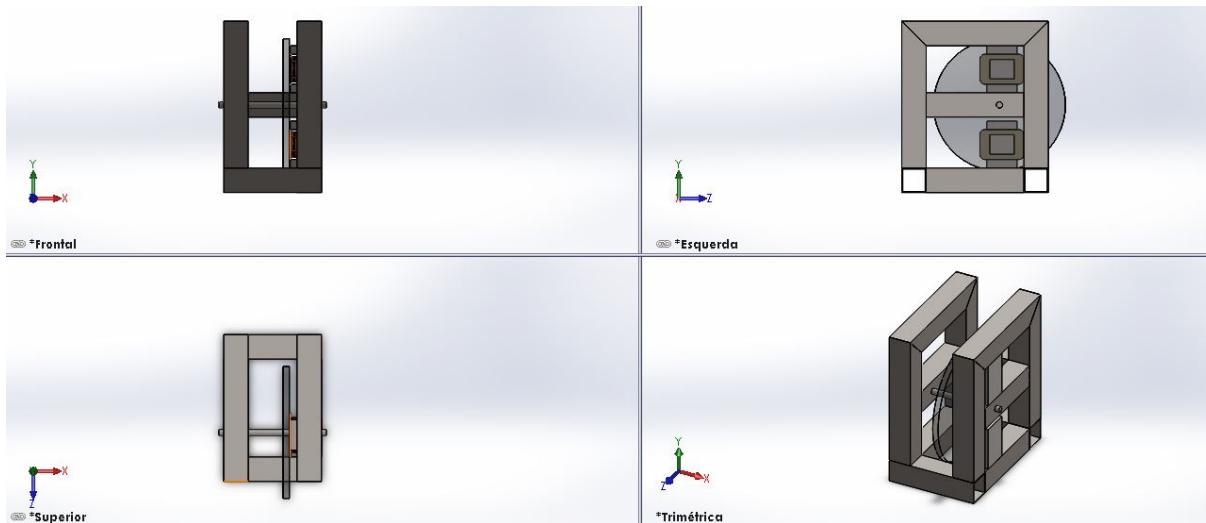


Figure 28 – Projeto de Solução do 2RPower.

6.2.2 Eletroímã

O eletroímã é composto por um núcleo metálico envolto por bobinas, que por sua vez são excitadas com corrente contínua controlada através de conversores estáticos (fontes de alimentação). A força de um eletroímã pode ser regulada para mais ou menos, ajustando-se a corrente elétrica que percorre suas bobinas.

A primeira etapa de montagem do eletroímã consistiu na procura de transformadores para serem desmontados e posteriormente transformados em eletroímãs. Reorganizando as finas chapas metálicas que os compõem na mesma direção, foi possível alcançar a construção de um núcleo metálico com geometria do tipo “E”. Para então, confeccionar novas bobinas de fio de cobre AWG 18, que seguiram especificações baseadas nos cálculos que serão apresentados mais adiante.

Para a montagem do segundo eletroímã, foi modelada a base de acordo com as dimensões do primeiro eletroímã, e sua construção foi realizada por meio de impressão 3D utilizando material PLA, termoplástico biodegradável. Após essa etapa, foram seguidos os mesmos passos da construção citados anteriormente.

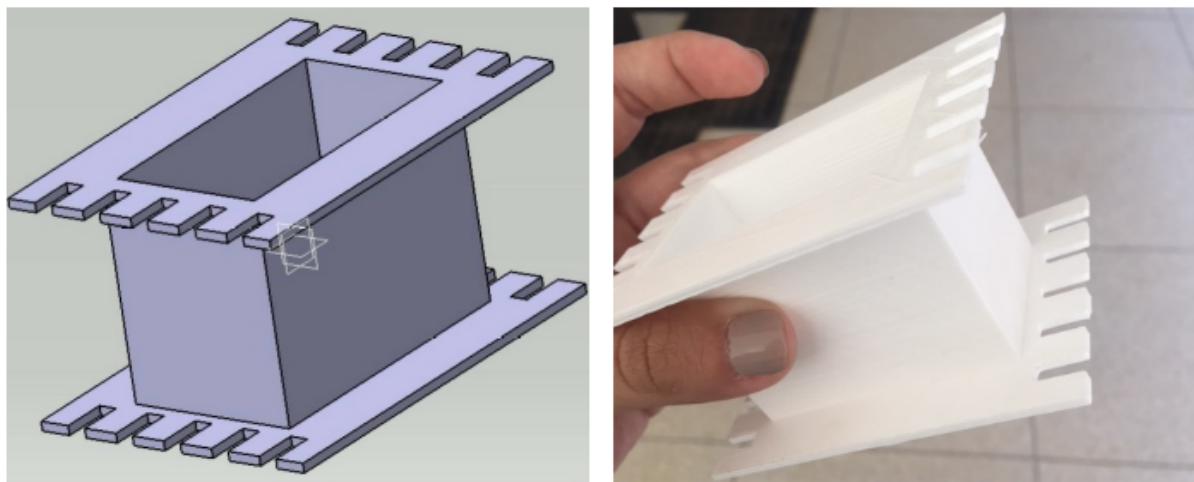


Figure 29 – Construção da base do eletroímã

O espaço para o enrolamento das bobinas é limitado pelas dimensões do “E”, com a tabela de espessura dos fios de cobre medidos em AWG, foi possível dimensionar o número de voltas para cada espessura de fio de cobre, e relacionar com a força de atração estática teórica que a corrente suportada por aquele fio gerava. Com esses cálculos, concluiu-se que o melhor espessura de fio era a AWG 18.



Figure 30 – Enrolamento da bobina na base do eletroímã

Quando decidiu-se trabalhar com eletroímã, foi proposto variar a corrente aplicada ao eletroímã para variar a força de atração, mas devido às dificuldades de trabalhar com uma corrente variável, optou-se por modular as bobinas do eletroímã em 4 níveis. Como a relação entre o número de espiras e a força de atração não é linear, foi necessário primeiro estabelecer o nível máximo e mínimo de força de atração, encontrar dois valores de força entre esses dois níveis pré-definidos, e estabelecer o número de voltas de cada uma das quatro bobinas.

Nível	Número de espiras em cada nível
1	191
2	268
3	307

Nível	Número de espiras em cada nível
4	380

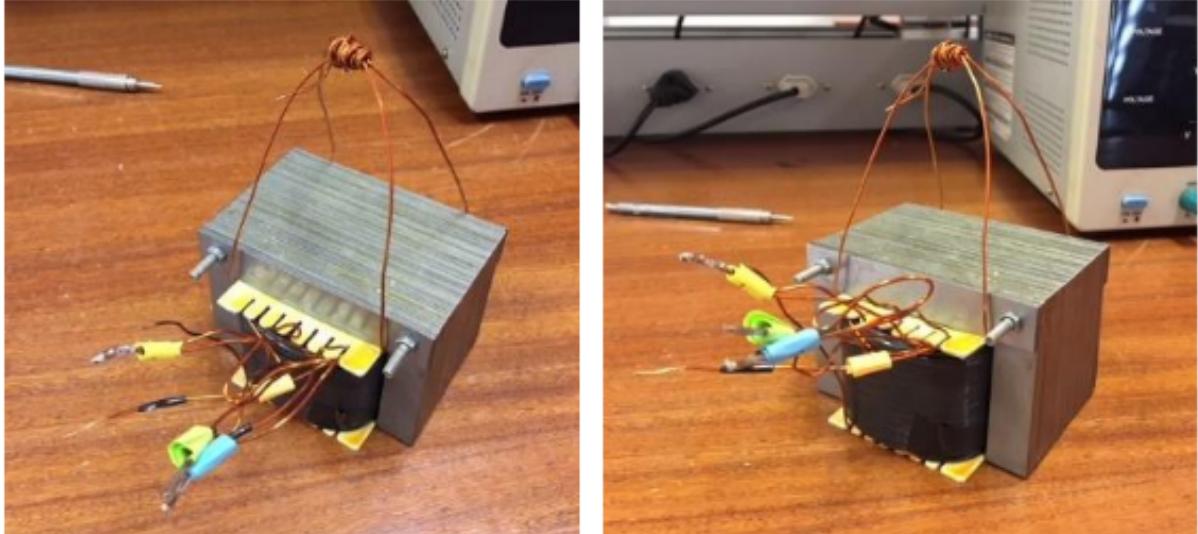


Figure 31 – Eletroímã montado

Os testes foram realizados após a construção do primeiro eletroímã. O mesmo foi excitado com a utilização de fonte de corrente contínua para observar a possível existência de curtos circuitos no enrolamento e se o efeito eletromagnético realmente estava ocorrendo, dessa forma foi consolidado seu funcionamento.

Em seguida, o mesmo foi testado com uma chapa de metal grossa, de material desconhecido, com o intuito de analisar o quanto de força o eletroímã estava exercendo no material, para tal empregou-se uma balança portátil e observou-se o quanto suportava em relação a massa para cada intensidade de corrente estabelecida pela fonte. Os resultados podem ser observados na tabela a seguir.

Table 8 – Relação de corrente elétrica e massa{#tbl:corrente_massa}

Corrente [A]	Teste 1 [Kg]	Teste 2 [Kg]	Teste 3 [Kg]
4	19,8	21,2	22,4
4,5	27,6	25,5	29,8
5	36,4	36,9	35,8

Analizando os dados colhidos, considerando as especificações do fio de cobre AWG 18 e a premissa que o eletroímã irá trabalhar com uma corrente fixa, foi então escolhido o valor de 4,5 amperes.

Tendo estabelecido o nível máximo de corrente que irá percorrer as bobinas, foram então realizados os testes para cada nível de operação do eletroímã. Na tabela a seguir estão dispostos os resultados desses testes.

Table 9 – Relação nível de operação e massa{#tbl:nivel_massa}

Nível	Teste 1 [Kg]	Teste 2 [Kg]	Teste 3 [Kg]
4	32,4	29,16	32,33
3	17,41	17,3	17,44
2	12,32	13,43	13,73
1	6,78	7,04	7,06

Dessa maneira, foi possível determinar qual peso o atleta terá que puxar em cada nível de operação do eletroímã.

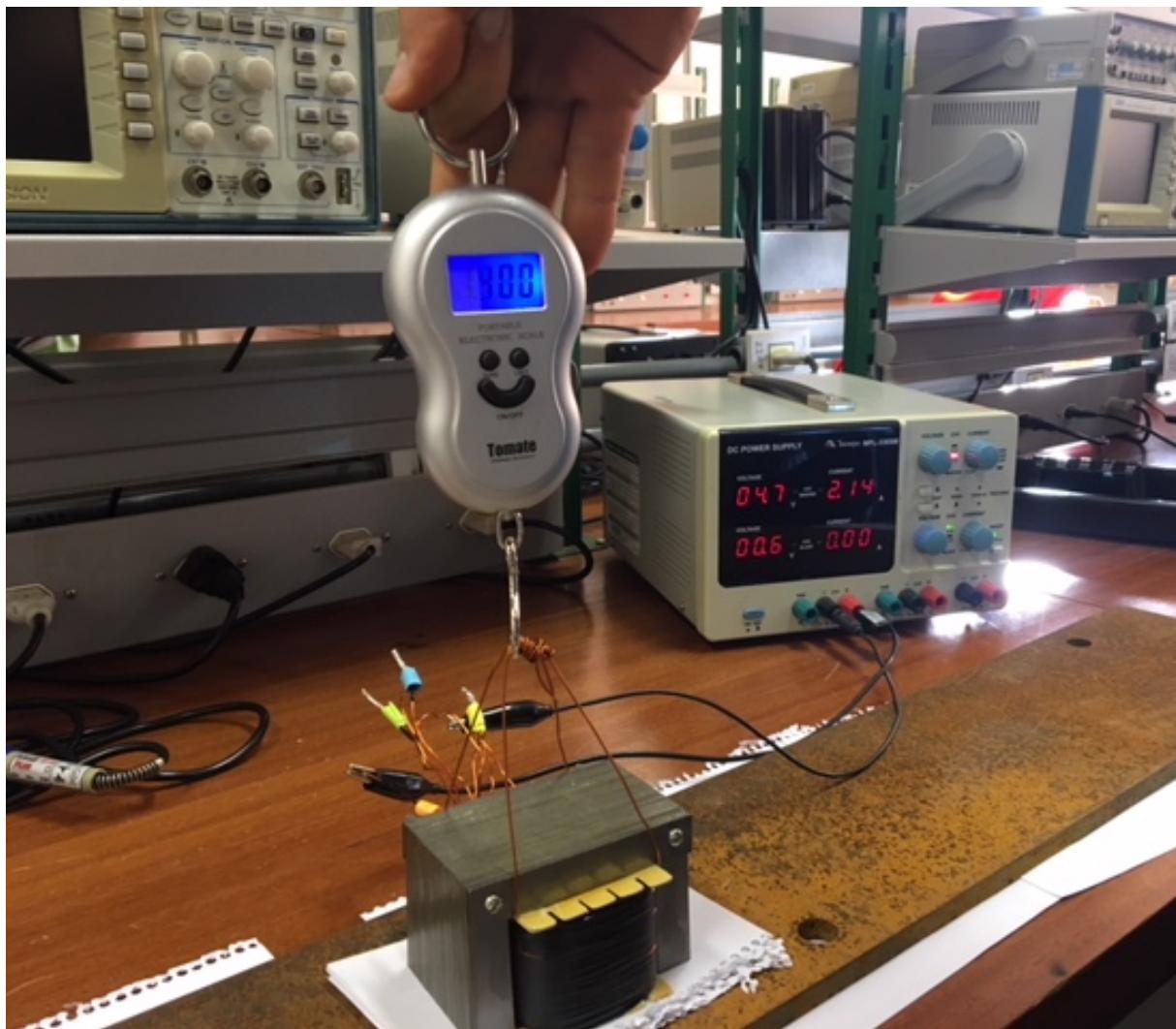


Figure 32 – Testes do eletroímã

6.2.3 Fonte de Corrente Constante

Para a energização do eletroímã durante os testes, foi utilizada a fonte do laboratório de eletrônica da FGA. A mesma foi dimensionada para uma corrente de 4,5 amperes e até 12 volts. Uma fonte de corrente chaveada do tipo colméia, que na sua saída fornece 12 volts e 5 amperes, também pode ser aplicada nesse processo e é a que será utilizada no protótipo.

A ideia da fonte de corrente é empregada quando se deseja manter constante a corrente circulante por uma carga mesmo quando a tensão varia e a carga muda, como no nosso caso. Os valores vão mudar de acordo com os níveis de carga do atleta, mas a corrente vai continuar a mesma.



Figure 33 – Fonte de corrente constante do tipo colméia

6.2.4 Disco

O disco que estará localizado entre os eletroímãs e acoplado ao eixo, é composto por aço-carbono 1010, tal determinação foi pensada com base em um das características que o elemento carbono confere aos metais, como por exemplo, quanto maior seu teor na composição destes, menor é a permeabilidade. Assim, foi escolhido o material comercial com o menor teor de carbono, nesse caso a presença é de 10%.

Já a sua espessura é de 1/2 polegada, o que corresponde a aproximadamente 1,27 centímetros e seu diâmetro é de 27 centímetros, medida estabelecida com base na

construção da estrutura e considerando a maior área superficial que estará exposta aos efeitos do eletroímã.



Figure 34 – Disco de aço-carbono 1010

6.3 2RElectronic

O sistema de eletrônica ficou responsável pelo sensoriamento, aquisição de sinais, tratamentos dos sinais e controle do acionamento das cargas. Os sinais obtidos foram das IMUs e dos botões, este último define qual a carga que deverá ser acionada. Este relatório apresenta a evolução do grupo, assim como as alterações realizadas no escopo do ponto de controle 1. O diagrama da Figura Figura 35 representa todo o sistema 2RElectronic, ligações e barramento de dados, assim como a quantidade de fios interligados.

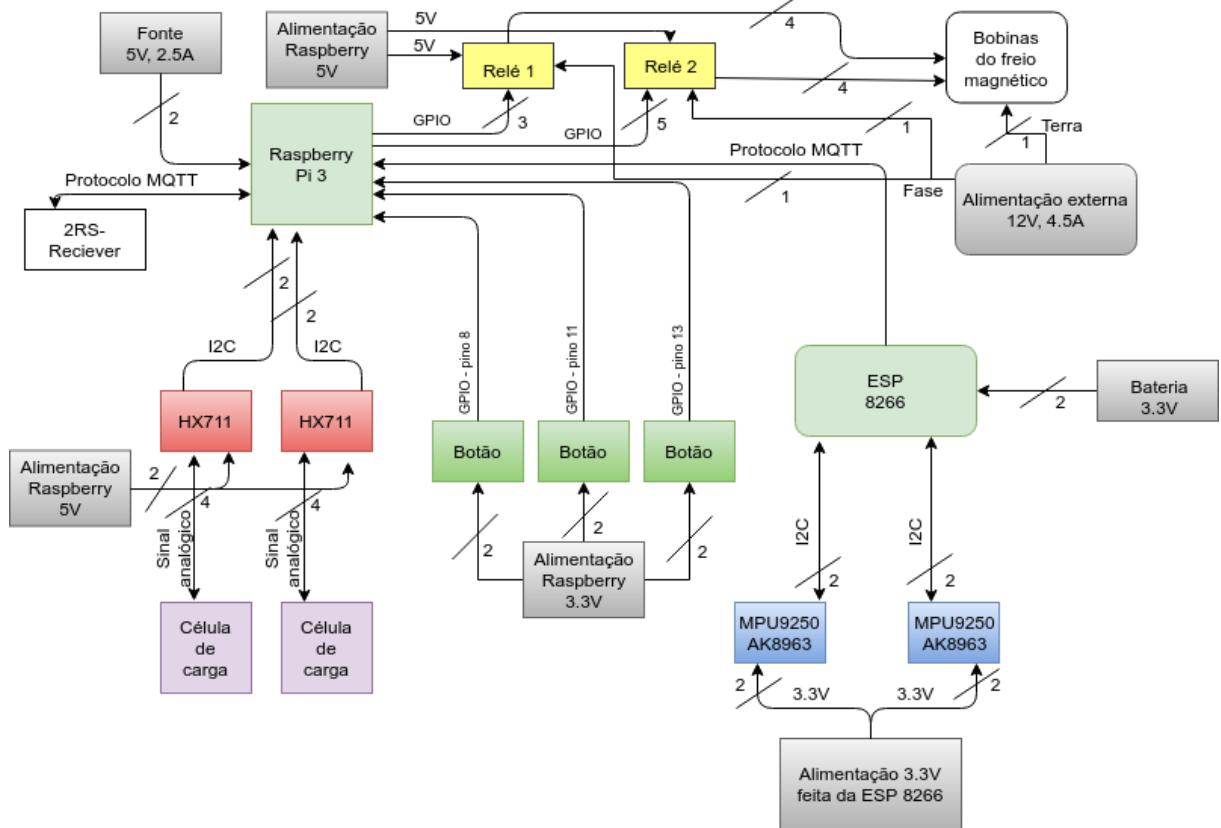


Figure 35 – Diagrama do sistema 2RElectronic.⁹

6.3.1 3.3.1 2RE-Suit

Esse subsistema continha o 2RE-Cardio e o 2RE-IMU. No entanto após a exclusão do 2RE-Cardio, que será explicado o porquê a seguir, o 2RE-Suit passou a ser a vestimenta somente com o 2RE-IMU, dessa forma a confecção ainda está em andamento e será apresentada nas próximas semanas.

6.3.1.1 2RE-Cardio

Inicialmente o 2Row contaria com um sensor para medir frequência cardíaca do atleta de remo durante o movimento, sendo o subsistema chamado de 2RE-Cardio, porém ao final do Ponto de Controle 1 foi notado juntamente com os professores que seria difícil fazer a aquisição dos sinais por alguns motivos, como: dificuldade em alocar o sensor na orelha ou nos dedos das mãos (locais apropriados para aquisição), uma vez que o atleta estará em movimento e poderia sair do lugar durante a remada, dificuldade no

⁹ Fonte:Do_autor

processamento do sinal de batimento cardíaco com as muitas interferências durante o movimento.

Portanto, após avaliar as prioridades para execução do projeto, foi decidido retirar do escopo o subsistema 2RE-Cardio, isso fez com que o escopo do 2Row ficasse mais enxuto e exequível em relação ao pouco tempo que resta para a entrega do projeto.

6.3.2 2RE-IMU:

A Unidade de Medida Inercial (IMU) é um sistema microeletromecânico (MEM), que permite identificar a posição ou o deslocamento de um corpo rígido em um espaço tridimensional. Neste trabalho, a IMU será responsável em determinar a posição do membro inferior direito para a criação de exoesqueleto autônomo para a identificação e correção da postura do praticante de remo indoor. Desse modo, este trabalho sugere implementar uma IMU em dois centros de gravidades, pois nesses pontos a massa está distribuída de forma uniforme, localizados no membro inferior do exoesqueleto como pode ser visto na Figura Figura 36, para estimar a orientação desses pontos onde há equilíbrio de forças (Vaughan 1999).

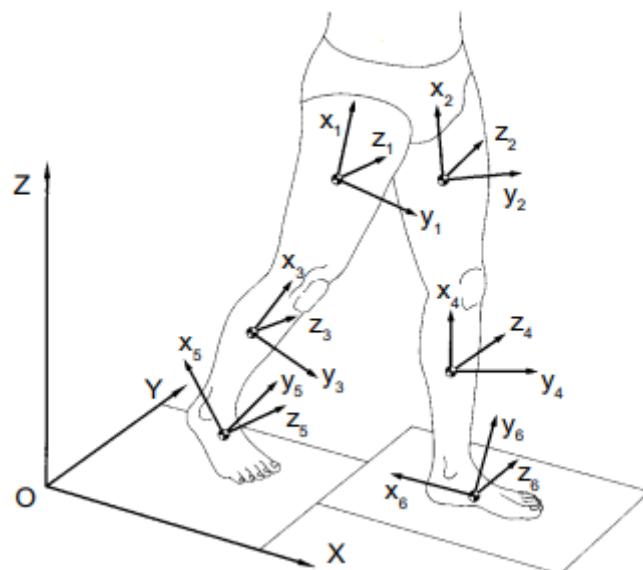


Figure 36 – Exoesqueleto com pontos de equilíbrio de forças.¹⁰

A IMU é composta de três sensores principais, os quais são acelerômetro, giroscópio e magnetômetro, o que possibilita obter continuamente a variação de velocidade, posição e direção de um corpo rígido (Araújo 2013). Esses sensores podem realizar medições nos eixos de referência x,y e z. A Tabela 1.0 apresenta uma comparação entre IMUs de baixo custo e parâmetros relevantes para a escolha da tecnologia, como: quantidade de sensores embarcados, graus de liberdade, custo.

¹⁰ Fonte: Adaptado de (Vaughan 1999).

Tabela 1.0 Tabela de comparação de parâmetros das IMUs de baixo custo.

Parâmetros	MPU6050	MPU9250	GY80
Sensor embarcado	Único sensor	Único sensor	Único sensor
Acelerômetro	MPU6050	MPU9250	ADXL345
Giroscópio	MPU6050	MPU9250	L3G4200D
Magnetômetro	-	AK8963	HMC5883L
Graus de liberdade	6	9	10
Custo	R\$ 13,90	R\$ 25,00	R\$ 80,00

Em observância com a Tabela 1.0, a IMU selecionada como solução foi a MPU9250, pois a mesma possui um custo baixo e magnetômetro, contemplando 9 graus de liberdade, três graus de liberdade a mais do que a MPU6050. A GY80 possui um custo mais alto comparado aos demais. A Figura Figura 37 apresenta a orientação dos eixos dos sensores (a) acelerômetro, (b) giroscópio e (c) magnetômetro, esses dados são essenciais para realização do código para aquisição dos sinais ([s.d.]). A Tabela 2.0 apresenta as características do MPU9250. Os três sensores imbutidos na MPU9250 podem obter sinais nos três eixos (x, y, z) e possuem três conversores analógico-digitais (ADCs) de 16 bits, para cada respectivo sensor.

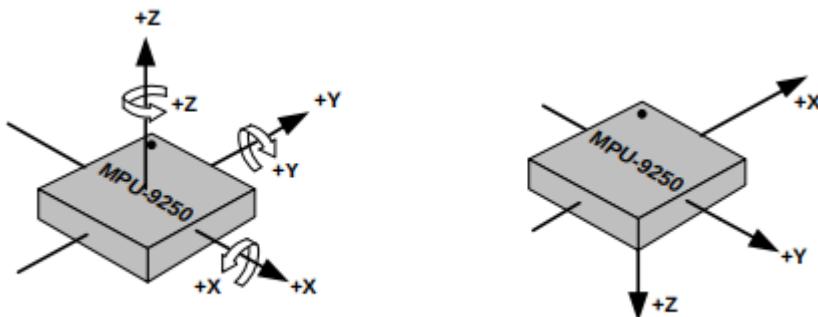


Figure 37 – Orientações dos sensores. (a) sensores acelerômetro e giroscópio (b) magnetômetro.¹¹

Tabela 2.0 Características da IMU MPU9250

Características	MPU9250
Alimentação	2,4 - 3,6 V
Dimensão	15 x 25 mm
Graus de liberdade	9
Interface de comunicação	I2C

¹¹ Fonte: Adaptado de ([s.d.]).

Características	MPU9250
Corrente de operação normal	3,5 mA
Frequência de operação	400 kHz

Essa corrente de operação é com o DPM habilitado. O DPM é o processador utilizado na IMU9250. Fonte: ([\[s.d.\]](#))

6.3.2.1 Calibração

Para que seja realizada a leitura dos dados dos sensores da IMU MPU9250 e os futuros processamentos de dados para o estudo de estimar a orientação do membro inferior direito do praticante de remo indoor, foram realizados testes para calibrar os sensores, pois como a leitura será realizada de forma contínua é necessário que os dados sejam precisos. Os testes foram realizados utilizando o microcontrolador ESP8266 Node MCU e o software Matlab.

Para realizar a calibração dos três eixos (x,y,z), foi necessário que o sensor ficasse apoiado de forma firme, para isso foi utilizada uma plataforma, a qual foi feita para auxiliar na calibração de IMUs pelo LEIA (Laboratory of Embedded Systems and Integrated Circuits Applications). Essa plataforma foi desenvolvida em um software 3D, e serve apenas como apoio e para facilitar o manuseio nos processos de calibração da IMU. Para realizar a calibração foi verificado antes de iniciar que a bancada estava na posição correta e durante o procedimento não houve movimentos bruscos. Como pode ser visto na Figura (???), observa-se que é possível manipular os três eixos da IMU manualmente. Essa bancada possui três transferidores, cada um destinado a medida de grau para cada eixo. A resolução da medida de grau da bancada é de 10 graus.

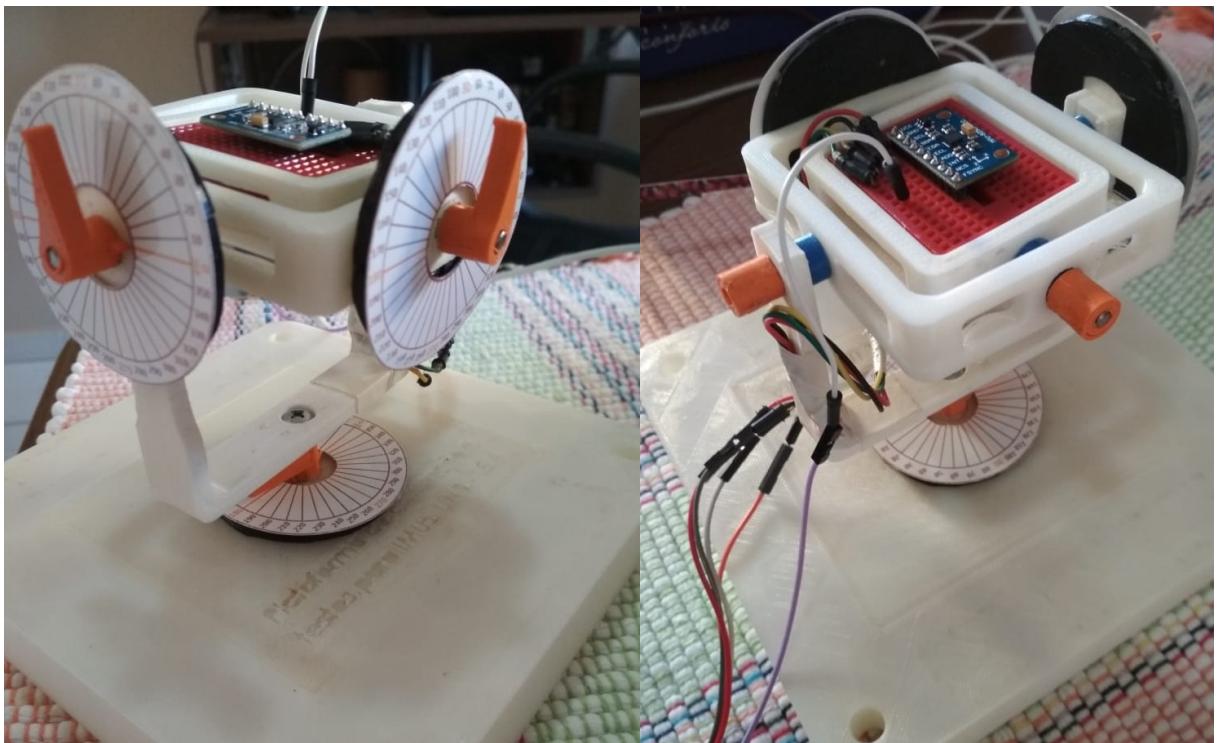


Figure 38 – Celula_s¹²

Vale ressaltar que com essa plataforma a calibração continua a ser manual, como acontece em drones, exoesqueletos (Prieto 2018). Para o desenvolvimento do software de calibração foram definidos o endereço na MPU9250 dos sensores de acelerômetro e giroscópio 0x68 e o do magnetômetro 0x0C ([s.d.]). Esses endereços são os do escravos e eles são necessários para que a comunicação I2C aconteça entre a ESP8266 e os sensores.

Duas funções foram criadas como base para a calibração, a função de escrita e a de leitura. A função de escrita dos dados envia o endereço dos sensores da MPU9250 (8 bits), o endereço do registrador, onde será escrito os valores (8 bits) e o dado a ser escrito (8 bits). A função de leitura dos dados recebe o endereço dos sensores (8 bits), o valor do registrador, onde os dados têm de serem lidos (8 bits), o número de bytes e o dado que foi lido (8 bits). Os intervalos de tempo para a calibração, foram os mesmos utilizados por (Prieto 2018) em seu estudo, a fim de comparação. Os intervalos utilizados foram de ± 250 graus/seg, $\pm 2g$ e $\pm 4800\mu T$ (nas respectivas unidades de graus, gravidade e Tesla) e foram utilizados para o giroscópio, acelerômetro e magnetômetro, respectivamente. O valor do magnetômetro é dado em mG e foi feita uma conversão para Tesla partindo de que, ($10mG = 1uT$). Entretanto, no Matlab usou-se a unidade mG, para validar com o valor real.

As escalas foram definidas conforme o (InvenSense, 2016) apresenta em relação ao acelerômetro e giroscópio para que a conversão analógica/digital fosse feita corretamente. A

¹² Fonte: Autor, 2018).

código de calibração consistiu em satisfazer os seguintes passos. Inicialmente, a MPU9250 ficou na posição inicial, como mostra a Figura XX. Observa-se que o eixo definido como z está perpendicular com o eixo horizontal da plataforma, os sensores acelerômetro e giroscópio ficaram parados e o magnetômetro foi girado de modo a fazer uma volta (360 graus), isso para obter os valores dos offsets do acelerômetro e giroscópio. O segundo passo foi necessário para calibrar o sensor magnetômetro, o eixo y, definido como a parte externa da base da protoboard (essa está em vermelho na Figura (??)) foi posicionado em paralelo com o eixo horizontal e girou-se 360 graus, para a obtenção dos offsets do magnetômetro. Esses valores são de extrema importância, pois serão utilizados como parâmetros no código de leitura principal para adequar as leituras feitas. Para os cálculos de offset foram analisados 100 amostras em cada eixo para verificar quais eram os valores máximos e mínimos do deslocamento dos sensores, conforme também foi realizado no estudo de (Prieto 2018), em que o deslocamento foi definido pela equação [eq:offset]. Ademais, o cálculo para o fator de escala também foi realizado, apresentado na equação [eq:fatoresc].

$$offset_{x,y,z} = (valormax_{x,y,z} + valormin_{x,y,z})/2 \quad (1)$$

$$fatoresc_{x,y,z} = (valormax_{x,y,z} - valormin_{x,y,z})/2$$

{#eq:fatoresc}

No software Matlab foram adquiridos os dados sem o ajuste da calibração e com o ajuste da calibração (de offset e fator de escala) para que fosse analisado o resultado da calibração. A Figura Figura 39 mostra os valores correspondidos ao acelerômetro antes e depois da calibração, nota-se que os dois apresentam um certo ruído, entretanto, no não calibrado os valores estão um pouco abaixo dos valores reais (0g e 1g), após a calibração esses valores ficaram mais próximos dos reais devido aos ajustes realizados de offset.

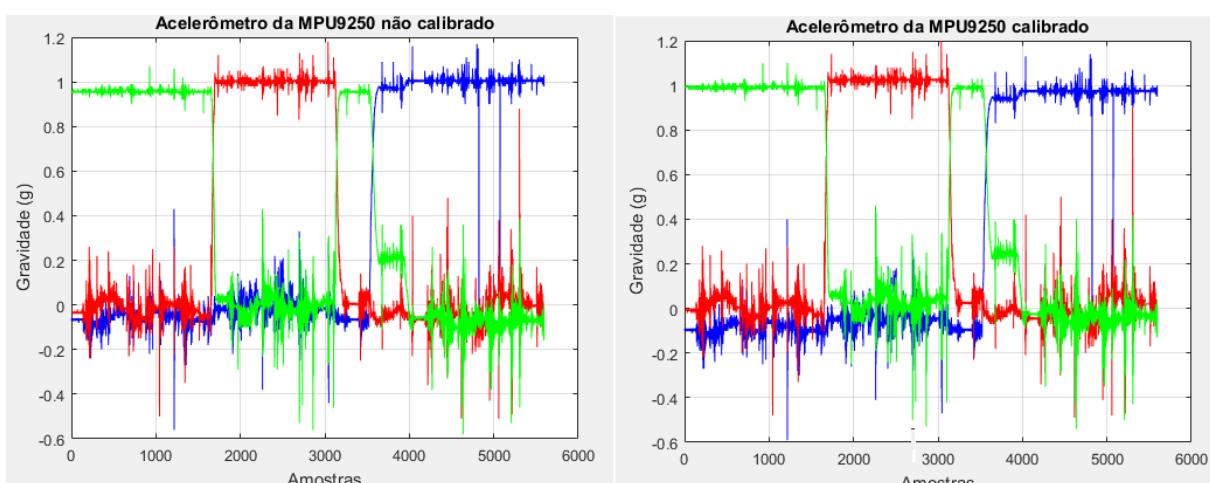


Figure 39 – Celula_s¹³

A Figura (???), mostra os valores correspondidos ao giroscópio antes e depois da calibração, é possível observar que os gráficos são muito parecidos, isso pode ter acontecido, pois nesse processo em específico, o integrante pode ter refeito a calibração. p calibrado possui os valores mais próximos ao valor (0 graus/s), conforme o esperado.

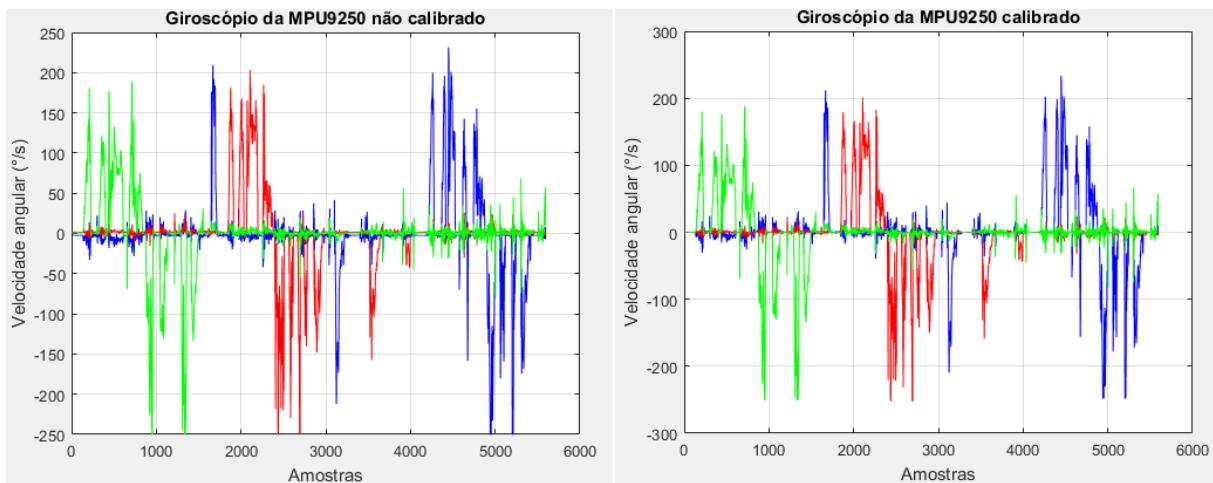


Figure 40 – Celula_s¹⁴

Na calibração do magnetômetro é necessário enfatizar que cada eixo deve ser calibrado em relação ao mesmo campo magnético, foi por esse motivo que fez-se primeiro nos eixos x e y e depois no z. Na Figura (???) é possível verificar que a calibração é primordial para esse sensor, pois sem os ajustes os dados do mesmo não terá valor significativo, o valor da medida dos eixos não está disposto no ponto de referência dos três eixos (0,0,0). Cada eixo está localizado em um ponto diferente. Depois de calibrado, observa-se que os três eixos estão centralizados próximo ao ponto de referência (0,0,0), o que indica que os três eixos (x,y,z) estão calibrados em relação ao mesmo campo magnético.

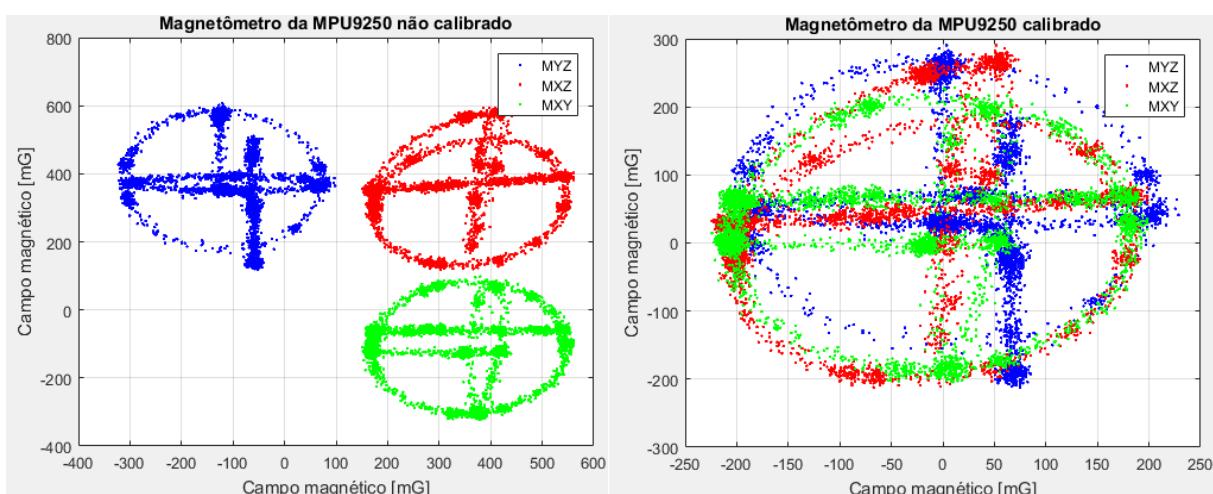


Figure 41 – Celula_s¹⁵

¹³ Fonte: Autor,2018).

¹⁴ Fonte: Autor,2018).

6.3.2.2 Protocolo de comunicação I2C

O protocolo I2C (Inter- Integrated Circuit) é um barramento de comunicação serial que utiliza dois fios(Serial Data- DAS e Serial Clock- SCL), ou seja sinal de dados e de clock. Ele realiza a comunicação de escrita (W) e leitura (R) entre dois ou mais dispositivos, em que se pode ocorrer entre um mestre e um ou mais escravos. Para que o mestre envie sinal para determinado escravo ele precisa saber qual o endereço do escravo. Cada escravo tem um endereço específico de identificação, composto de 7 bits (Prieto 2018). Neste trabalho, o dispositivo dimensionado como mestre é o microcontrolador ESP8366 Node-MCU, e o escravo é a MPU9250. Tem-se também o escravo do escravo, o qual é o segundo MPU9250. çõ do escravo a ser contactado.

A Figura Figura 42 apresenta o protocolo de comunicação I2C. A comunicação é iniciada pelo mestre, o início e término da comunicação é determinada pela variação do clock do nível baixo para alto. Por outro lado, para que aconteça o envio de dados o SDA tem de mudar de nível lógico quando o SCL estiver em nível baixo, depois de ter ocorrido a transição desse, de alto para baixo (critério de início) e de baixo para alto (critério de término). Feito isso, o mestre envia 1 byte, em que o bit menos significativo representa a seleção de escrita ('1') ou leitura ('0') e os demais bits representam o endereço do escravo que ele quer se comunicar. O escravo por sua vez retorna um sinal, Acknowledge (ACK), em que nível baixo indica que ele está pronto para aceitar os dados e nível alto indica um sinal de não reconhecimento, Not Acknowledge (NACK). Depois da validação de reconhecimento ocorre a troca de dados pelo pino SDA, até que a condição de término seja satisfeita (Silva 2012)(Prieto 2018).

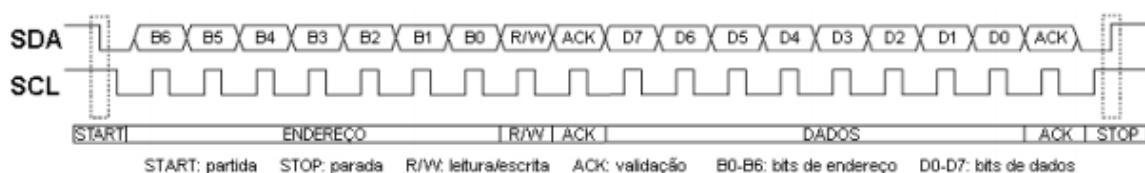


Figure 42 – Protocolo I2C¹⁶

Ao colocar o segundo MPU9250, segundo escravo, para que não houvesse curto-circuito nas linhas de transmissão foram colocadas resistências de pull-up de 3.3k.

6.3.2.3 Leitura dos dados das IMUs

Para realizar as leituras foi utilizado uma ESP8266 com 2 IMUs multiplexadas, assim, com apenas um microcontrolador seria possível obter os dados das IMUs,

¹⁵ Fonte: Autor, 2018).

¹⁶ Fonte: Adaptado de (INVENSENSE, 2016).

Inicialmente foram setados todos os registradores da MPU9250, que se referem ao acelerômetro e giroscópio, e também do AK8963, que é o registrador do magnetômetro. Em seguida foram definidas as escalas de transformação para os valores práticos de graus/segundo para giroscópio, gravidade para o acelerômetro e tesla para o magnetômetro.

Para continuar o programa foram colocadas as variáveis de offset de acordo com os dados retirados da calibração para cada IMU, assim como o fator de escala para o magnetômetro. As demais variáveis utilizadas ao longo do código foram definidas e desse modo pode-se iniciar as funções: inicialização da comunicação I2C, função de escrita, função para multiplexação dos IMUs e função de leitura dos dados. Foi estudado como trabalhar melhor com a ESP266 para ler mais de uma IMU, somente os pinos D1 e D2 da ESP8266 transitem comunicação I2C, portanto utilizou-se os pinos digitais D6 e D7 para multiplexar a partir do código e obter os dados das IMUs acopladas ao sistema.

É necessário frisar que a orientação do magnetômetro é diferente em relação aos demais sensores, como mostrado na imagem Figura 37, portanto ao se criar o código, mudou-se a ordem da orientação para que não houvesse erro na futura fusão sensorial.

Envio de dados via MQTT

Cálculo da taxa de transmissão de dados

6.3.3 2RE-Kernel

O kernel do projeto será um microprocessador Raspberry-Pi que será intermediador das informações trocas pelo sistema. Para que os dados transitem e sejam trabalhados pelo dispositivo kernel, o gerenciamento de todo o processo ocorre com o uso do protocolo de comunicação MQTT. Nesse contexto a título de simplificação o Raspberry-Pi aplicado como kernel será visto dentro do protocolo MQTT, como um Broker e os dispositivos em comunicação poderão fazer publicações e leituras referentes a transmissão de dados pelo Kernel.

6.3.3.1 MQTT

O MQTT(Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo de comunicação via troca de mensagens classificado em M2M(machine to machine). Ele será aplicado ao projeto por questões de viabilidade, pois é levado em conta a sua necessidade de pouquíssima banda, a sua base em TCP/IP e por possuir um payload que carrega a mensagem menor que HTTP.

As mensagens enviadas ao Broker são publicações por parte dos clientes. Assim como o kernel, que nessa situação é o broker, vai encaminhar dados e está fazendo publicações. Entretanto a parte do Kernel funciona de maneira mais interessante pelo fato de não só publicar, mas também subscrever, isso ocorre, pois o broker do caso atua como mediador,

recebendo informações e respondendo às mesmas. Em termos simples, o dispositivo que solicita a informação é nomeado de subscriber.

6.3.3.2 Publish/subscribe

O padrão publish/subscribe é uma alternativa ao tradicional modelo cliente-servidor, mas o cliente comunica diretamente com o endpoint. Todavia, Pub/Sub desacopla um cliente que envia uma mensagem particular(chamado publisher) de outro cliente(ou mais clientes), os quais estão recebendo a mensagem(chamado subscriber). Isso significa que tanto o publisher quanto o subscriber, não sabem da existência um do outro. O terceiro componente existente nesse protocolo é o broker(no projeto será o kernel). Já o broker é conhecido tanto pelo publisher quanto pelo subscriber. O broker é crucial pois é o responsável por filtrar todas as mensagens chegadas e distribuir cada uma delas.

6.3.3.3 Aplicação no projeto

O kernel fará boa parte da comunicação com a parte de software. Serão enviadas informações recebidas das IMU's, também as recebidas acerca dos dados de potência. Todas essas informações vão ser passadas ao software para que a análise seja feita e a decisão seja tomada pelo kernel. A escolha pelo MQTT foi com base na facilidade em utilizar um protocolo da camada de aplicação cuja velocidade de envio das mensagens serão suficientes em uma rede local. O projeto fica robusto ao utilizar um protocolo confiável e com uma certa mobilidade para o envio ordenado de mensagens. Além disso o protocolo MQTT possui um buffer suficiente para organizar as mensagens em termos de um tempo no kernel do projeto e transparecer a transição de dados em tempo real.

O projeto envolve uma topografia ideal para o uso do protocolo, pois o kernel necessita julgar informações e divisão correta do envio das mensagensFigura ??, algo que um servidor poderia trazer complicações. Além da base do MQTT é ser usado para comunicação entre máquinas e não por envio à base de solicitações de clientes, como ocorre no servidor. A aplicação também é bem colocada por se tratar de clientes mandando informações de sensores, o que traz a ideia de IoT, o que não deixa de ser parte do projeto.

A taxa de envio no kernel é de 34.4kbps. Essa é uma informação tida como base a taxa de transmissão do módulo Wifi, ESP8266.

Celula_s¹⁷

6.3.3.3.1 Integração dos sensores do projeto Os dados gerados pelos sensores já estão chegando até o kernel, colocando a ESP como cliente e a Raspberry Pi como broker. O código que executa a tarefa inicia o cliente através de uma função padrão do

¹⁷ Fonte:

protocolo MQTT, logo após isso as informações sobre a rede local e o IP do kernel são setados para realizar a conexão, também através de outra função padrão do MQTT, nessa situação uma função de reconexão garante que existe a conexão entre o broker e o determinado cliente. Logo que todas essas etapas são estabelecidas todo o trabalho do cliente ESP8266 será realizado em relação aos dados da IMU por funções e determinadas em um setup, por fim um loop infinito vai garantir que as funções sejam devidamente invocadas para envio das mensagens ao kernel. A imagem Figura 43 retrata o recebimento de dados pelo terminal da Raspberry Pi, como kernel. Os dados apresentados na imagem são de um vetor de 9 posições com a seguinte ordem dos dados da IMU: acelerômetro x, y e z, depois o giroscópio x, y e z, por fim o magnetômetro x, y , z.

```
0.35 -0.0 0.29 252. -39. -250 21.1 300. -424
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.2 0.37 0.55 252. 16.9 -250 13.5 319. -441
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.6 0.84 0.65 252. 110. -250 7.54 337. -432
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
0.09 1.05 1.21 216. 248. -250 -4.5 340. -450
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
1.10 1.12 1.36 125. 248. -250 -52. 344. -462 gyrox gyroz magnx magny magnz)
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
1.57 1.46 1.27 94.9 189. -250 -69. 348. -469
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
1.59 0.90 0.90 22.8 82.3 -112 -92. 344. -477
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
0.52 0.47 0.89 2.33 92.0 40.2 -101 337. -477 "%f aux[1%q]")
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.0 0.25 1.00 -39. 83.3 26.3 -101 331. -495
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.0 0.35 1.27 -123 35.1 -27. -102 327. -494
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.2 0.69 1.46 -232 154. -91. -107 325. -501
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.0 0.84 1.54 -247 167. -169 -105 318. -512
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.0 0.93 1.47 -247 194. -185 -122 289. -504
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.1 0.89 1.39 -247 194. -160 -132 264. -521
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.2 0.71 1.45 -247 234. -157 -134 235. -537
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.3 0.65 1.41 -247 248. -194 -141 215. -560
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.5 0.38 1.34 -247 234. -242 -135 203. -584
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.4 0.37 1.50 -247 191. -250 -143 187. -613
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.1 0.50 1.21 -247 213. -229 -125 159. -658
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
0.39 -0.2 0.71 -247 82.6 -129 -120 170. -681
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
0.42 -0.2 0.65 -247 49.0 -46. -114 182. -717
Client mosqsub|4397-VMeOli received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, '2RS/receiver/input', ... (45 bytes))
-0.1 -0.3 0.45 -247 -14. 10.0 -117 200. -714
^C
```

Figure 43 – Celula_s¹⁸

6.3.4 2RE - Relay

O subsistema 2RE-Relay era o responsável por controlar as cargas de resistência do gerador inicialmente, porém após mudanças para adequação do freio eletromagnético construído pelo 2R-Power o subsistema passou a fazer o controle do número de bobinas acionadas em cada vez.

¹⁸ Fonte:

O freio eletromagnético conta com 2 bobinas, sendo cada uma delas seccionada em 4 sub-bobinas, isso para que haja 4 módulos de força diferentes para freiar o disco durante o movimento de remada do atleta, portanto para controlar as 8 bobinas individuais escolheu-se o módulo relé com 4 canais cada um com tensão nominal de 30 V (DC) a 10A, portanto 2 módulos conseguem chavear 8 bobinas individualmente.

Quando o atleta vai começar o movimento, ele deve apertar o botão 1 para que o sistema seja iniciado ou reiniciado caso algum outro indivíduo estivesse utilizando o equipamento anteriormente. Após ter apertado o primeiro botão o indivíduo então tem que escolher a carga de força para execução da remada, ela vai de 1 a 4, sendo o peso 1 o mais fraco e aumenta proporcionalmente conforme o atleta aperta o botão 2, o botão 3 serve para diminuir a carga de 4 até 1 caso o atleta queira voltar a realizar o movimento com uma carga menor. É importante frisar que o atleta deve parar o movimento antes de mudar a carga, pois as estatísticas estarão sendo contabilizadas a partir da carga escolhida, também é importante presar pela segurança do atleta e como o controle fica na lateral do movimento, não é seguro que o mesmo tente alterar a força da remada durante a realização do esporte.

Para validar o funcionamento dos relés, foi montado um circuito com botões e relés e este circuito foi conectado nas bobinas do freio eletromagnético, o resultado dos testes foi positivo, sendo possível controlar a ativação das bobinas 2 a cada vez, uma de cada um dos 2 freios eletromagnéticos.

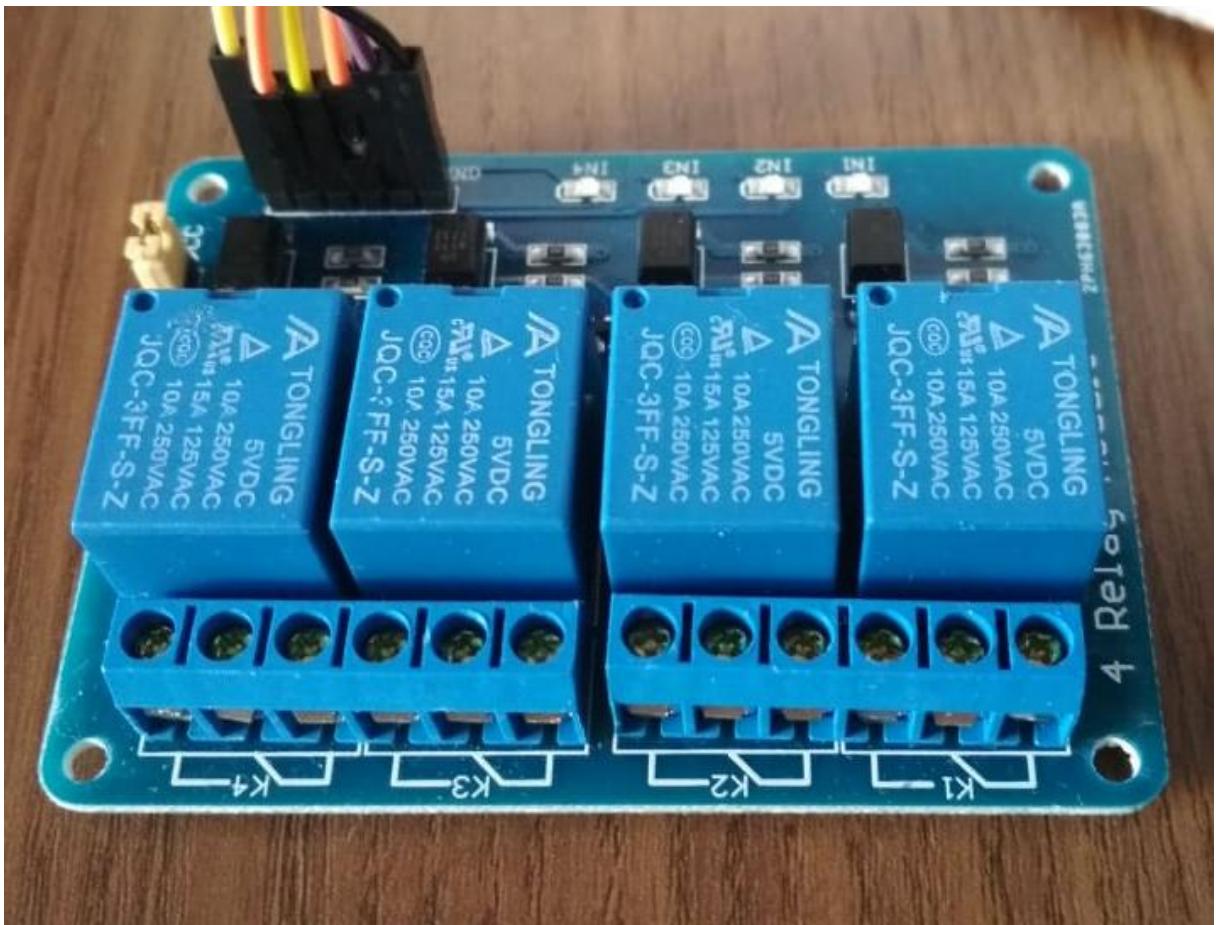


Figure 44 – reles¹⁹

6.3.5 2RE-UI

Para que o usuário solicite a mudança de carga e a inicialização/reset do equipamento 2Row é necessário uma interação usuário-máquina. Foram pesquisados alguns modelos de botões para inserir no sistema, em que foram observados as seguintes características: resistência, durabilidade, praticidade e tamanho suficiente para facilitar a visualização e o pressionamento do mesmo. Desse modo, foi escolhido o botão de acrílico, o qual pode ser alimentado com uma tensão de 3,3 V da própria raspberry pi 3, a Figura Figura 45 mostra o botão que será utilizado,. Ademais, como ele atende as necessidades do projeto outro ponto para a escolha desse botão foi devido ao fato de um integrante do grupo possuir esse mesmo modelo, o que proporciona economia ao custo do projeto.

¹⁹ Fonte: Do_autor



Figure 45 – botao²⁰

Para testar esse subsistema foi criado um código em Python e utilizou-se o microprocessador raspberry Pi 3. Foram setados os pinos 11,15 e 18 como entradas, para

²⁰ Fonte: Autor

receber os valores do estado do botão. Foi setado resistor pull-down no código, isso para certificar que quando o botão não for pressionado, ele não será ativado. O código permite realizar a leitura dos botões acionados pelo usuário, tanto quanto, realizar um tratamento do sinal recebido, pois as chaves mecânicas possuem um erro conhecido como bouncing, que pode ser entendido como uma trepidação que causa oscilações no sinal, e necessita de um algoritmo de debounce. O código desenvolvido possui um delay de 0.5 segundo até a próxima leitura, desprezando assim qualquer acionamento do botão que poderia ser feito dentro desse tempo. Um evento é criado sempre que o botão pressionada durante o intervalo de tempo, ou seja, há a utilização da função detecção de eventos, chamado de event_detect, em qualquer borda de descida. Esse evento é responsável por armazenar o estado do botão, e coloca como prioridade, para quando se der o início do próximo loop, baseados na função callback, retornar o evento que ocorreu. Para o tratamento de bounce, podemos aproveitar o parâmetro callback e requisitar que este ignore os primeiros 100 milisegundos da leitura, usando o parâmetro bouncetime.

6.3.6 2RE-Watt

O subsistema inicialmente denominado 2RE-Volt, que a princípio seria responsável por medir a tensão das cargas no gerador para encontrar, sabendo a carga do gerador em atuação, a potência elétrica durante a realização da remada do atleta. Após testes preliminares a solução de energia decidiu mudar o método de manter uma força contrária ao movimento do atleta e então optou-se pelo freio eletromagnético. Portanto, eletrônica teve que encontrar outra solução para medição da potência mecânica do atleta durante o movimento.

Foram analisadas então 2 opções para medição da potência do movimento: wattímetro no eixo rotativo e células de carga (strain gage) sob os pés do atleta. então foram geradas as tabelas a seguir para determinar qual tecnologia seria aplicada.

Componentes do Wattímetro	Quantidade	Média de Preço (R\$)	Localização do Fornecedor
Torquímetro digital	1	630,00	São Paulo
Encoder	1	120,00	São Paulo
Wattímetro digital	1	2.000,00	São Paulo

Colocar as imagens de todos os subcomponentes pensados para escolha



Figure 46 – Torquímetro_digital²¹

²¹ Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-703889366-torquimetro-digital-12-de-4-a-20-kgf-m-waft-_JM



Figure 47 – Encoder²²

²² Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-882483511-encoder-incremental-rotativo-600-pulos-eixo-6mm-5-24v-_JM



Figure 48 – Wattímetro²³

²³ Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-945963390-medidor-de-potncia-stages-bluetooth-modelo-spm1-175mm-_JM

Componentes da Célula de Carga	Quantidade	Média de Preço (R\$)	Localização do Fornecedor
Strain gage modelo S	2	200,00	São Paulo
Strain gage modelo viga de flexão	2	130,00	São Paulo
HX711	2	15,00	Brasília



Figure 49 – Celula_s²⁴

²⁴ Fonte:

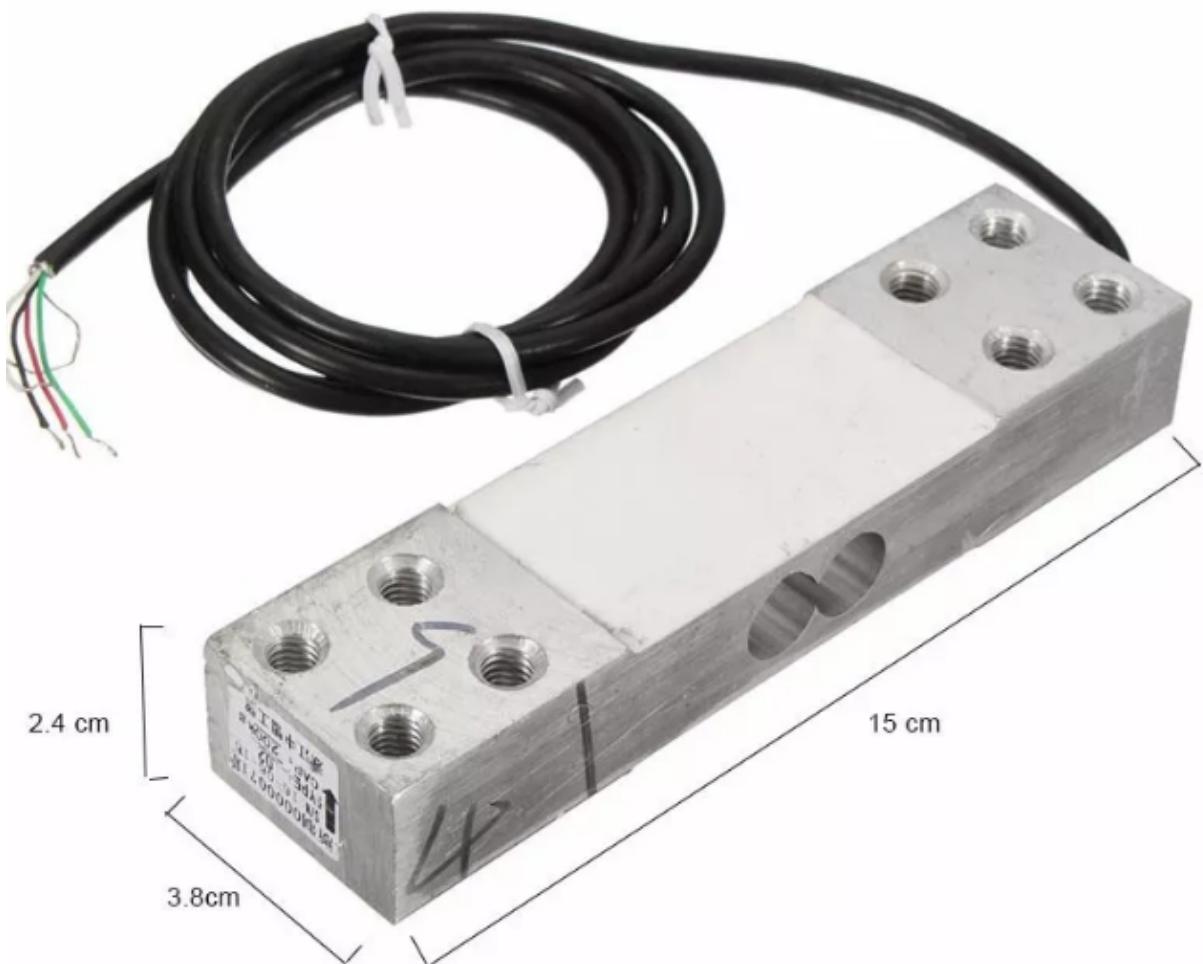


Figure 50 – Celula_de_carga²⁵

²⁵ Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-931359038-celula-de-carga-sensor-de-peso-200kg-200-kg-0296_-JM



Figure 51 – HX711²⁶

Portanto, analisando valores e disponibilidade rápida para entrega, conclui-se que comprar um wattímetro pronto estaria fora do orçamento do projeto uma vez que seu valor é muito alto, também analisou-se comprar um torquímetro e um encoder, mas seria uma solução relativamente complexa do ponto de vista de integração e também por aumentar o escopo do projeto, uma vez que já há demasiado trabalho a ser realizado. Por isso, optou-se por colocar 2 células de carga na base para os pés para realizar medições de força e transformá-las em potência, como será explicado adiante.

Célula de Carga Modelo S

A Célula de carga, muito conhecido como “strain gage” é um transdutor responsável por medir a informação de peso ou alguma força a partir da colocação física do objeto a

²⁶ Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-930850652-modulo-conversor-hx711-para-sensor-de-peso-projeto-arduino-_JM

ter a massa descoberta em cima da célula de carga. O strain gage modelo S tem esse nome exatamente por ter o formato de um S, como pode ser observado na figura x, quando o objeto é colocado em cima do mesmo, o peso do objeto deforma a célula de carga, que conta com resistores internos, sendo um deles variável em relação à deformação. Então há uma saída de tensão que varia conforme a deformação da célula quando o objeto pesa sobre a mesma. Com o auxílio do conversor HX711, mostrado na figura xx, o valor de tensão que se encontra analógica é convertida para digital e nos pinos GPIO da Raspberry Pi, que atua como o 2RE-Kernel, é possível obter os valores de saída do HX711.

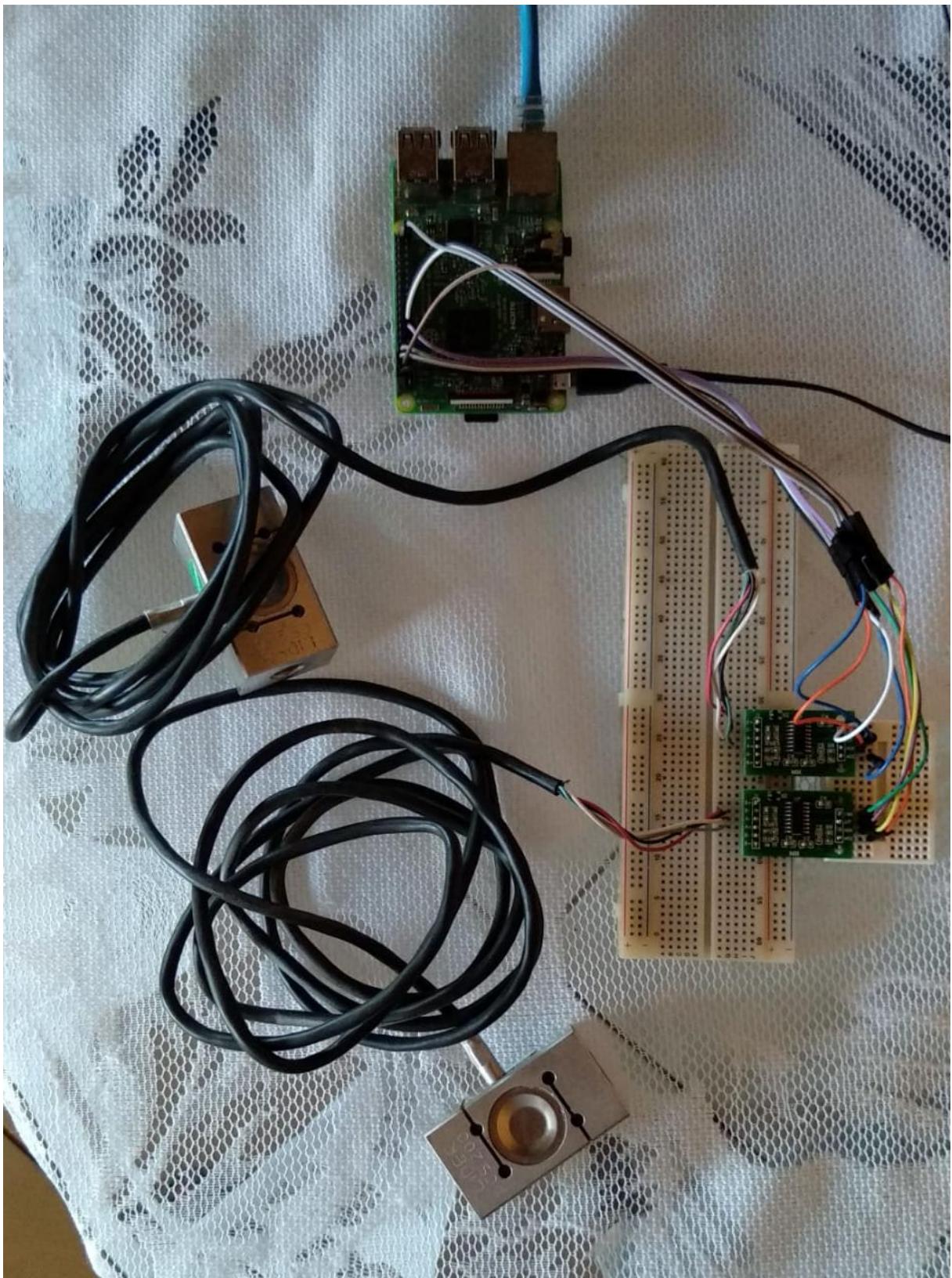


Figure 52 – carga²⁷

Para dimensionar a célula de carga a ser utilizada, foi necessário calcular a força de

²⁷ Fonte: do_autor

reação em que a mesma será exposta e concomitantemente a isso, o sistema do 2RBoad fez a simulação de forças para o aparato dos pés, para verificar se a estrutura suportaria a força aplicada, para o valor de potência máxima, no qual um atleta de remo pode realizar. Segundo os autores, (Maia 2006) (Baptista 2005), a potência máxima de por ciclo de remada pode ser definida em torno de 600 W. Logo, esse será o valor máximo que o equipamento 2Row irá operar e o valor que será aplicado ao modelo matemático proposto.

Tendo como embasamento que é necessário saber a força de reação, já que a célula de carga ficará inclinada, utilizou-se as equações descritas por (referencia), em que se partiu do princípio do impulso angular e do momento, em que inicialmente pressupõe que o corpo está em repouso. A equação Equação 2, diz que os impulsos angulares que atuam em um corpo durante um certo intervalo de tempo é igual a mudança do momento nesse mesmo intervalo.

$$\sum \int_{t1}^{t2} M_0 dt = I_0 w_2 - I_0 w_1 \quad (2)$$

Por analogia, sabe-se que o Watts pode ser representado por $N * m/s$, ou seja, é a mesma unidade de torque por segundo, desse modo, considerou-se que a potência seria o argumento da integral do impulso, tendo em vista que o corpo deixou de ficar em repouso. O cálculo foi realizado nesse momento, dessa forma, para título de comparação com a simulação da estrutura, localizada no plano de integração entre estrutura/eletrônica. Como foi dito anteriormente, considerou-se a potência máxima como 600 W. A partir da equação Equação 3, encontrou-se a velocidade angular para realizar o cálculo da força. O intervalo de tempo definido foi o tempo de ciclo da remada especificado em 1 segundo pelos autores para a potência descrita.

$$I_0 w = \int_0^1 600 dt \quad (3)$$

$$w = 600(N \times m/s) / (|I_0|(kg \times m^2))$$

O módulo da força é dado pela equação Equação 4, mas para isso precisou calcular a força referente ao eixo x e ao eixo y, as quais foram aplicadas pela equação Equação 5.

$$|F| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (4)$$

$$\sum F_n = mw^2 r_0 \quad (5)$$

$$F_x = m(600/I_0) \times r_0$$

Onde, $r_0 = 34,5 \times (10^{-3})$, trata-se do raio da coroa, que contempla a parte da estrutura do equipamento. E o momento de inércia é dado por:

$$I_0 = 1/2 \times mr^2$$

Logo, a força será:

$$|F| = 1697,056N$$

Pela Segunda Lei de Newton sabe-se que:

$$F = m \times a$$

Desse modo, o peso máximo será de:

$$m = 173,169kg$$

Em cada pé o peso máximo será de $m = 86,58kg$

Entre os modelos pesquisados para servir como célula de carga, o modelo S e o modelo de viga de flexão foram os que mais se adaptaram às necessidades do projeto. Pensando na alocação dos sensores no subsistema 2RE-Boat, foi escolhida então a célula de carga modelo S pois a mesma ocuparia menos espaço e tem o limite de força adequado à medição necessária.

Para realizar a medição da força a partir da célula de carga foi necessário utilizar um componente que converte as saídas analógicas a do strain gage em saídas digitais, o componente em questão é o hx711. Para realizar os testes do subsistema realizou-se a leitura na Raspberry Pi 3 em seus pinos GPIO, um programa em python foi criado e a leitura da força pôde ser realizada, o modelo de célula de carga escolhida suporta o limite de 200 kg, passando do limite estabelecido no projeto, já que uma célula de carga de 100 kg resolveteria. No entanto, tendo em vista que CS200, produto do fornecedor da Balança Líder, suporta o peso máximo calculado um dos fatores para se utilizar esse dispositivo além das especificações apresentadas foi a disponibilidade de empréstimo de 2 células de carga do modelo S por professores da FGA. Essa célula de carga suporta até 200 kg, a tensão de funcionamento é de 6-10 V, com uma tensão máxima de 15 V e uma sensibilidade de 2 mV/V.

HX711

HX711 é um preciso conversor analógico-digital de 24 bits feito para converter escalas de peso de células de carga. Sua utilização é vasta pois o mesmo torna a leitura de sinais mais simples pois a saída da célula de carga é analógica e o HX711 transdiz a saída para digital, podendo então o sinal ser capturado por dispositivos com entradas digitais, como realizado nesse projeto com a Raspberry Pi. Observa-se na figura Figura 53 que esse conversor opera com pontes de Winston, que refere-se justamente ao funcionamento da célula de carga.

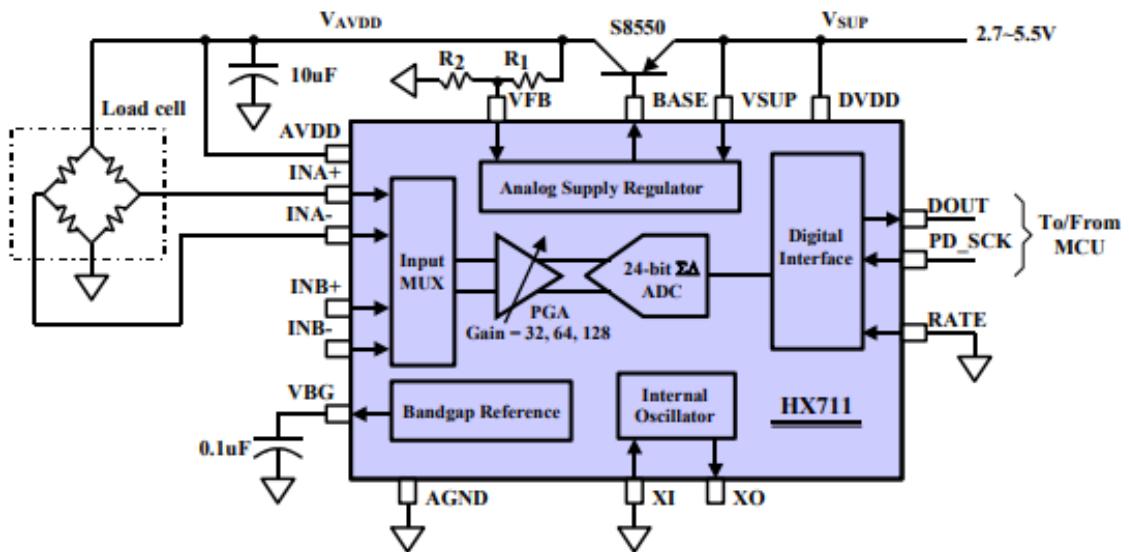
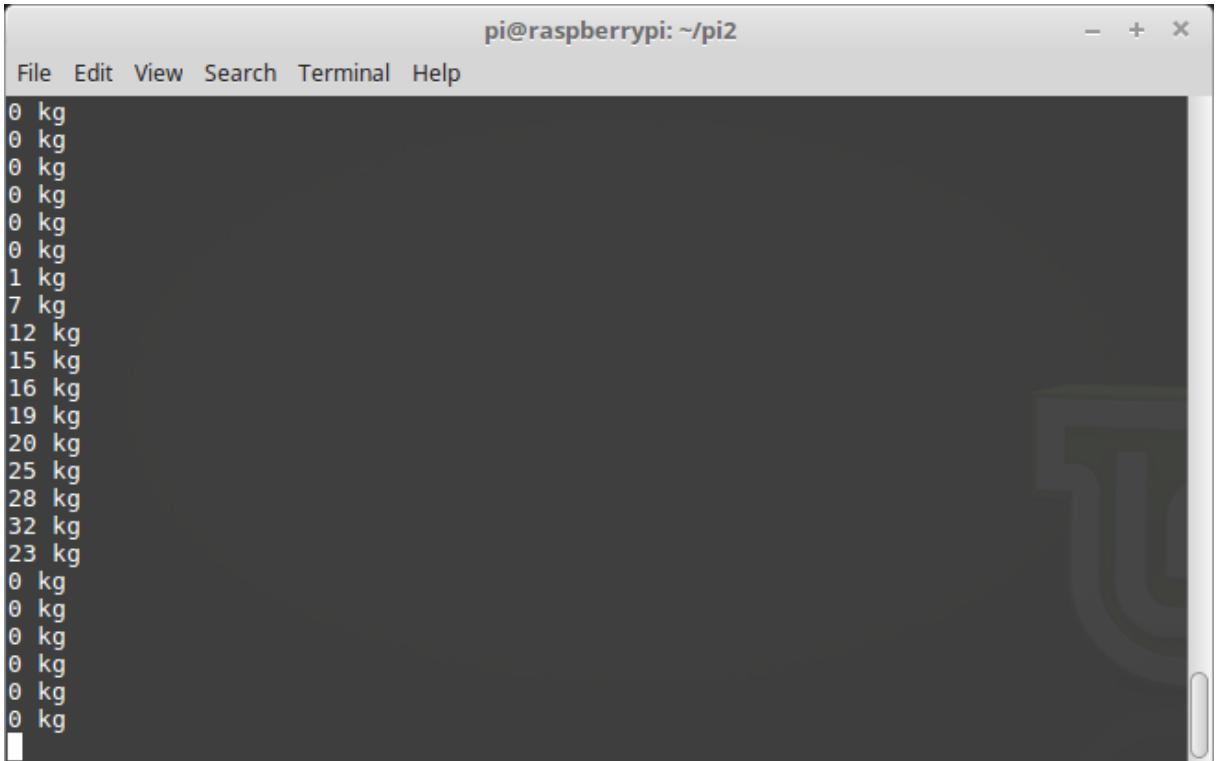


Figure 53 – HX711²⁸

6.3.6.1 Código para leitura dos valores de força

Para realizar a leitura da força exercida nas células de carga e realizar testes para futura integração foi criado um programa em Python para que a leitura pudesse acontecer usando o microprocessador Raspberry Pi, os pinos 8 e 13 foram colocados no modo BOARD, além do VCC e GND para conexão com o HX711. A leitura pode ser vista na imagem a seguir:

²⁸ Fonte:



```
pi@raspberrypi: ~pi2
File Edit View Search Terminal Help
0 kg
0 kg
0 kg
0 kg
0 kg
0 kg
1 kg
7 kg
12 kg
15 kg
16 kg
19 kg
20 kg
25 kg
28 kg
32 kg
23 kg
0 kg
0 kg
0 kg
0 kg
0 kg
0 kg
```

Figure 54 – carga²⁹

6.4 2RSSystem

Responsável pela inovação em *software* do 2Row, 2RSSystem é capaz de receber, processar e transmitir dados dos sensores eletrônicos.

Cada módulo do 2RSSystem é responsável por uma etapa específica do fluxo de informação do sistema. Este se comunica diretamente com 2RE-Kernel e transmite informações processadas para o atleta através do 2RS-Viewer.

6.4.1 Arquitetura

6.4.2 Módulos

6.4.2.1 2RS-Controller

6.4.2.2 2RS-Processer

O principal objetivo deste módulo é: receber os dados inferidos pelas IMUs e repassados pela **2RS-Controller** e transformá-los em informações necessárias para a renderização dos modelos do corpo humano.

As IMUs são compostas, basicamente, por 3 instrumentos: 1 acelerômetro, 1 giroscópio e 1 magnetômetro; esses, respectivamente, são capazes de: medir a aceleração

²⁹ Fonte: Autor

do objeto, a direção do objeto e a intensidade, a direção e o sentido de campos magnéticos em sua proximidade. Cada um desses instrumentos possui 3 eixos de precisão, os quais representam o espaço 3D em respeito às suas capacidades próprias, totalizando 9 dados a serem utilizados por este módulo.

Esses 9 dados separadamente não são úteis para a renderização dos modelos. Para que seja possível mapear os movimentos do atleta para a tela, é necessário ter em mãos os ângulos de Euler que representam a orientação. Para obter os ditos ângulos, é necessário inserir esses dados em um algoritmo de fusão sensorial, o qual dá como *output* os ângulos de Euler.

O algoritmo de fusão sensorial escolhido foi o Madgwick (TODO: adicionar referência). Este algoritmo incorpora compensação de distorção magnética e utiliza a representação de *quaternions* (que podem ser transformado em ângulos de Euler), o que permite que os dados do acelerômetro e do magnetômetro sejam utilizados para medir e corrigir o erro do giroscópio como uma derivada do *quaternion* do momento atual, o que seria impossível se as IMUs possuíssem apenas 6 eixos (i.e. não se possuíssem um magnetômetro).

O algoritmo é dividido em dois processos: 1. As medições do giroscópio são obtidas com um algoritmo de correção (com o objetivo de minimizar os efeitos do efeito de *drift*) e são, então, utilizadas para computar a orientação do corpo com a propagação do *quaternion* começando da etapa anterior do algoritmo. 2. Logo após, as medições do acelerômetro e do magnetômetro são fundidas com um parâmetro β . O *output* dessa fusão é usado para corrigir a orientação estimada no primeiro passo, onde apenas o giroscópio foi considerado.

O algoritmo foi implementado utilizando a linguagem de programação Python em conjunto com a biblioteca NumPy. O principal motivo pela escolha da linguagem foi a própria NumPy. Como a visualização dos movimentos deve ser feito em tempo real, a eficiência dos cálculos é altamente necessária. Nesse ponto, a NumPy se sobressai: as operações e os cálculos de matrizes, acessos de *arrays/listas/tuplas* etc são escritas, conjuntamente, nas linguagens Fortran e C, fazendo com que sejam aproveitadas a rapidez dessas linguagens e a simplicidade da programação na linguagem Python.

6.4.2.3 2RS-Viewer

Módulo responsável por renderizar e apresentar informações para o atleta, 2RS-Viewer é um programa binário desenvolvido através do uso da *engine free-source* Godot com algoritmos em GDScript. As principais informações apresentadas são:

- Potência atual do atleta, em Watts;
- Velocidade atual do atleta, em remadas por minuto;
- Timer da atividade do atleta, em minutos e segundos;

- Carga de dificuldade do remo, em unidade natural;
- *Performance* do atleta, em modelo tridimensional;
- *Performance* ideal, em modelo tridimensional.

O modelo tridimensional foi desenvolvido por Exocortex e disponibilizado em formato Collada para uso por Reid Morris. A armadura de animação do modelo foi produzida manualmente através do uso da ferramenta *free-source* Blender.

Os dados atuais da atividade do atleta são requisitados para a 2RS-Controller 10 vezes por segundo através do protocolo HTTP via *socket* TCP/IP, no formato JSON, conforme exemplo:

```
{
  "power": 100,
  "speed": 33,
  "timer": 99,
  "difficulty": 1,
  "athlete": {
    "arm_l": [
      [0, 0, 0],
      [0, 0, 0],
      [0, 0, 0]
    ],
    "arm_r": [
      [0, 0, 0],
      [0, 0, 0],
      [0, 0, 0]
    ],
    "leg_l": [
      [0, 0, 0],
      [0, 0, 0],
      [0, 0, 0]
    ],
    "leg_r": [
      [0, 0, 0],
      [0, 0, 0],
      [0, 0, 0]
    ]
  },
  "ideal": {
```

```

    "arm_l": [
        [0, 0, 0],
        [0, 0, 0],
        [0, 0, 0]
    ],
    "arm_r": [
        [0, 0, 0],
        [0, 0, 0],
        [0, 0, 0]
    ],
    "leg_l": [
        [0, 0, 0],
        [0, 0, 0],
        [0, 0, 0]
    ],
    "leg_r": [
        [0, 0, 0],
        [0, 0, 0],
        [0, 0, 0]
    ]
}

```

Cada requisição é feita de forma assíncrona. Caso aconteça de entrelaçar as requisições (por atraso de processamento ou atraso de entrega), a de maior *timer* prevalece e as outras requisições são descartadas.

TODO: Detalhes dos algoritmos, detalhes da armadura, imagens, testes

6.4.2.4 2RS-Processer

Como o objetivo deste módulo era receber dados crus das IMUs e dar como *output* os ângulos de Euler que representam as orientações do corpo, é necessário ter uma forma de testar se os ângulos estão realmente corretos; isto é, se o algoritmo de fusão sensorial está funcionando corretamente. Para tal teste, a ferramenta de visualização **ahrs-visualizer** foi utilizada.

Basicamente, a ferramenta **ahrs-visualizer** recebe uma matriz de rotação (que pode ser derivada do *quaternion* mantido no Madgwick) e mostra na tela a representação da IMU na tela. Ou seja, uma bateria de dados foi coletada das nossas IMUs, esses

dados foram colocados na implementação do Madgwick e as matrizes de rotação de cada momento de tempo foram dadas como *output*. Então, as matrizes de rotação foram dadas como *input* para o **ahrs-visualizer** e, então, foi checado se as imagens mostradas pelos **ahrs-visualizer** correspondem ao movimentos feitos na IMU.

Algumas imagens do **ahrs-visualizer** podem ser vistas a seguir: TODO: adicionar as imagens

7 Plano de Integração

7.1 Integração – 2RBoat/2RPower

A integração do sistema de estrutura com energia baseou-se nos vinculos da estrutura primária com o disco do freio eletromagnético e os eletroímãs. O atleta irá puxar uma barra ligada a um sistema de catracas e coroas por uma corrente de bicicleta. Esse sistema tem o intuito de reduzir a força aplicada pelo atleta no freio eletromagnético. Além disso o acoplamento entre as duas áreas mostrou-se afinado durante todo o ponto de controle 2, justificado pela modelagem do sistema de energia com a ajuda da parte de estrutura.

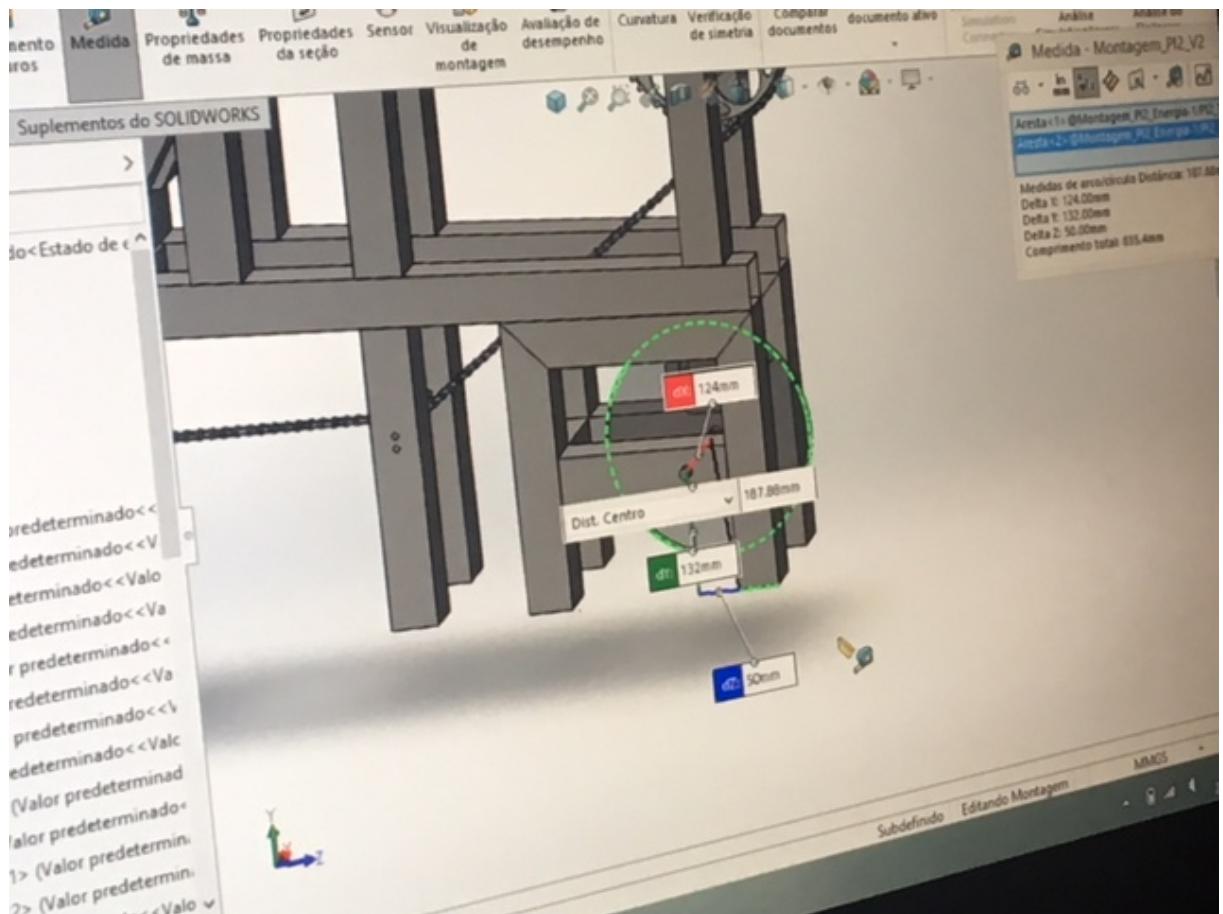


Figure 55 – Local da estrutura para acoplamento do eletroímã e disco

7.2 Integração – 2RBoat/2RElectronic

A integração do sistema de eletrônica com estrutura consiste em duas situações. A primeira trata-se da estrutura, a qual suportará as células de cargas (Estrutura de apoio aos pés), adequada para comportar o sensor e a passagem dos fios do mesmo. A segunda, trata-se do fornecimento da estrutura do case para alocar os sistemas encados, incluindo os botões, a raspberry Pi 3 e os demais sistemas da parte de software.

Ademais, para validar o cálculo da força de reação para dimensionar a célula de carga, o sistema 2RBoat fez a simulação estática da força para o aparato dos pés, apresentado na figura Figura 56, observou-se que essa estrutura, suporta em cada lado uma força de 850 N. A força máxima é de aproximadamente 848 N para, vale ressaltar que o cálculo foi feito para a potência máxima de remada (600 W).

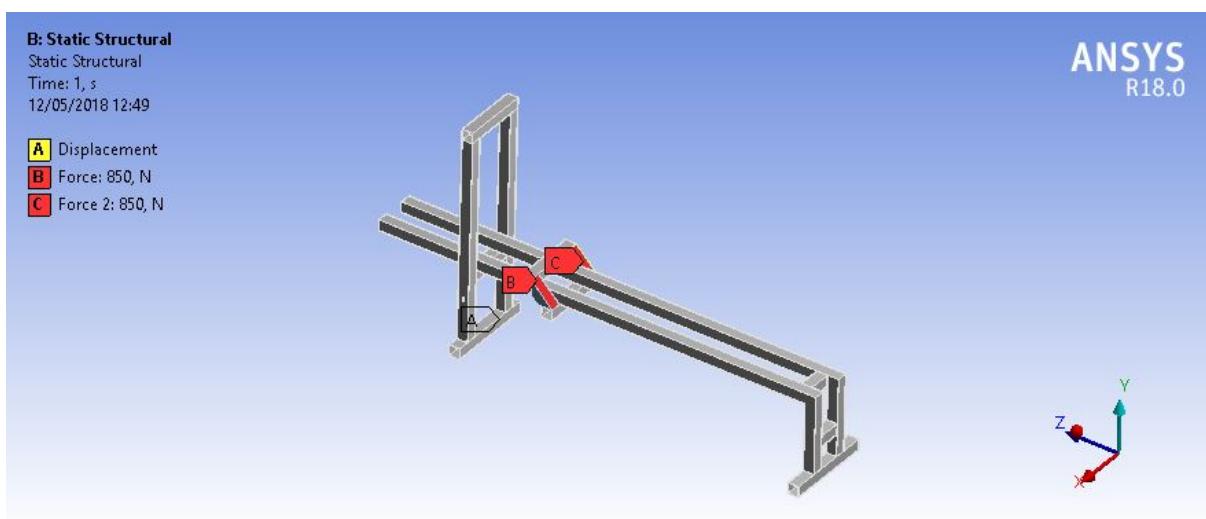


Figure 56 – Simulação estática da força para o apoio do pé.

7.3 Integração - 2RElectronic/2RPower

A integração do sistema de eletrônica com energia se baseia em fazer as conexões necessárias para chavear as bobinas utilizando o circuito com relés já mencionados anteriormente, testes já foram feitos para o acionamento de cada bobina separadamente e eles se mostraram bem executados.

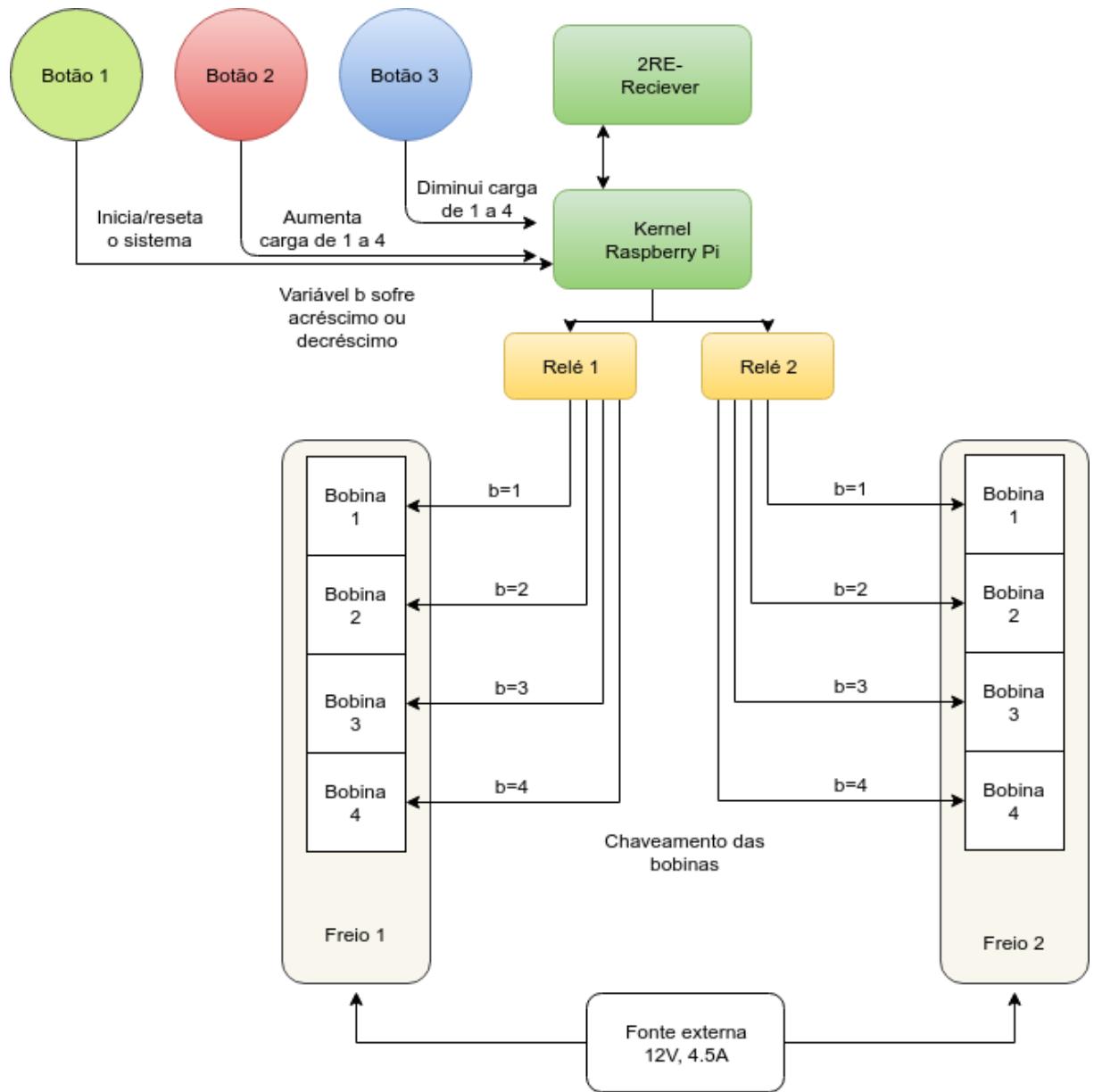


Figure 57 – reles³⁰

³⁰ Fonte: Do_autor



Figure 58 – Testes do código para acionamento dos níveis de carga do eletroímã



Figure 59 – Testes do código para acionamento dos níveis de carga do eletroímã

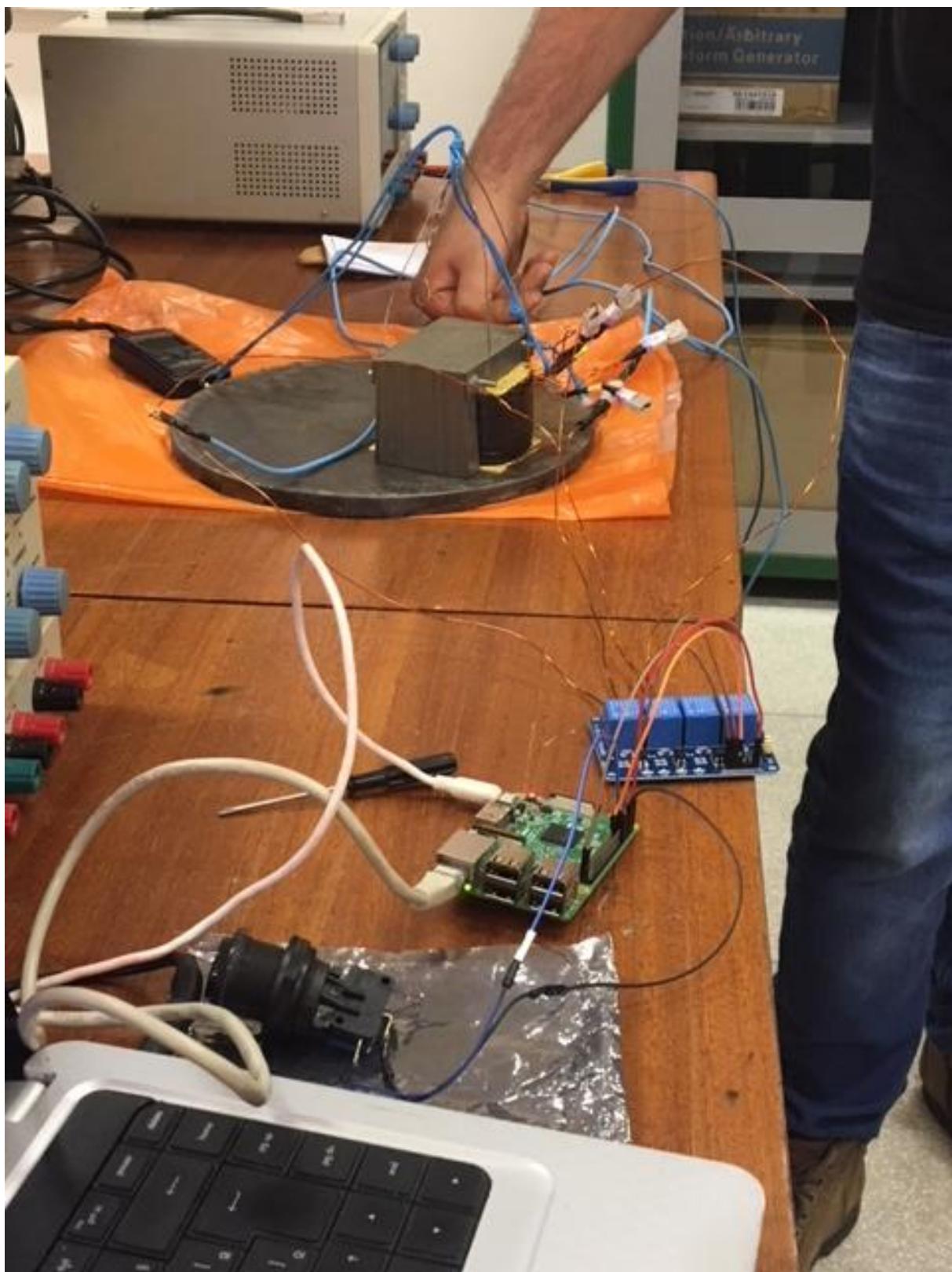


Figure 60 – Testes do código para acionamento dos níveis de carga do eletroímã

7.4 Integração – 2RElectronic/2RSystem

8 Considerações Finais

Em síntese, o projeto está avançando conforme o planejado, porém com algumas alterações devido a validação dos testes, para o término do 2Row, protótipo do remo indoor. Nesta etapa do ponto de controle foram realizadas mudanças e aprovação das soluções propostas por cada subsistema e o planejamento da integração destes.

Referências

Araújo, Rodrigo A. et al. 2013. “Unidade de medida inercial para cálculo de deslocamento” 2. Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Câmpus Medianeira.

Baptista, Rafael R. B. 2005. “Aspectos fisiológicos da produção de força em remadores”. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Borges, Ana Carolina S. 2013. “Instrumentação Para Remo Olímpico”, nº 1. Engenharia Biomédica, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Dyadem Press, Oi. 2003. *Guidelines for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), for Automotive, Aerospace, and General Manufacturing Industries*. 1º ed. Dyadem Press. <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=8241F0EA994546E3F115569BDD766BC7>>.

Hibbeler, Hibbeler R. C. 2010. *Engineering Mechanics: Dynamics*. 12º ed. Pearson.

Maia, Gustavo B. M. M. 2006. “Remo: cargas concentradas de força e sua relação com a alteração de diferentes indicadores funcionais”, nº 1. Universidade Estadual de Campinas.

Medeiros, Sólon de. 1980. “Medição de Energia Elétrica”, nº 1. 2a edição, Editora Universitária – UFPE.

Mendes, Júnior, e José J. Alves. 2016. “Desenvolvimento de uma armband para captura de sinais eletromiográficos para reconhecimento de movimentos”, nº 1. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Pereira, Adriano Holanda. 2006. “Freio Eletromagnético para Ensaios de Motores Elétricos de Indução”, nº 1. Universidade Federal do Ceará.

Pinheiro, Ricardo F. 2014. “Estudo de um Sistema de Frenagem Eletromagnética Empregando Correntes Parasitas”, nº 1. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Prieto, Fabián B. 2018. “Um estudo sobre arquiteturas de hardware para técnicas de fusão sensorial através do EKF e da estimativa de estados baseada em filtros híbridos

otimizados”, nº 1. Universidade de Brasília.

Silva, Itallo S. et al. 2012. “Aplicações do protocolo I2C em sistemas microcontrolados”, nº 1. VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação.

Souza, Layla Claire M. 2014. “Biomecânica Aplicada aos Esportes Náuticos Olímpicos: uma revisão sistemática da literatura”, nº 1. Centro de Educação Física e Desportos, Universidade Federal do Espírito Santo.

Vaughan, Christopher L. V. et al. 1999. “Dynamics of human gait”. Kiboho Publishers.

[s.d.].