



Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Engenharia Automotiva, Engenharia Eletrônica, Engenharia de  
Energia e Engenharia de Software

# KIT UNIVERSAL DE AUTOMAÇÃO DE CADEIRAS DE RODAS

Autor: Grupo Cadeira de rodas automatizada

Orientador: Professores Orientadores da Matéria

Brasília, DF

2015





Grupo Cadeira de rodas automatizada

# **KIT UNIVERSAL DE AUTOMAÇÃO DE CADEIRAS DE RODAS**

Relatório para matéria do curso de graduação de Engenharias, Projeto Integrador 2

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Professores Orientadores da Matéria

Coorientador: Professores Orientadores da Matéria

Brasília, DF

2015

*"A deficiência não precisa ser um obstáculo para o sucesso."*

*Professor Stephen W Hawking*

# Orientadores

| Nome orientador                 | Engenharia              |
|---------------------------------|-------------------------|
| Luiz Carlos Gadelha de Souza    | Engenharia Aeroespacial |
| Alessandro Borges de Sousa      | Engenharia Automotiva   |
| Edson Mintsu Hung               | Engenharia Eletrônica   |
| Jungpyo Lee                     | Engenharia de Energia   |
| Paulo Roberto Miranda Meirelles | Engenharia de Software  |
| Ricardo Matos Chaim             | Engenharia de Software  |



# Membros

| Nome Aluno                       | Matricula  | Engenharia |
|----------------------------------|------------|------------|
| Carlos Filipe de Queiroz Araujo  | 10/0096093 | Automotiva |
| Edward Douglas M. Pereira Junior | 10/0028349 | Automotiva |
| Felipe Duerno do Couto Almeida   | 11/0116712 | Eletrônica |
| Gustavo Vinicius Martins Arvelos | 09/0115830 | Eletrônica |
| Henrique Berilli Silva Mendes    | 11/0120841 | Eletrônica |
| Luiz Cláudio Percy               | 10/46497   | Eletrônica |
| Bruno Carlos dos S. Moraes       | 10/43854   | Energia    |
| Bruno Lossio                     | 10/0095208 | Energia    |
| Felipe de Souza Campos           | 10/0054323 | Energia    |
| Jéssica Rocha Gama               | 10/0054501 | Energia    |
| Rafael Ferrato                   | 10/0120491 | Energia    |
| Thabata Helen Macedo Granja      | 09/0139658 | Software   |
| Victor Cotrim de Lima            | 09/0134699 | Software   |





# Lista de abreviaturas e siglas

|         |  |
|---------|--|
| IBGE    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística          |
| VPN     | Virtual Private Network                                  |
| XP      | Extreme Programming                                      |
| SLA     | Bateria Selada Chumbo-Ácido                              |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia |
| ABNT    | Associação Brasileira de Normas Técnicas                 |
| NBR     | Norma Brasileira   |



# Sumário

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>                                 | <b>13</b> |
| <b>1.1</b> | <b>Objetivos</b>                                  | <b>13</b> |
| 1.1.1      | Objetivos Gerais                                  | 13        |
| 1.1.2      | Objetivos Específicos                             | 14        |
| <b>1.2</b> | <b>Estado Técnico</b>                             | <b>15</b> |
| 1.2.1      | História  | 15        |
| 1.2.2      | O Estado da Arte                                  | 16        |
| <b>1.3</b> | <b>Requisitos</b>                                 | <b>17</b> |
| 1.3.1      | Requisitos em Relação a Estrutura                 | 18        |
| 1.3.2      | Requisitos em Relação as Tecnologias              | 18        |
| 1.3.3      | Requisitos em Relação a Parte Financeira          | 18        |
| <b>2</b>   | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>                      | <b>21</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Estrutura</b>                                  | <b>21</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Power Train</b>                                | <b>24</b> |
| 2.2.1      | Motor   | 24        |
| 2.2.1.1    | Motor de Corrente Contínua                        | 25        |
| 2.2.2      | Redutor   | 25        |
| 2.2.3      | Bateria   | 26        |
| 2.2.3.1    | Carregando baterias                               | 28        |
| <b>2.3</b> | <b>Controle</b>                                   | <b>28</b> |
| 2.3.1      | Dispositivos de controle                          | 28        |
| 2.3.2      | Tecnologias                                       | 29        |
| 2.3.2.1    | Raspberry PI                                      | 29        |
| 2.3.2.2    | Python  | 30        |
| 2.3.2.3    | Ambiente de desenvolvimento                       | 30        |
| 2.3.2.4    | Arquitetura                                       | 31        |
| 2.3.2.5    | Controle do motor                                 | 31        |
| <b>3</b>   | <b>METODOLOGIA</b>                                | <b>35</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Estrutura</b>                                  | <b>35</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Power Train</b>                                | <b>35</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Controle</b>                                   | <b>35</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Metodologia de organização e monitoramento</b> | <b>36</b> |
| <b>3.5</b> | <b>Integração entre Engenharias</b>               | <b>37</b> |

|            |                                |           |
|------------|--------------------------------|-----------|
| <b>4</b>   | <b>RESULTADOS</b>              | <b>39</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Estrutura</b>               | <b>39</b> |
| 4.1.1      | Protótipo                      | 41        |
| 4.1.2      | Esforços Estruturais           | 45        |
| 4.1.3      | Centro de Massa                | 48        |
| <b>4.2</b> | <b>Power-Train</b>             | <b>49</b> |
| 4.2.1      | Resistência a Rolagem          | 49        |
| 4.2.2      | Moto-reductor                  | 52        |
| 4.2.3      | Bateria                        | 52        |
| 4.2.3.1    | Autonomia                      | 53        |
| <b>4.3</b> | <b>Controle</b>                | <b>55</b> |
| 4.3.1      | Atual Panorama                 | 55        |
| 4.3.2      | Joystick                       | 55        |
| 4.3.3      | Controlador Central            | 57        |
| 4.3.4      | Motor                          | 59        |
| 4.3.5      | Integração Motor e Joystick    | 61        |
| 4.3.6      | Ponte H                        | 62        |
| 4.3.7      | Dissipador de calor            | 66        |
| 4.3.8      | Indicador de Nível de Bateria  | 68        |
| <b>5</b>   | <b>PLANEJAMENTO FINANCEIRO</b> | <b>69</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Arrecadação</b>             | <b>69</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Planejamento de Gastos</b>  | <b>69</b> |
| <b>6</b>   | <b>PROBLEMAS ENCONTRADOS</b>   | <b>71</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Geral</b>                   | <b>71</b> |
| <b>6.2</b> | <b>Controle</b>                | <b>72</b> |
| 6.2.1      | Ambiente de Desenvolvimento    | 72        |
| 6.2.2      | Ambiente físico                | 72        |
| 6.2.3      | Arquitetura                    | 73        |
| 6.2.4      | Ponte H                        | 74        |
| 6.2.5      | Joystick                       | 75        |
| <b>6.3</b> | <b>Power Train</b>             | <b>75</b> |
| 6.3.1      | Escolha de um motor            | 75        |
| 6.3.2      | Eixo do conjunto moto-reductor | 75        |
| <b>6.4</b> | <b>Estrutura</b>               | <b>76</b> |
| 6.4.1      | Acoplamento                    | 76        |
| 6.4.2      | Falta de cadeira               | 76        |
| <b>7</b>   | <b>PERSPECTIVAS</b>            | <b>77</b> |

|            |                         |           |
|------------|-------------------------|-----------|
| <b>7.1</b> | <b>Incremento atual</b> | <b>77</b> |
| 7.1.1      | Estrutura               | 77        |
| 7.1.2      | Power Train             | 77        |
| 7.1.3      | Controle                | 78        |
| 7.1.4      | Interface com Usuário   | 78        |
| <b>7.2</b> | <b>Próximos passos</b>  | <b>78</b> |
| 7.2.1      | Estrutura               | 78        |
| 7.2.2      | Power Train             | 79        |
| 7.2.3      | Interface com Usuário   | 79        |
| 7.2.4      | Controle                | 79        |
|            | <b>REFERÊNCIAS</b>      | <b>81</b> |



# 1 Introdução

A Cadeira de rodas manual (CRM) é um importante instrumento para a funcionalidade diária na vida daqueles que tem os membros inferiores comprometidos. Segundo uma pesquisa realizada em 2010 pelo IBGE existe cerca de 4,4 milhões de indivíduos incapazes ou com grandes dificuldades de locomoção em todo o Brasil ((SDH/PR), 2012), cadeirantes, em sua maioria.

Segundo Sagawa et al as CRM são consideradas meios de locomoção de baixa eficiência mecânica (2 a 10%), além disso os membros superiores não foram preparados para fazerem tantos esforços e movimentos repetidos, para indivíduos que ainda estão em fase de adaptação esse esforço é ainda maior e para aqueles com sobrepeso os problemas de sobrecarga podem ser tão sérios quanto os riscos cardiovasculares. Na busca de aumentar a funcionalidade de independência do indivíduo a cadeira de rodas elétrica surgiu oferecendo ao indivíduo maior facilidade e eficácia no deslocamento, no entanto, cadeiras de rodas elétricas têm um alto custo e muitas não são portáteis como CRM.

Nesse âmbito, nos últimos anos projetos de automação de cadeiras de rodas manuais (LOCKTON, 2004), (FILHO et al., 2010), (EVEREST; JENNINGS, 1937), (HAMANAKA, 2002) vem sendo testados, estes dão ao cadeirante a facilidade de mobilidade e ao mesmo tempo utilizam-se do fato de que a cadeira de rodas manual do cadeirante já está com a ergometria adaptada as necessidades do indivíduo.

Dessa forma, diante da importância entre a relação homem/cadeira de rodas o presente trabalho tem como objetivo prototipar um kit de automação de cadeira de rodas que seja acoplável a todas as cadeiras de rodas. Para garantir que esse produto seja compatível com o maior número de cadeiras de rodas do mercado possível, seguir-se-á o padrão especificado pela NBR 9050 (ABNT, 2004) e as dimensões do INMETRO ([HTTP://WWW.INMETRO.GOV.BR/](http://www.inmetro.gov.br/), 2015)

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivos Gerais

O principal objetivo desse trabalho é desenvolver um kit de automação de cadeira de rodas, portátil e removível, o que tornará possível descartar o uso do trabalho humano para locomoção da CRM. Para garantir que esse produto seja compatível com o maior número de cadeiras de rodas do mercado possível, seguir-se-á o padrão especificado pela NBR 9050 (ABNT, 2004) e as dimensões do INMETRO ([HTTP://WWW.INMETRO.GOV.BR/](http://www.inmetro.gov.br/), 2015). Oferecendo um custo significativamente reduzido quando comparado a uma cadeira

de rodas motorizada e, além disso, a possibilidade de o cadeirante usufruir dos benefícios da cadeira motorizada sem perder a liberdade e ergonomia que o seu modelo manual proporciona.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

O projeto está dividido em quatro ramos: power train, estrutura, controle e interface com o usuário, pretende-se ter envolvimento de todas as engenharias (Automotiva, Eletrônica, Energia e Software) nos quatro ramos durante toda a execução do projeto.

#### **Engenharia Automotiva**

1. Criar um design que permita um acoplamento, visando a ergonomia, peso e dimensionamento do sistema de power train segundo NBR 9050;
2. Análises de materiais levando em consideração que o produto deve resistir a adversidades como água, sol, calor, etc.
3. Análise de esforços;
4. Montagem do protótipo

#### **Engenharia Eletrônica**

1. Construir um sistema automatizado de controle que seja capaz de gerir as funcionalidades do kit de automação;
2. Dar condição de pleno funcionamento para o controle de potência e motor utilizando pontes H;
3. Permitir a interação do usuário com o kit de automação com o uso de periféricos;
4. Auxiliar no desenvolvimento e criação de interface com o usuário;

#### **Engenharia de Energia**

1. Dimensionamento do motor com o menor requerimento de potência, ou seja, obter uma relação torque-potência ótimo para o sistema de tração elétrica;
2. Dimensionamento do redutor, visto que motores elétricos CC não possuem o torque necessário para a movimentação da cadeira, visto que motores elétricos CC possuem baixo torque nominal;
3. Dimensionamento da bateria visando os requisitos: peso, custo, autonomia, e transporte do produto por vias aéreas; e



4. Desenvolver o melhor sistema de acoplamento entre o motor e a roda do kit afim de que a transmissão de forças seja a mais eficiente possível.

### **Engenharia de Software**

1. Montar arquitetura da informação de forma evolutivo e escalonável em relação a qualquer código a ser desenvolvido.
2. Testar Incrementalmente as unidades usando metodologias TDD e se possível BDD.
3. Desenvolver incrementalmente de forma a manter a integração continua.

## **1.2 Estado Técnico**

### **1.2.1 História**

O primeiro meio de suporte para pessoas doentes ou deficientes, possivelmente foi a maca, inventando 4000aC. Ela era leve e podia ser facilmente transportada pelos escravos, servos ou membros da família (SOUZA, 2011).

Uma cama de criança, retratada em um vaso grego do século VI aC, pode ser considerada a mais antiga representação de um veículo sobre roda em ambientes internos. Uma escultura feita mil anos após o vaso, pode ser considerada a mais antiga representação de uma cadeira de rodas. Acredita-se que a escultura venha da China, sendo o único país da metade oriental da Ásia em que as cadeiras foram usadas antes dos tempos modernos (SOUZA, 2011).

No século III dC, foi inventando um veículo muito utilizado até hoje, o carrinho de mão. Este objeto chegou a Europa por volta do século XII dC pela rota das Cruzadas, sendo um veículo útil para todos os tipos de natureza (SOUZA, 2011).

Por volta do século XVI, algumas cadeiras receberam pequenas rodas ou rolos, dando comodidade aos idosos e doentes, onde essas cadeiras tinham as costas reclináveis, apoio de cabeça e apoio de braço. Com a criação dessas cadeiras, os idosos e doentes não precisavam ficar confinados nas camas, já que muitas dessas cadeiras eram feitas individualmente e para a própria utilização do dono (SOUZA, 2011).

Com o passar do tempo, cresceu o desejo pelo conforto, com isso, foram feitos algumas alterações nos contornos das cadeiras, onde elas recebiam braços adaptados às formas do corpo humano. Entretanto, as cadeiras de rodas ainda precisavam de alguma pessoa para empurrar. Uma das últimas melhorias que foi aplicada às cadeiras de rodas, foi no final do século XIX, quando as rodas de bicicletas de madeira foram substituídas por raios de metais, deixando-as bem parecidas com as que usamos hoje em dia. Um

pouco mais tarde, quando as rodas de bicicletas foram envoltas com pneu de borracha, os fabricantes das cadeiras de rodas começaram a seguir essa tendência (SOUZA, 2011).

No início do século XX, o inventor americano George Westinghouse, fez alguns desenhos sobre suas idéias para a criação de uma cadeira de rodas elétrica, entretanto, Westinghouse faleceu em 1914 sem ter construído uma cadeira de rodas elétrica. Apesar disso, muitos o consideram como o inventor da cadeira de rodas elétrica. Alguns anos depois, um grupo de engenheiros criou uma cadeira de rodas motorizada, entretanto, esta era muito cara, pesada e inflexível para os consumidores (CLARK, 1997), (SHEPARD; KAREN, 1984).

Já no início da década de 1930, Harry Jennings projetou uma cadeira de rodas dobrável com a ajuda de um paraplégico, o que acabou melhorando os modelos seguintes das cadeiras de rodas elétricas (CLARK, 1997), (SHEPARD; KAREN, 1984). De acordo com a necessidade e avanço científico e tecnológico do ser humano as cadeiras de rodas se tornaram um novo produto. Visando o mercado, várias empresas investiram na fabricação e desenvolvimento de modelos e tecnologias, que beneficiam aos cadeirantes. Existem atualmente diversos modelos de cadeiras de roda como cadeiras para banhos, cadeiras automatizadas, cadeiras dobráveis é até mesmo kits de automação, equipamentos que se tornaram de extrema importância para facilitar a acessibilidade dos cadeirantes ([HTTP://WWW.SCIELO.BR/PDF/PROD/V12N1/V12N1A06](http://www.scielo.br/pdf/prod/v12n1/v12n1a06), 2012).

### 1.2.2 O Estado da Arte

As tecnologias Assistivas, que são recursos tecnológicos que facilitam a vida das pessoas com algum tipo de deficiência, tem se tornado hoje um assunto cada vez mais comum. O avanço tecnológico tem facilitado para que haja uma inclusão social cada vez maior auxiliando atividades como: a automação de ambientes, que facilita para a execução de tarefas simples; na correção postural, com cadeiras que beneficiam a postura de pessoas que possuem alguma deficiência física; e na locomoção, que podem ser bengalas, cadeiras de rodas manuais ou elétricas, qualquer equipamento ou estratégia que auxilie na mobilidade.

A NBR9050 recomenda padrões de cadeiras de roda manuais e ajustes estruturais da mobília para de prédios para acessibilidade de pessoas com deficiência, estabelecendo padrões de estofados, dimensões estruturais, dentre outros que facilitam a vida de pessoas com deficiência (BECKER, 2000).

Hoje em dia, com a tecnologia mais avançada e os estudos em materiais mais resistentes e leves, pode-se observar uma vasta gama de cadeiras de rodas manuais e elétricas. Atualmente: cadeira de rodas dobrável com propulsão manual ou elétrica, cadeira leve tipo standard, cadeira semi-reclinável, cadeira "stand-up", vide figura 1, e cadeira

desportos, vide figura 2, scooters e cadeira motorizada (SOUZA, 2011).



Figura 1 – Cadeira Stand-up

Na figura 1, é apresentado uma cadeira de rodas do modelo stand-up, onde existem modelos dela manuais e motorizadas. Seu principal objetivo para o cadeirante é melhorar sua auto-estima, facilitando a acessibilidade nas atividades cotidianas, como exemplo, pegar um livro em uma estante, ou simplesmente olhar uma pessoa frente a frente. Isso ocorre devido a cadeira ter um sistema de elevação elétrico ou manual, permitindo pequenos deslocamentos do corpo da pessoa na posição ereta, com segurança e praticidade ([HTTP://WWW.CAVENAGHI.COM.BR/](http://www.cavenaghi.com.br/), 2015).



Figura 2 – Cadeira desporto

Na figura 2, tem um exemplo de cadeira de rodas para desporto. Esse tipo de cadeira de rodas são utilizadas nas atividades desportivas, onde cada cadeira é feita de acordo com a deficiência do para-atleta. Essas cadeiras são feitas com materiais leves, para que o para atleta tenha mais velocidade e moilidade (FREIRE, 2009).

Na figura 3, é apresentado a patente (PI0304753-9) que é um kit para motorização de cadeiras de rodas, onde as rodas de uma cadeira de rodas manual será tracionada por um conjunto de rodas menores, comandadas por um joystick, dotado de todos os elementos de comando de ambos os conjuntos de tração. Esse joystick é fixado junto ao apoio de braço direito ou esquerdo da cadeira de rodas ([HTTP://WWW.PATENTESONLINE.COM.BR/](http://www.patentesonline.com.br/), 2015).

A idéia dessa patente serviu de inspiração para o desenvolvimento desse projeto, onde a idéia principal é construir um kit para ser acoplado em qualquer cadeira de rodas manual, transformando-a em motorizada.

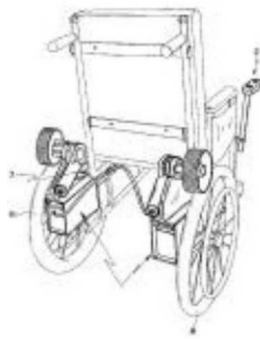


Figura 3 – Patente de um kit de automação de cadeiras de rodas

## 1.3 Requisitos

Os requisitos iniciais do projeto foram definidos a fim de facilitar um planejamento na fase inicial, ajudar na definição das tecnologias que serão utilizadas, e gerenciamento do projeto.

### 1.3.1 Requisitos em Relação a Estrutura

- O sistema de acoplamento entre o kit de automação e a cadeira deve ser universal com base nas dimensões do INMETRO;
- O projeto de design deve ser discreto;
- A ergonomia do kit deve prover conforto e segurança ao usuário;
- Transmissão de torque e potência entre o kit e a roda da cadeira de rodas deve possuir as menores perdas possíveis;
- O peso do conjunto motor-bateria deve ser o menor possível. Esse requisito está também atrelado ao custo- benefício.

### 1.3.2 Requisitos em Relação as Tecnologias

- É necessário um sistema de automação, controle dos motores, indicadores e controladores de potência;
- Interface com o usuário deve ser simples e acessível;
- A velocidade mínima da comunicação entre interface do usuário e placas de controle deve ser a mais alta possível.
- Este requisito será melhor adequado em relação a valores assim que testado com o usuário.

### 1.3.3 Requisitos em Relação a Parte Financeira

- Os custos totais do protótipo devem ser consideravelmente menores aos de uma cadeira de rodas motorizada;
- Os custo-benefício das peças a serem utilizadas no projeto devem ser embasados em cálculos matemáticos de quantidade-analisada por valor a ser pago.



## 2 Fundamentação Teórica

As cadeiras de rodas motorizadas proporcionam conforto, segurança, rapidez e prevenção de lesões nos membros superiores devido ao uso repetitivo em cadeiras de rodas manuais. Porém, uma cadeira de rodas motorizada representa um alto custo: em uma análise do impacto orçamentário realizada pelo Departamento de Economia da Saúde, Investimento e Desenvolvimento - Ministério da Saúde-DESID/SE/MS, o preço sugerido para uma cadeira de rodas motorizada é de R\$ 4.999,00, além do custo de manutenção (CONITEC, 8 de maio de 2013).

Além disso, cadeiras de rodas motorizadas, em caso de necessidade, não podem ser usadas como cadeiras de rodas manuais, pois possuem rodas pequenas para aproveitar melhor a potência dos motores e sistema de transmissão. Outro detalhe importante é que cadeiras de rodas motorizadas são geralmente pesadas e não possuem as facilidades de transportes das cadeiras manuais.

Neste capítulo é apresentada toda a fundamentação teórica utilizada para a criação do produto desenvolvido. Dividido em seções, o capítulo aborda os princípios do *Power Train* (Alimentação e Motores) e *Controle Eletrônico* utilizados.

Na seção *Power Train* são apresentados conceitos relacionados a motores e baterias, já na seção *Controle* são apresentados controladores analógicos de motores (ponte H), interface de controle do usuário, microcontroladores, arquitetura, linguagens de programação, testes de software e tecnologias.

### 2.1 Estrutura

#### Liga Metálica

Com o objetivo de confeccionar a estrutura que suportará os motores e baterias, é necessário observar alguns conceitos dos materiais que são relevantes ao projeto, bem como o custo, já que este trabalho se trata de um trabalho universitário.

De acordo com a matéria publicada por Infomet, a dureza e resistência da liga deve-se ao enriquecimento superficial nos aços que é suportada por um núcleo tenaz. Sabe-se que vários tipos de aço apresentam boas condições para essa finalidade. Para tanto, deve-se levar em consideração que a cementação exige tratamento térmico relativamente complexo, o que faz com que a escolha do aço não pode ser feita baseada somente na aplicação final do material, mas também levando em conta as condições térmicas que o material irá sofrer (F., 2014). Para esse trabalho, o material estará exposto a condições de temperatura ambiente, o que não será uma variável preocupante. Dessa forma, os esforços

mecânicos serão os que merecem devida atenção.

Levando em consideração principal o aspecto financeiro verificou-se dois tipos de ligas que podem ser utilizadas nesse trabalho: SAE 1020 e SAE 1040. De acordo com a fornecedora de aço Favorit, o aço SAE 1040 apresenta boa resistência mecânica, boa usinabilidade e baixa soldabilidade. Estes aços não apresentam as mesmas características mecânicas e metalúrgicas apresentadas pelos aços especiais, pois em seus processos de fabricação não são controlados o tamanho de grão austenítico, os níveis de gases dissolvidos, o grau de pureza, etc. As faixas de composições químicas dos aços comerciais são apenas orientadas pela norma NBR 6006 ou pelas normas internacionais tipo SAE, AISI, ou DIN, portanto, não há garantias de que os teores dos elementos químicos principais ou residuais estejam estritamente dentro dos limites especificados por estas normas. Além disto, nos aços comerciais, não são garantidas as faixas de temperabilidade conforme as normas NBR ou SAE (FAVORIT, 2015). Como outra opção, o aço SAE 1020 é um dos aços ao carbono mais utilizado como aço para cementação com excelente relação custo benefício quando comparado com aço para o mesmo propósito (G, 2015).

De acordo com um experimento realizado no trabalho de conclusão de curso do Fernando Ickert, através da análise visual das amostras foi possível observar que os materiais que possuem maior ductilidade (aço SAE 1020 e aço SAE 1045), apresentaram escoamento com maior facilidade em relação aos materiais menos dúcteis (aço inoxidável AISI 304). A partir disto, foi possível verificar com maior clareza a propagação da trinca devido à compressão e tração do corpo de prova, ao longo do ensaio até sua ruptura por fadiga, pois as amostras de aço SAE 1020 e aço SAE 1045 apresentaram uma considerável deformação antes de atingir a ruptura, ao contrário do que aconteceu com um material dúctil-frágil no caso do aço inoxidável AISI 304, que não apresentou uma variação visível em sua deformação e acabou rompendo de maneira inesperada (F., 2014).

Conforme a fornecedora de aço Açospport, Características e propriedades mecânicas dos aços SAE 1020, os aços SAE 1020 são aços carbonos de ligas metálicas constituídas basicamente de ferro, carbono, silício e manganês, apresentando também outros elementos inerentes ao processo de fabricação, em percentuais controlados. O aço carbono SAE 1020 é um dos aços mais utilizados, devido a sua baixa temperabilidade, excelente forjabilidade e soldabilidade, porém sua usinagem é relativamente pobre. Esse aço é indicado para parafusos, trefilados duros, chassis, discos de roda, peças em geral para máquinas, tubos soldados e veículos submetidos a esforços pequenos e médios. Este tipo de aço é altamente tenaz, particularmente indicado para fabricação de peças que devam receber tratamento superficial para aumento de dureza, principalmente cementação. O aço SAE 1020 é utilizado ainda para eixos em geral, forjados (AÇOSPORT, 2015).

Por conta da facilidade de compra do SAE 1020 e especificações mecânicas descritas acima, o grupo optou por esse material para a realização da estrutura do dispositivo



de locomoção automatizada. O material atende todas as especificações mecânicas para aguentar as cargas exigidas.

### Resistência a Rolagem

Segundo (SILVA, 2009), os fatores que determinam a resistência ao rolamento são: os coeficientes de atrito das rodas traseiras e dianteiras, o peso total do sistema (cadeira e usuário), a superfície em que a cadeira está sendo impulsionada e a distribuição de peso entre as rodas traseiras e dianteiras através do centro de massa (Cm).

A figura 4 é um diagrama que ilustra as variáveis que determinam a resistência de rolagem da cadeira de rodas manual. Estas variáveis são: o comprimento da roda ( $dwb$ ), a distância horizontal do eixo das rodas traseiras ao centro de massa ( $x$ ) e a distância horizontal do eixo das rodas dianteiras ao centro de massa ( $dwb-x$ ).

As forças presentes no diagrama representam as forças peso das rodas traseiras ( $f_r$ ) e das dianteiras ( $f_c$ ), que fazem parte das forças de resistência ao rolamento:  $f_{r,rr}$  das rodas traseiras e  $f_{c,rr}$  das rodas dianteiras. Nas equações abaixo:  $\mu$  é o coeficiente de fricção de rolagem,  $m$  é a massa e  $g$  é a aceleração da gravidade (SILVA, 2009).

$$f_r = m * g \frac{(dwb - x)}{dwb}; f_{r,rr} = \mu * f_r \quad (2.1)$$

$$f_c = m * g \frac{x}{dwb}; f_{c,rr} = \mu * f_c \quad (2.2)$$

$$f_{rr} = f_{c,rr} + f_{r,rr} \quad (2.3)$$

A resistência ao rolamento  $f_{rr}$  é, por fim, a soma das resistências das rodas dianteiras e traseiras.

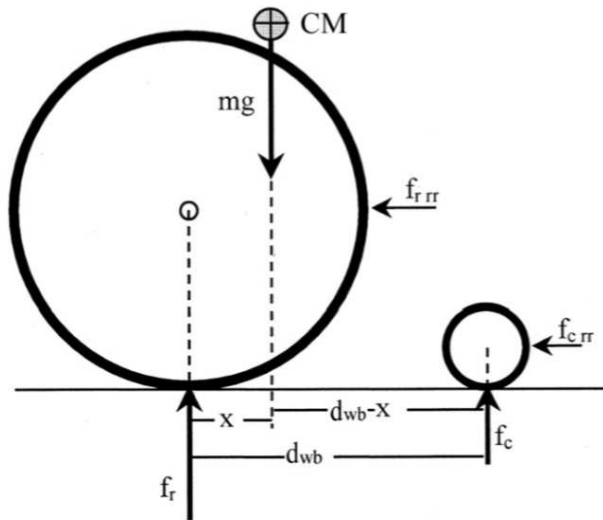


Figura 4 – Diagrama das variáveis que determinam a resistência de rolagem da cadeira de rodas manual. (SILVA, 2009).

## 2.2 Power Train

Para que a cadeira de rodas se movimente sem o uso de força humana, é preciso de um sistema elétrico capaz de substituir essa ação. Tal sistema deve ser composto por motores que darão o torque e a força necessária para as rodas da cadeira, e por uma fonte de energia que alimente estes motores, garantindo autonomia eficiente ao sistema, uma bateria, por exemplo.

### 2.2.1 Motor

Motor é uma máquina que tem a capacidade de transformar energia elétrica em energia mecânica (MEGGIOLARO; GIRASAS, 2011), existem dois tipos de motores: motor de corrente alternada (CA) e os de corrente contínua (CC).

As cadeiras de rodas automáticas utilizam-se de baterias como fonte de alimentação para os motores, portanto deve-se utilizar motores de corrente contínua. Este tipo de motor é muito utilizado em projetos que necessitam de velocidades variáveis, eles também apresentam uma região de torque e potência constante e são simples de realizar a aceleração e a desaceleração (HAMANAKA; DIAS, 2002).

É necessário que as relações de velocidades entre os motores tenham um sistema de controle rígido de forma que o usuário consiga controlar a cadeira adequadamente. Os motores devem responder aos comandos sem que hajam erros por uma questão de segurança. Uma metodologia para o dimensionamento de sistemas de tração para veículos elétricos é baseada na dinâmica veicular e considerando três condições de operação:

- Aceleração inicial
- Velocidade nominal
- Velocidade máxima

Um sistema que supre essas três condições funcionará adequadamente nos demais regimes de operação. Os parâmetros que definem essas restrições são:

- Velocidade nominal do veículo
- Tempo especificado para o veículo atingir a velocidade nominal
- Velocidade máxima
- Massa do veículo

### 2.2.1.1 Motor de Corrente Contínua

O objetivo é atender as restrições de projeto com o menor requerimento de potência, ou seja, obter um perfil de torque-velocidade ótimo para o sistema de tração elétrica. Os motores de corrente contínua utilizam-se das forças eletromagnéticas para transformar energia elétrica em mecânica, eles funcionam com uma fonte retificada, ou seja, que possuem polaridade fixa.

Este tipo de motor possui dois terminais, um positivo e outro negativo que de acordo com a polaridade e o sentido da corrente controlam a repulsão dos eletroímãs e consequentemente o sentido da rotação do motor. Ele é capaz de reverter o sentido da corrente sem que haja reversão de torque.

Uma das maiores vantagens dos motores de corrente contínua é o controle da velocidade que é feito por drenagem de corrente para o motor. Porém são mais difíceis de serem construídos e mais propícios a problemas, gerando uma maior manutenção, além disso, são propícios a problemas com faíscas internas o que impede o seu uso em ambientes perigosos.

Outro problema encontrado é a alta velocidade angular. Motores de corrente contínua encontrados no mercado possuem velocidades angulares nominais entre 2500 e 2800 rpm, o que lhes confere um baixo torque. Cadeiras de rodas precisam de motores que transmitam um alto torque para as rodas para poder movimentá-la, assim, se faz necessário um sistema redutor acoplado ao eixo do motor para reduzir a velocidade angular e aumentar o torque.

### 2.2.2 Redutor

O redutor tem a finalidade de modificar algumas características de ventiladores, bombas e motores elétricos para o acoplamento com outros dispositivos em seus eixos. Desta forma, o uso do redutor irá variar a velocidade, rotação ou torque ([ANDRADE, 2015](#)).

Para definir um redutor é necessário que haja a presença de um conjunto de eixos com engrenagens cilíndricas dentadas ou, até mesmo, conectado com um parafuso. Tudo isso para que haja uma redução do torque do eixo do dispositivo gerador de energia, quando comparado com o torque do eixo do dispositivo a ser acoplado, por exemplo uma roda. O uso de redutores é bem visto na fabricação de relógios, esteiras industriais e bombas.

Para que possa obter uma redução de torque é necessário a presença de engrenagem entre os eixos dos dispositivos. Por meio das engrenagens a velocidade de rotação da transmissão é reduzida, e o contato entre engrenagens de menor ou maior número de dentes (variação do diâmetro) possibilita a redução de torque desejada. A figura 5 abaixo

representa um motor acoplado a um redutor.

Existem dois tipos principais de redutores: Engrenagens cilíndricas de dentes retos e engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais.

As primeiras distinguem-se por transmissão de força sem deslizamento nos dentes, relação de multiplicação constante e independência de carregamento. Promove segurança de funcionamento, durabilidade, resistência a sobrecargas, fácil manutenção e dimensões reduzidas em relação a potência.

As engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais apresentam a vantagem de terem um funcionamento muito suave. Elas trabalham com relevante escorregamento de um dente sobre outro. Sua utilização permite transmissões silenciosas, sem vibrações e choques. O número de dentes mínimo poderá ser inferior ao das engrenagens cilíndricas de dentes retos, e a relação de transmissão poderá ser maior. Sendo a superfície de contato muito reduzida, se tem grandes pressões, por isso as engrenagens helicoidais são mais usadas.



Figura 5 – Motor de corrente contínua acoplado a um redutor

### 2.2.3 Bateria

Baterias são dispositivos que transformam energia química em elétrica e vice-versa. Por ser um processo reversível, as baterias podem ser carregadas e descarregadas várias vezes. Hoje no mercado existem vários tipos de baterias, com diferentes condições nominais.

A bateria adequada ao projeto seria uma bateria de chumbo ácida, muito utilizada em veículos devido a seu fácil acesso e baixo custo. Atualmente ela já é utilizada em cadeiras de rodas elétricas. Este é o tipo menos eficiente de bateria, com a pior relação peso/energia, em compensação, é a tecnologia mais barata.

Inventadas em 1859 pelo físico francês Gaston Planté, é muito utilizada hoje em dia em diferentes áreas, como automóveis, sistemas de fornecimento de energia elétrica ininterrupta (*no-breaks*) e cadeiras de rodas elétricas. Desprezando-se o problema do peso, é a bateria que mais se adéqua ao projeto.

Um grande problema foi solucionado na década de 70, onde pesquisadores conseguiram desenvolver uma bateria de chumbo-ácido livre de manutenção, podendo operar em qualquer posição. Nesta bateria, o invólucro foi selado e o eletrólito líquido foi transformado em separadores umedecidos.

As baterias SLA (bateria selada chumbo-ácido), também conhecida como *Gelcell*, tem uma faixa típica de capacidade que vai de 0,2 Ah até 30 Ah. Esse tipo de bateria está livre do famoso efeito memória, e deixar a bateria em carga flutuante por um longo período não causa nenhum dano.

A bateria de chumbo-ácido tem a melhor retenção de carga entre todas as baterias recarregáveis. As baterias de SLA descarregam, em média, aproximadamente 40% da sua energia armazenada em 1 ano, já uma de NiCd se auto descarrega na mesma quantidade em 3 meses.

As baterias SLA devem sempre ser armazenadas carregadas. Deixar a bateria descarregada causa sulfatação, uma condição que torna difícil, se não impossível, de se recarregar as baterias. A bateria SLA consegue fornecer entre 200 e 300 ciclos de carga/descarga.

Vantagens:

- A mais barata em termos de custo por Watt hora;
- Segura e durável quando utilizada corretamente;
- Auto descarga está entre as mais baixas entre as baterias com sistema de recarga;
- Não exige muita manutenção e não tem o efeito memória.

Limitações:

- A bateria não pode ser armazenada em completa descarga, a tensão tem de estar acima de 2,10V;
- Densidade baixa da energia;

- Ciclo de carga/descarga limitado;
- O eletrólito e o conteúdo da carga podem causar danos ambientais;
- Imprópria para dispositivos de mão que exigem tamanho compacto.

### 2.2.3.1 Carregando baterias

O tempo de carga de uma bateria de Chumbo-Ácido (selada) é de 12 a 16 horas. Com correntes de carga maiores, e métodos de carga multi-estágios, o tempo de carga pode ser reduzido para 10 horas ou menos. Durante a carga em corrente constante, a bateria carrega 70% em aproximadamente 5 horas, os 30% restantes são completados por uma lenta carga de pico. A corrente de pico dura outras 5 horas e é essencial para o bem estar da bateria.

## 2.3 Controle

Desde a primeira patente de cadeira de rodas elétrica em 1937 ([EVEREST; JENNINGS, 1937](#)), diversos modelos de cadeiras de rodas motorizadas foram desenvolvidos. As mais diversas interfaces humano-computador foram criadas de modo a facilitar a vida do cadeirante, desde cadeiras elétricas com um joystick simples à cadeiras inteligentes controladas por voz ou sem fio via celular, com monitoramento de velocidade, bateria e inclinação ([BARCELOS et al., 2008](#)). Foram pesquisadas várias formas de controle de cadeiras de rodas que podem ser consultados na tabela ??.

| Interface                       | Comunicação                              | Monitoramento                                | Características  |
|---------------------------------|--|--|--|
| Joystick tradicional            | Sem ou com fio, dependendo da aplicação. | Pouco, geralmente apenas o nível da bateria. | Contém mecanismo para encaixe na cadeira de rodas e ainda botões de emergência, os dados são enviados via bluetooth ou fio para o microcontrolador, onde é feito todo o processamento. |
| Joystick adaptado para o queixo | Com fio.                                 | Nenhum.                                      | Joystick fixo é adaptado para o controle com o queixo, utilizado por tetraplégicos.  |
| Guidão e motor dianteiro        | Mecânica.                                | Pouco ou nenhum.                             | Apenas para motores dianteiros.  |

Tabela 1 – Formas de controle

### 2.3.1 Dispositivos de controle

O *joystick* é um periférico de computador pessoal ou um dispositivo geral de controle que consiste em uma vara vertical na qual os pivôs se aproximam de uma extremidade e transmitem seu ângulo em duas ou três dimensões a um computador (MCGUIRE; JENKINS, 2009). O *joystick*, muito utilizado em computadores e jogos eletrônicos, provou sua utilidade em diversas áreas.

Em uma cadeira de roda elétrica o controle que representa a interface com o usuário, normalmente é feito com sistemas de *joystick*. Essa é uma solução comum devido sua simplicidade, baixo custo e confiabilidade.

Para o projeto, o *joystick* será conectado com fio e acoplado ao braço da cadeira, em uma posição que o usuário se sinta mais confortável de acordo com as limitações do dispositivo. Este acoplamento deverá ser simples e confiável.

### 2.3.2 Tecnologias

#### 2.3.2.1 Raspberry Pi

O Raspberry Pi é um computador do tamanho de um cartão de crédito que faz uso do sistema operacional Linux. Este sistema foi desenvolvido para rodar aplicações de todos os tipos, como internet, vídeo, dentre outras, que geralmente rodam em um computador pessoal comum. Possui entradas USB que permitem a conexão de periféricos como mouse, teclado, câmeras e saídas para TVs como HDMI. Possui apenas memória volátil, sem disco rígido e roda o sistema operacional a partir de um cartão de memória (RASPEBERRY..., 2015).

O Raspberry Pi tem como principal componente um pequeno circuito integrado que reúne o processador com a arquitetura ARM, a GPU VideoCore IV e a memória RAM que é compatível com o sistema operacional GNU/Linux. As especificações gerais do modelo mais provável a ser utilizado no projeto, o Raspberry Pi modelo B+, que pode ser visto na figura 6, são:

- Processador ARM11 de 700 MHz;
- GPU Dual Core VideoCore IV;
- Memória 512MB SDRAM;
- Saída de vídeo HDMI e RCA;
- Saída de áudio P2;
- Interface de rede Ethernet;

- 4 portas USB 2.0;
- Conector Micro USB para alimentação.

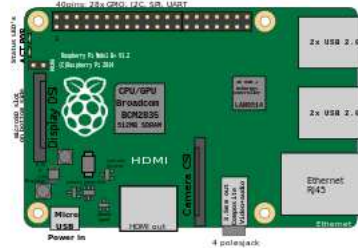


Figura 6 – Raspberry Pi Model B+

Ainda será utilizada uma tecnologia de conexão remota chamada SSH, que consiste em "um programa utilizado para acessar remotamente máquinas e executar comandos remotamente na máquina acessada" (BSD General Commands Manual, acessado em 22 de Outubro de 2015).

#### 2.3.2.2 Python

Uma das linguagens a ser adotada será Python devido a facilidade de existir bibliotecas específicas que controlam o GPIO (*General Purpose Input/Output*) do Raspberry Pi. Essa linguagem é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada, orientada à objetos, de tipagem dinâmica. Tem uma sintaxe consisa e clara, juntamente com uma biblioteca com recursos poderosos. Os módulos e *frameworks* ainda não foram decididos.

#### 2.3.2.3 Ambiente de desenvolvimento

O ambiente utilizado para desenvolver o software relativo ao projeto tem como linguagem de desenvolvimento Python 3.4 e ambiente para testes.

Os testes unitários são utilizados de forma a testar a menor unidade do software, de tal forma a suportar a automatização dos mesmos, de forma independente entre os testes (UNITTEST..., 2015a). O *framework* a ser utilizado será o "unittest", suportado e provido pelo próprio Python.

Ainda será utilizado o *Mock*, uma biblioteca de teste que faz parte do *framework* "unittest". É utilizada para simular o comportamento de um componente enquanto este não for implementado (UNITTEST..., 2015b).

Será realizada ainda a cobertura de código, uma métrica quantitativa de qualidade utilizada para aferir a quantidade percentual de teste do software, mostrando assim a efetividade dos testes realizados, artifício esse que se torna indispensável quando utiliza-se testes unitários, pois proporciona um retorno da medida da eficácia.



### 2.3.2.4 Arquitetura

"É um conjunto de elementos arquiteturais (de dados, de processamento, de conexão) que possuem alguma organização. Os elementos e sua organização são definidos por decisões tomadas para satisfazer objetivos e restrições" (WOLF(92), 2015).

### 2.3.2.5 Controle do motor

Geralmente motores precisam de corrente relativamente altas para controlar o seu funcionamento, assim é necessário que o sistema seja capaz de drenar corrente suficiente para os dispositivos. Considerando a característica dos motores de corrente contínua, sua direção é controlada pelo sentido da corrente, pode-se construir um sistema para o controle do sentido de forma simples utilizando apenas chaves, transistores e o circuito de ponte H.

#### Ponte H

Para realizar o controle dos motores elétricos de corrente contínua é necessário determinar o sentido da corrente que passa pelos terminais do motor, é através da ponte H que se realiza o controle. Com a ponte H é possível determinar o sentido que o eixo girará e sua velocidade. O Diagrama da ponte H pode ser visto na figura 7.

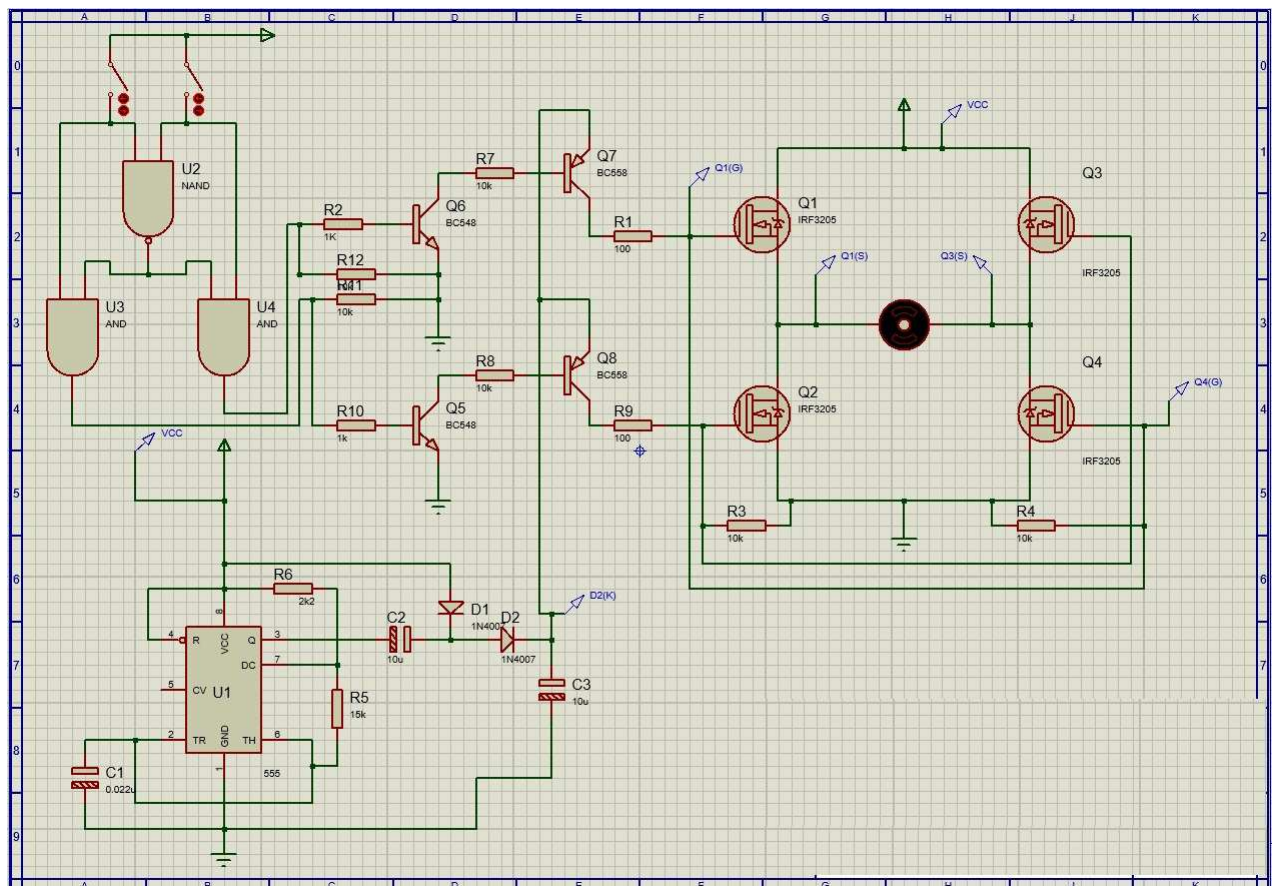


Figura 7 – Ponte H completa e circuitos de acionamento

A ponte H é utilizada para o controle dos motores e ela faz isso por meio do controle de corrente. E ainda é usada para determinar o sentido de corrente e o valor de tensão no controle de um motor DC.

A ponte H é um conjunto de quatro transistores, ligados de formas que suas entradas, ao serem acionadas, polarizem apenas dois transistores como mostrado na figura 8, dos quatro presentes. Permitindo assim, que a corrente flua pelo motor movimentando-o.

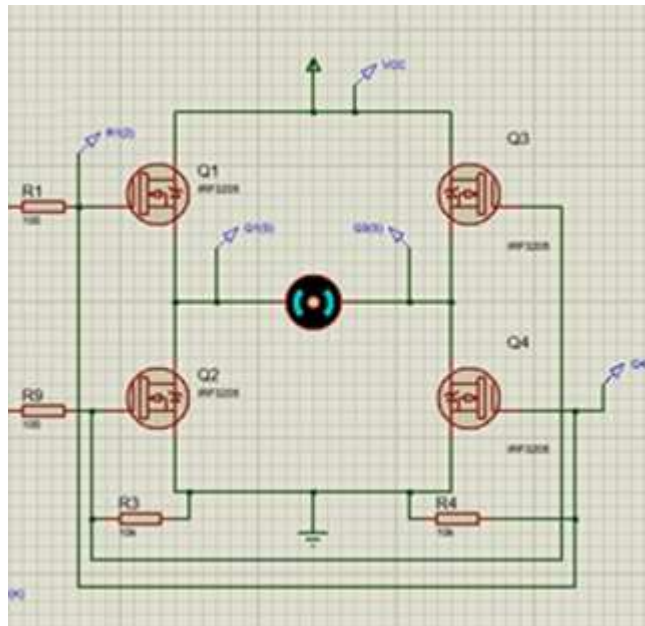


Figura 8 – Ponte H com transistores FETs

Os transistores da ponte H funcionam como chaves controladas por tensão. Os transistores utilizados são o IRF 3205, e eles são polarizados quando se cria uma diferença de tensão entre o *Gate* (G) e *Source* (s), conforme pode ser visto na figura 9, VGS maior que a tensão de threshold ( $V_{TH}$ ).

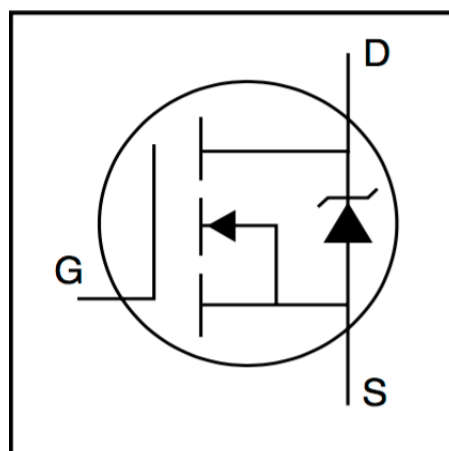


Figura 9 – Portas do transistor IRF 3205 (DATASHEET..., 2001)

A tensão de  $V_{TH}$  é a menor diferença de tensão que precisa ser alcançado entre G e S, conforme pode ser visto na figura x, para que o transistor seja ativado essa infor-

mação encontra-se no datasheet, para o transistor IRF 3205 esse valor vai de 2V até 4V (DATASHEET..., 2001).

Com isso utiliza-se desta propriedade e da disposição deles para fazer o controle do sentido de giro do motor. Quando o transistor Q1 e Q4 são polarizados, o terminal direito do motor fica com uma tensão mais positiva que o esquerdo, fazendo a corrente fluir da direita para a esquerda como mostrado na figura 10.

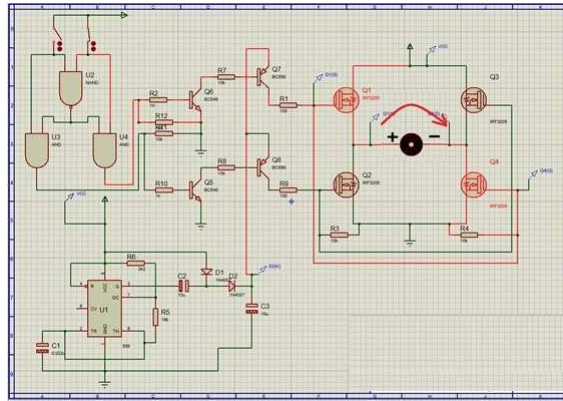


Figura 10 – Motor no sentido horário devido a corrente

Acionando-se em conjunto os transistores Q3 e Q2, o terminal esquerdo do motor fica com uma tensão maior que o direito, fazendo a corrente fluir da esquerda para a direita. Com o acionamento dos transistores Q1 e Q4, como mostrado na figura 11, a corrente flui no sentido contrário e os motores giram no sentido contrário.

Os transistores Q1 e Q2 não podem ser polarizados simultaneamente assim como os transistores Q3 e Q4. Pois o fechamento em conjunto de tais chaves causaria um curto na fonte de alimentação. Por esse motivo foi desenvolvido um modulo de segurança utilizando portas logicas na entrada, impedindo que as duas entradas que controlam os transistores sejam acionadas ao mesmo tempo.



Figura 11 – Motor no sentido anti-horário devido a corrente

## 3 Metodologia

Nesta seção são apresentadas as metodologias de desenvolvimento do produto, de organização e monitoramento e de integração entre engenharias.

A metodologia de desenvolvimento do produto mostra como serão desenvolvidas as partes da estrutura, alimentação e controle do sistema, a metodologia de organização e monitoramento detalha como são realizadas as reuniões, papéis dentro da equipe, ferramentas de organização e documentos produzidos, já a parte de integração entre engenharias apresenta a contribuição de cada engenharia no decorrer do projeto e em cada tarefa.

### 3.1 Estrutura

Modelagem 3D do dispositivo: será construído um modelo 3D da estrutura, seguindo as dimensões especificadas de cadeiras pela NBR 9050 ([ABNT, 2004](#)) e as dimensões do INMETRO, utilizando para isto o software Catia V5 3D.

Será construído um modelo utilizando PVC para os testes de acoplamento.

Com o auxílio do torno mecânico disponível no galpão da Faculdade UNB - Campus Gama será torneado um eixo para o acoplamento do conjunto de moto-redução e roda do sistema.

### 3.2 Power Train

Especificação do conjunto moto-redutor e bateria: serão levantados os requisitos necessários do moto-redutor e a autonomia do sistema comparando os cálculos teóricos realizados e o que é encontrado no mercado.

### 3.3 Controle

Especificação de tecnologia: estudo e escolha da melhor tecnologia voltada para o problema. Envolvendo desde as especificações do ambiente físico até as especificações do ambiente virtual para desenvolvimento do software.

Estudo, simulação e execução de qual tipo de controlador de potência será usado no motor, para controle de sua corrente.

Estudo e simulação das soluções encontradas para o *joystick*, bateria e sensoria-mento.

### 3.4 Metodologia de organização e monitoramento

Para a execução do projeto o grupo organizou com base nas metodologias ágeis "Extreme Programming" (XP) e Scrum, comuns a engenharia de software, porém, estas metodologias foram adaptadas conforme a necessidade e o contexto do projeto que este documento descreve. Um exemplo destas adaptações é a ausência de um "Product Owner", para esta representação todo o grupo a exercerá através de reuniões para tomadas de decisão.

O Scrum e o XP são metodologias ágeis que nos baseamos para o planejamento do processo produtivo. No início do projeto foi definido o escopo, product backlog, de uma forma mais macro, resultando assim na nossa EAP, que pode ser observada na figura 12.

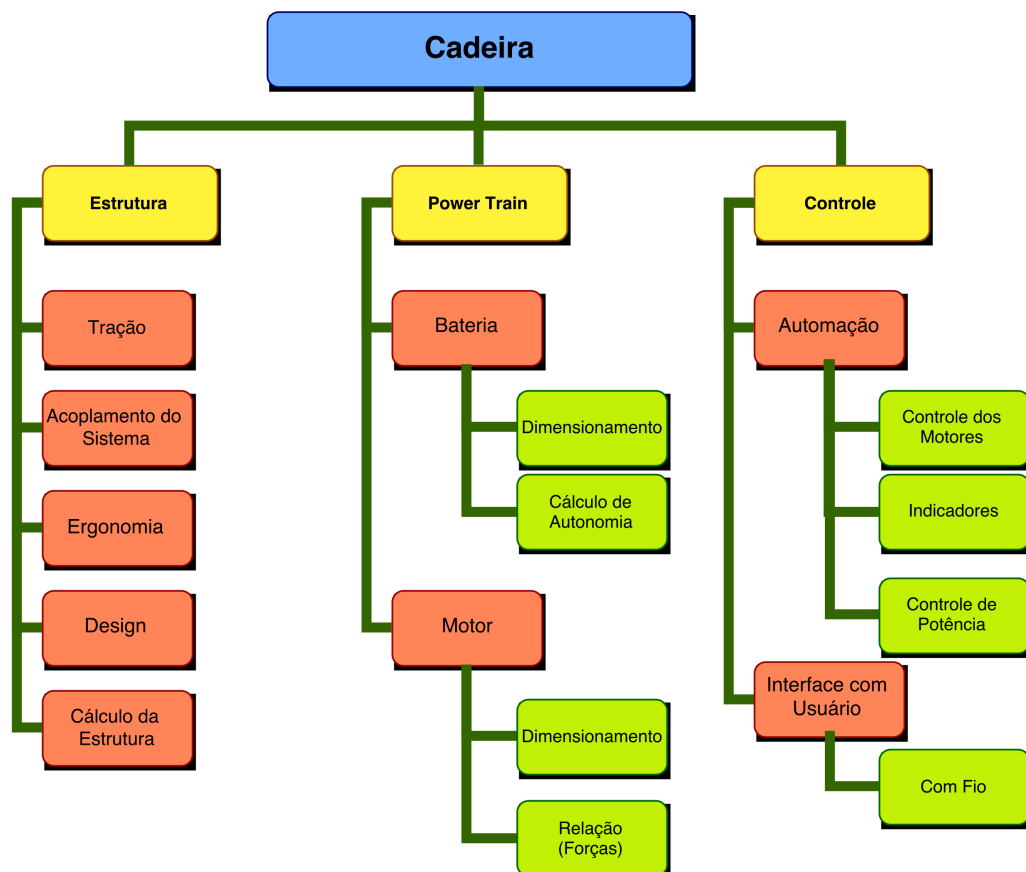


Figura 12 – Estrutura Analítica do Projeto

O projeto foi dividido em Sprints, técnica do Scrum baseada em intervalos fixos de



tempo para a entrega de uma parte do produto final (Builds), que por votação interna teve sua duração limitada a uma semana. Foi definido também que a cada início de Sprint será realizada Planning, reunião dedicada ao planejamento de toda a Sprint. Em seu decorrer será realizado dailies, um feedback diário de cada membro, ou cada pairing do que foi realizado naquele dia, se existe alguma dificuldade e o que será feito no próximo dia. No final da Sprint será realizado uma retrospectiva onde são levantados pontos positivos e pontos a serem melhorados.

A presença dos integrantes do grupo nos horários de aula serão obrigatórios e controlados através de lista de presença de controle interno, pois devido as Sprints de duração de uma semana o Planning e retrospectiva serão realizados nas aula de sexta-feira, e quarta feira será realizado um ponto de controle interno que pode servir tanto para a realização de super-pairings, quanto para tomadas de decisões importantes para o andamento do projeto.

Os prazos e datas nos quais foram baseados as datas de entrega, builds, releases, foram definidos para se adequar ao tempo da disciplina e às datas estipuladas pelo plano de ensino da disciplina.

Para o acompanhamento do projeto serão utilizadas ferramentas que facilitam os métodos citados anteriormente. Para auxiliar na comunicação será utilizada a ferramenta Slack, para o compartilhamento de Artefatos, pesquisas e documentos será utilizada a ferramenta Google Drive, para reuniões à distancia será utilizada a ferramenta Google Hangouts, para o desenvolvimento e versionamento dos softwares provenientes será utilizado o GitHub.

Com isso podemos concluir que nossas fases são divididas em Sprints, e as atividades são definidas no planejamento inicial de cada Sprint, bem como os responsáveis. As entradas são as atividades planejadas e as saídas são os relatórios e o produto incrementado.

## 3.5 Integração entre Engenharias

Considerando a diversidade de conhecimentos das várias engenharias que estão a contribuir para o trabalho, o grupo tem como objetivo compartilhar o máximo de informação possível, com a finalidade de integração entre os componentes. Com base nesta integração, então será alcançando um trabalho final mais completo e acabado. Envolvendo os membros em atividades que não são apenas a da área de conforto.

Com isso em mente e munidos de uma metodologia de organização de ciclo de vida cíclico e dinâmico, as tarefas são divididas entre os pairings formados pelos integrantes de diferentes engenharias sempre que possível. Como exemplo, temos a tabela 2, que mostra

nosso esquemático de divisão de responsáveis nas tarefas dentro das Sprints, esclarecendo a metodologia implementada

Tabela 2 – Integração das engenharias conforme momento(Sprint) e tarefa

| Sprint   | Tema  | Engenharia                  |
|----------|---|-----------------------------|
| Sprint 0 | Bateria/Alimentação   | Energia                     |
|          | Manual do usuário das ferramentas a serem utilizadas pelo grupo | Eletrônica/Software         |
|          | Motor   | Eletrônica/Energia          |
|          | Estrutura   | Automotiva                  |
|          | Comunicação   | Eletrônica                  |
|          | Identidade Visual do Grupo                                      | Energia/Software            |
|          | Projetos Similares  | Energia/Software            |
| Sprint 1 | Estrutura   | Automotiva/Energia          |
|          | Controle  | Eletrônica/Software         |
|          | Power Train   | Eletrônica/Energia          |
|          | Revisão e junção das pesquisas realizadas em um só documento    | Eletrônica/Energia/Software |

Embora a intenção principal seja integrar os conhecimentos da melhor forma possível, temos ciência da necessidade de se focar engenharias específicas em determinadas áreas de atuação. Portanto, definimos de uma forma macro as principais áreas de atuação específica de cada engenharia.

Neste exemplo do nosso primeiro momento, a maior contribuição das Engenharias de Software e Eletrônica será, em conjunto, no controle da cadeira, desde o controle da direção, que pretendesse aplicar tanto por *joystick* quanto por aplicativo para celular, quanto no controle dos motores e bateria necessária. A Engenharia de Energia ficará responsável, em primeiro momento, pelo dimensionamento da bateria e montagem do motor, juntamente com a Engenharia Automotiva que trabalhará também na estrutura do produto produzido.

Contudo, todos os membros do projeto, em algum momento, trabalharão em duplas de pesquisa ou implementação em partes fora de sua zona de conforto, visando uma maior integração entre as engenharias e um maior entendimento de todos em cada parte do projeto.



## 4 Resultados

A partir do estudo e pesquisa realizado até o momento determinamos o que utilizar no conjunto do sistema, levantando um perfil que a equipe acredita ser a mais viável em termos de interação, custo-benefício, tempo, conhecimento técnico e outros fatores importantes para o projeto. Será desenvolvido um kit com capacidade de ser acoplado em diversas cadeiras de rodas afim de facilitar a mobilidade elétrica em cadeiras manuais. Os resultados levantados estão disposto no decorrer do capítulo.

### 4.1 Estrutura

Com a utilização do programa CATIA V5 3D foi estruturado o sistema eletrônico acoplado à cadeira de rodas, 13. Visando três preceitos básicos: comodidade, acessibilidade e conforto.

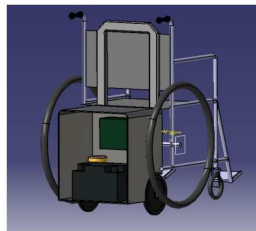


Figura 13 – Vista Isométrica Traseira

O objetivo do projeto é desenvolver uma estrutura de fácil conexão e resistente. O produto proposto, ver figura 14, 15, 16 e 17, deve-se acoplar a qualquer cadeira de rodas.

Foi pensado em um dispositivo no formato de uma mala para que seja de fácil conexão, uso e manuseio.

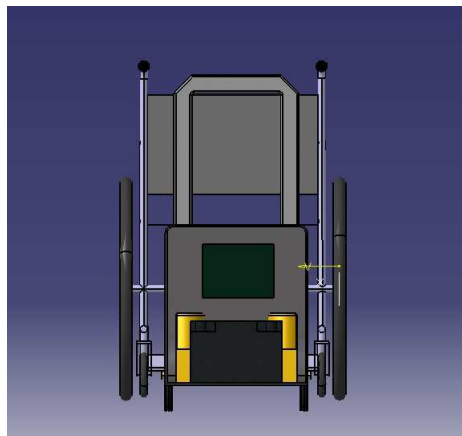


Figura 14 – Vista Traseira

A forma como a mala será acoplada a cadeira usa como base as hastes da mala e as hastes verticais aonde as manoplas utilizadas para empurrar manualmente a cadeira são fixadas. Tendo em vista que são rígidas e normatizadas pela NBR 9050 as hastes verticais da cadeira tem a distancia e espessura já definidas, o que facilita o desenvolvimento de um produto que possa ser usado em qualquer cadeira de rodas que esteja dentro dos padrões impostos pela norma.

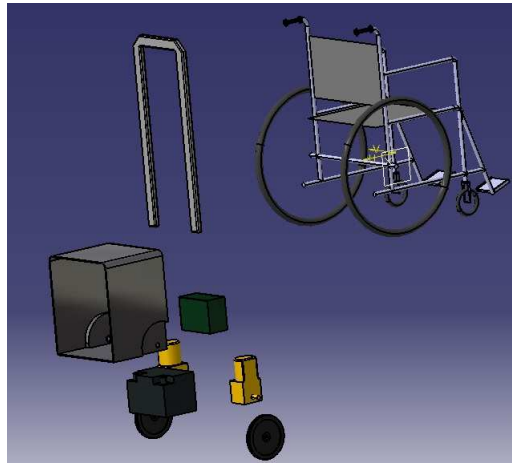


Figura 15 – Visão do Sistema

Cada roda possuirá um motor próprio para que seja possível rotacioná-las em sentidos opostos, por exemplo, quando for necessário fazer manobras em que a rotação deve ocorrer em torno do eixo do próprio cadeirante, movimento muito comum para manobrar uma cadeira de rodas. Assim o cadeirante se sentira confortável e não terá grandes dificuldades quando for manobrar a cadeira, já que a lógica de controle será a mesma usada quando se propulsiona manualmente a cadeira.

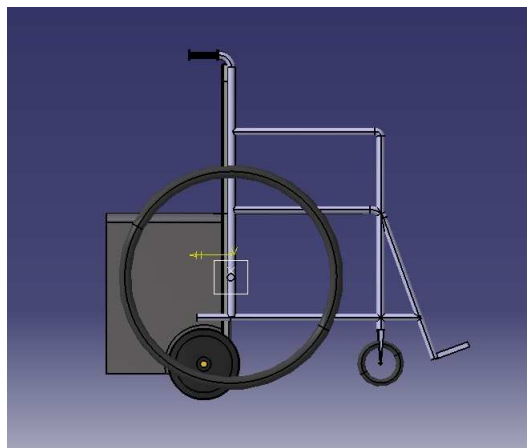


Figura 16 – Imagem Lateral

Como pode se notar nas figuras, o sistema de propulsão devera empurrar a cadeira de rodas, pois assim podemos aproximar o máximo possível o eixo da roda que ira gerar o movimento ao eixo da maior roda da cadeira, o que diminui a quantidade de torque

necessário para movimentar o conjunto, fazendo com que o consumo de energia diminua e possibilite o uso de um motor de menor potencia, que diminuirá o custo do produto final.

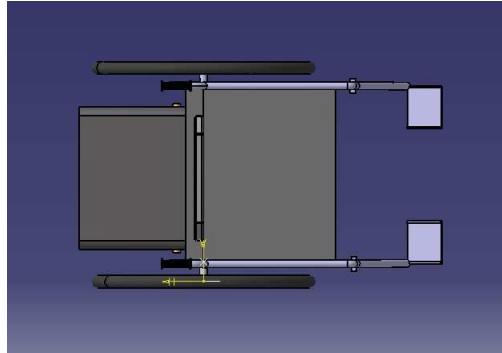


Figura 17 – Imagem Superior

#### 4.1.1 Protótipo

A partir do policloreto de vinila, usualmente conhecido como PVC, foi feita uma estrutura de teste para encaixar na parte de trás da cadeira de rodas, com o intuito de buscar a melhor regulação to tamanho da estrutura. O protótipo em questão foi feito para se chegar o mais próximo de um modelo ideal capaz de se acoplar as cadeiras regulamentadas pela NBR 9050.

O protótipo é uma estrutura retangular com uma alça de regulação de largura, seguido de dois “joelhos” em PVC para o acoplamento das rodinhas e da haste, dois encaixes com três saídas para regulação da barra de encaixe superior da cadeira. Há quatro furos na barra de regulação de largura, a qual serve para se adequar ao tipo de cadeira de rodas sendo utilizada, vide figura para mais detalhes [18](#).

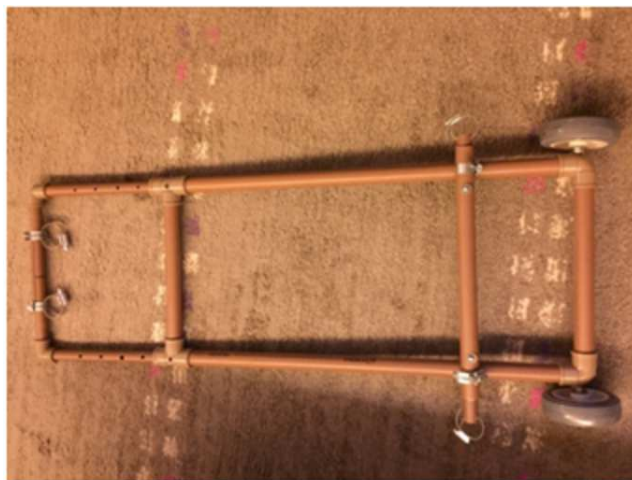


Figura 18 – Estrutura de acoplamento

No protótipo alguns mecanismos de acoplamento foram testados afim de garantir o encaixe mais prático e eficiente do sistema com a cadeira. Dentre as tentativas, foram

utilizados materiais como: velcro, correias de nylon e braçadeiras utilizadas em construção civil, que foi a solução mais bem-sucedida. Estas podem ser observadas nas extremidades de acoplamento do sistema na 18. Este mecanismo foi posteriormente substituído no acoplamento superior do mecanismo por um sistema 19 de funcionamento análogo, porém, de estrutura mais robusta, que foi fabricado pela própria equipe.



Figura 19 – Sistema de acoplamento com braçadeira

Na parte da estrutura mostrada na figura 19 existem dois “joelhos” que ligam as rodinhas com o as barras de PVC, além de uma barra em paralelo com a barra das rodinhas, capaz de variar em altura e largura para se adequar ao tamanho da cadeira utilizada, e duas braçadeiras nas pontas das barras que irão se acoplar a cadeira de rodas.



Figura 20 – Parte superior da estrutura

A figura 20 representa a parte superior da estrutura, ela contém dois “joelhos” capazes de ligar as duas alças com as duas barras de sustentação da estrutura. Há dois “T” com furo que ligam três barras de cada lado, eles têm a função de regular a altura com os seis furos nas barras de movimentação. Na alça estão duas braçadeiras livres, que se ligam na parte superior da cadeira de rodas, assim como a parte superior já descrita.

Os componentes utilizados para se fazer este modelo são descritos:

- Oito braçadeiras circulares de curso infinito;
- Quarto "joelhos" de 90°;
- Dois "T";
- Duas rodas;
- Barras de PVC com diâmetros de 20mm e 25mm;
- Quatro parafusos;
- Oito arruelas;
- Quatro porcas.

O protótipo apresentado na figura 21 foi capaz de mostrar como funcionará o sistema, e todo encaixe necessário para não ocorrer folga e desconforto ao cadeirante. Esta estrutura se assemelha com as medidas do sistema original, mudando apenas o material da execução e do funcionamento. Obteve-se excelentes resultados testando tal protótipo em dois modelos de cadeira de rodas.



Figura 21 – Estrutura acoplada a cadeira

A etapa seguinte foi a definição do material a ser utilizado no produto final. A melhor opção encontrada foi o aço SAE 1020, por atender todos os requisitos com consideráveis vantagens quando comparados a alternativas como ferro ou alumínio.

Um modelo 3D do projeto foi desenvolvido utilizando o software CATIA V5R19, que já considerou o Aço 1020 em seções quadradas de 20 e 18 mm assim como redondas de 18 mm para as alças superiores. A partir do deste modelo, foi possível proceder com a montagem do mecanismos com toda base necessária para medidas, cortes, junções e elementos de todo o produto. Posteriormente, também foi possível uma análise estrutural.

Alguns elementos foram modificados no sistema de acoplamento inferior e superior, em relação ao que foi apresentado no ponto de controle 2 para que houvesse maior aderência do dispositivo à cadeira de rodas, e evitar esforços mecânicos indesejáveis. Como mostra a 22, na parte inferior do dispositivo foram adicionados novos furos na vertical, para que a estrutura melhor acople nas cadeiras de rodas de acordo com a NBR 9050.



Figura 22 – Novos furos na parte inferior da estrutura

A parte superior da estrutura, que recebeu um novo método de acoplamento a cadeira de rodas, através da utilização de tubos de aço, onde a parte inferior de um dos tubos foi soldado transversalmente com a parte superior do outro tubo. Dois parafusos do tipo borboleta foram adicionados na parte central destes tubos para facilitar seu aperto. Um parafuso foi acoplado na parte inferior do tubo inferior, e outro parafuso foi acoplado na parte superior do tubo superior. Esses parafusos, quando apertados, acoplam-se à estrutura da cadeira de rodas de forma mais simplificada, rápida e segura em relação às braçadeiras utilizadas anteriormente. A 23 abaixo apresenta as mudanças descritas.

Com esse novo acoplamento, a parte superior da estrutura pode variar horizontalmente de forma mais simples, já que os tubos inferiores movem-se para a direita e para a esquerda nos braços da estrutura, permitindo um amplo acoplamento em diferentes tipos de cadeiras de rodas.

A figura 24 mostra um esquema de como será acoplada a estrutura com a cadeira de rodas, que é feita de maneira simples e rápida. Esta estrutura não interfere no conforto





Figura 23 – Novo acoplamento superior

do cadeirante, já que o sistema não interfere na acomodação do cadeirante na cadeira de rodas, enquanto a estrutura não o toca em nenhum momento.

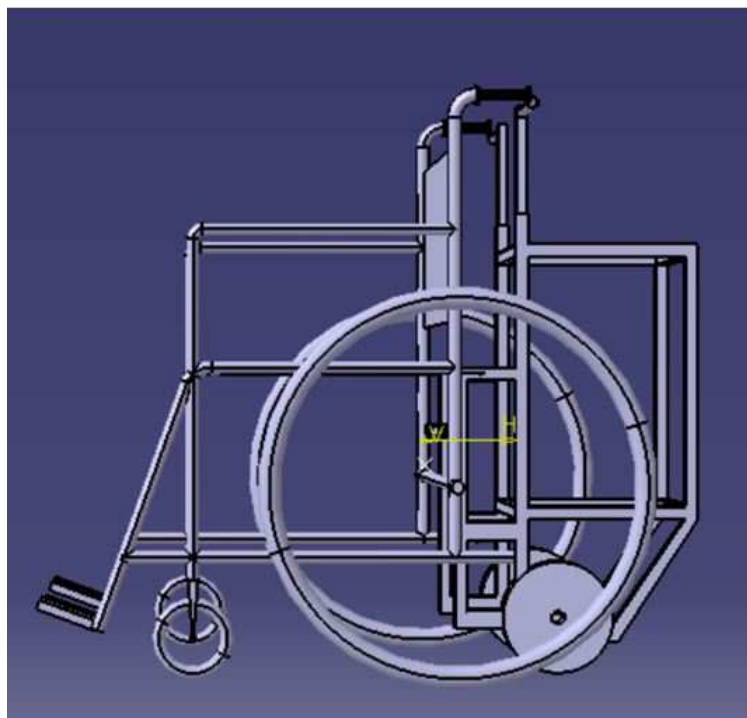


Figura 24 – Esquemático de estruturas acopladas

#### 4.1.2 Esforços Estruturais

A partir da modelagem tridimensional da estrutura, podem ser demonstradas as tensões segundo o critério de Von Mises, que nos permite ver a tensão de cisalhamento máxima ou a energia de distorção máxima suportada pela estrutura.

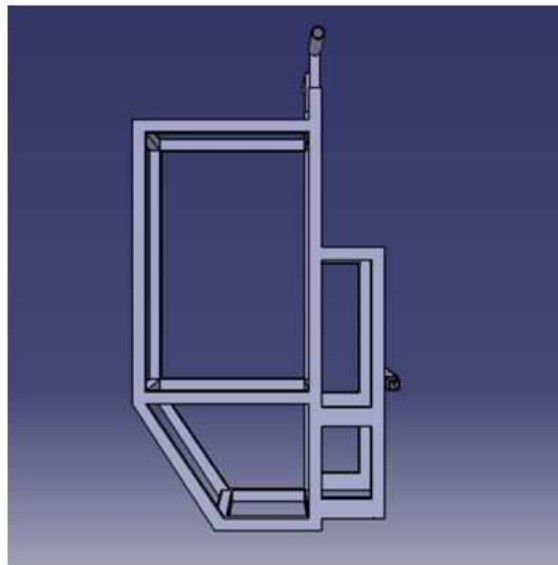


Figura 25 – Vista Lateral da estrutura do Sistema

A 25 representa a estrutura vista lateralmente, mostrando todos os compartimentos internos dos motores, bateria e controle. Na parte inferior da estrutura, ficarão os motoredutores, onde deles saem os eixos que se ligam às rodas. Na parte intermediária ficará a bateria, e acima dela, a parte de controle. A inclinação observada na parte inferior esquerda da figura acima foi feita para evitar que a estrutura arraste no chão quando o cadeirante passar por terrenos inclinados como, por exemplo, uma rampa.

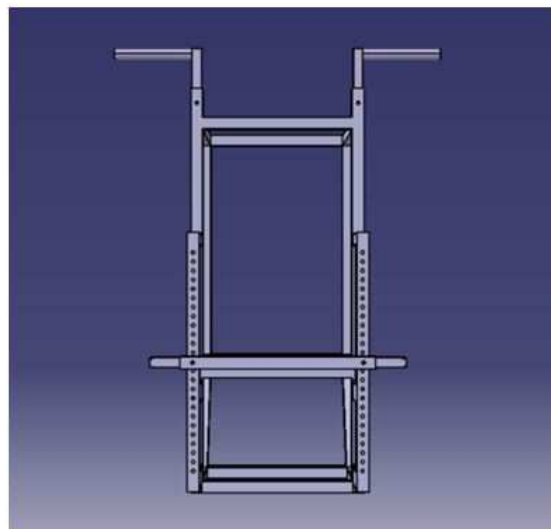


Figura 26 – Vista frontal da estrutura do Sistema

A 26 apresenta a parte frontal da estrutura, que será acoplada na parte de trás da cadeira de rodas. Apresentam-se aqui os novos furos que foram feitos na parte inferior, permitindo que o acoplamento inferior se mova em mais posições na vertical. Isto faz com que a estrutura obedeça melhor a NBR 9050. Os braços superiores podem ser, quando necessário, retirados e colocados novamente virados para dentro, formando assim uma



espécie de alça para que a estrutura seja puxada ou transportada mais facilmente.

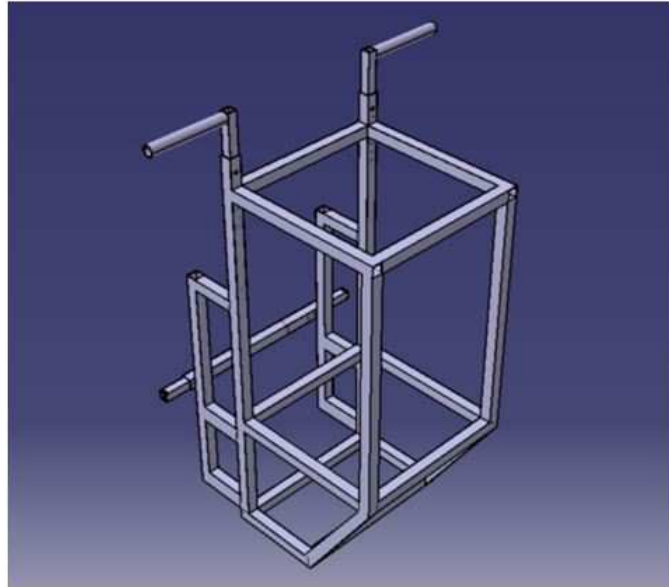


Figura 27 – Vista em perspectiva da estrutura do Sistema

Uma visão geral da estrutura é apresentada pela 27. Aqui observa-se os níveis internos da estrutura, onde ficarão os motores, a bateria e a parte de controle. Além dos braços superiores, que podem se mover em diferentes níveis na vertical para se encaixar melhor na cadeira de rodas, e a parte inferior, também podendo se mover em diferentes níveis na vertical, acoplando facilmente na parte inferior da cadeira de rodas.

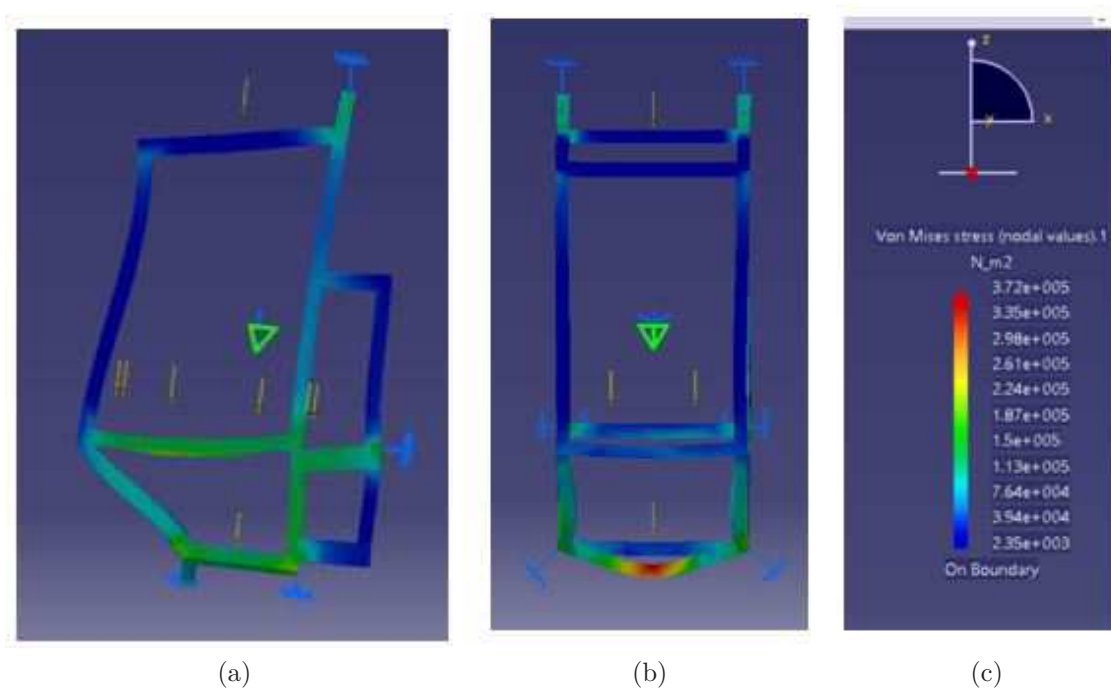


Figura 28 – Tensão de Von Mises máxima e mínima do material

A figura 28 representa as deformações na estrutura devido aos carregamentos estáticos no sistema e as devidas restrições relativas ao acoplamento e ao contato das rodas com o chão. Os carregamentos adotados foram de 14 kg da badeira, 15 kg dos dois motores e estimados 2 kg de todo o sistema de controle e foram devidamente posicionados em suas posições de trabalho. Vale ressaltar que as deformações apresentadas possuem um fator de aumento de 1000 para possibilitar a visualização. As tensões encontradas no sistema obedeceram o critério de Von Mises, que nos permite notar que a parte inferior da base é o gargalo, pois ela sofre as maiores tensões da estrutura. Na figura (a) verifica-se que a tensão máxima do material é 0.372 MPa, enquanto a figura (b) apresenta a visão frontal destas tensões. Com esses valores sabemos que a estrutura resistirá aos carregamentos a ela submetidos, já que a tensão de escoamento do aço 1020 é de 210Mpa

### 4.1.3 Centro de Massa

O Cálculo do centro de massa do conjunto total (cadeira, cadeirante e Sistema de automação) foi necessário para o cálculo da potência requerida dos motores. O centro de massa foi estimado a partir da soma vetorial dos centros de massa parciais do conjunto cadeira-cadeirante que foi obtido a partir dos estudos de (KAMPER et al., 2000), vide figura 29.

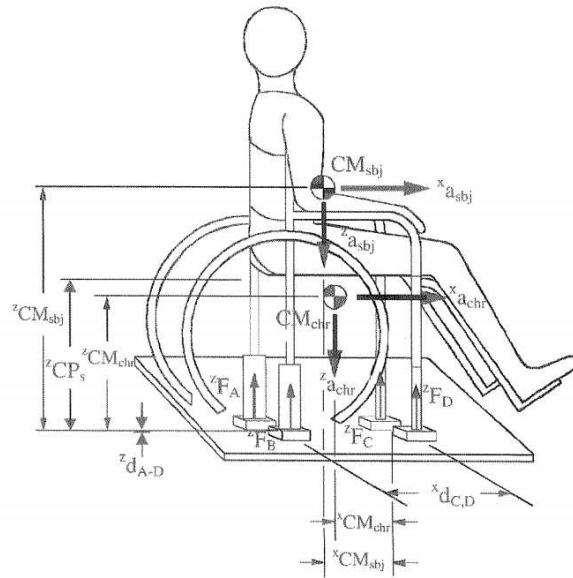


Figura 29 – Esquemático posicionamento do centro de massa sistema cadeira e cadeirante.  
Fonte: (KAMPER et al., 2000)

O centro de massa do Sistema de automação, vide figura 30, foi obtido a partir de uma simulação estática da estrutura em que se aplicou os devidos carregamentos e restrições de trabalho.

As coordenadas encontradas, tanto na literatura quanto computacionalmente, foram manualmente modificadas de modo a ter o eixo da roda maior da cadeira de rodas

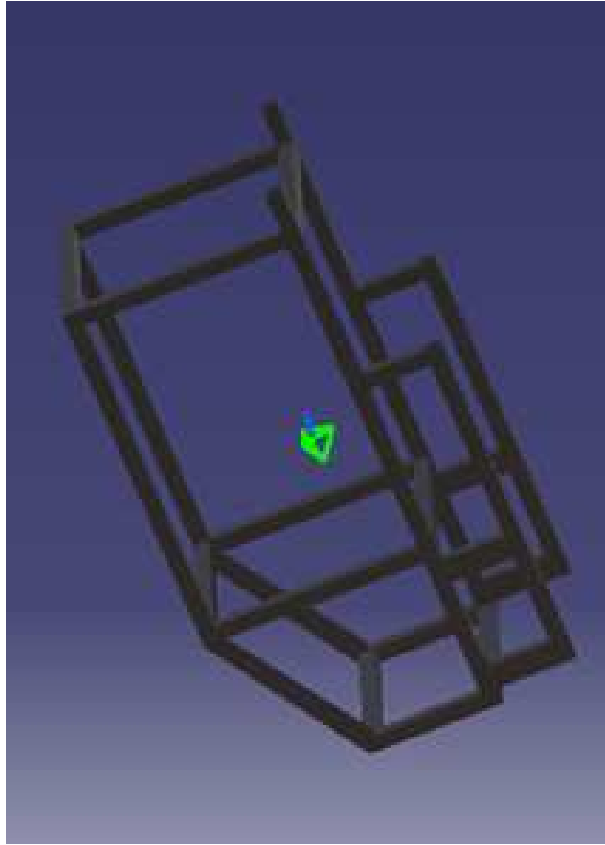


Figura 30 – Representação do centro de massa do sistema de automação

como ponto de origem para o cálculo vetorial. Vale lembrar que os cálculos desconsideram possíveis deformidades no corpo do usuário que possam causar assimetria na distribuição de massa.

Desta maneira, os cálculos resultaram que o centro de massa está, portanto, a 45 cm do eixo das rodas maiores da cadeira verticalmente para cima, e a 5 cm deste eixo horizontalmente na direção do usuário. Foi observado que o centro de massa foi deslocado para mais perto do eixo das rodas maiores por causa de sua carga adicional ao sistema.

## 4.2 Power-Train

### 4.2.1 Resistência a Rolagem

Ao acoplar o protótipo criado para automatizar a cadeira de rodas, acrescenta-se um peso a mais ao sistema, assim como um ponto a mais de contato de distribuição da massa total é adicionado ao sistema. Desta maneira, as forças nas rodas traseiras são aliviadas por serem divididas com as rodas do protótipo. A figura 31 abaixo apresenta as distâncias entre os eixos das rodas da cadeira e do protótipo ao centro de massa.

Desta maneira, as equações discutidas anteriormente são modificadas abaixo para se ajustarem ao protótipo acoplado, onde  $s$  é a distância entre as rodas do protótipo e

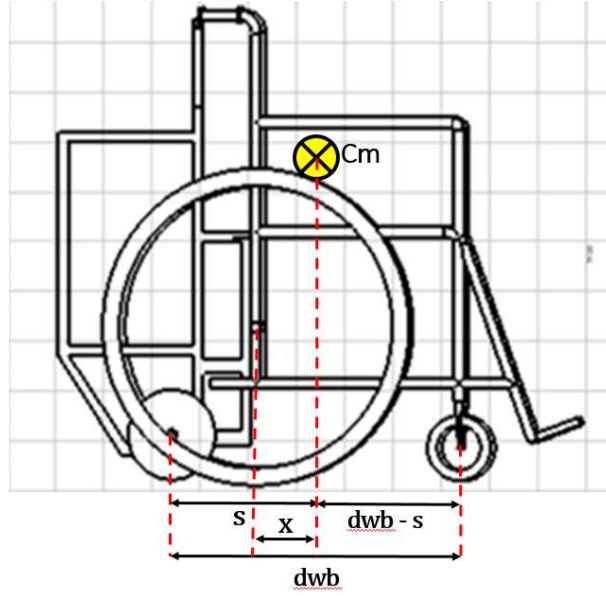


Figura 31 – Diagrama das Variáveis para determinação da Resistência de Rolagem com o protótipo acoplado. Autoria própria.

o centro de massa, e  $dwb$  é a distância entre o eixo das rodas dianteiras e as rodas do protótipo. Como explicado na seção anterior, a distância entre o eixo das rodas maiores e o centro de massa, neste caso  $x$ , foi igual a 5 cm.

$$f_p = m * g \frac{(dwb - s - x)}{dwb}; f_{p,rr} = \mu * f_p \quad (4.1)$$

$$f_r = m * g \frac{(dwb - s)}{dwb}; f_{r,rr} = \mu * f_r \quad (4.2)$$

$$f_c = m * g \frac{x}{dwb}; f_{c,rr} = \mu * f_c \quad (4.3)$$

$$f_{rr} = f_{c,rr} + f_{r,rr} + f_{p,rr} \quad (4.4)$$

A distribuição do peso na cadeira de rodas é, portanto, de 44.4 % para a roda do sistema, 51.4 % para as rodas traseiras da cadeira e 4.2 % para as rodas dianteiras da cadeira. As constantes usadas nestes cálculos foram:

As constantes usadas nestes cálculos foram:

- $\mu = 0.03$ . Coeficiente estimado para o pior piso e pior tipo de material da roda (WOUDE C. GEURTS, 2003);
- $m = 150$  kg (massa máxima);
- $g = 9.81$  m/s<sup>2</sup>;
- $dwb = 72$  cm;
- $s = 35$  cm;

- $x = 5 \text{ cm}$ ;

Os resultados das forças de resistência ao rolamento são, portanto:

- $f_{p,rr} = 19.62 \text{ N}$ ;
- $f_{r,rr} = 22.686 \text{ N}$ ;
- $f_{c,rr} = 1.839 \text{ N}$ ;
- $f_{rr} = 44.145 \text{ N}$ ;

Esta força deve ser vencida pelos motores acoplados ao protótipo de modo a retirar a cadeira da inércia quando todas as rodas da cadeira estão alinhadas para frente perfeitamente. Porém, isto nem sempre acontece.

Portanto foi feita uma simulação para quando as rodas dianteiras estão paralelas às rodas traseiras. Nesta configuração, as rodas dianteiras fornecem uma resistência a mais ao movimento. Esta resistência foi considerada como uma resistência de atrito estático e depende do coeficiente de atrito estático do material das rodas dianteiras ( $\mu_e$ ) e da fração da massa suportada nas rodas dianteiras que pode ser definida como:

$$c = \frac{x}{dwb} \quad (4.5)$$

A resistência adicional pode ser definida, portanto, como:

$$f_{ce} = m * g * \mu_e \frac{x}{dwb} \quad (4.6)$$

A resistência total ao movimento ( $f_T$ ) seria portanto a soma das resistências de rolamento com a de atrito estático:

$$f_T = f_{rr} + f_{ce} = 44.146 + 45.984 = 90.129 \text{ N} \quad (4.7)$$

Isto exige um torque inicial de 9.0129 Nm (dado que os raios das rodas do protótipo são de 10 cm). Portanto, pode-se dizer que, nesta situação, a potência necessária para retirar a cadeira da inércia é de:

$$P = T * \omega = 9.0129 * 26.18 = 235.96 \text{ W} \quad (4.8)$$

A potência entregue pelos motores à cadeira de rodas será maior que estes 235.96 W . A diferença entre a entregue e a necessária para retirar a cadeira da inércia será considerável, o que poderia causar um arranque repentino do sistema. Este tranco poderia

prejudicar o usuário assim como a cadeira. A solução para este problema está no uso de pontes H, que fornecem corrente aos motores de forma gradativa a medida que o usuário empurra o joystick, diminuindo o arranque do protótipo.

### 4.2.2 Moto-redutor

Será utilizado no projeto o motor de corrente contínua. A escolha foi feita pois esse tipo de motor é muito utilizado em projetos que necessitam de velocidades variáveis, eles também apresentam uma região de torque e potência constante e são simples de realizar a aceleração e a desaceleração (HAMANAKA; DIAS, 2002).

Após uma vasta pesquisa no mercado de motores e redutores, optou-se por comprar dois moto-redutores feitos pela empresa MKS Redutores de São Paulo. O motor com redutor escolhido para o projeto foi o MR com motor GPB que possui as seguintes especificações:

- Potência de 305 a 350 W;
- 12 ou 24 Vcc;
- Rotação de entrada de 2500 rpm;
- Reduções de 1:10 até 1:60.

Especificações a serem atendidas:

- Velocidade máxima de 10 km/h;
- 12 Volts corrente contínua;
- Peso da bateria 15 kg;
- Peso da cadeira (valor aproximado) 15kg;
- Peso total estimado: 150 Kg;
- Redução de pelo menos 1:10.

### 4.2.3 Bateria

A bateria de chumbo-ácido é muito utilizada hoje em dia em diferentes áreas, como automóveis, sistemas de fornecimento de energia elétrica ininterrupta (no-breaks) e cadeiras de rodas elétricas. Desprezando-se o problema do peso e considerando as observações feitas anteriormente no capítulo 2, a bateria de chumbo-ácido selada foi a escolhida para o projeto, considerando ainda o seu fácil acesso no mercado e baixo custo.

#### 4.2.3.1 Autonomia

Segundo a literatura, cadeiras de rodas elétricas trabalham com motores de corrente contínua entre 250 W a 300 W de potência. Há diversas maneiras de chegar neste valor, como por distribuição de forças, por balanço de energia, por forças em um plano inclinado, entre outras. Para este projeto fez-se uma estimativa da potência necessária através do balanço de energia (YAMAGUTI, 2010).

A energia fornecida pelo motor deve ser igual à energia cinética da cadeira. Sendo a massa máxima que a cadeira de rodas aguenta de 150 kg e considerando que cadeiras de rodas elétricas chegam até 10 km/h, tem-se:

$$Em = \frac{m * V^2}{2} \quad (4.9)$$

Onde  $Em$  é a energia fornecida pelo motor,  $m$  é a massa de 150 kg e  $V$  é a velocidade de 2.77 m/s. Assim, a energia necessária para mover a cadeira é de 578.7 J. Sendo 1 Watt igual a 1 J/s, tem-se, portanto, 578.7 W.

Após uma pesquisa no mercado, foram adquiridos dois motores de corrente contínua de 12 Volts e 305 Watts para o projeto, assim, a potência total entregue ao sistema é de 610 W. Este tipo de motor possui perdas de potência tanto mecânicas ( $P_m$ ) quanto térmicas ( $P_j$ ) (MEC060, 2015). A primeira está associada a perdas por causa da velocidade: por atrito, nas escovas do motor e por curto-circuito; estima-se que estas juntas sejam cerca de 3 a 5% da potência nominal do motor.

As perdas térmicas estão associadas ao efeito Joule: os fios usados nos enrolamentos dos motores apresentam certa resistência elétrica. A corrente entregue para o motor, em máxima potência é dada pela divisão da potência pela tensão do motor:  $I = 25.417$  A. Desta forma, a resistência  $R$  pode ser calculada pela fórmula da potência a seguir:

$$P = R * I, \text{ assim, } R = \frac{305}{25.417^2} = 0.47231\Omega \quad (4.10)$$

As perdas nos enrolamentos ( $P_j$ ) é portanto:

$$P_j = R * I = 0.47213 * 25.417 = 12W \quad (4.11)$$

As perdas totais ( $P_t$ ) são, portanto:

$$P_t = P_j + P_m = 12 + (305 * 0.05) = 27.25W \quad (4.12)$$

Estas perdas representam cerca de 9% da potência nominal do motor. Desta maneira, se deve adicionar um termo de perdas a serem superadas pelos motores à equação

da energia, este termo  $\epsilon$  seria igual a 1.09:

$$Em = \frac{m * V^2 * \epsilon}{2} \quad (4.13)$$

Assim, a energia necessária para mover a estrutura seria de 630.434 J, ou 630.434 W de potência. Para encontrar o valor da velocidade final do sistema é preciso rearranjar a equação acima. Uma eficiência de 80% foi atribuída ao acoplamento das rodas com o eixo do motor. Estes 20% englobam as perdas no redutor, perdas por escorregamento da conexão do redutor e da roda com o chão, entre outros. Assim, temos:

$$Em = 0.8 * \sqrt{\frac{600 * 2}{m * \epsilon}} \quad (4.14)$$

Assim, a estimativa da velocidade máxima que a cadeira deve obter será de aproximadamente 8.6 km/h, que é uma velocidade bem razoável para este tipo de sistema. Sabe-se que a velocidade angular é dada pela divisão da velocidade linear pelo raio:

$$\omega = \frac{V}{r} \quad (4.15)$$

Logo, utilizando a velocidade estimada acima, a velocidade angular obtida é de 23.9 rad/s ou 228.31 rpm. Considerando as especificações do motor, sua velocidade angular nominal de 2500 rpm, teria de ser feita uma redução de pelo menos 1:11, onde a velocidade angular de saída do redutor seria de 227.3 rpm.

Por motivos construtivos do motoredutor, a redução só pode ser feita de 1:10 ou de 1:15. Desta forma optou-se por uma redução de 1:10, que proporciona velocidade de saída nominal de 250 rpm (26.18 rad/s) no redutor. Sendo o torque a divisão da potência pela velocidade angular, o torque gerado é de 23.30 Nm.

Para atender dois motores de 305 W, será conectada uma bateria de carro de chumbo-ácido selado de 12 V (U) e capacidade de 60Ah ( $I * \Delta t$ ), tem-se que a energia  $E$  gerada pela bateria é de:

$$E = (I * \Delta t) * U = (60Ah) * 12 = 720Wh \quad (4.16)$$

Desta forma, considerando a potência consumida pelos dispositivos eletrônicos de controle desprezível, tem-se que a autonomia da bateria seria de pouco mais de uma hora:

$$\Delta t = \frac{720Wh}{610W} = 1.18h = 1hora e 10 minutos \quad (4.17)$$



## 4.3 Controle

O controle da cadeira de rodas será feito utilizando 3 módulos: Joystick, Controlador central e Motor. O módulo Joystick, para receber os comandos provenientes do usuário e enviar estes comando para o controlador central. O módulo do controlador central, recebe as informações do módulo anterior, as processa e faz o envio para o módulo Motor. O módulo Motor recebe as informações enviadas pelo módulo do controlador central, produzindo 2 pulsos de PWM e enviando-os para as pontes H, com o intuito de controlar a intensidade e direção dos motores.

### 4.3.1 Atual Panorama

O módulo Controlador central possui um Raspberry, utilizado para processar as informações submetidas a ele pelo módulo Joystick, e enviar as informações processadas para o módulo Motor. Isto é possível graças ao software implementado. Nesta implementação foi utilizada o protocolo de comunicação UART.

A primeira versão deste software foi feita de forma sequencial: era feita a recepção dos dados provenientes do Joystick na *thread* principal do programa, este dado então era processado e enviado para o módulo Motor. Com esta abordagem obteve-se um *delay* do envio dos dados processados para o módulo Motor.

Então uma segunda versão foi desenvolvida utilizando-se de múltiplas *threads*: um *thread* foi feita para receber e processar os dados provenientes do Joytick e uma *thread* foi feita para enviar os dados para o Motor. Desta forma o *delay* observado na primeira versão foi retirado, aumentando assim, o desempenho do sistema em relação a transferência e processamento dos dados.

Para a primeira versão os dados enviados pelo Joystick utilizavam de um padrão de transmissão, feito para se ter certeza que os dados recebidos não seria algum tipo de "lixo" transmitido. Esta padrão seguia o formato: "(*valor potenciometro 1*) (*valor potenciometro 2*) \n".

Para a segunda versão os dados são enviados conforme o seguinte padrão: "(*valores pares potenciometro 1*) (*valores ímpares potenciometro 2*)".

### 4.3.2 Joystick

O módulo Joystick é a interface de ligação entre o usuário e a cadeira de rodas, este componente é composto por um *joystick* (alavanca que se move sobre uma base e capta movimentos em dois eixos) e um microcontrolador.

Para permitir o controle do sistema pelo usuário, foi montado uma caixa plástica com o Joystick e uma placa de controle. Com o controlador travado, foi desenvolvida uma

placa de circuito impresso, utilizada tanto no controlador quanto no MSP de controle da mesma. A primeira ponta, controlador, possui LEDs e a segunda ponta pinos de saída para o MSP. Essas placas possuem RJ-45 fêmeas e as saídas para o joystick e LEDs. O sistema utiliza esse tipo de conector pois, facilita a conexão de ponta a ponta, possui várias vias de transmissão de dados e pode ser facilmente substituído. Por fim, a placa de controle e o joystick foram travados com parafusos em uma placa de madeira para dar peso e robustez e a caixa plástica cortada de acordo com o Joystick e conectores. Estas configurações podem ser vistas na figura 32.



Figura 32 – Imagem do controle da cadeira de rodas

O *joystick* utilizado é composto por dois potenciômetros que indicam as posições em dois eixos independentes. Utilizando os potenciômetros como simples divisores de tensão é possível inferir as posições de seus eixos a partir da medições das tensões do circuito, para realizar esta medição e então rastrear o comando de movimento do usuário, são utilizados dois canais de conversores AD para os potenciômetros, tais conversores são internos ao microcontrolador utilizado e não necessitam de nenhum *hardware* extra.

A rotina de trabalho do microcontrolador do módulo Joystick consiste em adquirir os valores analógicos das posições do *joystick*, convertê-los em valores digitais de um *byte* cada, diferenciando-os utilizando a estratégia de representar um eixo apenas por valores ímpares e o outro apenas por valores pares (ambos entre 0 e 255) e enviá-los via serial alternadamente em um laço infinito, conforme a figura 33.

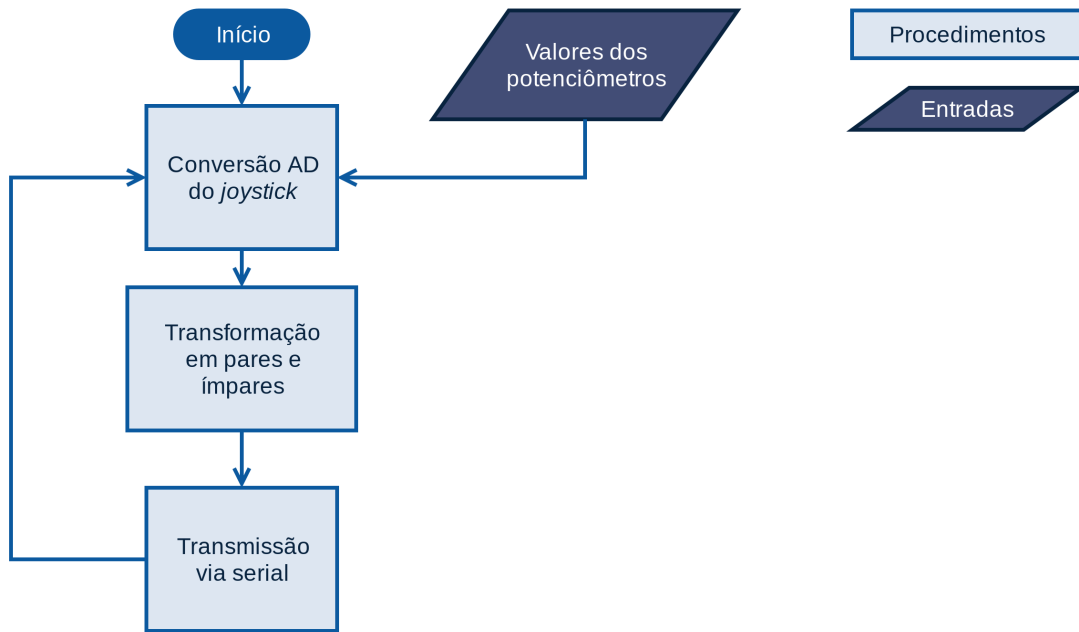


Figura 33 – Rotina de trabalho do microcontrolador do módulo Joystick

#### 4.3.3 Controlador Central

O Raspberry será utilizado como central de comandos para processar as informações vindas do MSP dedicado ao módulo Joystick e enviar o resultado deste processamento para o MSP dedicado aos Motores.

##### Comunicação entre MSP e Raspberry

A comunicação, tanto entre o MSP do Joystick e o Raspberry, quanto entre o MSP do Motor e o Raspberry, estão sendo feitas via *threads*.

A conexão entre os MSP foi formulada através do método *findPort*. Sua implementação pode ser observada na figura 34.

```

def findPort(self,port):
    global serialMotor
    while port < 2:
        try:
            serialMotor = SerialObject.initSerialObject("/dev/ttyACM" + str(port), True)
            port += 1
            return True,port
        except serial.SerialException:
            print("SerialException: device " + str(port) + " could not be found or could not be configured.")
            port += 1
            continue
    return False,port

```

Figura 34 – Método para encontrar porta dinamicamente

Este método permite que tanto o MSP do Joystick quanto o MSP do Motor, sejam conectados sem a previa identificação de qual porta utilizar para comunicação. Porém, há existência de prioridade entre as *threads*, ou seja, enquanto a *threads* do Joystick não se

conectar com sucesso a *threads* do Motor não irá se conectar.

Para que este processo ocorra com sucesso, uma checagem de dados é feita para cada tentativa de conexão. Esta checagem consiste em verificar se a porta, a ser conectada, está enviando dados ou recebendo. Para que a conexão do Josytick ocorra com sucesso, a porta deva estar recebendo dados, para que a conexão do Motor ocorra com sucesso, a porta não deve enviar dados. A implementação desta checagem pode ser verificada na figura 35.

```
def tryReceiveData(self):  
    rcv_str = serialMotor.read(10)  
    if(len(rcv_str) == 0):  
        return False  
    else:  
        logging.info("Motor: I don't want you, joy!")  
        return True
```

Figura 35 – Método para checar se existe recebimento de dados em porta. Caso do Motor.

Esta estratégia auxilia na manutenção do produto, pois caso algum MSP fique inutilizável, é possível colocar outro MSP, previamente configurado, no lugar do componente inutilizado.

Após o Raspberry conseguir encontrar uma porta para se conectar com o MSP do Joystick, então a *thread* do MSP do Motor utiliza do mesmo método para se conectar.

Ao se ter as duas conexões estabelecidas, então o recebimento de dados são adquiridos do Joystick e enviados para os Motores. Para se fazer este envio de informações de forma correta é necessário fazer a sincronização entre as *threads*.

### Sincronização de *Threads*

Foi percebido que as *threads* precisam estar sincronizadas para se fazer o envio de informações de forma correta. Pois a *thread* do Joystick recebe as informações, e a *thread* do Motor consome estas informações.

Este problema de sincronização das *threads* é conhecido como um clássico problema de *threads*: Produtor e Consumidor.

Este problema é caracterizado por 2 processo que compartilhem de um *buffer* comum, no qual o produtor insere a informação no *buffer* e o consumidor retira a informação do *buffer*. Possíveis problemas: Produtor insere produto onde não foi consumido e consumidor remove informação onde já foi removido. Mais detalhes do problema no capítulo 2.

Este problema foi solucionado com os seguintes passos:

1. Produtor: Produz os itens necessários em *buffer*, no caso os valores referentes aos

potenciômetros do Joystick. Neste momento a *thread* do Consumidor é parada e uma variável responsável por esta trava é notificada. Isto pode ser visto na figura 36;

2. Consumidor: Consume os itens em *buffer* enviado os mesmos para o MSP dos Motores. Neste momento a *thread* do Produtor é parada e a variável responsável pela trava é consumida. Isto pode ser visto na figura 37;

A variável de trava é utilizada com o propósito de se fazer a produção e o consumo de forma sincronizada. O processo do Consumidor somente será ativo quando o processo do Produtor setar a variável de trava.

```

globs.lock.acquire()
if c[0] & 1:
    globs.coordinates['x'] = c[1] & 0xFE
    globs.coordinates['y'] = c[0] | 0x01
else:
    globs.coordinates['x'] = c[0] & 0xFE
    globs.coordinates['y'] = c[1] | 0x01

globs.lock.notify()
globs.lock.release()

```

Figura 36 – Código utilizado para notificar variável de trava

```

globs.lock.acquire()
if self.x != globs.coordinates['x'] or self.y != globs.coordinates['y']:
    print(str(globs.coordinates['x']) + ',' + str(globs.coordinates['y']))
    self.x = globs.coordinates['x']
    self.y = globs.coordinates['y']
    serialMotor.flushOutput()
    success = SerialObject.writeWithSerial(serialMotor, [self.x, self.y])
else:
    #print("Else writing information")
    globs.lock.wait()
    logging.info("Motor: X and Y not change.")
    #break
globs.lock.release()

```

Figura 37 – Código utilizado para consumir itens e consequentemente a variável de trava

#### 4.3.4 Motor

O modulo Motor é utilizado para fazer a movimentação da cadeira, conforme os comandos enviados pelo usuário através do módulo Joystick. O módulo Motor é composto por 2 motores de corrente contínua e um microcontrolador.

O microcontrolador deste módulo tem como intuito receber as informações do controlador central e gerar 2 pulsos de PWM, um para cada motor. As funções *update\_left* e *update\_right*, vide figura 38, tem como objetivo atualizar o *duty cycle* para cada motor.

```
void update_right(unsigned char value) {
    if(value > 126) {
        P2OUT |= SEL2;
        TA1CCR2 = (CYCLE * (2*(long long)value - 255)) / 252;
    }
    else {
        P2OUT &= ~SEL2;
        TA1CCR2 = (CYCLE * (253 - 2*(long long)value)) / 252;
    }
}

void update_left(unsigned char value) {
    if(value > 127) {
        P2OUT |= SEL1;
        TA1CCR1 = (CYCLE * (2*(long long)value - 257)) / 252;
    }
    else {
        P2OUT &= ~SEL1;
        TA1CCR1 = (CYCLE * (255 - 2*(long long)value)) / 252;
    }
}
```

Figura 38 – Funções para atualização de taxa do *duty cycle*

Os valores são recebidos através da função *update*, vide figura 39, responsável por receber de forma correta os dados. Esta rotina consiste em verificar se o valor recebido é ímpar ou par. Isto é feito por causa da estratégia utilizada para diferenciar os dados de cada potenciômetro enviados do módulo Joystick, através do controlador central.

```
void update() {
    if(rxbuf[0] & 1) {
        update_right(rxbuf[1]);
        update_left(rxbuf[0]);
    }
    else {
        update_right(rxbuf[0]);
        update_left(rxbuf[1]);
    }
    rxbuf[0] = rxbuf[1] = 0;
}
```

Figura 39 – Função para diferenciação de dado recebido

A função *update\_left* recebe os valores pares, e a função *update\_right* recebe os valores ímpares.

### 4.3.5 Integração Motor e Joystick

Para se fazer a movimentação da cadeira de forma correta, foi feito um mapeamento dos possíveis estados de movimentação. Estes estados foram inicialmente mapeados utilizando os valores do módulo do Joystick. Com base nos estados mapeados, a intensidade e direção dos motores são formulados. Esta integração foi implementada na Raspberry.

#### Mapeamento dos Estados em Relação ao Joystick

Estes estados, vide tabela 3, são formalizados a partir das possibilidades de valores que podem ser capturados do módulo Joystick.

Os valores do potenciômetro 1 são referenciados para o motor da esquerda e os valores do potenciômetro 2 são referenciados para o motor da direita.

| ID | Valor Potenciômetro 1 | Valor Potenciômetro 2 | Estado                                      |
|----|-----------------------|-----------------------|---|
| 1  | 254                   | 255                   | Para frente                                 |
| 2  | 254                   | 1                     | Virar para direita (próprio eixo)           |
| 3  | 254                   | 127                   | Virar para direita (eixo motor 2) frontal   |
| 4  | 126                   | 127                   | Parado                                      |
| 5  | 126                   | 255                   | virar para esquerda (eixo motor 1) frontal  |
| 6  | 126                   | 1                     | virar para esquerda (eixo motor 1) traseiro |
| 7  | 0                     | 1                     | Para trás                                   |
| 8  | 0                     | 255                   | Virar para esquerda (próprio eixo)          |
| 9  | 0                     | 127                   | virar para direita (eixo motor 2) traseiro  |

Tabela 3 – Mapeamento dos estados conforme valores do Joystick

Para elucidar os estados da tabela 3 a figura 40 foi confeccionada.

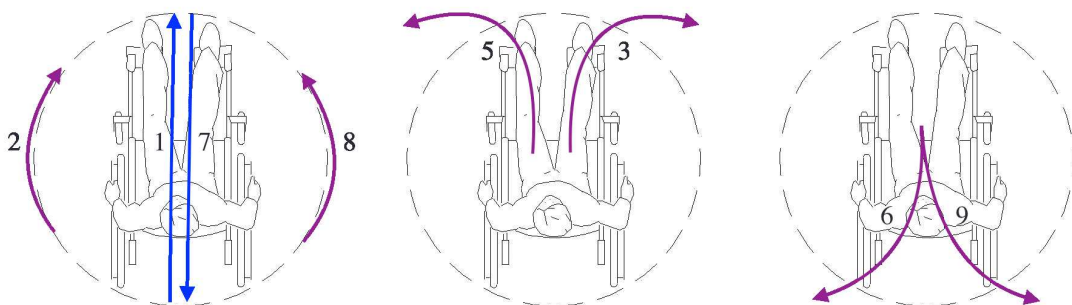


Figura 40 – Estados da cadeira

#### Mapeamento de Intensidade e Direção dos Motores

Conforme os estados mapeados na tabela 3, as intensidades e direções de cada motor são definidas na tabela 4.

#### Integração de *joystick*

O hardware utilizado no módulo Joystick, vide capítulo 2, para fazer o controle da cadeira, foi acoplado usando uma rotação de 45 graus no sentido anti-horário. Isto foi feito

| ID | Estado                                      | Motor 1(Intensidade(%), Direção) | Motor 2(Intensidade (%), Direção) |
|----|---|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1  | Para frente                                 | (100, +)                         | (100, +)                          |
| 2  | Virar para direita (próprio eixo)           | (100, +)                         | (100, -)                          |
| 3  | Virar para direita (eixo motor 2) frontal   | (100, +)                         | (0, *)                            |
| 4  | Parado                                      | (0, *)                           | (0, *)                            |
| 5  | Virar para esquerda (eixo motor 1) frontal  | (0, *)                           | (100, +)                          |
| 6  | Virar para esquerda (eixo motor 1) traseiro | (0, *)                           | (100, -)                          |
| 7  | Para trás                                   | (100, -)                         | (100, -)                          |
| 8  | Virar para esquerda (próprio eixo)          | (100, -)                         | (100, +)                          |
| 9  | Virar para direita (eixo motor 2) traseiro  | (100, -)                         | (0, *)                            |

Tabela 4 – Intensidade e direção dos motores conforme estado. Asteriscos simbolizam motor sem direção

para melhorar a interpretação dos dados. Esta translação do eixo XY dos potenciômetros do *joystick*, vide figura 41, para o novo eixo M1M2, vide figura 42, nos permite inserir os estados da tabela 3 e implementar estes estados de forma mais fácil.

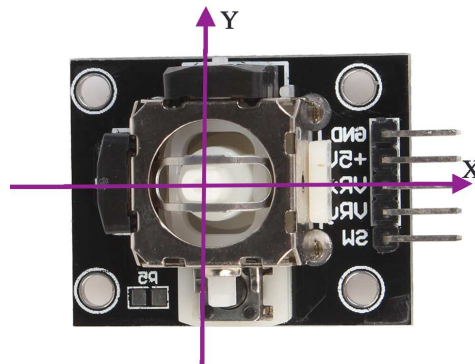


Figura 41 – Visão de *joystick* com eixos para propósito geral

#### 4.3.6 Ponte H

No decorrer da produção do circuito da ponte H, foi utilizado uma porta NAND e duas porta AND para garantir que não haverá acionamento de todos os transistores ao mesmo tempo.

Foi necessário utilizar um dobrador de tensão no circuito, com ele foi possível garantir um VGS maior que 2V para polarização dos transistores MOSFET da ponte. Como a alimentação da ponte está restrita nos 12V teve-se que utilizar esse artifício para conseguir criar essa diferença de tensão nos terminais do transistor e polariza-lo.

O circuito do dobrador, representado na figura 43, possui um oscilador que gera uma onda quadrada, que no caso é um CI 555, e para o controle do pulso temos os resistores R5 e R6 e o capacitor C4. Em C2 tem-se um capacitor inversamente polarizado o que faz com que esse carregue apenas quando a parte baixa da onda quadrada é ativada.



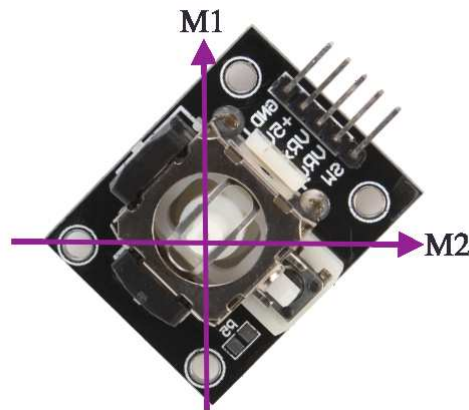


Figura 42 – Visão de *joystick* com eixos rotacionados

Durante o período da onda quadrada em alto, C3 descarrega na saída do diodo na parte negativa gerando um efeito que dobra a tensão, conforme pode ser visto na figura 43. É importante observar que o capacitor C2 não pode ser muito grande e nem o pulso do oscilador muito largo para que não haja uma descontinuidade muito grande no valor de tensão.

Esse circuito é necessário pois a tensão do circuito está limitada em 12V. Com isso não é possível conseguir um VGS maior que 2V nos transistores MOSFET da ponte H. Com o auxílio desse artifício muito utilizado na eletrônica consegue-se fazer a transformação de um tensão DC em uma tensão DC com o dobro de tensão, com isso tem-se 24V teóricos na saída do circuito dobrador de tensão, pois a tensão de entrada é cerca de 12V.

Dessa forma liga-se a saída do dobrador de tensão nos transistores Q7 e Q8 para eles alimentarem o Gate dos transistores MOSFET do circuito, como há perdas envolvidas, chegarão cerca de 22V nas portas G dos transistores, tornando possível haver uma diferença maior que a  $V_{TH}$  e polarizando os transistores da maneira correta e permitindo o funcionamento do sistema por completo.

Para facilitar e proteger o sistema, será construído um distribuidor que vai ser basicamente uma placa que facilitará a conexão de todos os outros módulos ao sistema, assim não será necessário que haja reduções de tensão tão drásticas nos módulos, pois essa já estará pronta no distribuidor.

O distribuidor vai ser responsável por alimentar os motores elétricos e os módulos de controle dos movimentos da cadeira de rodas. Ele contará com um bloco de entrada que estará conectado diretamente nos terminais da bateria, onde a partir desse bloco de entrada teremos duas saídas de distribuição, uma com 12 volts e outra com 5 volts.

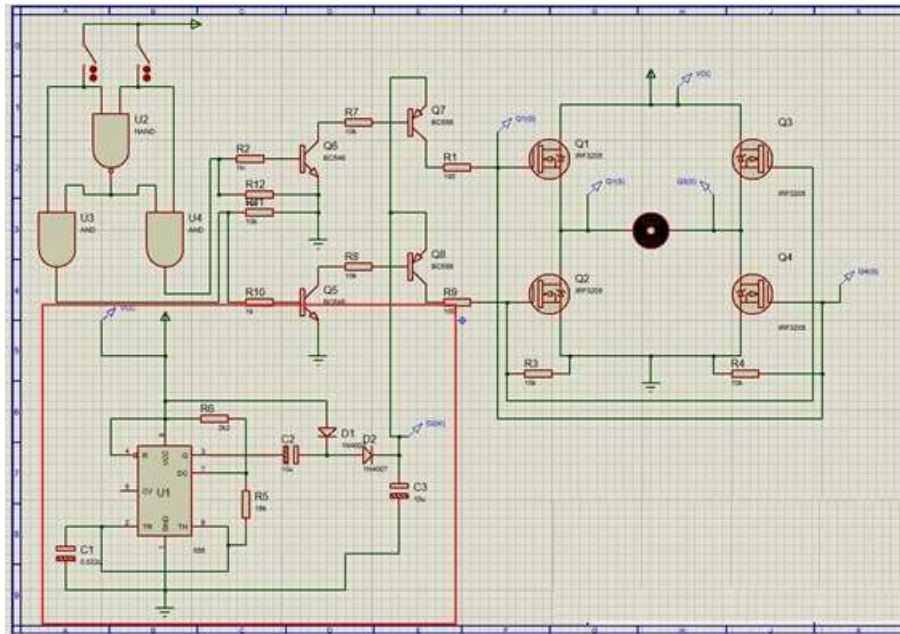


Figura 43 – Circuito elevador de tensão

A saída de distribuição de 12 volts será realizada através de cabos que serão conectados nos terminais dos motores. Essa saída será dupla, ou seja, cada motor terá sua alimentação individual, sendo que para proteção dos dois motores, utilizaremos fusíveis inseridos antes dos plugs dos motores, para que caso ocorra alguma variação de corrente, os motores não sejam danificados.

A saída de distribuição de 5 volts será proveniente da utilização de um regulador de tensão 7805. Serão utilizados diodos zeners (falar qual) que garantirão que a tensão se mantenha estável nos 5 volts. Essa saída será responsável pela alimentação das duas pontes H, da Raspberry Pi, dos 3 msp430 e do joystick.

Esse distribuidor de tensão pode ser visto no diagrama apresentado na figura 44.

Foram feitas duas versões de ponte H. Na primeira versão da ponte H utilizava-se trilhas com cerca de 5 mm para os motores e transistores. Após alguns testes foi verificado que a espessura não suportava a corrente que os motores necessitam, as trilhas estavam soltando da placa.

Com isso foi necessário reestruturar a ponte H, então foi idealizado o paralelo de 2 pontes H para alimentar cada motor. Para testar o paralelo foi necessário conhecer a corrente que cada ponte estava puxando. Segundo as especificações do motor, a corrente que cada motor puxa é de 25A. Em teoria cada ponte em paralelo deveria estar com no máximo 12,5A em sua saída, porém a aferição dessa corrente é complexa, pois não tinha-se instrumento de medida que suportasse tamanha corrente. Dessa forma desenvolveu-se um sistema de medida usando a proteção contra sobre-corrente do sistema, que é constituída de fusíveis automotivos de 12V. Variando os fusíveis de 5A em 5A e esperando eles se

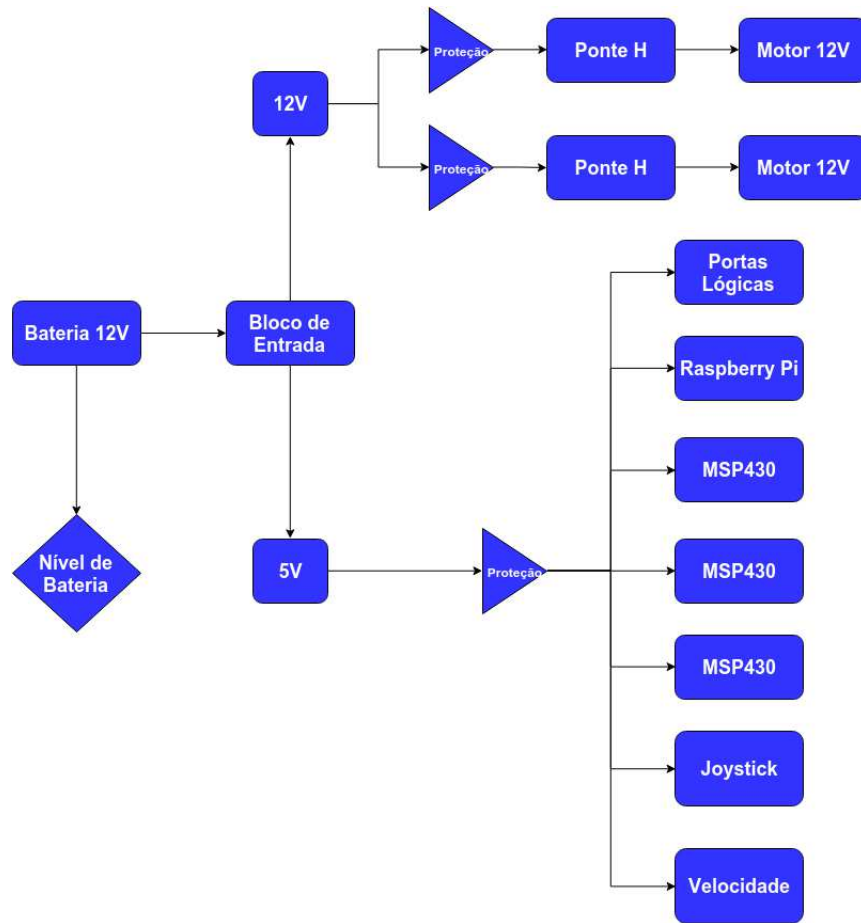


Figura 44 – Diagrama do sistema de controle

romperem, teve-se uma estimativa que sem carga o sistema estava puxando entre 10 e 15A.

Após alguns testes, verificou-se que as trilhas continuavam não suportando a corrente quando colocava-se carga. Para solucionar o problema, foi montado um novo esquemático com as trilhas de grandes espessuras, 3,5cm, como na figura 46 para auxiliar na dissipação de calor do sistema. Usando os mesmo transistores, porém fora da placa e fixados diretamente no dissipador, mas com as ligações feitas através de cabos externos como mostrado na figura 45.

O circuito de controle foi mantido similar ao primeiro layout e foi feito algumas pequenas modificações na proteção da entrada do sinal do PWM do circuito para garantir que não haverá curto circuito no sistema.

As novas trilhas suportariam a corrente, contudo era necessário soldar o transistor, foi usado então fios para conectar os transistores a ponte H e ligados como mostrado na figura 46. Cada um dos quatro transistores, possui um Gate, que é um pino de controle, o Drain, que é a saída do transistor e o Source, que é a entrada. Foram enumeradas entradas e saídas com os respectivos transistores, onde 1d equivale ao transistor 1 pino de Drain, 1s ao transistor 1, pino de Source e assim por diante. O pino de controle foi ligado direto

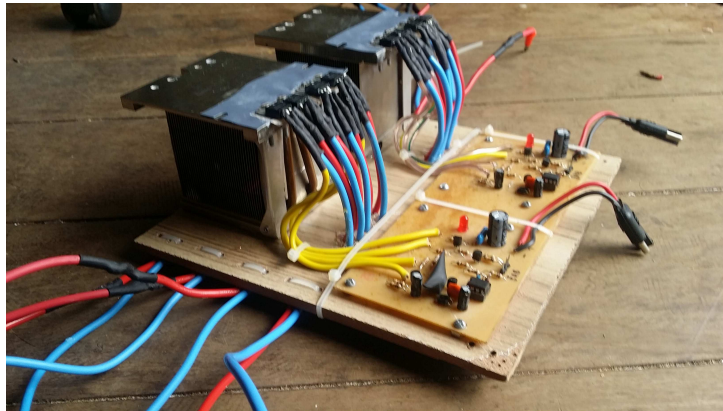


Figura 45 – Ponte H e dissipador

a antiga formação da ponte H, já que essa possuía os devidos circuitos de ativar a ponte H e proteger os pinos de controle, usados no PWM.

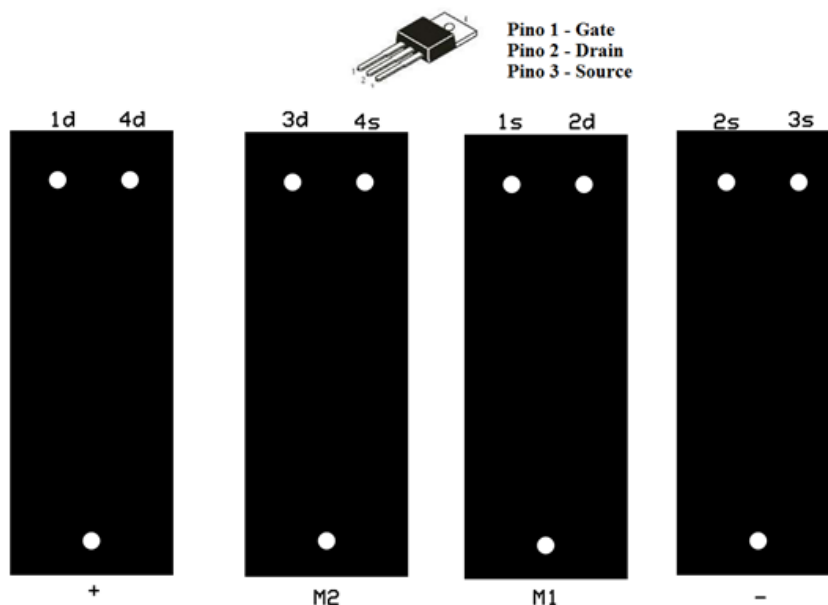


Figura 46 – Novo esquemático ponte H

#### 4.3.7 Dissipador de calor

Os circuitos de potência modernos possuem elevado rendimento, porém a quantidade de calor gerada é uma preocupação. Atualmente os dispositivos operam com potências elevadas e no limite da capacidade de dissipação. O uso de um dissipador é tão importante quanto à parte elétrica do circuito.

O objetivo dessa sessão é fornecer subsídios para estabelecer critérios para o dimensionamento do sistema de dissipação do calor produzido por componentes eletrônicos, especialmente semicondutores de potência da ponte H(transistores), buscando a proteção de tais componentes.

Considerando:

$P_t$  = Potência a ser dissipada pelo transistor;

$T_j$  = Temperatura de junção;

$T_c$  = Temperatura de carcaça;

$T_{amb}$  = Temperatura ambiente;

$R_{jc}$  = Resistência térmica na junção [ $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ ];

$R_{ch}$  = Resistência térmica na carcaça [ $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ ];

$R_{ha}$  = Resistência térmica dissipador - ambiente [ $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ ];

Onde  $T_j$  e  $R_{jc}$  são parâmetros do *Datasheet*. Foram utilizadas duas ponte H, sendo que cada uma possui 4 transistores IRF3205(Jameco Part Number 618089)([ELECTRONICS, 2015](#)):

$$T_j = -55\text{ à }175\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$R_{jc} = 0,75[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}];$$

$$R_{ch} = 0,5[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}];$$

Assim podemos calcular  $R_{ha}$  como:

$$R_{ha} = \frac{(T_j - T_{amb})}{P_t} - R_{jc} + R_{ch} \quad (4.18)$$

A potência total dissipada é de 300W por cada ponte H, assim cada transistor recebe 75W. A temperatura ambiente considerada é de  $T_j$  como 40 °C, considerando a  $T_j$  como 130 °C, temos assim:

$$R_{ha} = \frac{(130 - 40)}{300} - 0,75 + 0,5 = 0,05 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \quad (4.19)$$

Superfícies aletas, chamadas de dissipadores de calor são comumente utilizadas para o resfriamento de dispositivos eletrônicos. A energia dissipada por esses dispositivos é transferida por condução dos dispositivos de potência para os dissipadores e por convecção natural ou forçada dos dissipadores para o ambiente ([ÇENGEL, 2012](#), p. 434-439).

Uma das principais questões na escolha de um dissipador de calor é escolher entre um com aletas estreitamente espaçadas ou aletas amplamente espaçadas para uma determinada área da base. Um dissipador com menor espaçamento entre as aletas terá maior superfície de transferência de calor, mas o coeficiente de transferência de calor é menor devido a resistência que as aletas introduzem no fluxo do ar.

#### 4.3.8 Indicador de Nível de Bateria

É importante saber o nível de bateria da cadeira de rodas, com isso é possível controlar sua autonomia e saber quando ela irá parar de funcionar. O indicador servirá para informar quando a bateria estiver acabando, para que se possa voltar para estação de recarga e recarregar a cadeira de rodas.

Será utilizado um multímetro automotivo de bateria como mostrado na figura 47. Eles são comumente utilizados para medir as baterias auxiliares utilizadas em sons automotivos. Seu funcionamento baseia-se na medição da diferença de tensão nos polos da bateria, dessa forma indicando qual é a tensão da bateria. Quando a tensão cair a um nível crítico é quando os motores da cadeira de rodas irão parar de funcionar, no caso do motor do projeto, 9V. Quando o indicador chegar em 9V, o usuário deve retornar com a cadeira de rodas para que a mesma seja recarregada.

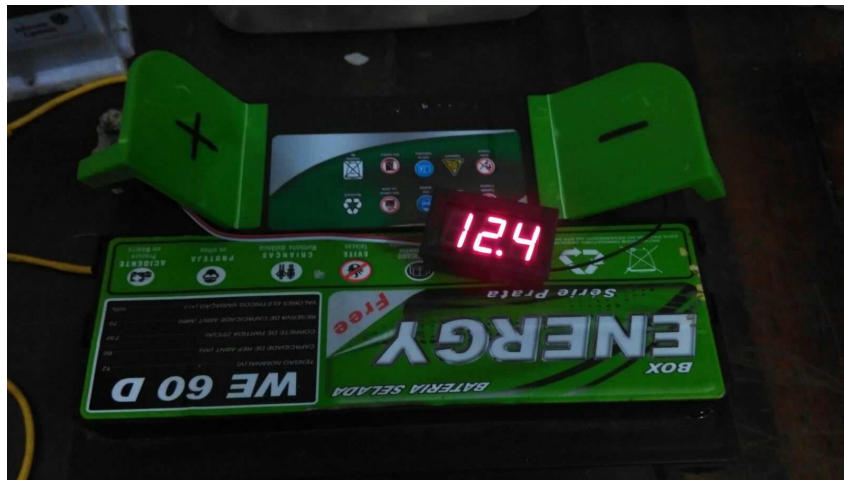


Figura 47 – Multímetro automotivo de bateria

## 5 Planejamento Financeiro

Um dos aspectos de grande relevância para o projeto é o custo. Nessa sessão faremos uma avaliação sobre o custo para compararmos com o valor de mercado de uma cadeira de rodas elétrica

### 5.1 Arrecadação

Desde o início do projeto começamos a arrecadar um valor mensal, sem qualquer cálculo, usando apenas suposições.

- Início da arrecadação = setembro
- Quantidade de meses de projeto = 4
- Valor = R\$50,00
- Quantidade de integrantes = 13
- Total a ser arrecadado = R\$2600,00

Com o amadurecimento e o conhecimento dos gastos reais do projeto esse valor se mostrou suficiente para custear o projeto.

### 5.2 Planejamento de Gastos

Um dos tópicos de grande importância para o projeto é o custo do produto que está sendo desenvolvido. Nessa sessão os valores são apresentados na tabela 5.

O custo total do projeto é de R\$2663.00. Vale ressaltar que apesar do custo do protótipo ser alto, a nível industrial seria significativamente reduzido.

| Quantidade  | Componente                    | Preço Unitário |
|-------------|-------------------------------|----------------|
| Controle    |                               |                |
| 1           | Raspberry Pi B+               | R\$ 250.00     |
| 3           | MSP430G2553                   | R\$ 20.00      |
| 1           | Joystick                      | R\$ 15.00      |
| 2           | Ponte H                       | R\$ 50.00      |
|             | Componentes Reserva           | R\$ 50.00      |
|             | Subtotal                      | R\$ 475.00     |
| Power train |                               |                |
| 1           | Baterias SLA                  | R\$ 300.00     |
| 2           | Redutor MR com motor GPB 1:10 | R\$ 560.00     |
| 2           | Rodas para anexo              | R\$ 75.00      |
|             | Subtotal                      | R\$1570.00     |
| Estrutura   |                               |                |
| 1           | Solda e material              | R\$300.00      |
|             | Subtotal                      | R\$600.00      |
|             | TOTAL                         | R\$2345.00     |

Tabela 5 – Custos do projeto conforme áreas de trabalho



## 6 Problemas Encontrados

Esta seção tem como foco a explicação dos problemas encarados e das soluções adaptadas, durante o desenvolvimento do projeto. Tanto como grupo quanto em subdivisões específicas feitas.

### 6.1 Geral

-Dificuldade na definição das atividades da Sprint: No início do projeto foi definido que nossa organização seria baseada na metodologia ágil, sendo assim teríamos tarefas semanais.

- Problema: De uma forma geral, o grupo superestimou as atividades nas sprints, tornando muito difícil a conclusão das atividades propostas para a sprint.
- Solução: Como solução granularizamos as atividades reduzindo-as para que fosse possível realizá-las no tempo de uma sprint e durante a mudança, que durou cerca de 3 sprints, calibramos os erros e acertos na retrospectiva feita ao final de cada sprint.

-Redistribuição do pessoal da área de Power Train para a área de Controle e Estrutura, porque as atividades propostas para a área de Power Train foram concluídas. Baseado nisso foi feita a escolha de realocar os componentes desta área para a área de Controle.

- Problema: Realocar os componentes de forma a não ficarem ocioso em alguma atividade.
- Solução:Relocar os componentes conforme maior expertise dos mesmos na área de Controle e Estrutura.

-Gastos com materiais

- Problema: Na fase inicial do trabalho muitas pesquisas foram feitas e os materiais necessários levantados, porém não era de conhecimento o quanto gastaríamos com o projeto.
- Solução: Desde o início já começamos a arrecadar dinheiro dos integrantes e com o amadurecimento do projeto conseguimos mensurar de forma mais real qual seria o custo do projeto sendo possível assim um planejamento financeiro melhor.

## 6.2 Controle

### Linguagem Nova

Mesmo com a experiência do grupo dos alunos de software, houve problemas em relação ao Python, como: entendimento da exportação relativa de classes em outras pastas, mudança da versão 2.7 para a versão 3.4 e problemas de indentação relacionado a IDE de desenvolvimento.

### 6.2.1 Ambiente de Desenvolvimento

#### Testes unitários do código-fonte

- Problema: Utilização do framework de teste de forma correta.
- Solução: Olhar a documentação do framework e aprender como utilizar.

#### Mock

- Problema: Entendimento de como utilizar o "Mock" para fingir que o Hardware existe.
- Solução: Conversa entre grupos da disciplina de Projeto Integrador 2 e leitura e compreensão da documentação.

#### Cobertura de código em Python

- Problema: Como fazer cobertura de código para Python.
- Solução: Depois de realizar pesquisas o Coverage foi escolhido e instalado inicialmente no repositório local para teste e depois que confirmada a eficiência foi instalado na Raspberry Pi.

### 6.2.2 Ambiente físico

O ambiente físico utilizado para desenvolvimento do software deste projeto é um Raspberry Pi, vide seção [2.3.2](#), referente as configurações do mesmo.

#### SSH

- Problema: O acesso via SSH é feito através de um cabo de rede, no qual somente uma máquina por vez pode acessar. Isso ocasiona um problema de ociosidade na equipe: enquanto um componente o utiliza, os outros 2 ficam ociosos.

- Solução: Utilizar o Raspberry conectado a um roteador Wi-Fi, que permite a todos os integrantes utilizarem do ambiente mutualmente via rede sem fio.

### **Mudança de Sistema Operacional**

Pode ser instalado no Raspberry um sistema operacional que possibilite a facilidade de uso, mediante as necessidades de quem o instala.

- Problema: Problema relacionado: Pretende-se utilizar um ambiente para teste que possibilite o desenvolvimento de forma completa mediante o possível para o projeto. Para isto é necessário o uso de testes unitários e do "Mock", descobriu-se que o primeiro Sistema Operacional instalado (Raspbian Wheezy) não atende para a utilização do "Mock".
- Solução: Um outro Sistema Operacional foi instalado (Raspbian Jessie), por possuir nativamente um ambiente de testes robusto que possibilite o uso de testes unitários e "Mock".

### **Quantidade de MSPs a serem utilizados**

A utilização de vários MSPs é uma ótima alternativa para separar componentes independentes e utilizar ferramentas como conversor AD, gerador de PWM e temporizador de forma simples, barata e rápida.

- Problema: Unificar todo o controle no Raspberry Pi diminui a confiabilidade do sistema, além disso, ele não tem conversores analógico/digital, necessários para o sistema de controle.
- Solução: MSPs dedicados a cada componente foram utilizados, por sua facilidade em implementar conversores AD de vários canais, PWMs e por ser de fácil comunicação com o Raspberry Pi via serial UART.

### **6.2.3 Arquitetura**

- Problema: Esta arquitetura possui 2 formas de serem montadas: Paralela ou Sequencial. A Paralela nos permite ter várias "threads" acontecendo simultaneamente para diferentes situações. A Sequencial acontece de forma sucessiva em somente uma "thread". Houve a dúvida técnica de qual destas implementar em tempo de apresentação do produto. Existiu o temor de não se obter uma Arquitetura, caso fosse usado a solução Paralela.
- Solução 1: Foi sugerido que uma montagem da solução sequencial fosse montada para se fazer uma avaliação, em relação ao tempo de resposta que seria entre o usuário fazer o movimento com o Joystick e o motor responder ao movimento.

- Solução 2: Foi sugerido que a contabilização do tempo de execução (delay dos componentes eletrônicos + complexidade do software) fosse feita, para analisar e ter certeza de que a solução Sequencial diferenciaria muito da solução Paralela.

#### 6.2.4 Ponte H

- Problema: As entradas da ponte H não podem ser acionadas ao mesmo tempo, pois caso sejam acionadas haverá um curto circuito no sistema e não haverá diferença de tensão nos terminais do motor.
- Solução: Para o risco de curto circuito, caso as entradas fossem acionadas ao mesmo tempo, desenvolveu-se uma lógica na entrada utilizando portas lógicas do tipo AND e NAND. Isso foi feito para garantir que não haverá acionamento das duas entradas da ponte H ao mesmo tempo.
- Problema: No desenvolvimento da PCB: Por algumas placas estarem velhas, ao serem esquentadas o esquemático do papel não estava sendo transferido e o Fenolíteo descolou do cobre.
- Solução: Foram compradas placas novas de Fenolíteo e foi feita a mudança de papel coque para papel fotográfico
- Dificuldades na simulação: Para fazer os testes da ponte H era necessário um PWM nas entradas do circuito, e na simulação não era possível fazer o sinal de PWM com um microcontrolador. Para testar o circuito completo era necessário utilizar a lógica das portas lógicas junto com os CI's correspondentes. Nas primeiras simulações os componentes corretos para a confecção não estavam sendo encontrados.
- Solução: A dificuldade de simulação foi superada com a mudança de software de simulação, pois nessa forma foi possível encontrar todos os componentes que eram necessários para simulação, e para gerar o PWM foi estudado formas de gera-lo utilizando circuitos integrados. Dessa forma foi possível testar o funcionamento.
- Problema: Largura da trilha dos transistores da ponte H, quando ligada nos motores do sistema, após um tempo elas esquentavam e descolavam do fenolíteo, desta forma rompendo a ligação.
- Solução: Dimensionar e desenvolver uma placa de circuito impresso para ligar apenas os transistores.
- Problema: A ponte H é um circuito de potência, e os seus transistores esquentem muito. Como o circuito puxa uma alta corrente, os transistores MOSFET superaquecem. Os transistores MOSFET 3205 podem operar em até 175°C, com uma temperatura tão elevada ele estava dessoldando os componentes ao redor do circuito.

- Solução: Colocar os transistores do lado de fora das placas de fenolíteo e em dissipadores devidamente dimensionados.

### 6.2.5 Joystick

- Problema: Inicialmente utilizamos um joystick de um controle de videogame (PlayStation 2). Este não se adequou às nossas necessidades.
- Solução: Adquirimos um joystick que tivesse conectores, facilitando assim a prototipagem e implementação. Ainda estamos aguardando sua chegada para verificar se esse joystick se adequaria.

## 6.3 Power Train

### 6.3.1 Escolha de um motor

Fazer a escolha do melhor motor, levando em conta o atendimento os requisitos velocidade-torque.

- Problema: A escolha do melhor método de cálculo de potência necessária para mover o sistema completo (cadeira de rodas mais usuário) foi um problema devida a alta variedade de possibilidades, tornando-se muito indecisa a precisão dos cálculos.
- Solução: Após uma vasta pesquisa na literatura e com alguns professores da FGA, com o auxílio do software Matlab, foram feitas diversas simulações envolvendo as variáveis de projeto para a decisão do melhor conjunto.
- Problema: Motores de corrente contínua fornecem um baixo torque, através dos cálculos, observou-se que era preciso um torque alto.
- Solução: Foi necessário o uso de um redutor para atender as especificações matemáticas do projeto. A partir disso foi feita uma busca de mercado e optamos por encomendar um kit motor-redutor pronto

### 6.3.2 Eixo do conjunto moto-redutor

- Problema: Os primeiros conjuntos moto-redutor que foram analisados foram o de motor de para-brisas de carro, esses conjuntos não forneciam a velocidade especificada pelo projeto, porém foram úteis para testes de controle. E seria fácil acoplar a roda do sistema a esse conjunto devido ao seu design. Entre tudo, quando os motores reais do projeto chegaram, o eixo era muito curto e devido ao design seria impossível conectar diretamente as rodas

- Solução: Será necessário fazer um novo eixo com o uso do torno mecânico para ligar a roda ao conjunto moto-redutor.

## 6.4 Estrutura

### 6.4.1 Acoplamento

- Problema: O ponto mais importante a se considerar para que o projeto funcione de modo eficaz e robusta é a forma como o sistema se acopla a cadeira, pois o deslocamento sera feito através da rotação das rodas acopladas a mala, ou seja, caso a conexão não fique firme o deslocamento sera comprometido.
- Solução 1: Primeiramente se pensou em criar um sistema de garras que seriam presas a estrutura tubular da cadeira, o que seria eficaz e simples de ser feito, porem após conseguir cadeiras reais para análise foi constatado que não haveria como acoplar as garras a algumas cadeiras devido a forma como os fabricantes fixam o tecido que mantem o encosto para as costas no lugar. Então foi pensado em utilizar velcros que seriam baratos, fáceis de utilizar e se bem posicionados permitiriam uma boa fixação, mas após testados ficou claro que não seria possível manter a estrutura firmemente fixada, pois o velcro não previne alguns tipos de movimentos que a movimentação do sistema geraria.
- Solução 2: Em seguida foi pensado em uma forma de acoplamento que não fosse afetada por diferentes tipos de modos de montagem ou disposição de partes da cadeira. Tendo em mãos duas cadeiras de rodas reais e distintas notou se a presença de dois pontos livres para realizar o acoplamento. Com a solução em mente foi decidido criar um protótipo em PVC, devido ao baixo custo, para que fosse possível analisar de fato se o sistema de acoplamento idealizado seria eficaz. Após construída a estrutura foi constatada, então, a eficácia do sistema, que tem baixo custo, sem perder a resistência, praticidade e adaptabilidade aos parâmetros fixados pela NBR 9050.

### 6.4.2 Falta de cadeira

- Problema: Não se tinha cadeiras de rodas disponíveis para teste da estrutura.
- Solução: Entramos em contato com os professores responsáveis pela cadeira de rodas presente no laboratório e conseguimos autorização para utilizá-la. Outras cadeiras foram conseguidas por meio de doações de terceiros.

## 7 Perspectivas

Este capítulo divide-se em duas seções, o incremento atual do produto e os próximos passos, ambas as etapas são divididas por área de desenvolvimento: estrutura, *power train* e controle.

Na seção *Incremento Atual* são levantadas as características e funcionalidades atuais do produto, já em *Próximos Passos* são discutidas próximas tarefas e desenvolvimento e perspectivas do grupo quanto ao final do projeto.

### 7.1 Incremento atual

#### 7.1.1 Estrutura

1. Modelagem da cadeira motorizada adaptada: Foi feito a modelagem da cadeira de rodas levando em conta a solução de portabilidade e acessibilidade da mesma, pontuando pontos como o design de inovação do anexo autômato a cadeira;
2. Escolha do material a ser usado na estrutura: Um estudo dos possíveis materiais será realizado, alavancando os motivos e vantagens do uso dos mesmos para suporte das cargas;
3. Ergonomia do produto: Estudo e modelagem do melhor design da cadeira de rodas manual com o anexo que a motoriza;
4. Desenvolvimento de um modelo de PVC para testes do sistema de acoplamento;
5. Desenvolvimento do eixo que ira transmitir potência entre a roda ao conjunto de moto-redução.

#### 7.1.2 Power Train

1. Escolha do motor elétrico, levando em consideração, os estudo matemáticos realizados e seu custo financeiro.
2. Especificação do motor elétrico de Corrente Contínua quanto a potência mínima;
3. Estudo e especificação sobre baterias a serem utilizadas, quanto tensão, capacidade e dimensão. Foi escolhido usar a bateria de Chumbo-Ácida selada, levando em conta vantagens e limitações. Os cálculos de autonomia foram feitos para melhor estimar o método de carregamento da bateria;

4. Estudo com o auxílio do software Matlab da interferência da roda e do peso do sistema no desempenho do conjunto de moto-redução;
5. Os motores com redutor escolhido para o projeto possui potência de 305W e redução de 1:10;

### 7.1.3 Controle

1. Especificação de tecnologia: Estudo e escolha da melhor tecnologia voltada para o problema, que no caso será feito com um Raspberry Pi para comunicação entre a interface do usuário e o motor;
2. Controle de potência: Estudo de qual tipo de controlador de potência a ser usado no motor, para controle de sua corrente. A escolha da utilização da ponte H será combinado com o algoritmo de PWM, que utiliza o Raspberry Pi como forma de resposta aos comandos dos usuários como a direção, aceleração, frenagem da cadeira motorizada adaptada;
3. Escolha da linguagem de programação: Definição de qual linguagem será utilizada com base na problemática existente e nos recursos a serem utilizados. A linguagem escolhida foi o Python, pois existem bibliotecas específicas que controlam GPIO do Raspberry Pi.

### 7.1.4 Interface com Usuário

1. Gerar uma interface com o usuário utilizando o joystick para o controle da cadeira de rodas. Gerar, utilizando um display, indicadores que são importantes para o usuário, tais como: Velocidade e indicador da bateria.
2. Decisão do não uso de aplicativo para controle da cadeira de rodas.
3. Montagem de protótipo de controle para testes de ponte H e pulsos de PWM.

## 7.2 Próximos passos

### 7.2.1 Estrutura

1. Testes com o eixo acoplado ao motor;
2. Escolha de material mediante norma ABNT 6061 - T6;
3. Desenvolvimento do protótipo.



### 7.2.2 Power Train

1. Testes em conjunto com a parte de estrutura e controle.

### 7.2.3 Interface com Usuário

1. Montagem do Joystick ergonômico.

### 7.2.4 Controle

1. Implementação de filtro para suavizar movimentos do Joystick para motores;
2. Implementação dos testes para os códigos do MSP;
3. Implementação dos sensores de nível de bateria e velocidade em MSP;



# Referências

ABNT, A. B. D. N. T. *NBR 9050: Acessibilidade e edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. [S.l.], 2004. 47 p. Citado na página 35.

ANDRADE, D. A. S. de. *Elementos Orgânicos de Máquinas II*. 2015. Citado na página 25.

AçOSPORT. *Aço sae 1020*. 2015. Disponível em: <<http://www.acosporte.com.br/aco-sae-1020>>. Citado na página 22.

BARCELOS, A. et al. Sistema de controle e motorizaÇÃo de cadeira de rodas. *Associação Educacional Dom Bosco*, 2008. Citado na página 28.

CONITEC, C. N. de Incorporação de Tecnologias no S. *Relatório número 50 PROCEDIMENTO CADEIRA DE RODAS MOTORIZADA NA TABELA DE ÓRTESES, PRÓTESES E MATERIAIS ESPECIAIS NÃO RELACIONADOS AO ATO CIRÚRGICO DO SUS*. 8 de maio de 2013. Acessado em 7 de Setembro de 2015. Disponível em: <<http://conitec.gov.br/images/Incorporados/CadeiradeRodasMotorizada-final.pdf>>. Citado na página 21.

DATASHEET IRF 3205 - International IOR Rectifier. 2001. Acessado em 28 de Outubro de 2015. Disponível em: <<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf3205.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

ELECTRONICS, J. *Datasheet IRF3205S*. 2015. Disponível em: <<http://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/618089InternationalRectifier.pdf>>. Citado na página 67.

Herbert A Everest e Harry C Jennings. *Folding wheel chair*. 1937. 2095411. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 28.

F., I. *Ensaio de Fadiga por Flexão para Eixos Desenvolvidos com Diferentes Materiais*. 2014. Disponível em: <<http://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=51>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.

FAVORIT. *Aços Comerciais Aço SAE 1040/45*. 2015. Disponível em: <<http://www.favorit.com.br/produtos/acos-comerciais/aco-sae-104045>>. Citado na página 22.

FILHO, W. de B. V. et al. Desenvolvimento de kit para automaÇÃo de cadeira de rodas convencional. *VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA*, 2010. Citado na página 13.

G, M. *AÇO CONSTRUÇÃO MECÂNICA – SAE 1020*. 2015. Disponível em: <<http://www.ggdmetals.com.br/aco-construcao-mecanica/sae-1020/>>. Citado na página 22.

HAMANAKA, M. H. M. O. Projeto e desenvolvimento de circuito de controle para cadeira de rodas. *Dissertação de Mestrado, UNICAMP*, 2002. Citado na página 13.

- HAMANAKA, M. H. M. O.; DIAS, J. A. S. *Projeto e Desenvolvimento de circuito de controle para cadeira de rodas*. [S.l.], 2002. Disponível em: <<https://www.robocore.net/upload/ManualTecnicoBateriaUnipower.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 52.
- HTTP://WWW.INMETRO.GOV.BR/ disponível em: *INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia*. 2015. Citado na página 13.
- KAMPER, D. G. et al. A technique for quantifying the response of seated individuals to dynamic perturbations. *Journal of Rehabilitation Research and Development Vol. 37 No . 1*, 2000. Citado na página 48.
- LOCKTON, D. Wheelchair drive. 2004. Disponível em: <[http://www.danlockton.co.uk/transport/mobility/Brunel\\_Wheelchair\\_Drive\\_public.pdf](http://www.danlockton.co.uk/transport/mobility/Brunel_Wheelchair_Drive_public.pdf)>. Citado na página 13.
- MCGUIRE, M.; JENKINS, O. C. *Creating Games: Mechanics, Content, and Technology*. [S.l.]: A K Peters, Ltd., 2009. Citado na página 28.
- MEC060 disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/2829>. *Motores de Corrente Contínua*. 2015. Citado na página 53.
- MEGGIOLARO, M. A.; GIRASAS, I. T. *PROJETO E CONTROLE DE UMA CADEIRA DE RODAS AUTOMATIZADA INTELIGENTE COM SENSORES DE ULTRASSOM*. 2011. Citado na página 24.
- RASPEBERRY Pi Foundation. 2015. Acessado em 11 de Setembro de 2015. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org>>. Citado na página 29.
- (SDH/PR), S. N. d. P. d. D. d. P. c. D. S. e. C. G. d. S. d. I. s. a. P. c. D. Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da R. *Cartilha do Censo 2010 - Pessoas com Deficiência*. 2012. Disponível em: <<http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/sites/default/files/publicacoes/cartilha-censo-2010-pessoas-com-deficienciareduzido.pdf>>. Citado na página 13.
- SILVA, J. F. da. Padrões de propulsão para cadeiras de rodas e seus fatores de desempenho. *Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, SP*, 2009. Citado na página 23.
- UNITTEST — Unit testing framework. 2015. Acessado em 22 de Outubro de 2015. Disponível em: <<https://docs.python.org/3/library/unittest.htm>>. Citado na página 30.
- UNITTEST.MOCK — mock object library. 2015. Acessado em 22 de Outubro de 2015. Disponível em: <<https://docs.python.org/3/library/unittest.mock.html>>. Citado na página 30.
- WOLF(92), S. R. V. apud Perry e. *Arquitetura de Software*. 2015. Acessado em 22 de Outubro de 2015. Disponível em: <<http://www.inf.ufpr.br/silvia/ESNovo/projeto/pdf/IntroduzArquiteturaAl.pdf>>. Citado na página 31.
- WOUDE C. GEURTS, e. a. L. H. V. van der. Measurement of wheelchair rolling resistance with a handle bar push technique. 2003. Citado na página 50.
- YAMAGUTI, H. Acionamento de motores de uma cadeira de rodas elétrica de baixo custo. *Dissertação de Mestrado, São Carlos, SP*, 2010. Citado na página 53.

---

ÇENGEL, Y. A. *TRANFERENCIA DE CALOR E MASSA*. [S.l.]: Mc Graw Hill, 2012.  
Citado na página [67](#).