

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

FÁBIO AUGUSTO CAMPOS SILVA

CONVERSÃO DE UMA CADEIRA DE RODAS CONVENCIONAL POR UMA  
MOTORIZADA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA – UNITAU

2018

FÁBIO AUGUSTO CAMPOS SILVA

CONVERSÃO DE UMA CADEIRA DE RODAS CONVENCIONAL POR UMA  
MOTORIZADA

Trabalho de Graduação apresentado como exigência para conclusão, do curso de Engenharia de Controle e Automação, ministrado pela Universidade de Taubaté – UNITAU, Campus Engenharia Mecânica.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Msc. Patrícia Cerávolo R de P Nunes Oliveira.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA – UNITAU

2018

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado  
de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

S586c Silva, Fábio Augusto Campos  
Conversão de uma cadeira de rodas convencional por  
uma motorizada. / Fábio Augusto Campos Silva. - 2018.  
59f. : il; 30 cm.  
Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e  
Automação) – Universidade de Taubaté. Departamento de  
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018  
Orientação: Profa. Ma. Patrícia Cerávolo Rodrigues de  
Paiva Nunes Oliveira, Departamento de Engenharia  
Mecânica e Elétrica.  
1. Cadeira de rodas. 2. Motorização. 3. Comandos pelo  
smartphone. 4. Baixo custo. I. Título.

FÁBIO AUGUSTO CAMPOS SILVA

CONVERSÃO DE UMA CADEIRA DE RODAS CONVENCIONAL POR UMA  
MOTORIZADA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “**GRADUANDO EM  
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**”

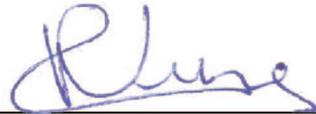
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



---

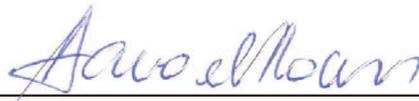
Prof. MSc LUIZ RICARDO PIETRO HERCOS  
Coordenador de Trabalho de Graduação

**BANCA EXAMINADORA:**



---

Prof.ª. MSc PATRICIA CERÁVOLO R DE P NUNES OLIVEIRA  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Dr. ALVARO MANOEL SOUZA SOARES  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

(11, Junho de 2018)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa, Ana Paula Teixeira Tavares, aos meus pais Germano Cardoso da Silva e Osmarina Campos Silva.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que me deu força, saúde e perseverança para esse trabalho.

À minha família, que me deu apoio e teve compreensão pela minha ausência.

À esta conceituada instituição, “Unitau – Universidade de Taubaté”, que possui um corpo docente altamente capacitado, e que conseguiu transmitir o conhecimento necessário para desenvolver as etapas deste Trabalho de Graduação.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup> MSc. Patricia Cerávolo, que com seu sábio conhecimento, que soube me orientar e direcionar para a conclusão deste trabalho.

À todos meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

Devido aos altos índices de acidentes, e devido a fatores genéticos e à acessibilidade orgânica, verifica-se um grande número de uso de cadeiras de roda manual e pouco acesso a cadeiras motorizadas, por usuários da classe C, para tanto a indústria desse segmento, procurou fabricar um equipamento de custo acessível, similar ao que a indústria automobilística faz, tendo um veículo *standard* com preço menor, e outros que tem mais opcionais e com o preço maior. Este projeto tem como principal objetivo, fazer uma cadeira de rodas motorizada com o menor custo possível, onde possa criar opções, para que cadeirantes da classe C tenham acesso a um produto *standard*, como o exemplo citado anteriormente. Para a concepção do protótipo, foi o de adquirir os materiais à preço de varejo, de maneira, que o valor final gasto para o projeto ainda possa ser reduzido, se os materiais forem adquiridos em larga escala. Para controle dos motores e da cadeira, se projetou com um sistema de plataforma Arduino, possibilitando um ganho com custo X benefício. Após a conclusão e a efetivação do projeto, verificou-se a viabilidade de fabricar uma cadeira de rodas motorizada, com preço acessível para pessoas deficientes da classe C, e que pode ser controlada através do smartphone.

**Palavras chaves:** Cadeira de rodas, motorização, comando pelo smartphone, baixo custo.

## ABSTRACT

Due to auto accident rates, and due to genetic factors and organic accessibility, there is a large number of use of manual wheelchairs and little access to motorized chairs by class C users, for both the industry of this segment, sought to manufacture affordable equipment, similar to what the automobile industry does, having a standard vehicle with a lower price, and others that have more options and the higher price. The main purpose of this project is to make a motorized wheelchair with the lowest possible cost, in order to create options for class C wheelers to have access to a standard product, such as the example mentioned above. For the design of the prototype, it was to acquire the materials at the retail price, so that the final value spent for the project can still be reduced if the materials are purchased on a large scale. For control of the motors and the chair, it was designed with an Arduino platform system, allowing a gain with cost X benefit. After the completion and implementation of the project, it was verified the feasibility of manufacturing a wheelchair motorized, affordable price for disabled people of class C, and that can be controlled through the smartphone.

**KEYWORDS:** Wheelchair, motorization, smartphone control, low cost.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Carrinho Didático.....	16
Figura 02 – Arduino UNO .....	17
Figura 03 – Shield Bluetooth HC05 .....	17
Figura 04 – Aplicativo para sistema Android, RC Controler .....	18
Figura 05 – Fluxo da metodologia .....	24
Figura 06 – Motorização e redução .....	24
Figura 07 – Transmissão por sistema de corrente .....	25
Figura 08 – Disposição para correntes com duas engrenagens e sua transmissão. Disposição dos eixos são horizontais.....	27
Figura 09 – Corrente de rolos em partes .....	27
Figura 10 – Ação poligonal na velocidade e aceleração de uma corrente em transmissão.....	28
Figura 11 – Articulação da corrente sobre uma roda dentada com ângulo.....	28
Figura 12 – Coroa (catraca contra-pedal) fixada com solda ao cubo.....	32
Figura 13 – Chapa suporte do moto-redutor .....	34
Figura 14 e 15 - Chapa suporte motor .....	35
Figura 16 e 17 – Redutor de 37:1 .....	36
Figura 18 – Parte frontal do motor .....	36
Figura 19 – Motor fixado ao suporte .....	36
Figura 20 e 21 – Polia do motor .....	37
Figura 22 e 23 – Correia .....	37
Figura 24 e 25 – Sistema moto-redutor .....	37
Figura 26 – Corrente .....	39
Figura 27 – Acoplamento sistema moto-redutor .....	39
Figura 28 – Sistemas moto-redutores acoplados a cadeira .....	39

Figura 29 – Acoplamento coroa-pinhão .....	39
Figura 30 – Caixa hermética .....	41
Figura 31 – Suporte tipo “U” .....	41
Figura 32 – Placa Arduino acondicionada .....	42
Figura 33 – Acondicionamento sistema eletrônico .....	42
Figura 34 – Plugue macho XT60 .....	43
Figura 35 – Plugue fêmea XT60 .....	43
Figura 36 – Comando tipo joystick .....	44
Figura 37 – Entrada USB para o comando .....	44
Figura 38 – Conector para carregar e chaves para acionamento .....	44
Figura 39 – Acondicionamento baterias .....	45
Figura 40 – Carregador 24 volts .....	45
Figura 41 – Lado esquerdo de um suporte de TV vista frontal .....	45
Figura 42 – Lado esquerdo de um suporte de TV vista lateral.....	46
Figura 43 – Fluxograma de comando smartphone .....	51
Figura 44 – Fluxograma de comando joystick .....	52

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Padronização pela ASME para dimensões de correntes .....	28
Quadro 2 – Fator de serviço para transmissão de corrente. ....	47
Quadro 3 – Capacidade de carga de transmissão para corrente de rolos.....	48
Quadro 4 – Fator de correção no número de dentes do pinhão. ....	48
Quadro 5 – Correção para o número de correntes.....	49
Quadro 6 –Comparação em modelo de entrada e o protótipo.....	57
Quadro 7 – Tabela de orçamento gasto para o protótipo.....	58

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação01 – Potência de projeto .....	44
Equação02 – Capacidade de transmissão de corrente .....	45
Equação03 – Capacidade a ser transmitida pela corrente .....	47
Equação04 – Torque do redutor .....	48
Equação05 – Aumento de torque pelo redutor .....	48
Equação06 – Rotação das rodas .....	49
Equação07 – Aceleração para partida de repouso da cadeira .....	49
Equação08 – Força do conjunto de motorização da cadeira .....	49
Equação09 – Torque para a movimentação da cadeira .....	49

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

PWM	Pulse Width Modulation.
DC	Corrente Continua.
AC	Corrente Alternada.
ICSP	In-Circuit Serial Programming.
ONG's	Organizações não Governamentais.
IFMA	Instituto Federal do Maranhão
PID	Proportional, Integral, Derivativo.
CAD	Desenho Assistido por Computador.
ANSI	National Standards Institute.
ASME	American Society of Mechanical Engineers
HP	Horse power.

## LISTA DE SIMBOLOS

rpm	Rotações por minuto.
n	rpm.
°	Ângulo em grau.
”	Polegada.
mm	Milímetro.
V	Volts.
Kg	Quilograma.
Pot	Potencia.
W	Watts.
T	Torque.
N.m	Newton vezes metro
Km/h	Quilômetros por hora
d	diâmetro
v	Velocidade
$\pi$	Pi (3.14159265359)
a	Aceleração
Fr	Força Resultante
r	Raio
Ah	Ampere por hora
A	Ampere
Km	Quilometro
HP	745.7 Watts

.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA .....	15
1.2 PROBLEMA .....	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
1.4 OBJETIVOS .....	15
1.4.1 Objetivo Geral .....	15
1.4.2 Objetivos Específicos .....	16
1.4.3 Metas.....	18
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
2.1 Sistema Microcontrolado .....	19
2.2 Tipos de cadeiras de rodas motorizadas .....	19
2.3 Projeto já realizado.....	20
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	22
3.1 Levantamento Bibliográfico .....	22
3.2 Tipos de motores .....	22
3.3 Especificação dos componentes utilizados na construção do protótipo .....	23
3.3.1 Sistemas de transmissão por correntes de rolos.....	23
3.3.2 Redutor de velocidade.....	27
<b>4 DESENVOLVIMENTO</b> .....	29
4.1 Sistema Mecânico .....	29
4.1.1 Verificação de viabilidade da corrente .....	44
4.1.2 Verificação de viabilidade da utilização do redutor .....	48
4.2 Sistemas de comando .....	49
<b>5 RESULTADO E DISCUÇÕES</b> .....	52
5.1 Testes de eficiência com os motores I e II.....	52
5.2 Teste de velocidade sem carga e atrito com superfície .....	53
5.3 Teste de velocidade com carga e atrito com superfície .....	53
5.4 Teste de autonomia da bateria .....	53
5.5 Teste dos Sistemas de controle .....	54
5.6 Comparação do protótipo com uma cadeira de rodas já comercializada .....	55
5.7 Orçamento.....	56

<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	57
6.1 Sugestão para trabalhos futuros .....	57
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	58

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA**

Vendo as dificuldades que um cadeirante enfrenta em sua rotina diária, buscou-se confeccionar uma cadeira que apresente um bom custo-benefício. Para isso usou-se uma plataforma aberta de desenvolvimento e componentes de acesso fácil. A cadeira já conta com opção de controle remoto por *bluetooth* e espera-se que a opção pela plataforma Arduino possibilite, no futuro, grande customização do projeto, com a criação de diversas modificações modulares e de fácil repetibilidade.

### **1.2 PROBLEMA**

O custo da cadeira de rodas motorizada é relativamente alto para algumas classes sociais, onde, uma boa parte das pessoas que precisam desta tecnologia estão na faixa da classe “C” para baixo.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

Devido ao alto custo, procura-se viabilizar um projeto que custe em aproximadamente 65% à menos do valor de um produto já comercializado, isto é, 35% do valor de varejo final atual.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 Objetivo Geral**

Adaptar motores de propulsão elétrica na cadeira de rodas de baixo custo no estilo das utilizadas em hospitais, e executar controles por um sistema microcontrolado utilizando baterias recarregáveis para a energização.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

Partiu-se de um protótipo constituído de um veículo didático conforme figura 01 com o sistema de propulsão semelhante ao idealizado, controlado através da prototipagem rápida “Arduino” conforme figura 02, programada com “Sketch”, sua linguagem própria. Controlado por um *Smartphone*, utilizando a tecnologia “*Bluetooth*” conforme figura 03, com um aplicativo conforme figura 04, verificou-se que o carrinho poderia ser direcionado pelo movimento gerado pelos propulsores, sem ter a necessidade de um controle de direção nas rodas dianteiras, podendo deixar as mesmas sem estarem tracionadas. Observando o princípio do funcionamento do protótipo didático, verificou-se que o mesmo poderia ser convertido para movimentar uma cadeira convencional.

Figura 01 - Carrinho Didático



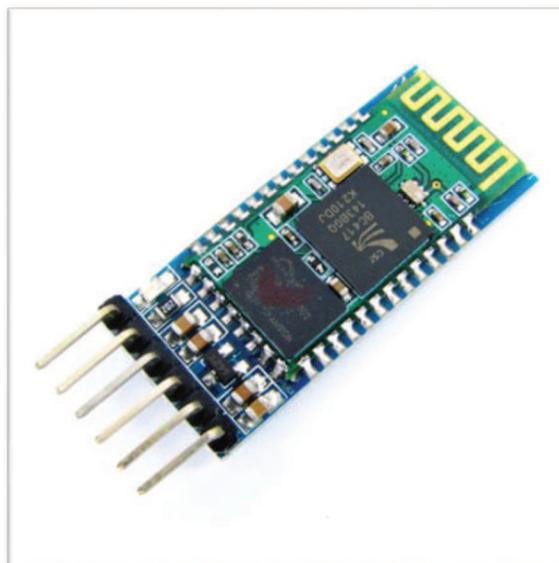
Fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-732268154-chassi-acrilico-robotica-smart-car-2wd-arduino-kit-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-732268154-chassi-acrilico-robotica-smart-car-2wd-arduino-kit-_JM)

Figura 02 Arduino UNO



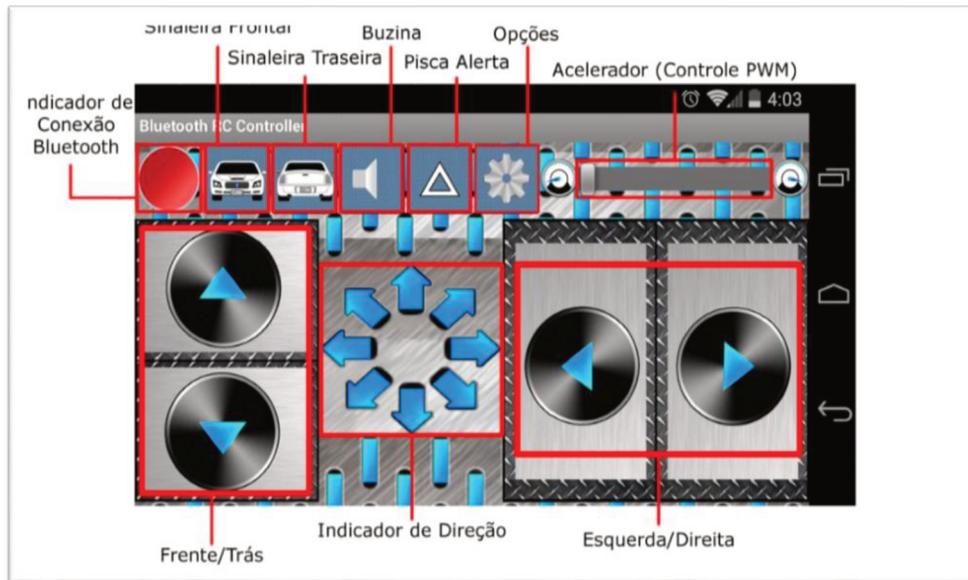
Fonte: [HTTPS://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3](https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3)

Figura 03 – Shield Bluetooth HC05



Fonte: [www.filipeflop.com/produto/modulo-bluetooth-rs232-hc-05/](http://www.filipeflop.com/produto/modulo-bluetooth-rs232-hc-05/)

Figura 04 – Aplicativo para Sistema Android RC Controller



Fonte: <http://blog.usinainfo.com.br/carrinho-arduino-controlado-por-bluetooth-e-sistema-android>

### 1.4.3 Metas

Este projeto tem como meta, viabilizar uma cadeira de rodas motorizada com o custo mais acessível, utilizando motores de limpadores de para-brisa de fusca, duas baterias de nobreak, de 12volts por 9 Ah, com o intuito de fazer a conversão da cadeira convencional, utilizando um microcontrolador “Arduino” placa modelo “UNO”, com as “*shields*” necessárias para comunicação e controle dos motores. O sistema de acoplamento será feito por intermédio de duas catracas de bicicleta, tidas como “contrapedal”, onde acopladas nas rodas da cadeira, e a outra na ponta do motor de limpador de para-brisa. Realizadas as adequações, serão realizados teste de movimento e capacidade de autonomia.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – Sistema Microcontrolado

Segundo a Equipe Usinainfo (2016) “Para fazer um carrinho Arduino, existem algumas possibilidades das quais podem ser: por carrinhos seguidores de linha com sistemas de infravermelho, carrinhos independentes com sistema com sensor ultrassônico e por fim, os carrinhos controláveis por dispositivos de comando externo. Para esse dispositivo de comando externo, utiliza-se Smartphone com sistema operacional Android, uma placa de *Bluetooth*. Nas maiorias das vezes vendido já montado, o Carrinho Arduino *Bluetooth* precisa para seu funcionamento de um aplicativo que comunique com ele , o qual se utilizou o *Bluetooth RC Controller*. Este aplicativo, devido à fácil interpretação e desenvolvimento do código, o qual o mesmo não precisa de bibliotecas adicionais com comandos específicos. Desenvolver este Carrinho Arduino tem suas limitações, para quem não possui uma boa base em programação e que não conheça como funciona as portas padrão do Arduino, ficando assim o projeto mais longo e podendo ter retrabalhos”.

Segundo Souza, Daque e Tedesco (2013) “O Arduino UNO é uma placa de microcontrolador baseado no ATmega328. Possui 14 entradas/saídas digitais, das quais 6 podem ser usados como saídas PWM, 5 entradas analógicas, uma conexão USB, um conector de alimentação, um cabeçalho ICSP, e um botão de reset. Ele contém o necessário para suportar o microcontrolador, bastando conectá-lo a um computador com um cabo USB ou ligá-lo com um adaptador AC para DC ou bateria 09 Volts. O Uno é diferente de todas as placas anteriores as quais não são utilizadas o USB-to-serial”.

### 2.2 – Tipos de cadeiras de rodas motorizadas.

Segundo Vidal, Avila, Lianos(2010) “Cadeiras de rodas motorizadas são necessárias, para usuários que não possuem força nos braços e também para cadeirantes da terceira idade. Esta população que necessita de cadeiras de rodas motorizadas vem aumentando. Gerando assim a necessidade de um produto de custo acessível a esta população. As cadeiras motorizadas encontradas no mercado

possuem um custo que impede o acesso a uma grande parcela desta população. Uma breve pesquisa realizada no mercado nacional mostra que existem poucas marcas de fabricação nacional e essas cadeiras de rodas motorizadas possuem custos que variam de forma às tornarem inacessíveis a uma grande parcela dos usuários. Também podem ser encontradas algumas importadas a um custo superior às nacionais. Os principais modelos observados no mercado são cadeiras com estrutura projetada para motorização, cadeira tipo *scooter* e cadeiras motorizadas com a estrutura de cadeiras manuais. As cadeiras *scooters* podem ser do tipo triciclo ou quadriciclos com tração única no par de rodas traseiras e controle de direção nas rodas dianteiras. As cadeiras com uma estrutura projetada para motorização possuem rodas pequenas para aproveitar melhor a potência dos motores e sistema de transmissão conectado aos eixos da roda motriz. Diante deste panorama, surge a necessidade de cadeiras motorizadas de baixo custo, com peças nacionais que possam aproveitar a estrutura de cadeiras manuais e que permitam conversão da tração motorizada para tração manual quando o cadeirante necessitar”.

### **2.3 – Projeto já realizado**

Segundo Nascimento (2013) “Pesquisadores IFMA, desenvolveram uma cadeira de rodas motorizada à custo baixo. Esse projeto já foi apresentado em um congresso de biomecânica, em Portugal, ainda está em fase de teste e aperfeiçoamento, mas traz esperança para quem depende de uma cadeira de rodas para se locomover. Nascimento, Samuel queria o incentivo na área da robótica. Um professor propôs fazer a cadeira, pois queria ajudar as pessoas como incentivo profissional. O desafio do professor era desenvolver uma cadeira de rodas com motor e de baixo custo. Utilizaram um motor que funciona a bateria e o sistema de controle feito por botões simples. Se fosse fabricada, a cadeira motorizada poderia chegar a custar 25% das presentes no mercado. Um dos alunos da IFMA foi quem inspirou os pesquisadores a fazerem o projeto, o mesmo é deficiente físico e participou dos testes. A pesquisa vai continuar para aprimorar o que já foi desenvolvido até o momento. Nesta nova etapa da pesquisa, professor e aluno querem baratear ainda mais o preço da cadeira”.

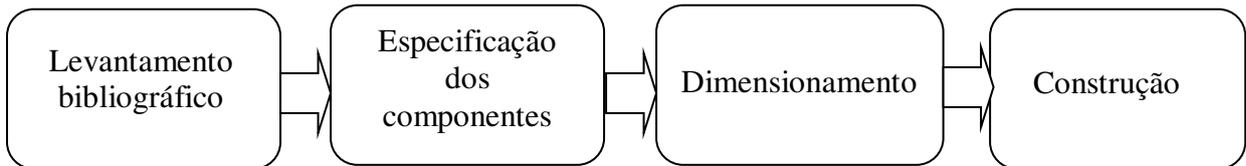
Segundo Girsas (2011) “A execução do trabalho foi realizada pelas seguintes etapas: inicialmente foi feita uma pesquisa relacionada ao tema, analisando as

dificuldades na construção de uma cadeira de roda elétrica e seus componentes, como motores, redução e microcontrolador. Depois das escolhas dos componentes se atentou aos tipos de controle que foram dois, o PID para situações linear e a lógica Fuzzy para as não lineares. Se realizou simulações computacionais para testar os parâmetros como a rotação da redução, a velocidade linear e se utilizou CAD para simular o projeto do chassi dobrável da cadeira de rodas. Para controle dos sensores, se utilizou uma placa Arduino Uno. A cadeira atendeu às especificações do projeto, conseguindo desviar automaticamente de obstáculos que venham a surgir na trajetória determinada pelo usuário, impedindo que o mesmo caísse em buracos no trajeto ou se locomovesse por locais inadequados para cadeirantes (ex.degraus). O desenvolvimento deste projeto mostra que é possível a construção de uma cadeira de rodas motorizadas de baixo custo. O projeto se mostrou quatro vezes inferior ao preço do modelo comercial mais barato no mercado brasileiro. A técnica de controle, proporciona seu movimento brusco no desvio de objetos próximos, e pode ser melhorado com a implementação de um controle melhor, por exemplo PID ou *Fuzzy*, a fim de suavizar este movimento”.

### 3 METODOLOGIA

Para a composição da metodologia, foram levados em consideração diversos aspectos que compõem os métodos necessários para a realização do projeto, sendo estes destacados no fluxograma abaixo e descritos a seguir:

Figura 05 – Fluxograma do Desenvolvimento da Metodologia



Fonte: Autor

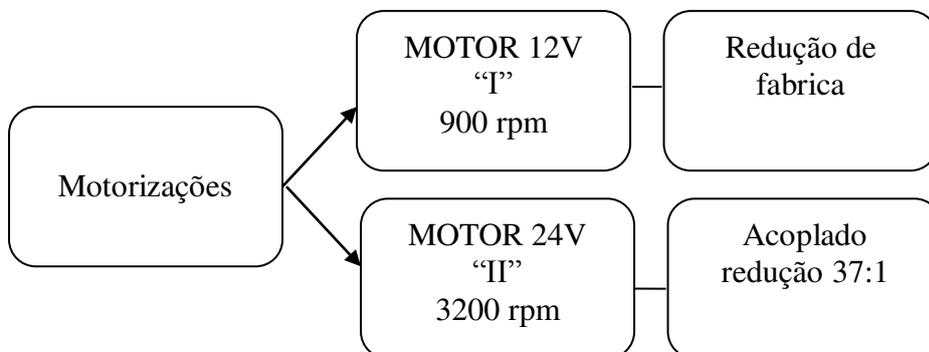
#### 3.1- Levantamento bibliográfico

O início do trabalho foi uma pesquisa bibliográfica, de maneira que se chegou a de trabalhos semelhantes ao proposto por este. Foi de muita valia essa etapa para dar base teórica para o desenvolvimento e confecção da cadeira motorizada, e posteriormente fazer comparações com os dados colhidos.

#### 3.2- Tipos de motores

O motorização e sistema de reduções utilizados neste projeto, serão descritos através dos números romanos I e II, de acordo com o fluxograma, a seguir:

Figura 06 – Fluxograma da Motorização e Redutores



Fonte: Autor

### 3.3- Especificação dos componentes utilizados na construção do protótipo

Após um levantamento realizado, foram listados os componentes a serem utilizados na construção do protótipo. Foram adquiridos os materiais para a realização do mesmo, todos a preço de varejo, para levantar o custo total no final do projeto.

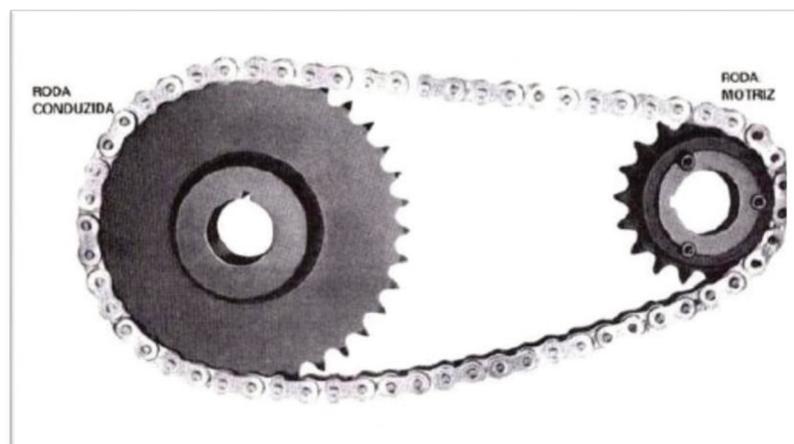
A cadeia de rodas convencional que fez parte dos materiais, não contém sistema de motorização. À partir daí, foram listados os materiais necessários para a construção do protótipo, que podem ser apreciados no quadro 7.

#### 3.3.1- Sistema de transmissão por correntes de rolos

Segundo Alves (2011), sistemas de transmissão em cadeiras de rodas, como um acoplamento mecânico movido através de motores elétricos, se dividem em sistemas de transmissão por corrente de rolos, por correia ou de forma direta.

Conforme descrito por Netto (2011), o melhor é o por corrente de rolos, por possuir um contato superficial que possibilita o engate necessário para transmissão de maneira adequada, como mostrado na figura 07.

Figura 07 - Sistema de Transmissão por Corrente



Fonte: Yamaguti e Araújo(2010)

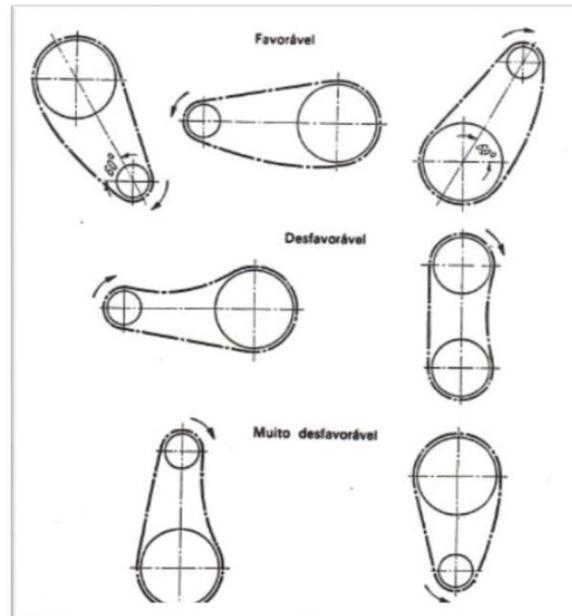
Elementos de máquinas flexíveis, como as correntes, são usadas para transmissão de potência. Como exposto por Niemann (1971), as engrenagens de corrente, necessitam que fiquem num plano e os eixos fiquem paralelos.

Segundo Filho (2009), as características principais desse tipo de transmissão são:

- Adequada para grandes distâncias entre eixos, nas quais seria inviável o uso de engrenagens;
- Transmissão de maior potência, comparada com as correias;
- Comprimento variável, bastando para isso retirar ou acrescentar elos;
- Diminuição da sobrecarga nos mancais;
- Sem perigo de deslizamento;
- Vida útil elevada;
- Alto rendimento;
- Possibilidade de grandes reduções;
- Mais tolerantes quanto ao desalinhamento, se comparado com as correias;
- Operação em condições severas;
- Necessidade de lubrificação e proteção contra sujeiras;
- Trabalho em menores velocidades do que as correias;

Niemann (1971) resume as configurações mais favorável e as menos favoráveis que são utilizadas em transmissões por correntes, mostradas na figura 08;

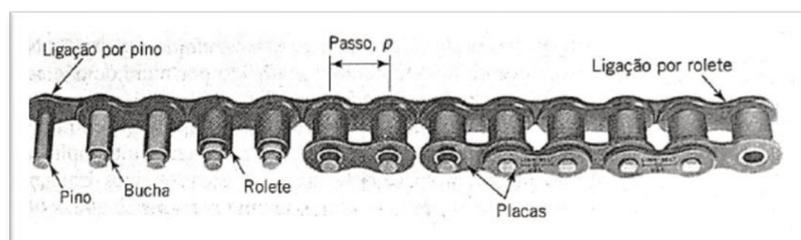
Figura 08 - Disposição para correntes com duas engrenagens e sua transmissão. Disposição dos eixos são horizontais



Fonte: Niemann (1971).

Correntes de rolos possuem dimensões padronizadas pela ANSI (*American National Standards Institute*). As partes principais estão demonstradas na figura 09

Figura 09 - Partes da Corrente de Rolos



Fonte: Faires(1986).

Com um par de elos montados em série. Compostos por quatro partes, duas placas laterais e dois pinos, são os elos (Filho, 2009). A distância entre os centros dos roletes é o passo. O espaço entre as placas internas é a largura, como colocado por Budynas(2016). Os pino, durante a transmissão, suportam os esforços, as buchas e roletes, entretanto, envolvem os pinos e os protegem dos impactos gerados pela movimentação, e finalmente, as placas fixam o conjunto em suas posições. O quadro 01 a seguir, demonstra as dimensões dos tamanhos padronizados pela ASME.

Quadro1 - Padronização pela ASME para dimensões de correntes

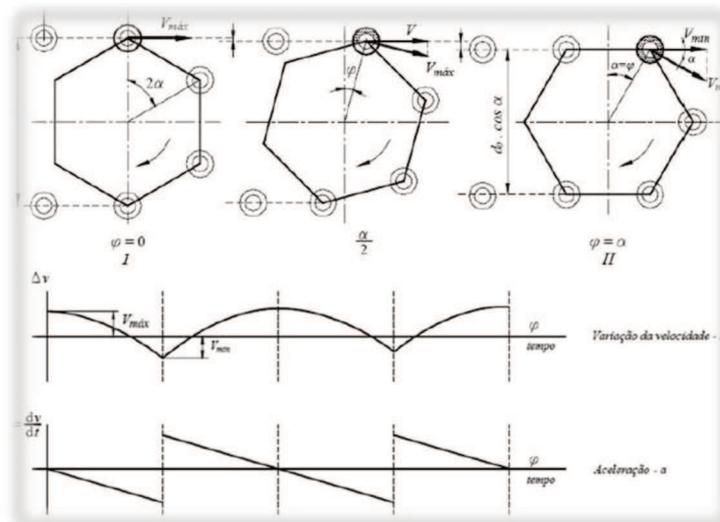
Número da corrente AISI	Passo [mm]	Largura [mm]	Resistência mínima à tração [N]	Peso médio [N/m]	Diâmetro do rolete [mm]	Distância entre correntes múltiplas [mm]
25	6.35	3.18	3470	1.31	3.30	6.40
35	9.52	4.76	7830	3.06	5.08	10.13
41	12.70	6.35	6670	3.65	7.77	-
40	12.70	7.94	13920	6.13	7.92	14.38
50	15.88	9.52	21700	10.1	10.16	18.11
60	19.05	12.70	31300	14.6	11.91	22.78
80	25.40	15.88	55600	25.0	15.87	29.29
100	31.75	19.05	86700	37.7	19.05	35.76
120	38.10	25.40	124500	56.5	22.22	45.44
140	44.45	25.40	169000	72.2	25.40	48.87
160	50.80	31.75	222000	96.5	28.57	58.55
180	57.15	35.71	280000	132.2	35.71	65.84
200	63.50	38.10	347000	160	39.67	71.55
240	76.70	47.63	498000	239	47.62	87.83

Fonte: Filho (2009)

A transferência entre corrente e engrenagem se completam através do encaixe entre os dentes da engrenagem e os elos da corrente. Apoiada como um polígono, fica a corrente, como Filho (2009) relata. Assim que assentada na roda dentada, a linha da corrente muda sua posição em relação ao centro de rotação da engrenagem.

Como colocado por Budynas (2016), a linha da corrente está se movimentando para cima e para baixo e o braço de alavanca varia com a rotação ao longo do ângulo do passo. Lembrando que aceleração é variação de velocidade, e como a primeira lei de Newton relata, aceleração significa força. Devido a ação poligonal, são observados variações na velocidade e força de transmissão, gerando atrito, choque e menor eficiência de transmissão, como visto na figura 10 a seguir.

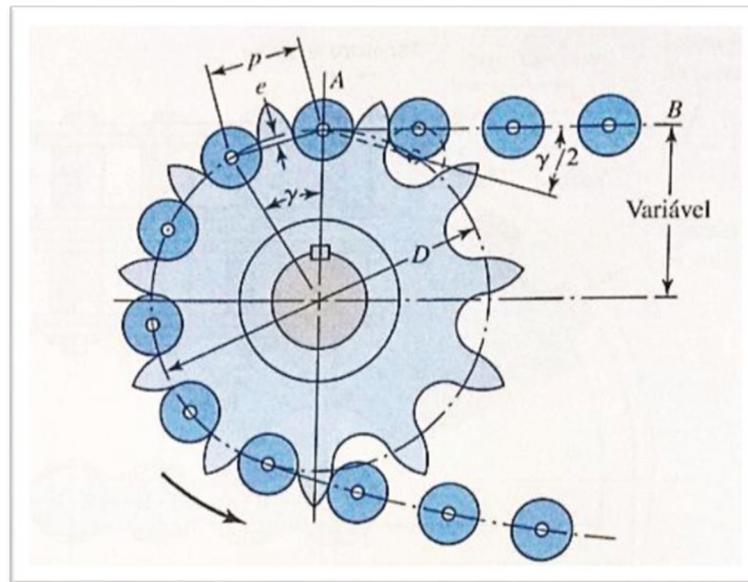
Figura 10– Ação poligonal na velocidade e aceleração de uma corrente em transmissão



Fonte: Filho (2009).

A corrente e seus elos, com o movimento que realizam sobre a roda dentada, geram um ângulo, como visto na (Figura 11), apreciado como ângulo de articulação, de maneira que forma a força de atrito nos elos da corrente, causando um desgaste nas buchas. De acordo como o número de dentes é o ângulo. A rotação do elo por ângulo provoca impacto entre os rolos e dentes da roda dentada. Isso soma ainda mais para o desgaste nas juntas da corrente (Budynas, 2016).

Figura 11 - Articulação da corrente sobre uma roda dentada com ângulo



Fonte: (Budynas, 2006).

### 3.3.2- Redutor de velocidade

Na maioria das vezes, o motor não pode ir diretamente acoplado ao sistema de transmissão, devido ao torque e velocidade que possui. Como descrito por Júnior (2002), o que se quer, é transmitir um determinado torque e realizar um determinado esforço. Para atender a esses fins, os redutores devem ser desenvolvidos conforme projeto.

Redutor é feito por um conjunto de eixos com engrenagens, que servem para reduzir a velocidade de rotação de um sistema de movimento do equipamento. Em contrapartida, com a redução da velocidade, aumenta o torque.

Comumente, projetos mecânicos, tem os motores trabalhando em velocidades acima do que necessitam suas aplicações, nesse sentido, conjunto de transmissão por engrenagens são chamados de redutores. Como motores elétricos, trabalham

normalmente em uma faixa de rotação entre 870 e 3600 rpm, havendo a necessidade do uso de um redutor.

Com o possível controle de velocidade dos motores em geral, a principal função do redutor de velocidade deixou de ser importante (Junior, 2002). Não levando em conta a perda por atrito durante o encaixe, um redutor pode fornecer o torque de saída muitas vezes maior que o torque do motor. Dessa forma, pode-se utilizar motores menores.

A parte principal dos redutores é as engrenagens. Através delas, a velocidade de rotação da transmissão é reduzida devido ao contato entre as de menor e maior número de dentes.

Podem ser de dentes retos ou helicoidais, as engrenagens, onde dentes retos são fabricados de maneira mais simples e dessa maneira, reduz o custo, já os helicoidais são utilizados nos redutores quando se quer reduzir a vibração e o ruído do equipamento, e a potência é transmitida de forma mais homogênea, sendo comum a utilização dos dois juntos, para conseguir uma melhor eficiência com menos volume.

A variação dos redutores pode ser de acordo com: potência do motor, sua velocidade e o torque desejado.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Para conseguir dimensionar e confeccionar os componentes para a motorização da cadeira de rodas, utilizou-se de diversas habilidades e conhecimento, absorvidos ao longo da formação. Essas capacidades foram apresentadas no corpo teórico desta seção do trabalho, incluindo todas as partes de construção, sendo dividida entre elétrica e mecânica.

Sistema mecânico:

- Acoplamento da coroa (catraca contra pedal) no cubo da roda cadeira convencional
- Fixação do suporte para o sistema moto/redutor
- Montagem do suporte para o sistema de controle e bateria.
- Furação para a fixação do motor e do redutor.
- Sistema de comando pinhãoXcatracaXcorrente

Sistema elétrico:

- Colocação dos conectores tipo XT60
- Acondicionamento das baterias
- Montagem dos componentes eletrônicos

### 4.1-Sistema Mecânico

O sistema mecânico, na construção desse projeto, conferiu toda a estrutura necessária para o seu funcionamento. Demonstrando a base para os componentes descritos abaixo, que compõem o conjunto mecânico:

✓ **1.º Passo:** Fixação da coroa ao cubo da roda.

Como a coroa escolhida foi uma catraca de bicicleta contra-pedal, a mesma já possui o diâmetro necessário para o encaixe ao cubo da roda, porém, se fez necessário a fixação dela com pingos de solda Mig, pois o cubo da roda da cadeira era sem rosca. Foram escolhidos pingos de solda em vez de cordão, para evitar a deformação do cubo, tirando sua excentricidade.

Figura 12 - Coroa (Catraca Contra-pedal) Fixada com Solda ao Cubo



Fonte: O Autor

✓ **2.º Passo:** Furação da chapa suporte do motor x redutor

As primeiras furações foram feitas para o motor I. Foi feita uma marcação central para a passagem do eixo de saída do redutor. Em seguida traçado três riscos separados em ângulo de  $120^\circ$ , e feito a marcação de 25mm em cada um desses riscos, partindo da marcação central. Eles são responsáveis pela fixação do motor/redutor. Para a furação central, foi utilizado uma serra copo de 1" 5/16", com uma broca de centro de 5mm, e uma furadeira elétrica estilo *hobby*. Os três furos de fixação foram executados com a furadeira *hobby* e uma broca de aço de diâmetro de 6mm.

Nas furações secundárias, que foram realizadas para a fixação do motor II, as marcações ficaram diferentes em relação as do motor I, pois a redução do motor II não acopla diretamente. O acoplamento é feito através de polia e correia. Considerando isso, se fez necessário uma nova marcação para a furação, onde se levou em conta o sistema de polia e correia, para que o mesmo não encostasse na estrutura da cadeira. Partindo da estrutura tubular da cadeira onde a chapa de aço já estava fixada com cordões parciais de solda de eletrodo revestido, foi marcado a distância de 85mm em ambas as extremidades da chapa. Traçou-se uma reta entre esses dois pontos, tomando como referência a extremidade superior e realizou-se a marcação de 14mm na linha da marcação anterior. Após, foi marcado na extremidade horizontal afim de traçar uma reta perpendicular à outra. Pegando-se essa linha como referência, marcou-se 85mm na outra extremidade e dois pontos distintos de maneira a traçar uma reta paralela à anterior. Partindo do cruzamento das retas perpendiculares, marcou-se a distância de 50mm na reta horizontal, tanto a superior como a inferior, obtendo assim as quatro marcações para o furo de fixação do redutor. Visando a distância para que a polia não encostasse na estrutura da cadeira, foi realizada a furação com a serra copo de 1"5/16", esta furação é para a fixação do redutor.

Figura 13 - Chapa Suporte Motor / Redutor.



Fonte: O Autor

✓ **3.º Passo:** Montagem sistema de acoplamento.

Para acondicionamento do motor II, foi feito um suporte utilizando-se duas chapas, uma com 190X50X3mm e a outra com 170X50X3mm. A primeira foi dobrada em formato U, utilizando-se uma morsa e um martelo. A marcação para a dobra foi de 50mm, partindo da extremidade de ambos os lados, para que a base ficasse com 90mm, que é o comprimento do corpo do motor. A segunda foi dobrada em formato L, partindo com 70mm da extremidade. Depois das dobras foi feita a união de ambas através de cordão de solda Mig. A posição para a fixação levou em conta o encaixe que a chapa dobrada em L faria com o redutor, e a centralização da polia com o eixo do motor.

Depois da união das duas peças, foi realizado a marcação para os furos de acondicionamento do motor. Marcou-se o centro do lado dobrado em U, que ficou com aproximadamente 50X50mm. Partindo dessa marcação foi feito três traços em ângulo de 120º, e em cada linha traçada foi marcado a distância partindo do centro de 20mm. Para furação foi utilizado uma broca de aço de 5mm e uma furadeira radial de bancada. Para a furação do centro utilizou-se uma broca de aço de 15mm e a mesma furadeira radial de bancada.

Figura 14– Chapa Suporte.



Fonte: O Autor

Figura 15 – Chapa Suporte



Fonte: O Autor

Para a furação da chapa dobrada em L, onde ocorre a fixação do redutor, foi preciso colocar o motor II e os três parafusos sextavados de 4mm de diâmetro que prendiam o mesmo, junto com a polia para encaixe desse motor (polia de máquina de lavar com furo sextavado no centro, o motor sofreu um pequeno desbaste da ponta do eixo de maneira que este encaixasse no furo da mesma). Posicionado a correia 3L 190 na polia do motor II e na polia do redutor, posicionou-se de maneira que a correia ficasse com a tensão adequada para a transmissão. Foi feita uma marca na direção do furo roscado do redutor, tanto pela parte inferior da chapa, que marcou 15mm quanto a lateral da mesma, que marcou 10mm, onde foi marcado o lado oposto com os mesmos 10mm para poder-se traçar uma reta. Com a marcação dos 15mm achou-se o centro do primeiro furo, bem como os furos do redutor são roscados e tem 60mm entre seus centros. Foi transferida a mesma medida para a chapa. Na marcação do traço que tem 10mm partindo da parte inferior, foi marcado no lado perpendicular da chapa em L os mesmos 10mm, onde foi traçado uma reta, e na distância de 10mm, foi feita a marcação do centro do terceiro furo. Utilizou-se uma broca de aço de 6mm, junto com uma furadeira *hobby* para obter-se os três

furos. Após foi fixado o redutor com três parafusos sextavados de diâmetro 5mm, juntamente com a correia, obtendo-se assim um sistema de transmissão.

Figura 16 – Redutor 37:1



Fonte: O Autor

Figura 17 – Redutor 37:1



Fonte: O Autor

Figura 18 – Parte Frontal Motor



Fonte: O Autor

Figura 19 – Motor Fixado ao Suporte



Fonte: O Autor

Figura 20 – Polia do Motor



Fonte: O Autor

Figura 21 – Polia do Motor



Fonte: O Autor

Figura 22– Correia



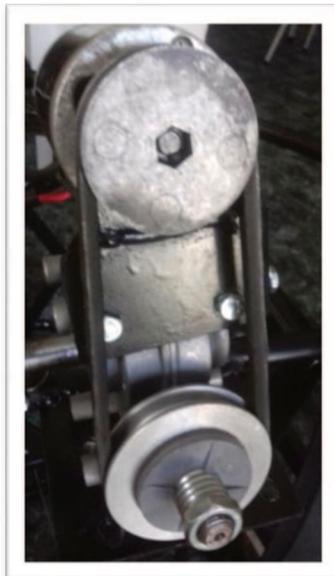
Fonte: O autor

Figura 23 – Correia



Fonte: O autor

Figura 24 – Sistema Moto-Redutor



Fonte: O Autor

Figura 25 – Sistema Moto-Redutor



Fonte: O Autor

✓ **4.º Passo:** Teste do Sistema moto-redutor.

O teste do sistema de transmissão foi realizado sem estar fixado à cadeira, colocando-se as duas baterias em série. Para conseguir-se os 24 volts desejados, alimentaram-se os terminais positivo e negativo do motor. O mesmo girou de maneira a fazer o sistema de acoplamento por polia e correia funcionar de acordo. Mediu-se a corrente através de um multímetro, obtendo-se o valor de corrente por amperes de 4,8A, o qual ficou maior que o nominal do motor segundo o fabricante, que sem carga é de 4,17A. Em seguida, foi montado o sistema de transmissão na estrutura da cadeira de rodas, onde, a mesma já estava previamente preparada para recebê-lo. Após, foi feito o acoplamento da coroa da roda ao pinhão do sistema moto/redutor, através de uma corrente, onde a mesma foi dimensionada com os sistemas no lugar. Foi utilizada a corrente de rolos simples, e para obter o melhor aproveitamento de tensão, levou-se em conta que a corrente dos dois lados, ficassem com o mesmo tamanho para não influenciar a velocidade angular dos mesmos. Assim, o sistema ficou equivalente em ambos os lados, fazendo com que a cadeira movimentasse em linha reta. Utilizando-se as baterias ligadas em série, verificou-se o sentido de rotação de cada roda, onde conectou-se os polos invertidos em relação ao outro motor, afim delas girarem na mesma direção. Após essa verificação, foi colocada uma pessoa de 100 Kg na cadeira e conectado os motores à bateria. A mesma andou em linha reta, contemplando assim o estudo inicial e experimental, comprovando que o sistema se torna viável neste projeto. A amperagem obtida de consumo foi de 11A.

Figura 26 – Corrente de Rolos



Fonte: O Autor

Figura 27 – Acoplamento Sistema Moto-Redutor



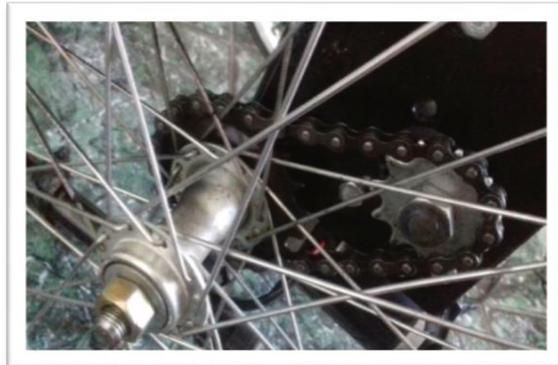
Fonte: O Autor

Figura 28 – Sistema Moto-Redutor Acoplado



Fonte: O Autor

Figura 29 – Acoplamento Coroa-Pinhão



Fonte: O Autor

✓ **5.º Passo:** Montagem do sistema eletrônico de controle.

Para a confecção do sistema de controle eletrônico foram utilizados: uma placa Arduino Uno, onde a mesma recebe a programação para executar o controle, que pode ser transmitido via smartphone, onde uma *shield Bluetooth* HC06 recebe os dados de um aplicativo *RC Controller* e faz a comunicação com a placa Arduino Uno. Ou pode ser transmitido através de sinal por chaves *switch* presentes em um *joystick* (figura 36) estilo fliperama e este se comunica direto com a placa Arduino. Utilizou-se um cabo USB com cinco vias, uma delas era o comum para as quatro chaves e as outras quatro vias à saída de cada chave. Na lateral da caixa do sistema eletrônico (figura 37) de comando foi fixado um plugue fêmea USB, e o mesmo conectado à placa Arduino Uno nas suas respectivas entradas. O *joystick* foi

adaptado a um braço de suporte de TV antigo (figuras 41 e 42) e o movimento dos motores é controlado através de dois *drivers* de motor DC modelo IBT2, com comandados via saída PWM da placa Arduino (figura 33). Esses *drivers* têm a capacidade de suportar picos de corrente de aproximadamente 50ampères. O *driver* recebe a alimentação direta das baterias ligadas em série (figura 39), e aguenta tensão de até 37 volts DC nesses *bornes*. A alimentação de controle e funcionamento do driver vem da placa Arduino, que gera os 5 volts necessários para seu funcionamento. A alimentação da placa Arduino vem das saídas de uma das duas baterias ligadas em série. O polo negativo vai direto para o conector e o polo positivo passa por um interruptor, onde, pode ligar e desligar o sistema de controle (figura 38), gerando assim os 12volts necessário para o funcionamento da mesma. Foi utilizado um cabo com o conector apropriado para a placa. A entrada dos 24 volts para os *drivers* foram feitas com um cabo paralelo de 4mm<sup>2</sup> de bitola vindo direto da chave geral de duas vias acoplada a caixa hermética (figura 38), onde as baterias são acondicionadas. Para a ligação dessa chave nas baterias, foi utilizado os conectores macho e fêmea XT60 (figuras 34 e 35), para o sistema ficar destacável. As saídas dos *drivers* para os motores foram feitas com o cabo paralelo de bitola 4mm<sup>2</sup>. Na ponta para se conectar aos motores, foi utilizado o conector fêmea tipo XT60, e o macho na saída do motor, assim o sistema eletrônico poderia ser retirado facilmente da cadeira, deixando a mesma apta para seu fechamento convencional e possibilitando o transporte em um porta mala de carro. As placas dos *drivers*, o Arduino Uno e a *shield Bluetooth*, foram alocados dentro da caixa hermética de tamanho 160X110X75mm (figuras 32 e 33). Para o encaixe das baterias, foi utilizada a caixa hermética de tamanho 240X180X95mm (figura 30). Colocou-se um plugue para conectar o carregador inteligente sendo utilizado uma tomada de fonte de computador, que tem os três pinos chatos (figura 38). A chave geral, que é um interruptor de contato duplo, com capacidade de corrente de 30A, foi fixado na caixa, centralizado e na parte inferior da lateral (figura 38). Como suporte para as caixas foram utilizadas duas barras chatas obtidas a partir da barra de 1060X25X3mm, a qual foi cortada ao meio, obtendo-se duas de 530X25X3mm. Verificou-se que a distância entre as barras tubulares inferiores da cadeira, quando a mesma aberta para uso, tem uma distância entre suas faces externas de 446mm. Conclui-se que as barras de suporte para as caixas herméticas devem ser dobradas em formato U, deixando o seu centro com aproximadamente 450mm. Os 4mm de diferença servem

para que o encaixa da barra em U não fique justo às barras tubulares da cadeira. A marcação para a dobra da barra, foi de 40mm partindo das suas extremidades, onde utilizou-se uma morsa de bancada e um martelo de 1 Kg para fazer as dobras. Para a furação de fixação das caixas herméticas, primeiramente foram abertos furos nas marcações que já existiam nas caixas (figura 30). Depois, foram colocadas em paralelo as barras em U. Centralizou-se as caixas nas barras, e seus furos foram estampados na direção das barras. Marcaram-se os oito furos pela parte superior das caixas herméticas, os furos foram feitos com uma broca de aço de 5mm e as caixas foram fixadas com oitos parafusos cabeça lisa e de diâmetro de rosca de 4mm (figura 31).

Figura 30 – Caixa Hermética e Parafusos



Fonte: O Autor

Figura 31 – Suporte tipo U



Fonte: O Autor

Figura 32– Arduino Acondicionado



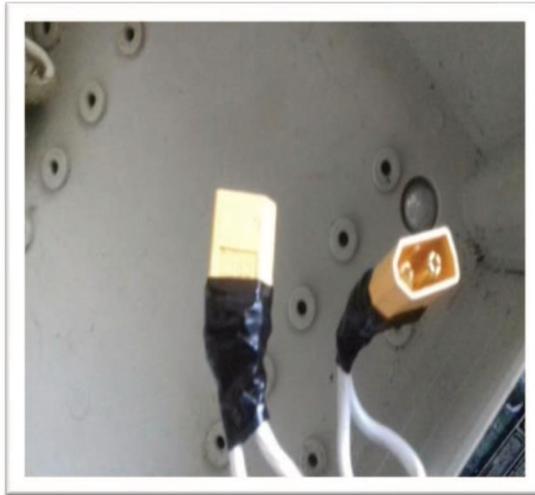
Fonte: O Autor

Figura 33– Acondicionamento Sistema Eletrônico



Fonte: O autor

Figura 34 – PlugueMacho XT60



Fonte: O Autor

Figura 35 – PlugueFêmea XT60



Fonte: O Autor

Figura 36 – Comando tipo *Joystick*



Fonte: O Autor

Figura 37 – Entrada USB para o Comando



Fonte: O Autor

Figura 38 – Conector para Carregador e Botões de Acionamento



Fonte: O Autor

Figura 39 – Acondicionamento Baterias



Fonte: O Autor

Figura 40 – Carregador 24volts



Fonte: O Autor

Figura 41 – Lado Esquerdo de um Suporte de TV Vista Frontal



Fonte: O Autor

Figura 42 – Lado Esquerdo de um Suporte de TV Vista Lateral



Fonte: O Autor

#### 4.1.1-Verificação de viabilidade da corrente

Foi levado em conta o sistema de coroa e pinhão. O pinhão utilizado na saída do redutor, foi de 11 dentes, sendo que na coroa fixada ao cubo da roda, tem 19 dentes. A corrente de rolos simples, lembrando que o projeto tem como viés o custo mais baixo, onde foi considerado, que o dimensionamento não foi feito nessas tramitações e sim parte de uma base de dados do projeto onde foi especificado a corrente e engrenagens a serem usadas.

Basicamente, devem ser calculadas as potências de projeto ( $P_p$ ) e potência transmitida ( $P_t$ ). Se a potência transmitida pela corrente for maior que a potência de projeto, a corrente pode ser utilizada na transmissão. As equações que seguem, utilizam números adimensionais, de maneira que se aproximam os cálculos teóricos a resultados experimentais desenvolvidos pelos estudiosos da área de projetos mecânicos.

Primeiramente, com base no fator de serviço, calcula-se a potência de projeto.

$$P_p = (\text{Fator de serviço}).Pot \quad (01)$$

$Pot$  nesta equação equivale à potência necessária para movimentação da cadeira de rodas.

Quadro2 – Fator de Serviço para Transmissão de Corrente.

	Máquina motriz		
	Transmissão com motor elétrico	Turbina, máquina de êmbolo com vários cilindros	Máquina de êmbolo com um cilindro
Máquina de trabalho <i>Carregamento quase sem choque:</i> geradores, elevadores leves, acionamentos auxiliares para máquinas operatrizes	1	1,25	1,50
<i>Carregamento com choques médios:</i> guindastes, elevadores pesados, acionamento principal das máquinas operatrizes	1,25	1,50	1,75
<i>Carregamento com choques violentos:</i> acionamentos de laminadores, prensas, tesouras, bombas de êmbolo, escavadeira	1,75	2,0	2,25

Fonte: Niemann (1971).

O quadro 2, determina pelo fator o coeficiente de serviço como função da máquina motriz e a severidade do acionamento. Com base no quadro 02, se verifica que esse coeficiente é igual à unidade. Com o o sistema mecânico é considerado de carga leve. Nessas condições, se obtém:

$$P_p = 1 \times P_{ot}$$

Como o motor utilizado é de 100 W, encontra-se o valor da potência de projeto.

$$P_p = 1 \times 100W$$

$$P_p = 100W$$

➤ Cálculo da capacidade de transmissão de corrente

A formula dada para a obtenção da potência capaz ( $P_c$ ) de transmitir o conjunto corrente e rodas dentadas é:

$$P_c = P_s \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (02)$$

$P_s$  (Potencia simples) é fornecida, em HP, pelo quadro a seguir. Os números de entrada de rotação para o pinhão em rpm que valem 55, e o número ANSI da corrente simples que será utilizada é 40. Cruzando esses valores com o quadro3, achamos o  $P_s$  de 0,37.

Quadro 3 – Capacidade de Transmissão de Carga de Corrente de Rolos

Relação do pinhão / [mm]	25	35	40	41	50	60	80	100	120	140	160	180	200	240
50	0.05	0.16	0.37	0.20	0.72	1.24	2.88	5.52	9.33	14.4	20.9	28.9	38.4	61.8
100	0.09	0.29	0.69	0.38	1.34	2.31	5.38	10.3	17.4	26.9	39.1	54.0	71.6	115
150	0.13	0.41	0.99	0.55	1.92	3.32	7.75	14.8	25.1	38.8	56.3	77.7	103	166
200	0.16	0.54	1.29	0.71	2.50	4.30	10.0	19.2	32.5	50.3	72.9	101	134	215
300	0.23	0.78	1.85	1.02	3.61	6.20	14.5	27.7	46.8	72.4	105	145	193	310
400	0.30	1.01	2.40	1.32	4.67	8.03	18.7	35.9	60.6	93.8	136	188	249	359
500	0.37	1.24	2.93	1.61	5.71	9.81	22.9	43.9	74.1	115	166	204	222	
600	0.44	1.46	3.45	1.90	6.72	11.6	27.0	51.7	87.3	127	141	155	169	
700	0.50	1.68	3.97	2.18	7.73	13.3	31.0	59.4	89.0	101	112	123		
800	0.56	1.89	4.48	2.46	8.71	15.0	35.0	65.0	72.8	82.4	91.7	101		
900	0.62	2.10	4.98	2.74	9.69	16.7	39.9	52.8	61.0	69.1	76.8	84.4		
1000	0.68	2.31	5.48	3.01	10.7	18.3	37.7	45.0	52.1	59.0	65.6	72.1		
1200	0.81	2.73	6.45	3.29	12.6	21.6	28.7	34.3	39.6	44.9	49.9			
1400	0.93	3.13	7.41	2.61	14.4	18.1	22.7	27.2	31.5	35.6				
1600	1.05	3.53	8.36	2.14	12.8	14.8	18.6	22.3	25.8					
1800	1.16	3.93	8.96	1.79	10.7	12.4	15.6	18.7	21.6					
2000	1.27	4.32	7.72	1.52	9.23	10.6	13.3	15.9						
2500	1.56	5.28	5.51	1.10	6.58	7.57	9.56	0.40						
3000	1.84	5.64	4.17	0.83	4.98	5.76	7.25							
<i>Tipo A</i>	<i>Tipo B</i>			<i>Tipo C</i>				<i>Tipo C'</i>						

Observação: *Tipo A* → Lubrificação manual ou gotejamento.  
*Tipo B* → Lubrificação de disco ou banho.  
*Tipo C* → Lubrificação de óleo corrente.  
*Tipo C'* → Lubrificação idêntica a do tipo C, porém de mais difícil acesso; recomenda-se procurar o fabricante.

Fonte: Filho (2009).

Esses valores como são experimentais, precisam ser corrigidos, surgindo a problemática dos coeficientes  $k_1$  e  $k_2$ , que é o fator de correção para o número de dentes do pinhão, sendo que neste projeto possuem 11 dentes esse fator equivale à 0,53.

Quadro4– Fator de Correção para o Número de Dentes do Pinhão.

Número de dentes do pinhão ( $z_p$ )	Fator de correção do número de dentes ( $k_1$ )	Número de dentes do pinhão ( $z_p$ )	Fator de correção do número de dentes ( $k_1$ )
11	0.53	22	1.29
12	0.62	23	1.35
13	0.70	24	1.41
14	0.78	25	1.46
15	0.85	30	1.73
16	0.92	35	1.95
17	1.00	40	2.15
18	1.05	45	2.37
19	1.11	50	2.51
20	1.18	55	2.66
21	1.26	60	2.80

Fonte: Filho (2009).

O fator  $k_2$ , entretanto, se dá pela relação do número de correntes utilizadas. Nesse caso, a corrente utilizada foi a simples, sendo assim o valor de  $k_2$  é 1, como pode ser observado no quadro abaixo.

Quadro 5 – Fator de Correção para o Número de Correntes.

<i>Número de correntes</i>	<i>Fator de correção - <math>k_2</math></i>
1 - simples	1.0
2 - dupla	1.7
3 - tripla	2.5
4 - quádrupla	3.3
5 - quádrupla	3.9
6 - sextupla	4.6
8 - óctupla	6.0

Fonte: Filho (2009).

Com todas essas informações obtidas, pode-se calcular a potência capaz de ser transmitida pela configuração de corrente que se possui.

$$P_c = P_s \cdot 0,53.1$$

$$P_c = 0,37 \cdot 0,53.1$$

$$P_c = 0,1961 \text{ HP} \longrightarrow 0,1961 \cdot 745,7 = 146,23$$

$$P_c = 146,23 \text{ W} \quad (03)$$

✓ Validação

Como o valor de  $P_p$  comparado com o  $P_c$ , obtêm-se:

$$P_c > P_p$$

Dessa maneira, fica comprovado que a configuração de corrente possuída é capaz de transmitir o torque necessário para a roda da cadeira.

#### 4.1.2-Verificação de viabilidade da utilização do redutor

O redutor adquirido para o projeto é produzido em escala e já vem com o sistema de acoplamento, com roda dentada na saída, apropriada para ser aproveitado na coroa fixada no cubo da roda, o mesmo já estava adequado para o motor I, e é de 37:1. Com isso o torque gerado por este sistema, é maior que o torque necessário para mover a cadeira com uma carga de 140 Kg, em terreno liso. Serão utilizados alguns cálculos para a validação desse projeto.

Motor II cálculo do torque:

$$Pot = \frac{T.n}{9549} \rightarrow T = Pot \cdot \frac{9549}{n}$$

$$T = 0,100 \cdot \frac{9549}{3200} = 0,298 \text{ N.m} \quad (04)$$

- ✓ Cálculo do aumento de torque proporcionado pelo redutor

Com base no torque do motor e a na relação de redução, foi possível verificar qual seria o aumento de torque proporcional.

$$T = 0,298 \cdot 37 = 11,03 \text{ N.m} \quad (05)$$

- ✓ Cálculo do torque necessário para uma carga de 140 Kg

Pfaffenzeller, Pacheco e Santos (2004), coloca que uma cadeira de rodas para sair de sua inércia, com aproximadamente 140 Kg e atingir uma velocidade média de 2 km/h, levando em conta o tempo de 4 segundos para alcançar a velocidade média em um terreno plano e liso, deve ter o torque de 5,926 N.m. Segundo o cálculo descrito a seguir.

$$d = 24'' = 0,609\text{m}$$

$$v = \frac{2\text{km}}{h} = \frac{0,55\text{m}}{s}$$

$$v = \pi \cdot d \cdot \frac{N}{60}, \text{ logo:}$$

$$N = v \cdot \frac{60}{d \cdot \pi} = 0,55 \cdot \frac{60}{0,609 \cdot \pi} = 17,4365 \text{ rpm} \quad (06)$$

$$a = \frac{v}{t} = \frac{0,55}{4} = 0,139\text{m/s}^2 \quad (07)$$

$$Ft = m \cdot a \rightarrow 140 \cdot 0,139 = 19,46 \text{ N} \quad (08)$$

$$T = Ft \cdot r \rightarrow 19,46 \cdot 0,3045 = 5,926 \text{ N.m} \quad (09)$$

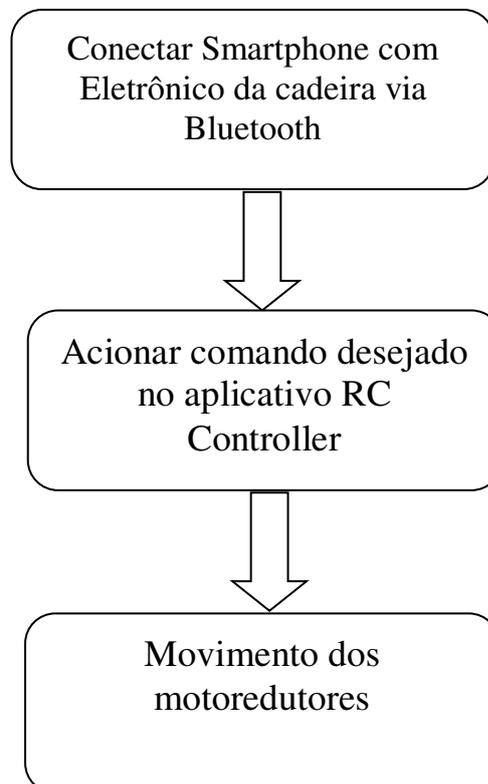
✓ Validação

Aumento de torque promovido pela redução > Torque necessário para uma carga de 140 kg.

#### 4.2-Sistemas de comandos

✓ Comando pelo aplicativo de Smartphone

Figura 43 – Fluxograma de Comando Smartphone

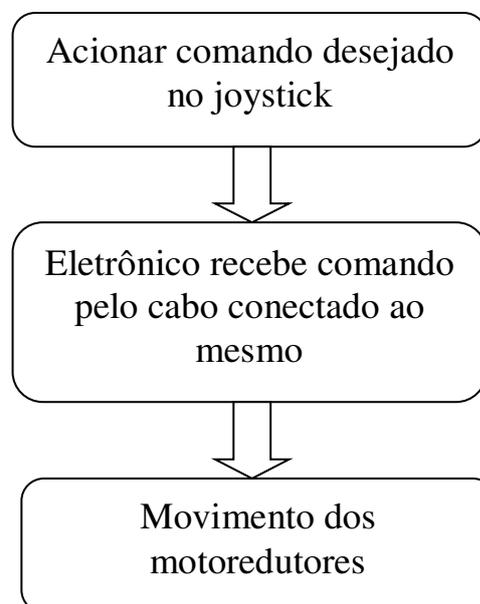


Fonte: O Autor

O controle da cadeira de rodas através de um smartphone acontece pela conexão do *Bluetooth* do mesmo com a *shield Bluetooth HC06*, que está conectada à placa Arduino Uno, devidamente programada com os as pré-configurações que o aplicativo define. Para o envio dos caracteres, que dentro do *sketch* da placa Arduino, executam uma função, a mesma comanda os *drivers* IBT2 através de saídas PWM da placa Arduino. Esses *drivers*, são responsáveis por enviar as tensões necessárias para a movimentação dos motores, fazendo com que eles girem em sentido horário ou anti-horário, de acordo com o comando recebido pelo aplicativo. Se, por exemplo, apertar o sinal frente, os motores recebem dos *drivers* a tensão para movimentarem a cadeira, com as duas rodas girando em sentido horário. Se for o sinal para trás, as duas recebem a tensão para girar em sentido anti-horário e se recebem o sinal esquerda, a roda da direita gira horário e a roda esquerda anti-horário. Com o sinal para direita é o inverso.

✓ Comando pelo *joystick*

Figura 44 – Fluxograma de Comando Joystick



Fonte: O Autor

Quando a cadeira é comandada pelo *joystick*, a placa Arduino recebe sinal através de um cabo USB que está conectado ao *joystick*. Esse cabo tem cinco vias, sendo que uma via é utilizada para o sinal comum, que está

conectada às chaves *switch* do controle. O comum utilizado é o *gnd* gerado da placa Arduino. As outras quatro vias estão conectadas em quatro plugues I/O da placa Arduino em sequência dos pinos de número 2,3,4 e 5, onde são responsáveis pelos comandos frente, trás, direita e esquerda, devidamente programada junto à *sketch* da placa Arduino que faz o controle pelo *smartphone*. Posicionando-se o comando do *joystick* para frente, a placa Arduino recebe o sinal *gnd* no pino relacionado e comanda os *drivers* dos motores através das saídas PWM, fazendo com que as rodas da cadeira girem em sentido horário. Posicionando o comando para trás, a placa recebe o sinal ao pino relacionado e os *drivers* fazem os motores girarem as rodas em sentido anti-horário. Quando posicionado o comando para o lado direito o Arduino recebe o sinal no pino relacionado, onde os *drivers* movimentam os motores, o da roda esquerda no sentido horário e o da roda direita em sentido anti-horário. Quando posicionado o comando para a esquerda faz-se o inverso do comando anterior. Na programação *sketch* no Arduino, o comando do *joystick* interage com o comando que é feito pelo *smartphone*, podendo assim simultaneamente comandar tanto pelo *joystick* quanto pelo *smartphone*. A interação também acontece quando se pode alterar a velocidade da cadeira pelo aplicativo e o *joystick* fica nessa mesma velocidade.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse tópico tem como finalidade, apresentar resultados de testes que foram feitos com o protótipo. Além dos testes, serão mostrados a comparação do protótipo da cadeira motorizada com uma já existente no mercado. Será mostrado ao final o orçamento utilizado para a confecção. Segue os tópicos a serem tratados:

- Testes de eficiência com os motores I e II
- Teste de velocidade sem carga e atrito
- Teste de velocidade com carga e atrito
- Teste de autonomia da Bateria
- Teste dos sistemas de controle
- Comparação do protótipo com uma cadeira de rodas já comercializada
- Orçamento

### 5.1 Testes de eficiência com os motores I e II

Utilizou-se essa nomenclatura de número romano, como descrito na figura do tópico 3.2. O motor I não desempenhou eficiência aceitável, pois o mesmo não conseguiu movimentar a cadeira sem carga, e superaqueceu, por isso foram descartados os detalhamentos com esse motor. Com estudos feitos sobre torque, conseguiu-se chegar na capacidade do motor I, e o mesmo gerou um torque de aproximadamente 2 N.m, e uma corrente de 7 Ah. Após detectar a inviabilidade do motor I, partiu-se para um reprojeto, que de acordo com os cálculos sobre o torque necessário para movimentar a cadeira, como mostra a equação 09 presente no tópico 4.1.2, com uma carga de 125 Kg, foi feita uma pesquisa e chegou-se ao motor II, que junto com o redutor encontrado pela pesquisa, chegou-se ao sistema adequado para mover-se a carga desejada. O torque gerado foi de 11,03 N.m e com um consumo de 4 Ah sem acoplamento, com o sistema motor redutor totalmente acoplado o consumo vai para 5,2 Ah, com uma carga de 65 Kg, sendo 25 Kg da cadeira e sistemas mais 40 kg de uma pessoa o consumo passou para 6,8 Ah, e com uma pessoa de 100 Kg esse consumo chegou a 11 Ah. Sabendo-se que para

ter-se controle de direção foram utilizados 2 sistemas de motor-reductor, esse consumo foi multiplicado por dois. Como as baterias utilizadas são de 9 Ah ligadas em série, temos uma eficiência sem carga de aproximadamente 52 minutos, e com a carga limite utilizada temos 24 minutos de eficiência.

## **5.2 Teste de velocidade sem carga e atrito**

O teste de velocidade sem carga e atrito, foi realizado com o sistema do motor reductor engrenado na roda, porém a mesma sem estar em contato com a superfície. Utilizando uma fita de papel colocada entre os raios da roda da cadeira, sentido vertical ao eixo, e um cronômetro, chegou-se a marca de 9 evoluções em 15 segundos, obtendo-se assim 36 rpm, que com os cálculos chegou-se a uma velocidade de 4,13 km/h.

## **5.3 Teste de velocidade com carga e atrito**

Foi executado com uma carga de 100 Kg e mais o peso do sistema completo que é 30 Kg, em uma superfície lisa de cerâmica e plana, utilizando-se o mesmo método, anteriormente realizado, através da fita de papel no raio da roda da cadeira, e com o cronômetro, em 15 segundos. Obteve-se 7 evoluções, conseguindo-se assim 28 rpm, e com o cálculo, chegou-se à 3,2 km/h, gerando uma perda na eficiência de 22,5 %, comparado ao teste realizado sem carga e atrito do piso com a roda.

## **5.4 Teste de autonomia da bateria**

Como apreciado primeiramente com o teste de eficiência do motor II, verificou-se por meio de amperímetro, e com uma carga de 40Kg mais o peso do sistema, verificou-se a marca de 6,8 Ah (amperes por hora). Em cada motor, ao todo o consumo é de 13,6 Ah. Como o sistema tem 9 Ah de carga nas baterias que estão ligadas em série, com os cálculos de regra de três, chega-se à 40 minutos. Um valor empírico, para chegar-se a autonomia real, coloca-se a pessoa com a carga de 40 Kg para utilizar a cadeira até perceber a perda de velocidade, e constata-se que em

35 minutos haverá essa perda, obtendo-se 87,5% de eficiência. Porém, a cadeira pode ser utilizada por mais 20 minutos até o sistema não conseguir movimentar a pessoa de 40 Kg. Sabendo-se que a velocidade da cadeira com carga e atrito em um piso de cerâmica é de 3,2 km/h e que o sistema funciona até 55 minutos, conseguiu-se uma autonomia de 2,93 km/h. Com a carga máxima de uma pessoa com 100 Kg, o sistema funcionou por 40 minutos conseguindo-se uma autonomia de 2,14 km/h.

### 5.5 Teste dos sistemas de controle

O sistema de controle foi realizado na plataforma Arduino, com *shield* de *Bluetooth* acoplada à placa, onde a mesma faz a conexão com o *smartphone*. Pelo aplicativo *RCcontroller* é enviado o caracter para o Arduino, executando-se o controle dos motores para as direções designadas pelo aplicativo. Por exemplo, quando é acionado o direcional no aplicativo para a frente, é enviado para o Arduino o caracter “F”, onde dentro da lógica estabelecida na programação, será acionado o motor esquerdo e o direito para girar a roda no sentido horário. Quando acionado no aplicativo o símbolo para trás, é enviado o caracter “B” para o Arduino, onde as rodas movem-se em sentido anti-horário, como já mensurado no item de sistemas de comandos. Com o acionamento das chaves *switch* presentes no *joystick*, o mesmo manda sinal de baixa para as I/O designadas, da placa do Arduino. Por exemplo, quando *joystick* posicionado para frente, o pino I/O 2 recebe o sinal de baixa (*LOW*), e a lógica da programação no Arduino faz as rodas girarem no sentido horário. Os demais comandos podem ser apreciados no item de sistemas de comando. Os dois sistemas de controle funcionam sincronizados e ao mesmo tempo, podendo assim limitar a velocidade pelo aplicativo, e controlar as direções pelo *joystick*, pois os mesmos não são iguais aos controles potenciométricos existentes nas cadeiras comercializadas. O aplicativo, nesse caso, funciona como um limitador de velocidade para o *joystick*.

## 5.6 Comparação do protótipo com uma cadeira de rodas já comercializada

Quadro6 – Comparação em Modelo de Entrada e o Protótipo

Modelo de cadeiras de roda motorizada	Modelo de <i>standard</i> do mercado	Protótipo
Motores	200W 24volts direto na roda	100W acoplado a um redutor de 37:1
Bateria	Duas baterias estacionaria de 37 Ah	Duas baterias estacionaria 9 Ah
Sistema de direção	Sistema eletrônico com <i>joystick</i>	Sistema eletrônico com <i>joystick</i> e sistema de controle com <i>smartphone</i>
Capacidade de carga máxima	130 Kg	110 Kg
Velocidade máxima	7 km/h	3.2 km/h
Peso total da cadeira	35 Kg	25 Kg
Autonomia	Media 10km, máxima 20km	Máxima 2,14km
Preço	R\$ 6.800,00	R\$ 1.288,30

Fonte: O Autor

Verificando-se o quadro de comparação, a cadeira de modelo de entrada tem a vantagem nos itens de capacidade máxima, bateria, velocidade máxima, autonomia e motor direto na roda e regenerativo. O protótipo mostrou vantagem no sistema de direção, peso total e preço. Para o protótipo ficar compatível com a cadeira *standard*, modificando-se a bateria estacionária de 9 amperes para uma estacionária de 70Ah, comercializada pela *Freedom*, o custo médio da mesma seria de R\$ 250,00 e a autonomia subiria para 15km. O preço final iria para R\$ 1568,30 e o peso total ficaria em 45 kg o que torna viável o protótipo, atingindo-se o preço final em 23% de uma cadeira de rodas motorizada de menor valor comercializada no Brasil.

## 5.7 Orçamento

Para realização do protótipo foram utilizados recursos próprios. Foi adquirida a cadeira de roda convencional nova, e os preços referentes ao quadro 7, são de produtos novos. No orçamento foi gasto um total de R\$1.688,30 reais. As descrições de valores está no quadro 7.

Quadro7 – Tabela de Orçamento Gasto para o Protótipo

<b>MATERIAIS</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO</b>	<b>PREÇO</b>
Catraca pinhão Contra-pedal	02 UNIDADES	18 dentes aço 1045	R\$ 24,00
Cadeira de rodas	01 UNIDADE	Cadeira de rodas convencional	R\$400,00
Chapa de aço	02 UNIDADES	Aço 1040, 3x125x100mm	SUCATA
Parafuso (suporte motor 12v)	06 UNIDADES	Sextavado zincado 1/8" x 1"	R\$ 0,90
Parafuso (suporte motor 24 V)	08 UNIDADES	Sextavado zincado 5/16" x 1"	R\$ 1,40
Corrente	01 UNIDADE	ANSI 40	R\$ 20,00
Motor DC 24v (brushless)	02 UNIDADE	100 W, 3200 rpm	R\$ 120,00
Motor DC 12v(brushless limpador de parabrisa)	02 UNIDADE	12,5 W, 90 rpm	R\$ 380,00
Arduino	01 UNIDADE	Microcontrolador ATMega328	R\$ 38,00
HC06	01 UNIDADE	<i>Shieldwifi /Bluetooth</i>	R\$ 31,00
IBT_2	02 UNIDADES	Drive ponte H para motores DC, máximo 40 A	R\$ 160,00
Conectores estilo macho/femea	10 UNIDADES	Nylon alta temperatura, pino banhado a ouro, máxima de 65A	R\$ 20,00
Carregador de Bateria	01 UNIDADE	Carregador 24volts, com sistema inteligente indicado com <i>led</i> vermelho para carregando e <i>led</i> verde para carregado	R\$ 140,00
Bateria 12v	2 UNIDADES	12 V 9Ah. Nobreak	R\$ 210,00
Caixa hermética grande	1 UNIDADE	240X180X95mm	R\$ 70,00
Caixa hermética pequena	1 UNIDADE	160X110X75mm	R\$ 30,00
Barra chata	1 UNIDADE	3X25X1060mm aço 1020 sucata	sucata
Aste de suporte de TV	1 UNIDADE	Suporte de TV com tubo cinescópico	sucata
Controle estilo joystick	1 UNIDADE	<i>Joystick</i> estilo fliperama	R\$ 25,00
Correia em V	2 UNIDADES	Correia 3L 19 comprimento ext. 19" largura do topo 3/8", altura 7/32"	R\$ 18,00

Fonte: O Autor

## **6 CONCLUSÃO**

Foi comprovado que é possível fabricar uma cadeira de rodas motorizada a um baixo custo, comparada as cadeiras já comercializadas. Levando-se em consideração que o material adquirido para a fabricação do protótipo, foi para consumidor final, se o mesmo for produzido em larga escala, conseguiria um valor de menor custo, e seria possível comercializar um produto com preço acessível a pessoas deficientes com baixa renda. Isso já com as melhorias implementadas, com uma bateria de maior capacidade, com uma estrutura da cadeira adequada para receber o sistema de motor/redutor, e com material mais leve.

### **6.1 Sugestão para trabalhos futuros**

As melhorias que podem ser acrescentadas no protótipo, poderiam ser sistemas de controles diferentes, como sistema seguidor de linha, podendo deixar a cadeira autônoma em um ambulatório ou hospital, sistema de comando por voz, para pessoas com tetraplegia e sistema de geolocalização. Visto que o protótipo se utiliza de uma plataforma aberta que é o Arduino, onde existem diversos projetos citados anteriormente, implementados com a placa. Outra melhoria futura para a cadeira, seria um sistema para desengrenar a mesma, e poder tornar-la em uma cadeira convencional, nas situações de esgotamento da bateria.

## REFERÊNCIAS

ALVES J., **Protótipo de sistema automotor para cadeira de rodas / Júlio Oliveto Alves** – Guaratinguetá [s,n], 2011. 157 f.

BUDYNAS R., NISBETT JK. **Elementos de máquinas de SHIGLEY**. 2016 – McGraw Hill editora.

EQUIPE USINAINFO, **Carrinho Arduino controlado através de Bluetooth e Sistema Android**. Disponível em: <<http://blog.usinainfo.com.br/carrinho-arduino-controlado-por-bluetooth-e-sistema-android/>>. Acesso em 15 de Janeiro de 2017.

FAIRES V., **Elementos orgânicos de máquinas**. 1986

FILHO F., **Elementos de transmissão flexíveis**. 2009 – Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ.

GIRSAS I, **Projeto e controle de uma cadeira de rodas automatizada inteligente com sensores de ultrassom**, Relatório feito no Departamento de Mecânica da PUC Rio em 2011. Disponível em: <[http://www.pucRio.br/Pibic/relatorio\\_resumo2011/Relatorios/CTC/MEC/MECigor%20Tavares%20Girsas.pdf](http://www.pucRio.br/Pibic/relatorio_resumo2011/Relatorios/CTC/MEC/MECigor%20Tavares%20Girsas.pdf)>. Acesso em 5 de Dezembro de 2017.

JÚNIOR A. **Apostila para o curso – EM 718 – Elementos de Máquinas II** – Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp. 2002. Campinas, SP.

LIMA F.; SANTOS R.; COSTA S.; **Projeto de cadeira de rodas motorizada equipada com cobertura automática**, Trabalho de conclusão do curso técnico em Eletromecânica e Tecnologia da Bahia, Instituto Federal de educação, ciência e tecnologia Santo Amaro Bahia 2016. Disponível em: <<http://www.ifba.edu.br/professores/elvio/tcc/TCC-Cadeira-de-Rodas-Motorizada.pdf>>. Acesso em 16 de Novembro de 2017.

NASCIMENTO S., **Pesquisadores desenvolve cadeira de rodas motorizada de baixo custo**, Reportagem apresentada pelo G1 em 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2013/03/pesquisadores-desenvolvem-cadeira-de-rodas-motorizada-de-baixo-custo.html>>. Acesso em 23 de Outubro de 2017.

NETTO L., **Maquina Simples: quinta parte**. Disponível em:  
<[http://www.feiradeciencias.com.br/sala06/06\\_RE05.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala06/06_RE05.asp)>. Acesso em 10 de Fevereiro de 2018.

NIEMANN G., **Elementos de máquina**. 1971, São Paulo: Edgard Blucher.

PFAFFENZELLER A., PACHECO J., SANTOS M., **Desenvolvimento de um kit de baixo custo para motorização de uma cadeira de rodas**, Trabalho de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET, PR. Disponível em:<[http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/engenharia/tcc/monografia\\_kit\\_cadeira\\_rodas\\_2003.pdf](http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/engenharia/tcc/monografia_kit_cadeira_rodas_2003.pdf)>. Acesso em 05 de Março de 2018

SOUZA W.; DAQUES A.; TEDESCO JR. G., **Carrinho controlado por celular Android**, Trabalho de Conclusão de Curso Técnico em Telecomunicações, Centro Paulo Souza “Jorge Street”, São Caetano do Sul 2013. Disponível em:<<http://www.excute.educatronica.com.br/Monografias%2038%C2%AA%20EXCUTE/Telecomunica%C3%A7%C3%B5es/Carrinho%20Controlado%20por%20Celular%20Android.pdf>>. Acesso em 25 de Janeiro de 2017.

VIDAL W.; AVILA R.; LIANOS C.; VAN R., **Desenvolvimento de Kit para automação de cadeira de rodas convencional**, VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica 18 a 21 de Agosto de 2010, Campina Grande-Paraíba. Disponível em:<<http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-0386.pdf>>. Acesso em 20 de Março de 2017.

YAMAGUTI H., ARAUJO M. **Acionamento dos motores de uma cadeira de rodas elétrica de baixo custo**. 2010, 36p. Trabalho de conclusão de curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.