

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTOS ACADÊMICOS DE ELETRÔNICA E MECÂNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

VITOR PAULINO GONZALES

**PROJETO DE UMA BICICLETA ELÉTRICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2014

VITOR PAULINO GONZALES

## **PROJETO DE UMA BICICLETA ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Valmir Oliveira (DAELN)

CURITIBA  
2014

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

VITOR PAULINO GONZALES

### **PROJETO DE UMA BICICLETA ELÉTRICA**

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 20 de março de 2014, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Milton Luiz Polli  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Mecânica

---

Prof. Esp. Sérgio Moribe  
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrônica

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. MSc. Anderson Levati Amoroso  
UTFPR

---

Prof. Esp. Joel Gonçalves Pereira  
UTFPR

---

Prof. Dr. Valmir de Oliveira  
Orientador - UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

## **AGRADECIMENTOS**

Dedico este trabalho à minha esposa, que me incentivou durante esse processo. Dedico também à minha família e ao meu professor orientador, Dr. Valmir Oliveira, que me ajudou no desenvolvimento do projeto e me deu vários conselhos de grande valor.

## RESUMO

Gonzales, Vitor P. **Projeto de uma bicicleta elétrica. 2014 65 f.** Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

O presente trabalho tem como tema a elaboração de um projeto de uma bicicleta elétrica. Esse projeto tem como objetivo auxiliar o deslocamento de pessoas em curtas e médias distâncias (até 30 km). O sistema foi projetado utilizando uma bicicleta tipo *mountain bike* como base, um motor elétrico BLDC e baterias de chumbo-ácido para alimentar o sistema. Foram analisados principalmente as características e o custo de cada componente, para que o projeto tenha a melhor relação custo benefício, a fim de que seja viável o seu desenvolvimento.

**Palavras-chave:** Bicicleta elétrica. Motor BLDC. Controlador de bicicleta elétrica.

## **ABSTRACT**

Gonzales, Vitor P. **Project of an electric bicycle. 2014 65 f.** Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

This work has as a theme the elaboration of a project of an electric bicycle. This project aims to assist the movement of people in short and medium distances (up to 30 km). The system was designed with a mountain bike as basis, a BLDC electric motor and lead acid batteries to power up the system. The main points that were analyzed are the characteristics and the cost of each component, so that the project has the best cost/benefit relation, in order to be viable.

**Key-words:** Electric bicycle. BLDC motor. Electric bike controller.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura básica da bicicleta .....	14
Figura 2 - Classificação dos motores CA mais populares .....	16
Figura 3 - Classificação dos motores CC mais populares .....	17
Figura 4 - Esquemático de um motor CC com escovas .....	18
Figura 5 - Movimento de um motor CC com escovas .....	18
Figura 6 - Motores BLDC com um par de polos e com dois pares de polos....	19
Figura 7 - Comparativo entre motores com escovas e motores sem escovas	20
Figura 8 - Enrolamentos do motor BLDC .....	21
Figura 9 - Estator externo de motor BLDC .....	22
Figura 10 - Enrolamentos de estator externo de motor BLDC .....	22
Figura 11 - Motor BLDC de rotor externo .....	23
Figura 12 - Corrente elétrica através de um semicondutor .....	24
Figura 13 - Efeito de um campo magnético em um semicondutor .....	25
Figura 14 - Sensor de efeito Hall SMD e convencional .....	26
Figura 15 - Sensores Hall no motor BLDC .....	26
Figura 16 - Estados dos sensores de Hall.....	27
Figura 17 - Elementos básicos da pilha .....	29
Figura 18 - Célula de chumbo-ácido .....	31
Figura 19 - Carga para armazenamento da bateria. ....	32
Figura 20 - Bateria FVLA.....	33
Figura 21 - Bateria VRLA .....	33
Figura 22 - Carregador de bateria de chumbo-ácido .....	35
Figura 23 - Diagrama de blocos de carregador de bateria .....	35
Figura 24 - Etapas do carregamento da bateria de chumbo-ácido.....	36
Figura 25 - Características da bicicleta Oceano HX1 .....	38
Figura 26 - Bagageiro traseiro de bicicleta .....	39
Figura 27 - Motor BLDC de 36 V .....	40
Figura 28 - Especificações do motor BLDC .....	40
Figura 29 - Esquemático do sistema de chaveamento do motor BLDC .....	41
Figura 30 - Sentido da corrente elétrica no motor BLDC.....	42
Figura 31 - Controlador do motor BLDC de 36 V .....	43
Figura 32 - Diagrama de entradas e saídas do controlador .....	43
Figura 33 - Bateria chumbo ácido 12 V, 12 Ah.....	44
Figura 34 - Carregador de bateria chumbo-ácido .....	45
Figura 35 - Acelerador.....	46
Figura 36 - Baterias e bagageiro traseiro .....	47
Figura 37 - Motor inserido na roda dianteira .....	48
Figura 38 - Raios da roda dianteira .....	49
Figura 39 - Motor fixado no garfo dianteiro .....	50
Figura 40 - Diagrama de conexões do controlador .....	51
Figura 41 – Bicicleta elétrica .....	52
Figura 42 - Single Permanent Magnet Motor Electric Vehicle Simulator .....	54
Figura 43 - Gráfico da autonomia da bicicleta para ciclistas com 70 Kg .....	56
Figura 44 - Gráfico da autonomia da bicicleta para ciclistas com 80 Kg .....	57
Figura 45 - Gráfico da autonomia da bicicleta para ciclistas com 90 Kg .....	57
Figura 46 - Gráfico da autonomia da bicicleta para ciclistas com 100 Kg .....	58
Figura 47 - Gráfico da autonomia da bicicleta para ciclistas com 110 Kg .....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

- CA – Corrente alternada (*Alternating Current*)  
BLDC – Motor de corrente contínua sem escovas (*Brushless CC*)  
CAD – Desenho auxiliado por computador (*Computer Aided Design*)  
CC – Corrente contínua (*Direct Current*)  
FVLA – Baterias de chumbo ácido ventiladas (*Free Vented Lead Acid*)  
PAS – Sistema de pedal assistido (*Pedal Assistance System*)  
U\$ – Dólar americano.  
UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
VRLA – Bateria de chumbo ácido regulada por válvula (*Valve Regulated Lead Acid*)

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
1.1	PROBLEMA	10
1.2	JUSTIFICATIVA	10
1.3	OBJETIVOS	12
1.3.1	Objetivo Geral	12
1.3.2	Objetivos Específicos	12
1.4	MÉTODO DE PESQUISA	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>14</b>
2.1	BICICLETA	14
2.2	MOTORES ELÉTRICOS	15
2.2.1	Motores de corrente contínua sem escovas	19
2.3	SENSOR HALL	23
2.3.1	Força de Lorentz	23
2.3.2	Efeito Hall	24
2.4	CONTROLADOR DO MOTOR	27
2.5	BATERIA	28
2.5.1	Bateria de chumbo ácido	30
2.6	CARREGADOR DE BATERIA	34
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>37</b>
3.1	BICICLETA	37
3.2	MOTOR	39
3.3	CONTROLADOR DO MOTOR	42
3.4	BATERIA	44
3.5	CARREGADOR DA BATERIA	45
3.6	ACELERADOR	46
<b>4</b>	<b>INTEGRAÇÃO</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>SIMULAÇÃO</b>	<b>54</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos o homem vem buscando maneiras de se locomover com mais rapidez e eficiência. Isso motivou, ao longo do tempo, vários cientistas, inventores e curiosos a obterem veículos de transporte não somente para se deslocar de um lugar a outro, mas também para descobrir e desbravar, como um instrumento de liberdade.

No século XVIII o cientista dinamarquês Hans Christian Oersted observou que a agulha magnética de uma bússola se desviava de sua posição original quando aproximada de um condutor de energia elétrica, e voltava à sua posição inicial quando afastada dele, provando assim a influencia da eletricidade no magnetismo (NEVES, 2010). Um ano depois André Marie Ampère constatou esse experimento e criou a “regra da mão direita”, dando assim o primeiro passo para o surgimento do motor elétrico.

A ideia de construir uma bicicleta impulsionada por um motor elétrico surgiu na segunda metade do século XIX, e em 1895 foi cedida a primeira patente para Ogden Bolton Jr, nos Estados Unidos da América, entretanto era um modelo rústico com uma bateria de 10 V e um motor que consumia 100 A (REVISTA BICICLETA, 2013). Depois disso foram registradas inúmeras patentes com relação ao assunto.

O motor elétrico da bicicleta não elimina completamente a necessidade do usuário de pedalar, mas sim auxilia no transporte e fica a critério do usuário se ele quer ou não o auxílio do motor nas pedaladas. Hoje em dia pode-se encontrar diversos modelos de bicicletas elétricas, sendo que a velocidade máxima chega a 25 km/h, a autonomia é em torno de 40 km, os motores variam entre modelos de 200 W até 800 W, a bateria geralmente é de chumbo ácido ou de lítio (ALIEXPRESS, 2013).

Esse trabalho aborda o projeto de uma bicicleta elétrica. São estudados os componentes da bicicleta elétrica e avaliados quais são os de melhores relação custo benefício. O modelo estudado é uma bicicleta de 18 marchas de aro 26, será considerado um motor elétrico de corrente contínua sem escovas (BLDC) de 250 W de potência, uma bateria de chumbo-ácido de 36 V e 12 Ah.

## 1.1 PROBLEMA

No começo de 2013 foram contabilizados cerca de 1.300.000 veículos em Curitiba, uma média de 1 carro por 1,3 habitante, e logo no começo daquele ano foi registrado um pico de 134 quilômetros de lentidão por volta das 18 horas, se somados os trechos mais movimentados da cidade (BANDNEWS, 2013). Isso sem considerar o preço da gasolina, que chegou a passar R\$ 3,00 o litro, no começo de 2013.

Analisando o transporte público, o custo da passagem de ônibus tem crescido nos últimos meses e atualmente está no valor de R\$ 2,70. Considerando que uma pessoa tenha de pagar em média 2 passagens por dia, 5 dias na semana, ela gastará R\$ 118,80 no mês e não estará isenta da lentidão provocada pelo trânsito, da demora pela espera do ônibus, além de experimentar o desconforto causado pela superlotação desses veículos nos horários de pico.

Um carro de passeio libera em média 4,66 kg de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) a cada 20 km rodados (KEYASSOCIADOS, 2013). Considerando que uma pessoa tenha de dirigir essa distância todos os dias, em um ano ela lançará no ar cerca de 1,7 tonelada de CO<sub>2</sub>. Além do gás carbônico, o motor dos automóveis libera diversas substâncias que são reconhecidamente nocivas à saúde, e também contribuem para a poluição do meio ambiente.

Este trabalho tem por propósito projetar uma bicicleta elétrica, que uma vez executado, ajudaria a minimizar os problemas causados pelos automóveis já citados anteriormente, de maneira eficiente, ecologicamente sustentável, confortável e de baixo custo, tanto inicial quanto em longo prazo, através desse meio de transporte alternativo que é a bicicleta elétrica.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Andar de bicicleta traz vários benefícios para a saúde, como espantar o sedentarismo, queimar calorias, trabalhar os membros inferiores, melhorar a frequência cardíaca, deixar de emitir gases poluentes (MOÇO, 2013). Além disso, pode-se evitar as horas de pico no trânsito; por exemplo, em Curitiba,

uma viagem de 15 quilômetros passando pela região central entre 17h30 e 18h30 pode demorar até 1 hora, considerando uma velocidade média de 15 km/h.

A bicicleta elétrica com um motor de 250 W (que será projetada nesse trabalho) pode chegar até 25 km/h, e como não está sujeita à lentidão do trânsito, pois pode usar a ciclovia, que é uma via alternativa, pode realizar percursos curtos em menos tempo que um carro. Mesmo se movendo com o auxílio de um motor ela é considerada um veículo de propulsão humana e as pedaladas do ciclista não são dispensadas (ANEXO A). Além desses benefícios, estima-se que o custo de recarga de uma bateria seja R\$ 0,62. Considerando a autonomia da bateria em até 40 km, o quilômetro rodado custará pouco mais que R\$ 0,01 (SENSE ELETRIC BIKE, 2013).

O aumento da popularidade da bicicleta elétrica é um fator considerável no avanço dos meios de transporte alternativos, pois cada vez mais são desenvolvidas baterias de maior capacidade, motores de maior eficiência, estruturas mais leves e formas de controle mais elaboradas. Um exemplo disso é que, na Europa, está sendo desenvolvida uma bicicleta elétrica que pode voar.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Projetar uma bicicleta elétrica com tração auxiliada por um motor elétrico, cujos componentes tenham a melhor relação custo/benefício possível, e com uma autonomia que possibilite o seu uso para percorrer percursos do dia a dia.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Pesquisar o funcionamento de motores elétricos de correntes contínua sem escovas (BLDC);
- Pesquisar o funcionamento de baterias de chumbo ácido recarregáveis;
- Estudar o funcionamento de carregadores de bateria de chumbo ácido;
- Estudar os componentes que compõe as bicicletas;
- Desenvolver um projeto para a adaptação de uma bicicleta comum em uma bicicleta elétrica;
- Estimar o custo para a fabricação de um protótipo.

## 1.4 MÉTODO DE PESQUISA

Primeiramente foram pesquisados modelos de bicicletas elétricas já existentes para verificar quais são os componentes essenciais para o funcionamento desse sistema. Identificados esses componentes, foi feita uma pesquisa para encontrar quais desses componentes tem a melhor relação custo benefício, e por esse motivo a maior parte dos componentes cotados são de fornecedores chineses.

Em seguida foi pesquisada qual bicicleta seria ideal para realizar a integração desses componentes, e foi escolhida uma bicicleta do tipo *mountain bike* devido às suas dimensões.

A equipe responsável por este trabalho de conclusão de curso é constituída de somente um integrante, logo as atividades do projeto foram realizadas sem a necessidade de reuniões de equipe. Contudo foram feitas reuniões esporádicas com o professor orientador, que ocorreram na UTFPR.

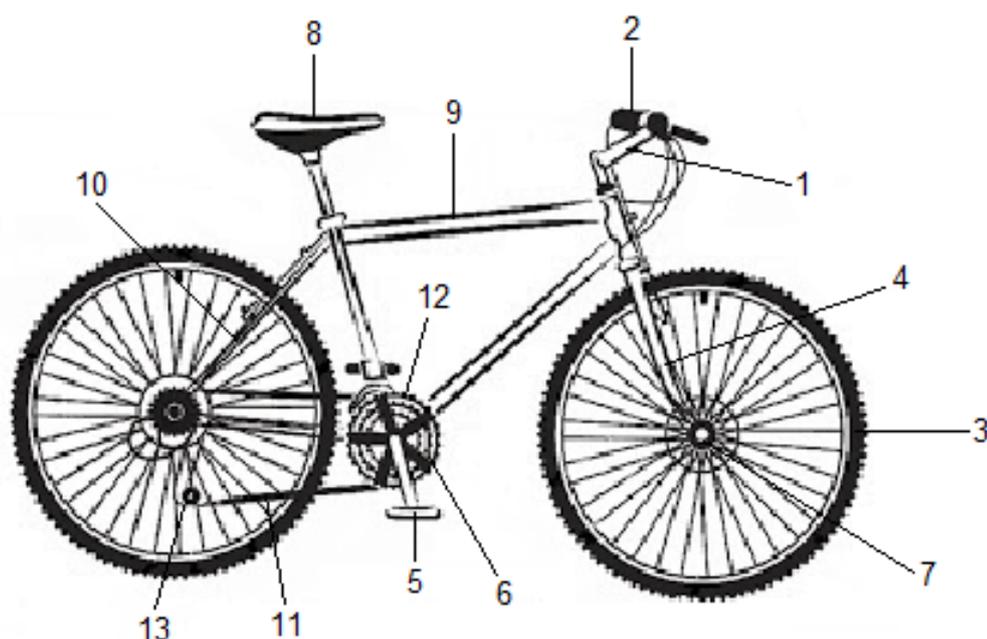
Para a pesquisa foi consultada a biblioteca da UTFPR, a internet, trabalhos de conclusão de curso, periódicos, além de contar com o auxílio de professores, alunos e profissionais de áreas como engenharia eletrônica e mecânica.

Foram utilizados diversos softwares para auxiliar na criação do projeto, como o *SolidWorks*, para projetar e visualizar a instalação dos componentes na bicicleta, o *Inkscape*, para a elaboração de diagramas, o *Single Permanent Magnet Motor Electric Vehicle Simulator*, para simulações do sistema, dentre outros do pacote *Microsoft Office*.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 BICICLETA

A bicicleta é um veículo de duas rodas, movido a propulsão humana. Existem vários tipos de bicicleta, mas elas têm a estrutura básica semelhante. Pode-se resumir a estrutura básica com os seguintes componentes (Figura 1).



**Figura 1 – Estrutura básica da bicicleta.**

**Fonte: Com adaptação de NEW PLAY GAME, 2013.**

1. Mesa (ou avanço): peça que conecta o guidão ao garfo.
2. Guidão: peça tubular fixada na parte de cima do garfo, com o propósito de direcionar os movimentos da bicicleta.
3. Rodas: são compostas de quatro elementos – pneu, aro, raios e cubo.
4. Garfo dianteiro: peça semelhante a uma forquilha, que aloja a roda dianteira e faz parte do conjunto de direção da bicicleta.
5. Pedal: é conectado ao eixo do movimento central através da pedivela.
6. Coroa: aro dentado que transmite o movimento da pedalada para a corrente.

7. Cubo: elemento central da roda, em volta do qual a roda gira e onde são fixados o garfo e os raios.
8. Selim: assento do ciclista.
9. Quadro: peça de grande importância da bicicleta, onde se fixam todas as outras partes.
10. Garfo traseiro: peça que aloja a roda traseira.
11. Corrente: conjunto de elos metálicos flexíveis, que transmite o movimento da coroa para o pinhão.
12. Câmbio dianteiro: peça que direciona a corrente na coroa.
13. Câmbio traseiro: peça que direciona a corrente no pinhão.

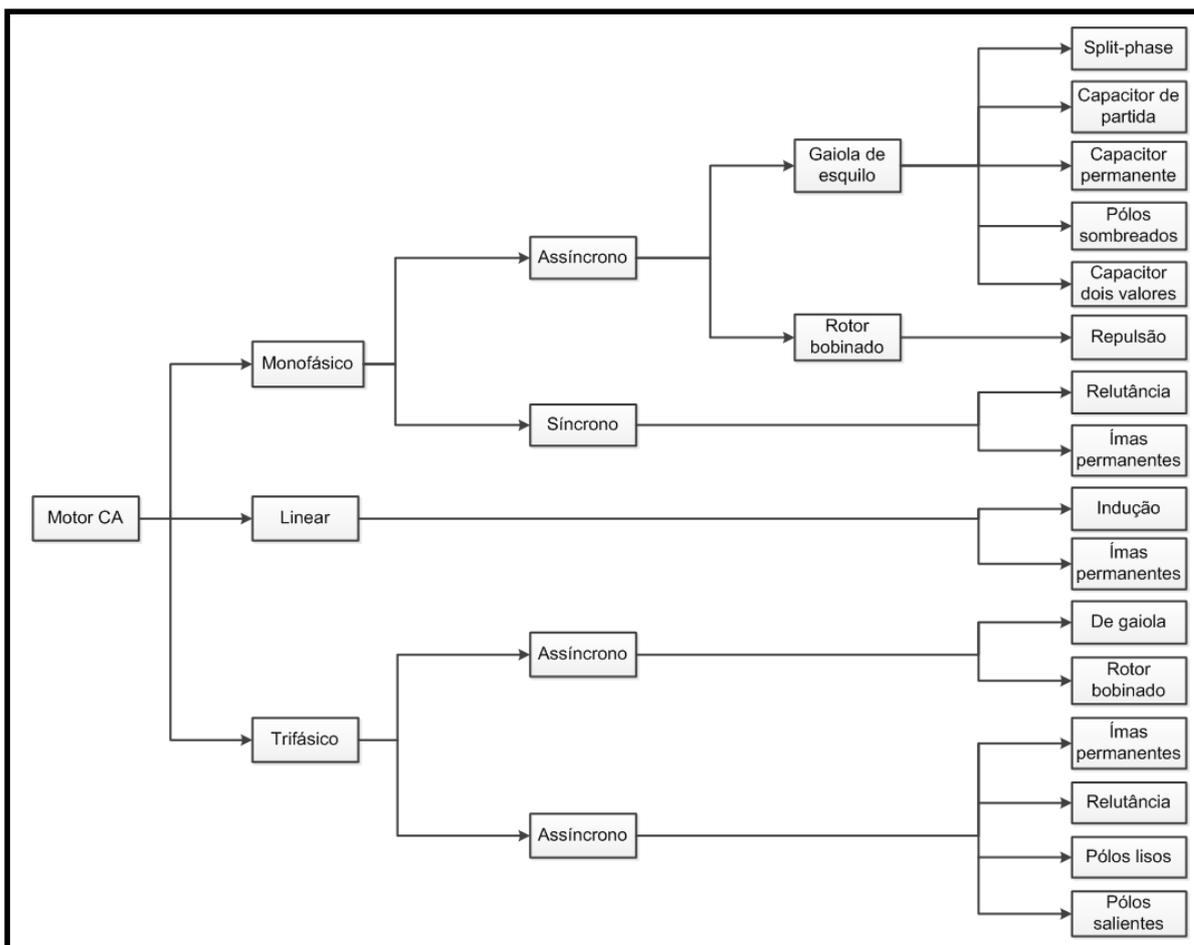
Durante a pedalada a roda traseira gira com a mesma velocidade angular do pinhão, tornando possível a associação de coroas e pinhões, a fim de otimizar o esforço do ciclista para determinado deslocamento, como subidas, descidas e deslocamentos em lugares planos.

## **2.2 MOTORES ELÉTRICOS**

Motor elétrico é uma máquina com o propósito de converter energia elétrica em energia mecânica (SUFFERN, 1956).

O funcionamento dos motores elétricos está baseado nos princípios do magnetismo. Quando uma corrente elétrica percorre um fio condutor imerso em um campo magnético existe uma força perpendicular ao fio condutor, tendendo a movê-lo (GOZZI, 2000). No caso de motores elétricos esses fios são enrolados, formando bobinas.

Existem vários tipos de motores elétricos, sendo que a forma mais abrangente de classificá-los seria por motores de corrente alternada (CA) e motores de corrente contínua (CC). Motores de corrente alternada funcionam baseados no princípio do campo girante, é necessário que haja vários enrolamentos, basicamente um por fase, ao redor dos núcleos magnéticos no estator (OLIVEIRA, 2009). A figura 2 apresenta os vários tipos de motores de corrente alternada mais utilizados.



**Figura 2 – Classificação dos motores CA mais populares.**

Fonte: Com adaptação de ARAÚJO, 2012.

O motor de corrente contínua funciona com uma associação de ímãs permanentes e eletroímãs, podendo variar a disposição destes dependendo do tipo de motor (SUFFERN, 1956). As classificações dos motores de corrente contínua podem ser vistos na figura 3.

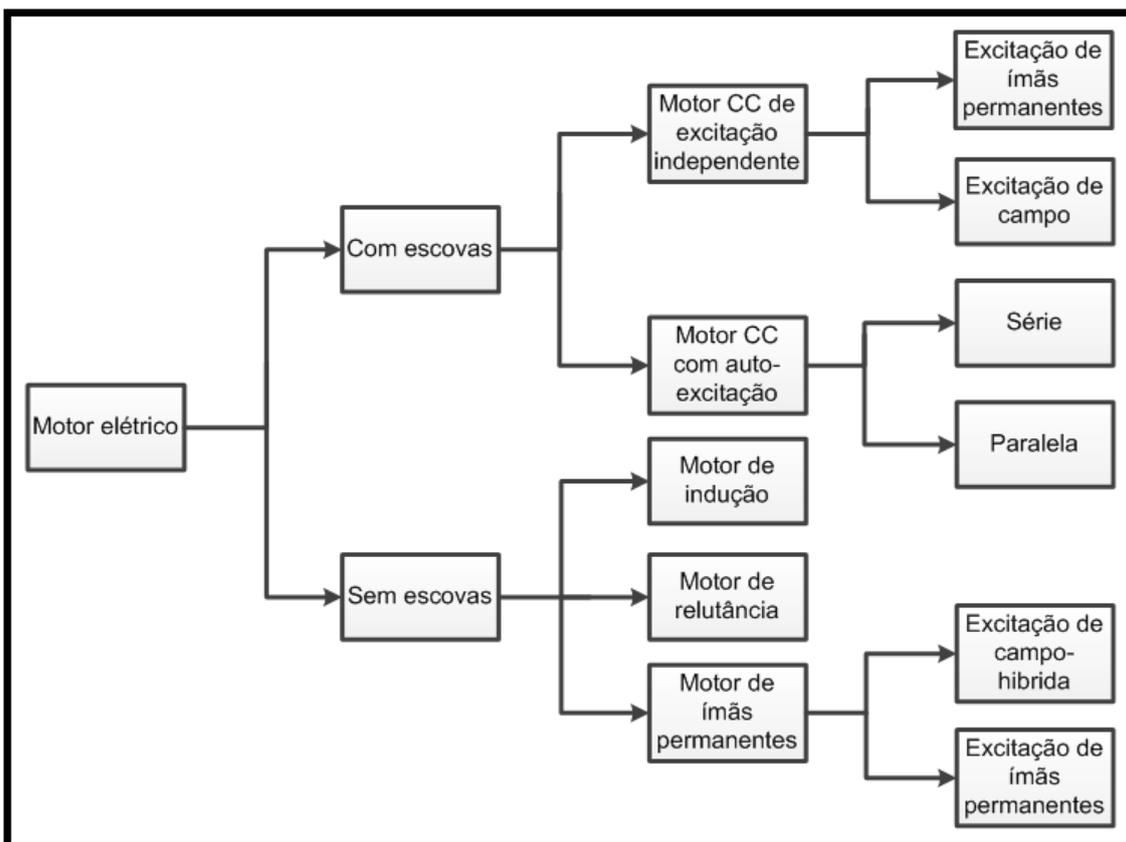


Figura 3 – Classificação dos motores CC mais populares.

Fonte: Com adaptação de ARAÚJO, 2012.

Para o simples entendimento do motor de corrente contínua será analisado o funcionamento de um motor CC com escovas. Ele é constituído de uma bobina, que atua como o rotor, no meio de ímãs permanentes fixos com as polaridades invertidas (estator) (Figura 4). A bobina é alimentada por uma fonte de energia através de escovas. Quando a bobina gira e se alinha com os polos magnéticos do estator o rotor fica em uma posição de equilíbrio e o movimento para, entretanto os semicírculos do comutador também giram e entram em contato com a escova de polaridade elétrica oposta, alterando o sentido da corrente elétrica na bobina e conseqüentemente alterando a orientação magnética do rotor. Isso faz com que ela seja atraída pelo ímã oposto, a fazendo girar novamente (SUFFERN, 1956) (Figura5).

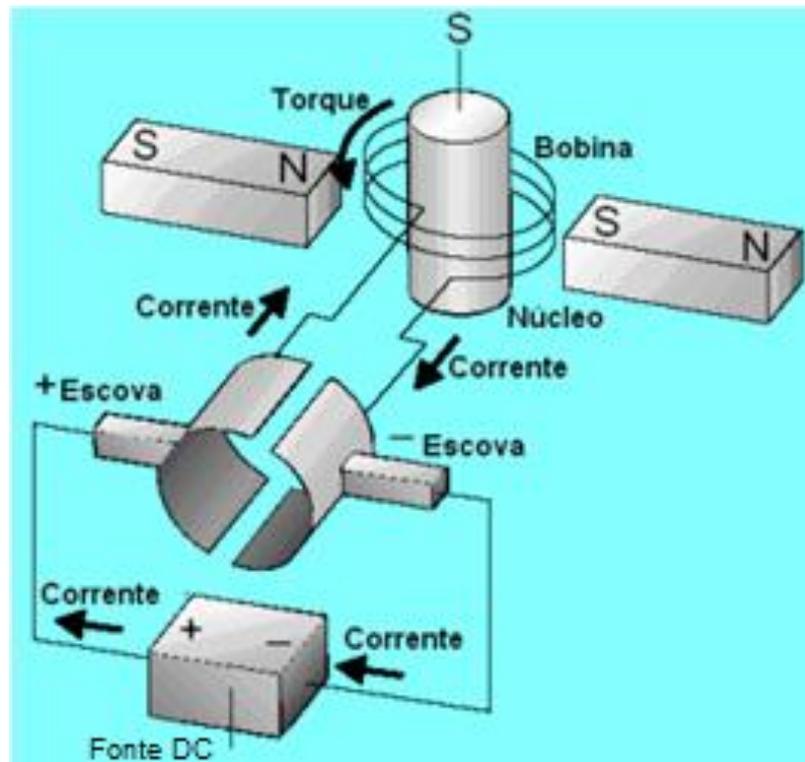


Figura 4 – Esquemático de um motor CC com escovas.

Fonte: SIEMENS, 2013.

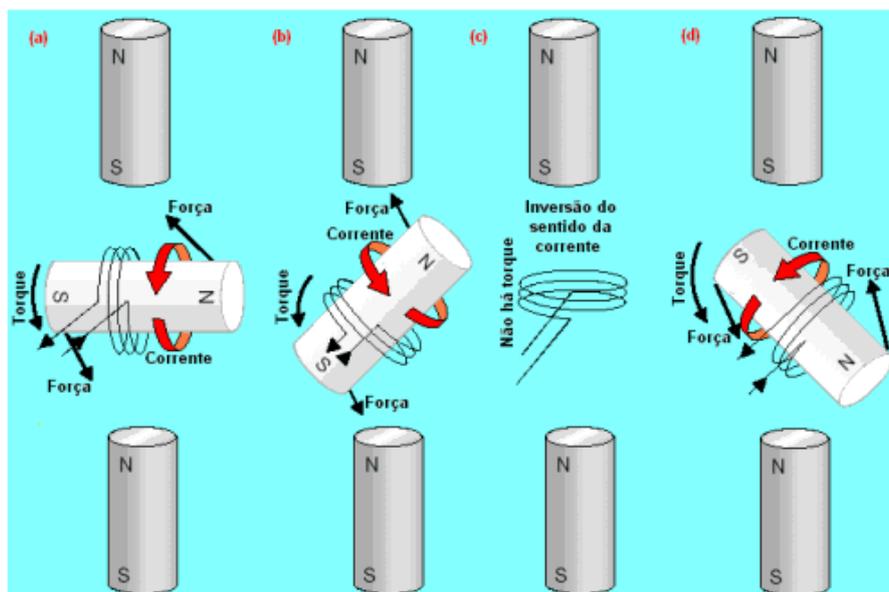


Figura 5 – Movimento de um motor CC com escovas.

Fonte: SIEMENS, 2013.

### 2.2.1 Motores de corrente contínua sem escovas

O motor mais utilizado para a bicicleta elétrica é o motor de corrente contínua sem escovas, também conhecido como BLDC (*Brushless CC*).

Como sugere o nome, um motor de corrente contínua sem escovas é um motor que não possui escovas, anéis coletores ou comutadores mecânicos. (HENDERSHOT, 1994). Os eletroímãs se encontram no estator, e o rotor é feito de ímãs permanentes (Figura 6).

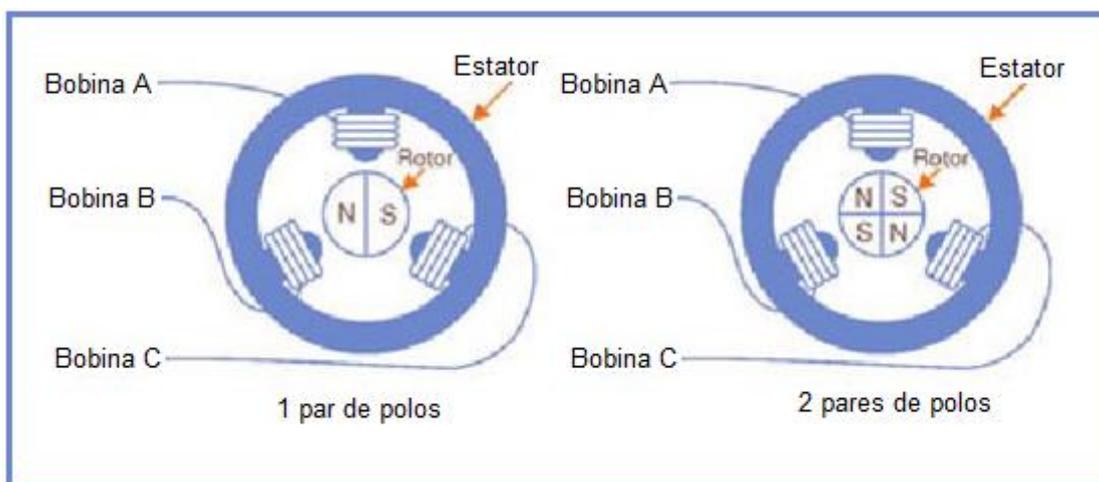


Figura 6 – Motores BLDC com um par de polos e com dois pares de polos.

Fonte: Com adaptação de ARAÚJO, 2012.

O fato de não possuir escovas é uma das maiores vantagens do motor sem escovas sobre o motor com escovas, pelos seguintes motivos:

- Devido ao atrito a que a escova é submetida ela se desgasta.
- Por conta das trocas de conexões das escovas (variando de positivo para negativo, interrompendo e fazendo conexões) é gerado ruído e também, em alguns casos, faíscas.
- As escovas limitam a velocidade máxima do motor.
- As escovas limitam o número de polos que podem existir no estator.

Mais comparações entre esses dois motores são encontrados na figura 7.

<b>Características</b>	<b>Motor BLDC</b>	<b>Motor CC</b>
Comutações	Comutações eletrônicas baseadas nos sensores de efeito Hall	Comutação das escovas
Manutenção	Baixa manutenção devido a ausência das escovas	Manutenção periódica
Durabilidade	Alta	Baixa
Velocidade/Binário	Permite a operação linear em todas as velocidades com carga nominal	Em velocidades altas o atrito das escovas prejudica o binário
Eficiência	Alta, pois não tem queda de tensão nas escovas	Moderada
Potência de saída/tamanho do motor	Alta. Redução do tamanho devido as características térmicas, pois como estes motores tem os enrolamentos no estator a dissipação é superior	Moderada / Baixa. O calor produzido pela armadura é dissipado no entreferro, aumentando a temperatura
Inércia do rotor	Baixa, pois tem ímãs permanentes no rotor, o que melhora a resposta dinâmica	Alta inércia do rotor, o que limita a característica dinâmica
Gama de velocidade	Alta, pois não contém limitações mecânicas impostas pelas escovas	Baixa, pois contém limitações mecânicas das escovas
Ruído elétrico	Baixo	Alto devido a geração do arco elétrico nas escovas
Custo de fabricação	Alto devido a existência de ímãs permanentes de terras raras	Baixo
Controle	Complexo	Simple
Requisitos do controle	O controle é indispensável para o funcionamento do motor	O controle só é necessário para variar a velocidade

**Figura 7 – Comparativo entre motores com escovas e motores sem escovas.**

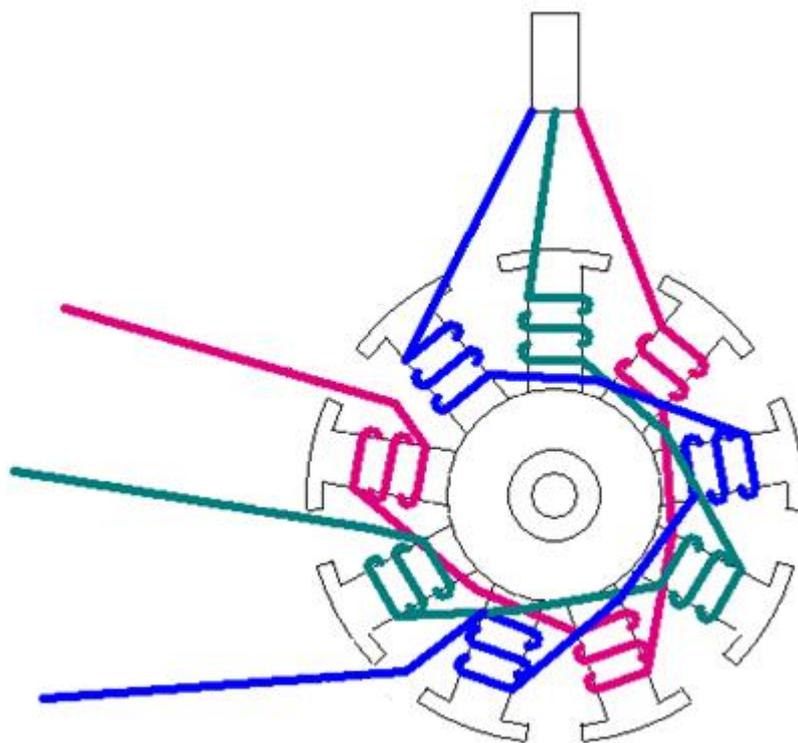
**Fonte: Com adaptação de ARAÚJO, 2012.**

O motor sem escovas mais comum é o motor de indução de corrente alternada. Ele é muito utilizado, pois é um motor de simples fabricação, e por isso tem um baixo custo, tem um funcionamento simples, utiliza corrente alternada (pode ser trifásico) e é um motor robusto. Seu funcionamento é baseado em um campo magnético rotatório gerado no estator, que gira em uma velocidade síncrona, definido por sua alimentação. É gerada uma corrente nos enrolamentos do rotor devido à indução eletromagnética que ele sofre, entretanto o rotor gira em uma velocidade um pouco menor do que a do campo

magnético rotatório, devido ao escorregamento que ocorre no processo de indução eletromagnética (ARAÚJO, 2012). Esse motor também sofre de aquecimento no rotor, que faz com que o torque por ampere varie, tornando-o difícil de controlar, logo ele não é indicado para aplicações onde se requer alta precisão.

Os motores BLDC são síncronos, que significa que o campo magnético gerado pelo estator e o campo magnético formado pelo rotor giram na mesma frequência (ARAÚJO, 2012).

A figura 8 mostra os enrolamentos do estator, que pode ser trifásico, geralmente formado por várias bobinas interconectadas.



**Figura 8 – Enrolamentos do motor BLDC.**

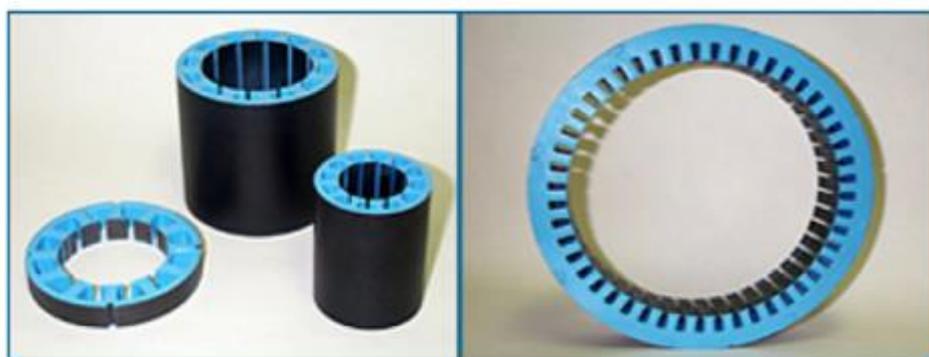
**Fonte: MERWE, 2013.**

Para o funcionamento do motor BLDC é necessário de um circuito eletrônico de controle, pois os enrolamentos devem ser energizados seguindo uma sequência. Para isso é necessário saber qual é a posição atual do rotor para saber qual enrolamento deve ser energizado em seguida. Faz-se necessário o uso de sensores de posição, para facilitar o controle do motor.

O sensor de posição mais comumente utilizado em bicicletas elétricas é o sensor de efeito Hall.

Existem basicamente duas versões de motores BLDC, classificados pela disposição de seus componentes, que são os motores de rotor interno e motores de rotor externo (JOHNSON ELECTRIC, 2013).

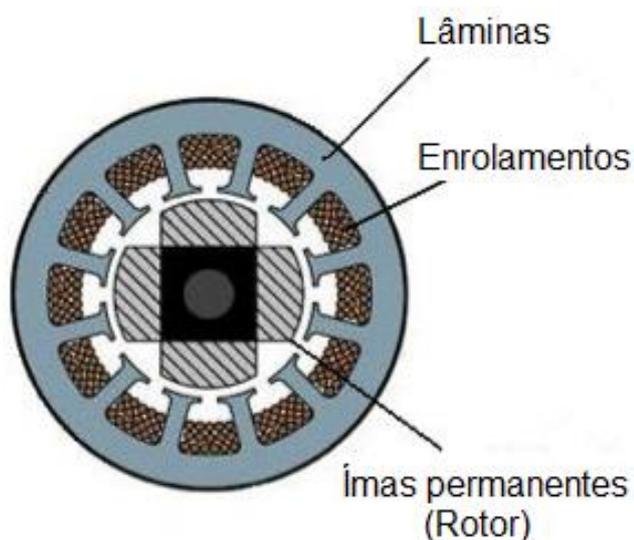
Os motores BLDC de rotor interno geralmente tem o estator feito a partir de lâminas de aço dispostas uma sobre a outra, com ranhuras, que são cortadas axialmente ao longo da parte interna do estator (Figura 9) (MADAAN, 2013).



**Figura 9 – Estator externo de motor BLDC.**

**Fonte: MADAAN, 2013.**

A figura 10 demonstra como estão dispostos os enrolamentos no estator da figura 9.



**Figura 10 – Enrolamentos de estator externo de motor BLDC.**

**Fonte: Com adaptação de MADAAN, 2013.**

Os motores BLDC de rotor externo têm seus ímãs permanentes montados na parte móvel da carcaça, que transmite o torque para o eixo (JOHNSON ELECTRIC, 2013). A figura 11 ilustra a disposição dos elementos desse tipo de motor.

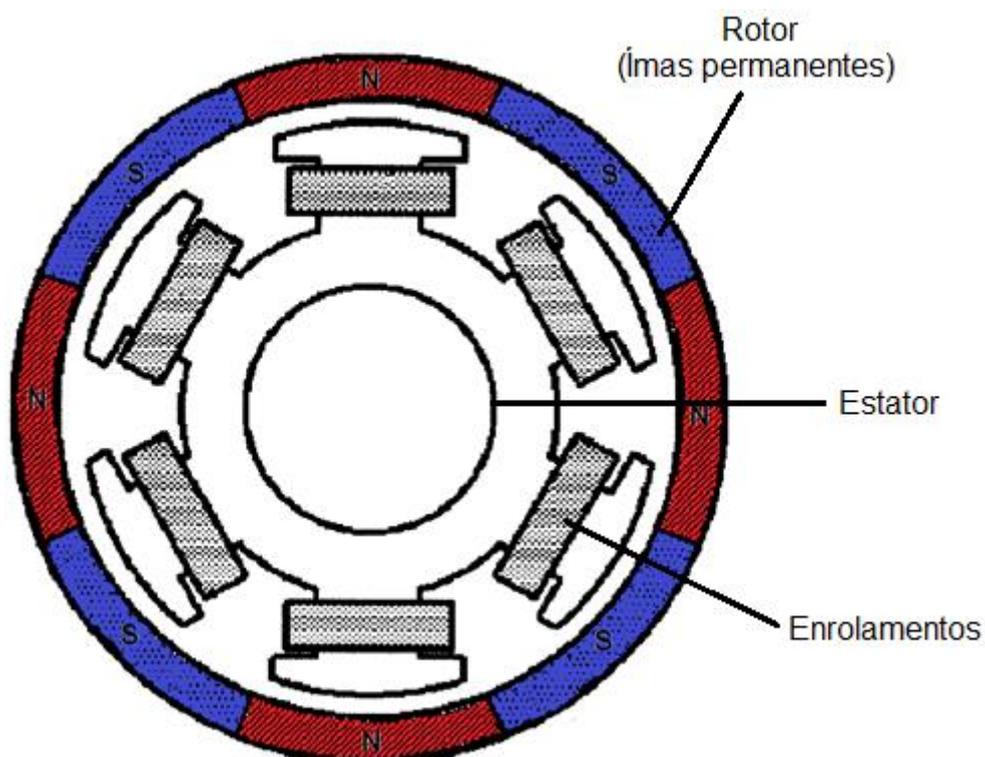


Figura 11 – Motor BLDC de rotor externo.

Fonte: Com adaptação de MERWE, 2013.

O rotor é feito de ímãs permanentes de material magnético forte, como o samário de cobalto, ou neodímio de ferro e boro, mas devido ao elevado custo, popularmente é usada a ferrite. Dependendo da aplicação que o motor será empregado o número de polos pode variar; geralmente entre dois e oito polos.

## 2.3 SENSOR HALL

### 2.3.1 Força de Lorentz

Demostra-se que quando uma partícula de carga elétrica  $q$  e velocidade  $\vec{v}$  está submetida a um campo magnético  $\vec{B}$ , é exercida uma força proporcional

a  $q$  nessa partícula, força essa que é perpendicular à velocidade e ao campo magnético. A partir disso temos a equação 1 (HYPERPHYSICS, 2013):

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

Sendo que:

- $\vec{F}$  representa o valor da força magnética;
- $q$  que representa o valor da carga da partícula;
- $\vec{v}$  representa a velocidade da partícula;
- $\vec{B}$  representa o valor do campo magnético.

### 2.3.2 Efeito Hall

O efeito Hall foi descoberto em 1879 por Edwin H. Hall. Em sua pesquisa ele tentava entender qual era a influência de um campo magnético sob um elemento semicondutor.

Para entender melhor pode-se considerar um material semicondutor que não esteja sob a influência de um campo magnético, com uma determinada espessura ( $d$ ), conduzindo uma corrente ( $i$ ) ao longo de seu comprimento, conforme a figura 12.

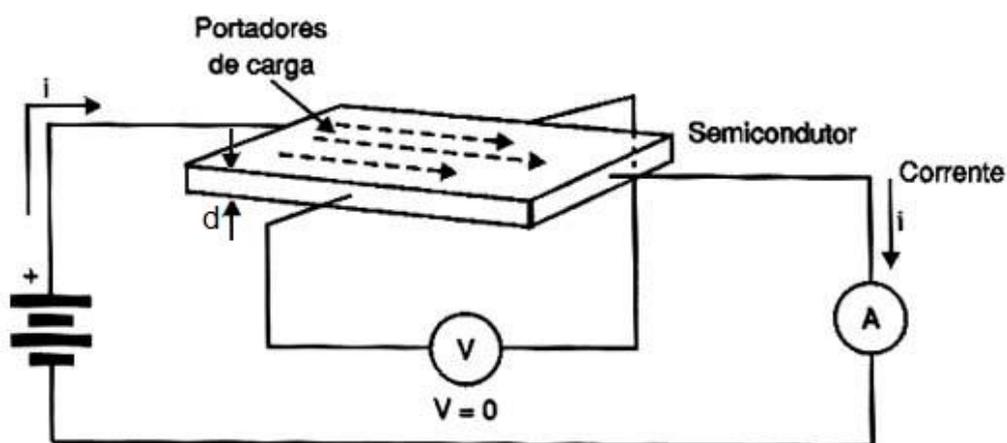


Figura 12 – Corrente elétrica através de um semicondutor.

Fonte: BRAGA, 2001.

A corrente atravessa o material semicondutor com os portadores de carga se distribuindo de maneira uniforme, e não é detectada nenhuma tensão no sentido transversal à corrente ( $i$ ).

Analisando agora uma situação similar à citada acima, porém com um campo magnético (B) externo atuando sobre esse material semicondutor, surge uma força, que será perpendicular ao deslocamento da carga, e faz com que as cargas não atravessem o semicondutor se distribuindo de maneira uniforme, mas sim de maneira modificada, de acordo com a Lei de Lorentz (Figura 13).

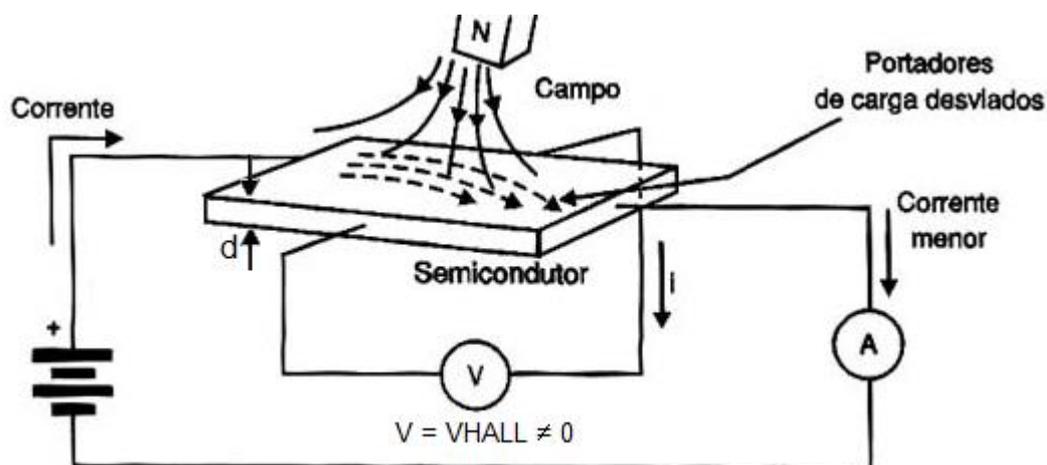


Figura 13 – Efeito de um campo magnético em um semicondutor.

Fonte: BRAGA, 2001.

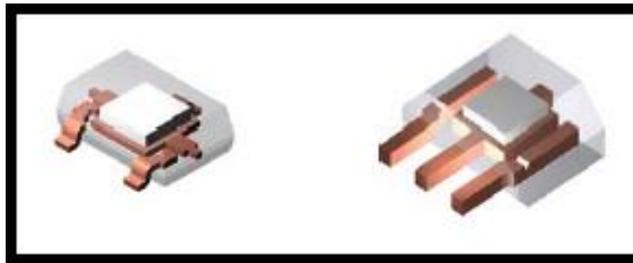
Uma consequência disso é que as cargas tendem a se acumular em uma das faces laterais do semicondutor, criando assim uma diferença de potencial entre as faces laterais, conhecida como tensão de Hall, ou  $V_{HALL}$ , que pode ser expressa pela equação 2:

$$V_H = \frac{I \cdot B}{n \cdot e \cdot d} \quad (2)$$

Onde:

- $V_H$  é a tensão de Hall;
- $I$  é a corrente que atravessa o semicondutor;
- $B$  é o valor do campo magnético;
- $n$  é a densidade da mobilidade das cargas;
- $e$  é a carga do elétron;
- $d$  é a espessura do semicondutor (HYPERPHYSICS, 2013).

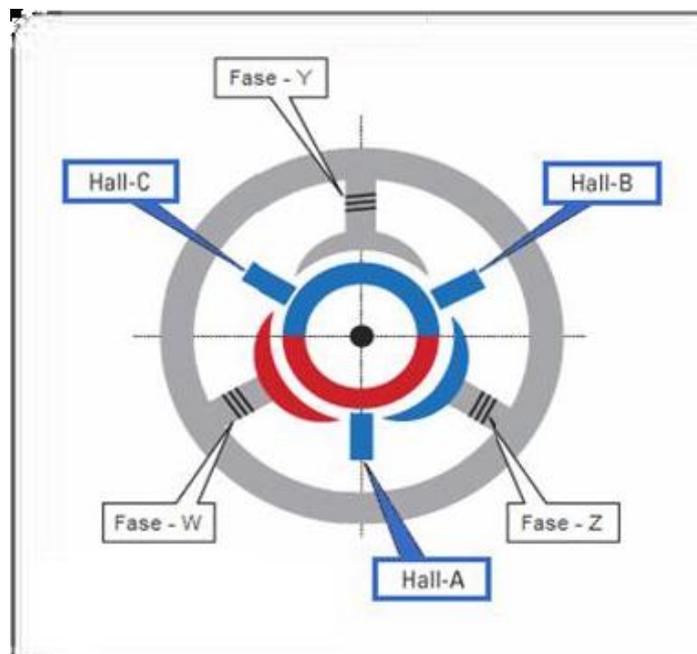
A figura 14 mostra exemplos de sensores de efeito Hall.



**Figura 14 – Sensor de efeito Hall SMD e convencional.**

Fonte: NETO et al, 2010.

Nos motores trifásicos BLDC é utilizado um sensor Hall para cada fase, conforme mostra a figura 15. Os sensores estão embutidos no estator, e eles determinam a posição do campo magnético do motor.



**Figura 15 – Sensores Hall no motor BLDC.**

Fonte: ARAÚJO, 2012.

Quando os polos do rotor passam perto do sensor Hall é gerado um sinal analógico alto ou baixo. Geralmente o sinal lógico alto indica o polo norte (N) e o sinal analógico baixo indica o polo sul (S) (ARAÚJO, 2012).

## 2.4 CONTROLADOR DO MOTOR

Devido à complexidade do acionamento e funcionamento do motor BLDC faz-se necessário um circuito eletrônico para controlá-lo. Esse circuito será citado nesse trabalho como controlador.

A forma de controle do motor depende fundamentalmente da topologia do motor e de aspectos legais, como aceleração ou velocidade máxima.

Como a bateria fornece uma corrente contínua, um dos papéis do controlador é comutar essa corrente contínua para três fases, para alimentar as três fases do motor BLDC.

Os sensores de Hall são integrados com o controlador, e tem uma participação fundamental no controle do motor, pois a partir deles o controlador tem a informação necessária para, na partida do motor, energizar a fase correta, levando em conta a posição de repouso do rotor, e evitar que ele inicie girando no sentido contrário ao desejado. Também fornecem ao controlador as informações necessárias para que o controlador energize as fases do estator em uma sequência correta, de acordo com o sentido e velocidade desejados.

No motor estudado, também como no mostrado posteriormente, são utilizados três sensores Hall.

Os motores BLDC são controlados por sistemas de comutação de seis passos eletrônicos, sendo que cada passo representa 60 graus elétricos, completando assim 360 graus. Também existem somente seis estados válidos do rotor em relação ao estator, que são captados através dos sensores Hall (Figura 16).

	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3
<b>Nível lógico</b>	1	0	1
	0	0	1
	0	1	1
	0	1	0
	1	1	0
	1	0	0

Figura 16 – Estados dos sensores de Hall.

Fonte: Autoria própria.

A leitura dos sensores assemelha-se ao código Gray, onde somente um bit varia quando ocorre alguma alteração de posição física, diminuindo a margem de erro do sistema e da leitura dos sensores. Os estados Sensor 1 = 1, Sensor 2 = 1, Sensor 3 = 1 e Sensor 1 = 0, Sensor 2 = 0, Sensor 3 = 0 não são representados, pois é fisicamente impossível que todos os sensores estejam acionados ou não acionados ao mesmo tempo.

Nesse tipo de comutação apenas duas das três fases são acionadas ao mesmo tempo. Em cada comutação realizada uma das fases é energizada positivamente (corrente entrando no enrolamento), outra fase é ligada no negativo (corrente saindo do enrolamento), e a terceira fase é deixada em aberto ou em alta impedância (não circula corrente) (ARAÚJO, 2012).

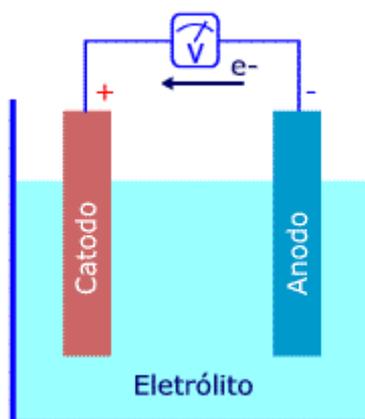
## 2.5 BATERIA

A energia elétrica pode ser armazenada de modos distintos. De maneira direta ela é armazenada através da transformação da energia elétrica em energia química, potencial, cinética ou térmica. De maneira indireta pode ser armazenada através da energia de campos magnéticos ou elétricos.

Pilha é um dispositivo que armazena energia química potencial e a transforma em energia elétrica através de reações eletroquímicas em seu interior. As pilhas têm dois terminais, um positivo e outro negativo, sendo que os elétrons se agrupam no terminal negativo e fluem para o terminal positivo quando houver algo que os conectem. O termo pilha se refere a um dispositivo constituído unicamente de dois eletrodos e um eletrólito, a fim de produzir energia elétrica. Quando seus elementos ativos tiverem sido consumidos deverão ser substituídos por substância nova. Bateria, ou também conhecido como acumulador, é um conjunto de pilhas agrupadas em série ou em paralelo, entretanto quando seus elementos ativos tiverem sido consumidos é possível regenerá-los, se a bateria for ligada a uma fonte de corrente contínua fazendo com que circule uma corrente no sentido oposto (SUFFERN, 1956).

A primeira bateria foi criada por Alessandro Volta, em 1800. Ela consistia de discos de zinco e cobre separados por camadas de um tecido embebido em ácido sulfúrico, sendo que o zinco era o polo negativo e o cobre o positivo (CHAGAS, 2007).

A figura 17 mostra os elementos básicos de uma pilha, que são um eletrólito aquoso de caráter ácido ou alcalino, dois eletrodos de metais diferentes, sendo o cátodo o eletrodo positivo e o ânodo o eletrodo negativo. Seu funcionamento se dá a partir da transferência, pelo fio condutor, de elétrons do eletrodo de material que tende a ceder elétrons para o eletrodo que tem tendência de ganhar elétrons.



**Figura 17 – Elementos básicos da pilha.**

**Fonte: Com adaptação de PONTES, 2009.**

As baterias podem ser classificadas como primárias e secundárias. As primárias fornecem energia elétrica uma única vez, pois as reações que geram energia não podem ser revertidas pela aplicação de uma corrente elétrica de uma fonte externa, e precisam ser trocadas quando esgotadas. As secundárias podem ser recarregadas, pois as reações que geram energia elétrica podem ser revertidas através da aplicação de energia de uma fonte externa, porém o número de ciclo de carga-descarga é limitado (SUFFERN, 1956).

A capacidade nominal de uma bateria é dada em ampere-hora (Ah), que é a capacidade de corrente que uma bateria pode fornecer em uma hora. Por exemplo, considerando uma bateria com capacidade nominal de 12 Ah, se fosse exigido que ela fornecesse 2 A para um circuito ela duraria 6 horas antes de descarregar. Se fosse exigido que ela fornecesse 6 A para um circuito a duração seria de 2 horas antes que ela descarregasse, e assim por diante. Resumindo, a duração da carga da bateria é dada pela capacidade nominal dividido pela corrente que ela fornece. Do mesmo modo, pode-se usar essa

lógica a respeito do processo de carga da bateria, para essa mesma bateria de capacidade nominal de 12 Ah, se fornecermos para ela uma corrente de 1 A ela demorará 12 horas para ser carregada completamente, se é fornecido 4 A ela demorará 3 horas para ter sua carga total.

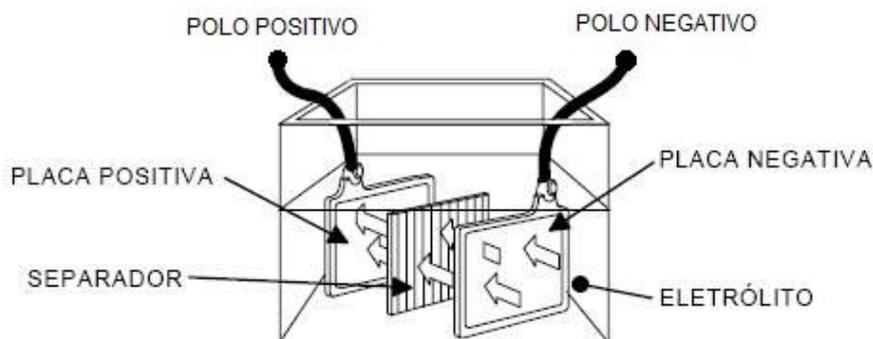
A bateria utilizada neste projeto será a bateria de chumbo-ácido, devido à sua relação custo/benefício.

### **2.5.1 Bateria de chumbo-ácido**

O surgimento da bateria de chumbo-ácido teve início em 1859, pelo físico francês Gaston Planté, que quis construir o primeiro sistema recarregável (CHAGAS, 2007). Comumente existem dois tipos de baterias de chumbo-ácido, a que é utilizada em automóveis e a de ciclo profundo.

A bateria automotiva foi projetada para fornecer uma corrente alta em um curto período de tempo, que é necessária para dar a partida no motor. Após isso o alternador fornece a energia elétrica que o carro e seus dispositivos embarcados consomem. A bateria de ciclo profundo foi projetada para fornecer uma corrente constante por longos períodos de tempo e também para ser descarregada por completo e carregada várias vezes, o que inutilizaria a bateria automotiva rapidamente. As baterias de chumbo-ácido também podem ser seladas e não seladas.

A bateria de chumbo-ácido é composta pelo ânodo, que é de chumbo esponjoso, pelo cátodo que é feito de dióxido de chumbo, e o eletrólito, que é uma solução de ácido sulfúrico. Cátodo e ânodo são placas retangulares planas, dispostas e interligadas alternadamente, com separadores de material não condutor e poroso. Esse conjunto fica dentro de uma cuba, submerso no eletrólito, que é a solução de ácido sulfúrico (SUFFERN, 1956). A figura 18 mostra a disposição desses elementos e o sentido da corrente elétrica.



**Figura 18 – Célula de chumbo-ácido.**

**Fonte: Com adaptação de MACAMP, 2013.**

Sua reação química para a descarga ocorre com o cátodo (dióxido de chumbo) reagindo com ácido sulfúrico, produzindo sulfato de chumbo e água, e o ânodo (chumbo) reage com os íons sulfato, produzindo sulfato de chumbo e liberando elétrons. As placas do ânodo e cátodo vão sendo corroídas, o ácido sulfúrico é consumido e é produzida água. Cada conjunto de placas positiva e negativa gera em torno a tensão de 2 V (SUFFERN, 1956). A reação global para a descarga está representada na equação 3:



Como dito anteriormente, se aplicada uma corrente elétrica no sentido oposto à corrente de descarga será efetuada a recarga da bateria, as reações químicas de ambas as placas se invertem, fazendo com que o sulfato de chumbo que está no cátodo se converta em dióxido de chumbo e o sulfato de chumbo que está no ânodo se converta em chumbo esponjoso. Isso faz com que a água seja consumida e seja produzido ácido. A reação global para esse processo é o inverso da reação global de descarga, conforme a equação 4 (SUFFERN, 1956):



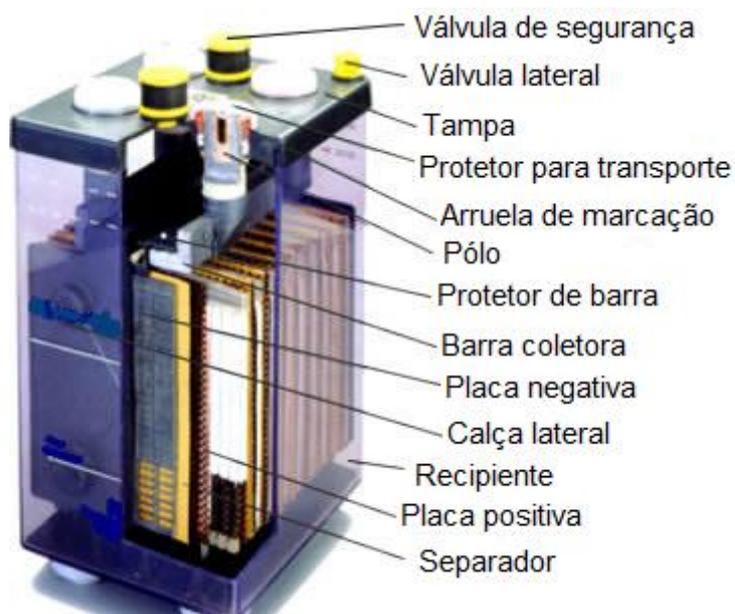
As baterias de chumbo-ácido não sofrem o efeito memória, não causa danos à bateria deixá-la em carga flutuante por um longo período de tempo. Se guardada carregada ela demora cerca de um ano para descarregar 40%, fazendo dela a bateria secundária de melhor retenção de carga. Entretanto essas baterias devem ser guardadas carregadas, pois na descarga existe grande quantidade de sulfato de chumbo, que pode endurecer gradualmente, impedindo a reação inversa que ocorre durante a carga da bateria. Esse fenômeno é conhecido como sulfatação, e é irreversível. Se a bateria ficar sem uso é aconselhável dar cargas suplementares na bateria em intervalos de tempo regulares, conforme a figura 19 (SUFFERN, 1956):

<b>Temperatura de armazenamento</b>	<b>Intervalos de carga</b>
20°C ou menos	A cada 9 meses
20°C a 30°C	A cada 6 meses
30°C a 40°C	A cada 3 meses

**Figura 19 – Carga para armazenamento da bateria.**

**Fonte: Com adaptação de BATERIAS PAMPA, 2013.**

As baterias de chumbo-ácido não seladas (Figura 20), também conhecidas como FVLA (*Free Vented Lead Acid* – baterias chumbo ácido ventiladas), tem perdas de água por evaporação, água essa criada durante as reações de descarga. Por isso é necessário completar a água da bateria em intervalos regulares. Ela deve ser usada em locais especiais, com sistemas de controle de ar e instalações elétricas a prova de explosão, pois emite gases perigosos (CHAGAS, 2007).



**Figura 20 – Bateria FVLA.**

Fonte: CHAGAS, 2007.

As baterias chumbo-ácido seladas, também conhecidas como VRLA (*Valve Regulated Lead Acid* – bateria de chumbo-ácido regulada por válvula) podem ser de dois tipos, de eletrólito em gel e de eletrólito absorvido nos separadores. Como diz o nome são reguladas por válvula, permitindo a recombinação da maior parte dos gases produzidos durante a carga e descarga, diminuindo as perdas de água, de modo que não necessitam de manutenção e funcionam em qualquer posição (CHAGAS, 2007).

As baterias seladas (Figura 21) são utilizadas principalmente em aplicações estacionárias, como *no-breaks*, que podem ser de vários tamanhos para atender variadas demandas.



**Figura 21 – Bateria VRLA.**

Fonte: CHAGAS, 2007.

Na prática são adotadas algumas ações em relação ao uso da bateria de chumbo ácido, com a intenção de aumentar sua vida útil. Uma delas é relacionada à profundidade da descarga. Na teoria e na prática é possível descarregar uma bateria até que ela atinja a tensão de 0 V entre o terminal positivo e o negativo, fazendo com que toda a energia química seja retirada dela, mas isso faria com que fossem criados cristais de sulfato de chumbo, que são irreversíveis, ou seja, eles não sofrem a reação química inversa quando submetidos à uma corrente elétrica na direção oposta, diminuindo drasticamente a vida útil da bateria. Para que isso não ocorra é estabelecido que permaneça um limite mínimo de carga na bateria, durante a descarga, que geralmente é de 1,75 V por conjunto de placas positiva e negativa (CHAGAS, 2007).

A profundidade de descarga é o percentual de energia que se retira da bateria, considerando 100% de profundidade de descarga quando ela atinge 1,75 V por cada elemento (conjunto de placas positiva e negativa), e 0% de profundidade de descarga quando ela está totalmente carregada (CHAGAS, 2007).

Considerando a profundidade de descarga em uma temperatura média de 25 °C, uma bateria de chumbo-ácido tem a seguinte vida útil (BATERIAS PAMPA, 2013):

<b>Profundidade de descarga</b>	<b>Ciclos</b>
100%	150 a 200
50%	400 a 500
30%	1000 ou mais

## **2.6 CARREGADOR DE BATERIA**

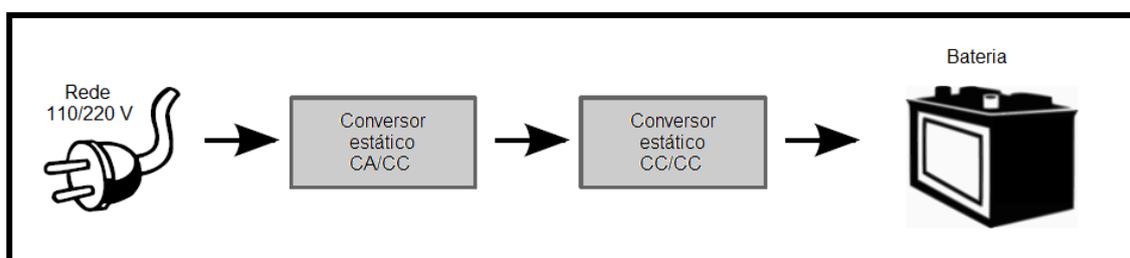
O carregador de bateria consiste basicamente em uma fonte de energia que envia para a bateria uma corrente elétrica contínua, no sentido contrário da corrente gerada quando a bateria está em processo de descarga (Figura 23) (SUFFERN, 1956).



**Figura 22 – Carregador de bateria de chumbo-ácido.**

Fonte: ALIEXPRESS, 2013.

A figura 23 mostra o diagrama de blocos de um carregador de baterias.



**Figura 23 – Diagrama de blocos de carregador de bateria.**

Fonte: LAFUENTE, 2011.

Os carregadores mais simples são limitadores de corrente, com um temporizador previamente programado pelo fabricante, que determina o tempo em que determinada corrente consegue repor toda a carga da bateria. Entretanto não se deve fazer circular uma corrente excessiva durante a recarga, pois devido à resistência da bateria será gerado calor, aquecendo a bateria, podendo danificar os eletrodos e o eletrólito, e até formar certos gases, que se estiverem sob pressão podem explodir a bateria.

Os carregadores mais complexos trabalham de outro modo, pois controlam a tensão e a corrente através da bateria, fazendo a carga total em algumas etapas diferenciadas.

Visando uma maior vida útil para a bateria de chumbo ácido, a técnica de carregamento mais recomendada para elas consiste em três estágios. No primeiro estágio, que ocupa os primeiros 40% do total do tempo de carga, é aplicado uma corrente constante, variando a tensão até que a bateria atinja uma tensão nominal. Neste estágio a bateria é recarregada em 70% de sua capacidade. No segundo estágio a tensão aplicada é constante, e a intensidade da corrente diminui gradativamente até o ponto de saturação da bateria. Este estágio toma outros 40% do tempo total de recarga, e tem como objetivo aumentar a vida útil da bateria. Se esse estágio não ocorrer a bateria pode perder a capacidade máxima de carga. O terceiro estágio, também chamado de flutuação, consiste em aplicar uma corrente mínima e uma tensão ondulatória, e tem como objetivo manter a tensão nominal da bateria quando ela não estiver sendo utilizada, compensando o efeito de descarga natural da bateria, como apresentado na figura 24 (LAFUENTE, 2011).

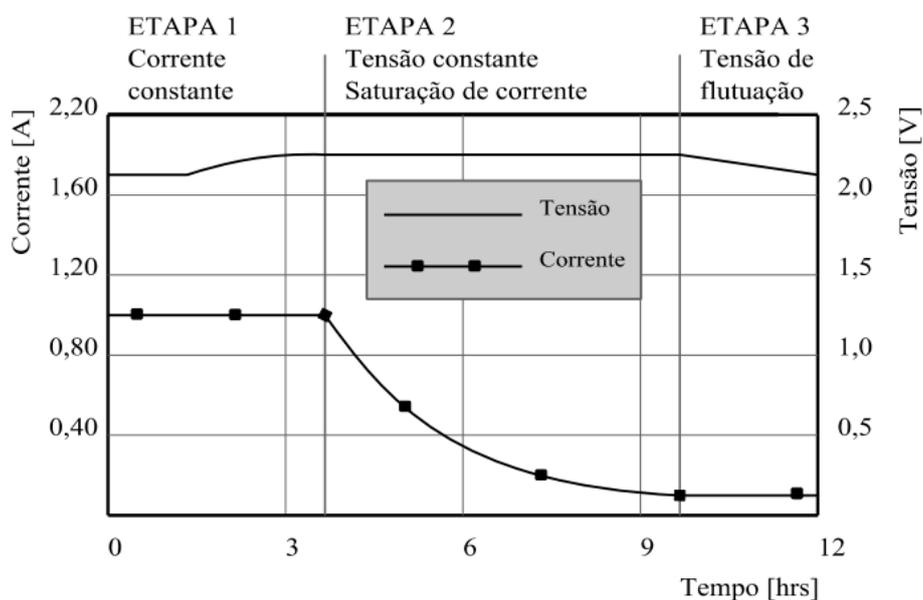


Figura 24 – Etapas do carregamento da bateria de chumbo-ácido.

Fonte: LAFUENTE, 2011.

### 3 METODOLOGIA

Para a execução desse trabalho foi dividido em seleção dos componentes elétricos e mecânicos, integração e simulação.

A seleção dos componentes elétricos e mecânicos têm por finalidade escolher os componentes de melhor desempenho dentro do custo planejado. Por esse motivo foram selecionados vários itens da China, que são comercializados por diversos fabricantes através do site [www.aliexpress.com](http://www.aliexpress.com).

A integração será a parte responsável do projeto por analisar o dimensionamento das peças e componentes, a fim de planejar sua montagem da melhor maneira possível na estrutura da bicicleta, para que o conjunto trabalhe em funcionalmente com o usuário. Serão utilizados softwares de CAD 3D para auxiliar no dimensionamento e montagem.

A simulação avaliará a bicicleta em diversas situações, variando principalmente o peso do ciclista e a quantidade de potência que ele fornece através do pedal. Para isso será utilizado um programa simulador de bicicletas elétricas, chamado *Single Permanent Magnet Motor Electric Vehicle Simulator*.

#### 3.1 BICICLETA

A bicicleta é o componente com a maior parcela de responsabilidade pelo deslocamento do usuário. Esse deslocamento ocorre por conta da transmissão do movimento dos pedais para a roda, através da corrente, auxiliado pelo giro do motor elétrico.

A bicicleta deve ter uma estrutura tal que permita o acoplamento de todos os componentes, sem prejudicar o movimento do usuário.

O fator decisivo na escolha da bicicleta foi o preço, para que o projeto seja o mais economicamente viável, além disso, as bicicletas que são popularmente comercializadas tem a estrutura muito semelhante.

Após algumas pesquisas foi escolhida a bicicleta HX1 da marca Oceano, modelo 2012, que pesa 14 kg. As características dessa bicicleta podem ser vistas na figura 25. Esta bicicleta pode ser comprada

na loja online americanas.com por R\$ 209,80. O frete para este produto está estimado em R\$ 48,96.

<b>Componente</b>	<b>Tipo</b>
Quadro	Aço carbono
Garfo dianteiro	Aço carbono
Garfo traseiro	Aço carbono
Aro	26
Pneus	26 x 1,75
Guidão	Downhill – Aço
Manoplas	Gropt System
Selim	Poliuretano
Freios	Cantilever
Pedal	Resina sueca
Pedivela	Monobloco 160mm
Marcha	18
Engrenagem	Tripla - 28/38/48 dentes
Corrente	1/2 x 3/32

**Figura 25 – Características da bicicleta Oceano HX1.**

**Fonte: AMERICANAS.COM, 2013.**

Será também adquirido um bagageiro para a bicicleta, que será colocado em cima da roda traseira (figura 26).



**Figura 26 - Bagageiro traseiro de bicicleta.**

**Fonte: Com adaptação de 3D CAD BROWSER, 2013.**

Esse bagageiro será adquirido através do site [www.mercadolivre.com.br](http://www.mercadolivre.com.br) por R\$ 22,90, e o valor do frete é de R\$ 8,06, somando um total de R\$ 30,96, e pesa 1 kg.

### **3.2 MOTOR**

A função do motor é de auxiliar o esforço humano para o impulso da bicicleta. Os pontos relevantes para a escolha do motor foram o custo, a tensão em que ele trabalha, a corrente e potência nominais e as dimensões geométricas, a fim de ter a melhor transmissão possível de seu movimento para a bicicleta.

Para o projeto será utilizado um motor BLDC do fabricante JSH-ELECTRIC BICYCLE, fabricado na China e pesa 2 kg (figura 27). O preço desse motor é U\$ 70,00 e o frete para o Brasil custa U\$ 40,33, resultando no total de U\$ 110,33 (R\$ 253,76, considerando U\$ 1,00 = R\$ 2,30).



**Figura 27 – Motor BLDC de 36 V.**

**Fonte: ALIEXPRESS, 2013.**

As principais características do motor em questão estão na figura 28.

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Potência nominal	250 W
Ligação dos enrolamentos no estator	Y
Tensão nominal	36 V
Corrente nominal	6,94 A
Binário nominal	6,63 Nm
Rotação nominal	547,6 rpm
Frequência nominal	36,4 Hz
Número de polos	8
Resistência do estator por fase	0,453 $\Omega$
Indutância do estator por fase	206 mH

**Figura 28 – Especificações do motor BLDC.**

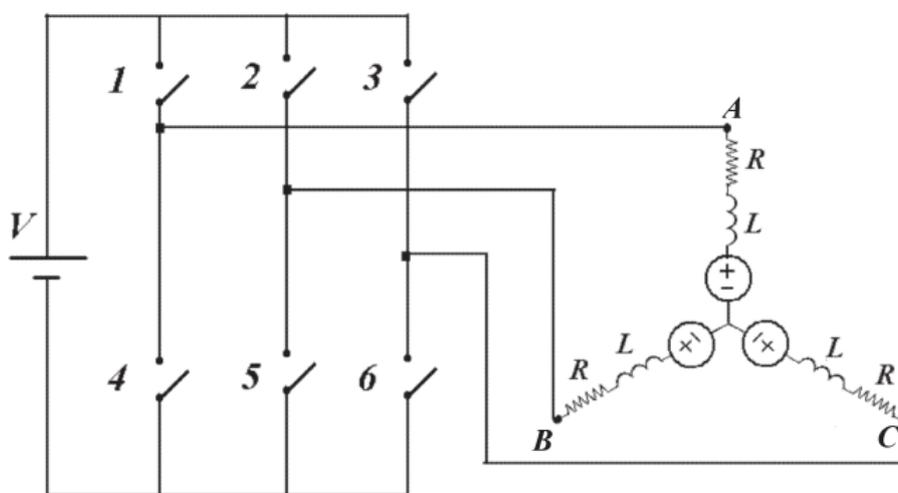
**Fonte: ARAÚJO, 2012.**

Foi escolhido um motor de 36 V em vez de um de 24 V porque para alcançar a potência nominal de 250 W o motor de 24 V consumiria uma corrente maior, conforme a equação 5:

$$P = V \times I \quad (5)$$

Logo para uma potência ( $P$ ) de 250 W o motor de ( $V$ ) 36 V utiliza uma corrente ( $I$ ) de 6,94 A, já o motor de 24 V, que utiliza 10,42 A, correspondendo a 50% maior que o anterior. O consumo maior de corrente significa que a bateria para o motor de 24 V teria uma menor autonomia.

Os enrolamentos do motor estão conectados em Y, e seu acionamento direto é feito, basicamente, através de um inversor de ponte completa de seis chaves (figura 29) (CHAI, 1998).



**Figura 29 – Esquemático do sistema de chaveamento do motor BLDC.**

Fonte: CHAI, 1998.

Na figura 29, R e L são, respectivamente, a resistência e a indutância de uma fase do enrolamento. Para que o motor gire a sequência correta de acionamentos de chaves é 1-5, 1-6, 2-6, 2-4, 3-4, 3-5. Seguindo essa sequência o sentido da corrente nos enrolamentos será conforme representado na figura 30.

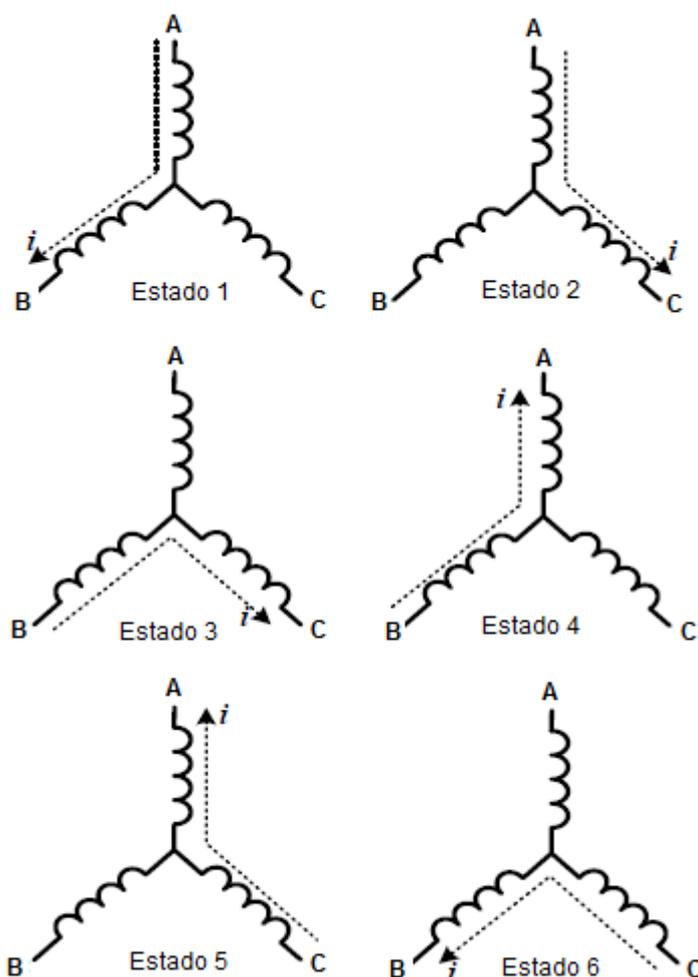


Figura 30 – Sentido da corrente elétrica no motor BLDC.

Fonte: Com adaptação de ARAÚJO, 2012.

### 3.3 CONTROLADOR DO MOTOR

As características relevantes para a escolha do controlador do motor foram as funções que ele desempenha, a tensão e corrente em que ele trabalha e o custo.

O controlador escolhido para o projeto foi o controlador para motores BLDC de bicicleta elétrica, que trabalha com 36 V e 350/250 W, do fabricante Shen Zhen Rongxing Trading Co., Limited, fabricado e vendido na China (figura 31), e pesa 700 g. O preço desse controlador é de U\$ 23,75 (R\$ 54,63, considerando U\$ 1 = R\$ 2,30), com frete gratuito.



Figura 31 – Controlador do motor BLDC de 36 V.

Fonte: ALIEXPRESS, 2013.

A função do controlador é energizar as fases corretas no momento correto, a fim de fazer o rotor do motor dar uma volta completa. A informação de quais fases deverão ser acionadas é processada com base na leitura dos sensores Hall. A figura 32 mostra um diagrama das entradas e saídas do controlador.

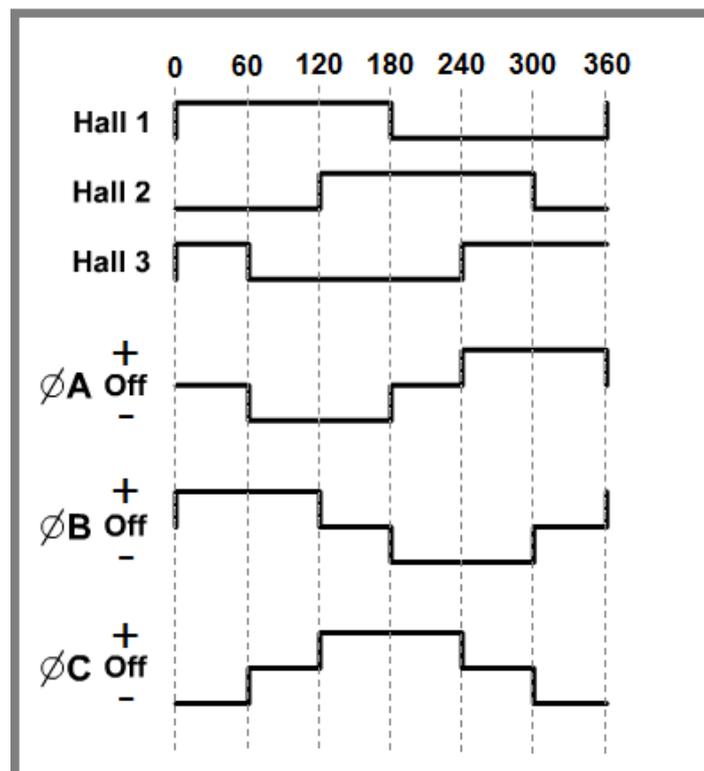


Figura 32 – Diagrama de entradas e saídas do controlador.

Fonte: Com adaptação de MOURA, 2010.

### 3.4 BATERIA

Os fatores que foram considerados para a escolha da bateria foram a tensão de saída, a corrente fornecida, o custo e o peso, visto que existem várias tecnologias de baterias, utilizando diversos elementos

A bateria que foi selecionada para o projeto é a bateria de chumbo-ácido da marca Get Power, de 12 V e carga nominal de 12 Ah, comercializada na cidade de Rio de Janeiro por R\$ 120,00 (figura 33). Serão utilizadas três baterias, ligadas em série para obter os 36 V para alimentar o motor. O valor calculado para o frete das três baterias para Curitiba é de R\$ 49,20, acarretando o custo total de R\$ 409,20.



**Figura 33 – Bateria chumbo ácido 12 V, 12 Ah.**

**Fonte: MERCADO LIVRE, 2013.**

Apesar de seu peso elevado (3,6 kg cada) ela foi escolhida devido sua relação custo benefício, visto que as baterias de lítio, que são comumente utilizadas para esse propósito, tem um custo mais elevado.

### 3.5 CARREGADOR DA BATERIA

Será utilizado um carregador de bateria do fabricante DYKB, fabricado e comercializado na China (figura 34). Esse carregador tem as seguintes especificações:

- Tensão de entrada: 100 – 240 V
- Frequência de entrada: 50-60 Hz
- Tensão de saída: 36 V
- Corrente de saída: 1,5 A



**Figura 34 – Carregador de bateria chumbo-ácido.**

**Fonte: ALIEXPRESS, 2013.**

O custo desse componente é de U\$ 16,99 (R\$ 39,08, considerando U\$ 1,00 = R\$ 2,30).

### 3.6 ACELERADOR

Foi escolhido o acelerador da marca Wuxing, fabricado e comercializado na China (figura 35), pelo fornecedor E-Bike Factory China. Esse componente custa U\$ 15,60 (R\$ 35,88, considerando U\$ 1 = R\$ 2,30) e seu peso é de 300 g. Esse acelerador pode ser acionado pelo polegar do usuário, e é colocado no guidão, antes da manopla. Ele vem também com um indicador de carga da bateria, medindo 3 estágios, que são *FULL*, *HALF* e *EMPTY* (representando carga total, meia carga e descarregada, respectivamente).



**Figura 35 – Acelerador.**

**Fonte: ALIEXPRESS, 2013.**

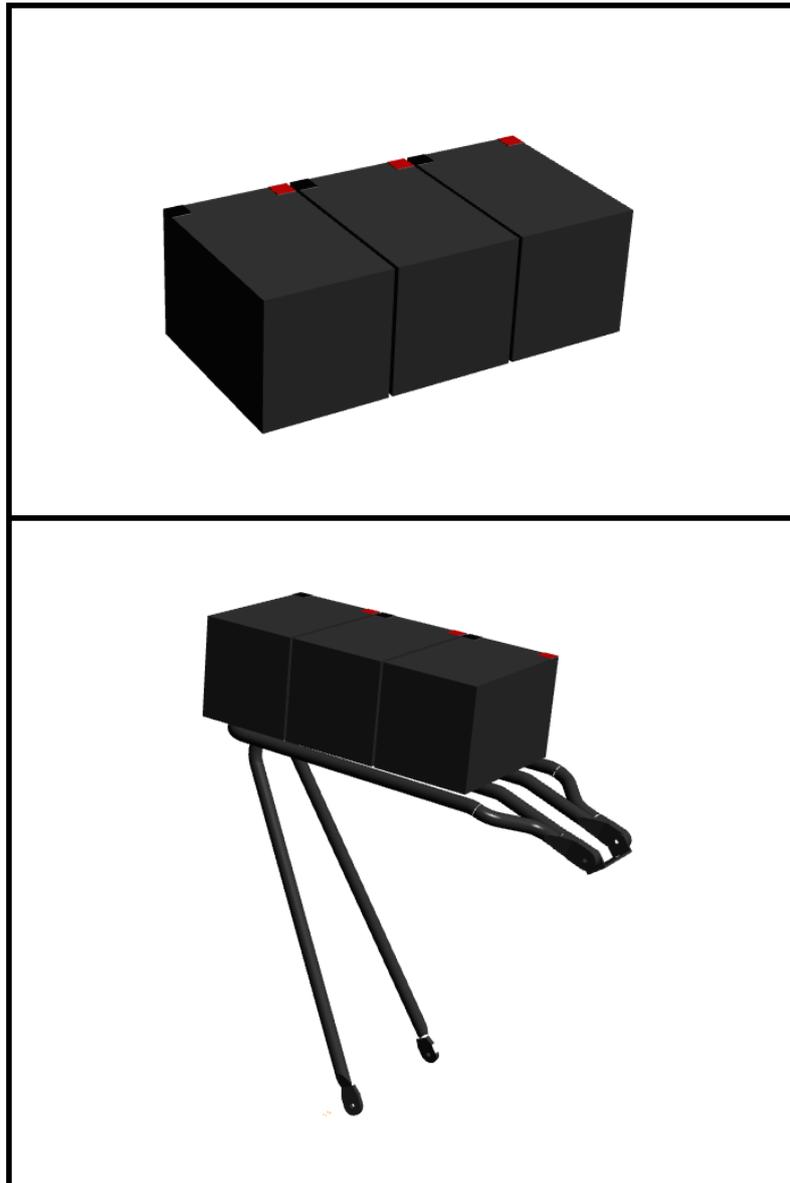
As conexões desse componente são feitas do seguinte modo:

- Fio vermelho: + 5 V.
- Fio azul: 0 V.
- Fio verde: sinal de saída do acelerador.
- Fio amarelo: ligado no conector que indica a carga da bateria.
- Fio marrom: está conectado no botão vermelho.
- Fio amarelo: stá conectado no botão vermelho.

## 4 INTEGRAÇÃO

A integração é a etapa em que será feita a interligação entre os componentes e eles serão acoplados na bicicleta.

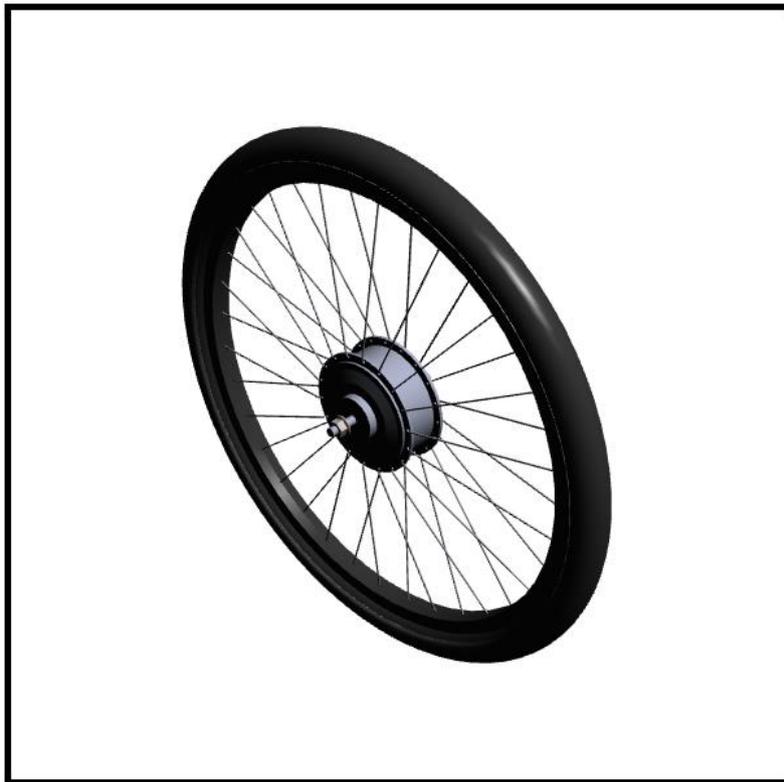
Como foi dito anteriormente, as baterias serão ligadas em série e posicionadas em cima do bagageiro traseiro, como mostra a figura 36.



**Figura 36 – Baterias e bagageiro traseiro.**

**Fonte: Com adaptação de 3D CAD BROWSER, 2013.**

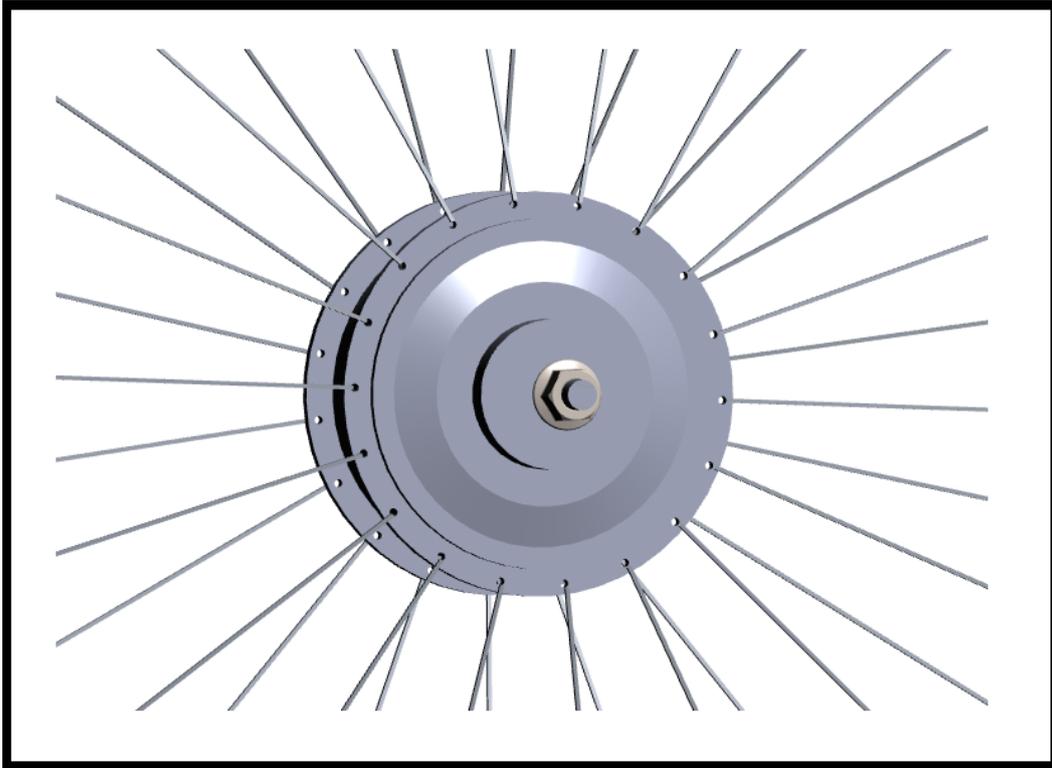
O motor será inserido na roda dianteira, substituindo o cubo (figura 37).



**Figura 37 – Motor inserido na roda dianteira.**

**Fonte: Com adaptação de 3D CAD BROWSER, 2013.**

Os raios da roda serão fixados no motor (figura 38). Esse serviço será feito em uma loja de bicicletas e custa R\$ 35,00, e o jogo de raios de aro 20 foi cotado em R\$ 23,00.



**Figura 38 – Raios da roda dianteira.**

**Fonte: Com adaptação de 3D CAD BROWSER, 2013.**

Depois de inserido o motor nos raios da roda o conjunto é fixado no garfo dianteiro, conforme a figura 39. A fabricação do motor respeita as dimensões de rodas e garfos de bicicletas de aro 26 comuns, a fim de ter um simples encaixe na maioria dessas bicicletas.



**Figura 39 – Motor fixado no garfo dianteiro.**

**Fonte: Com adaptação de 3D CAD BROWSER, 2013.**

O controlador do motor também será fixado no bagageiro traseiro, junto com as baterias. A figura 40 mostra o diagrama de conexões do controlador com os demais componentes da bicicleta.

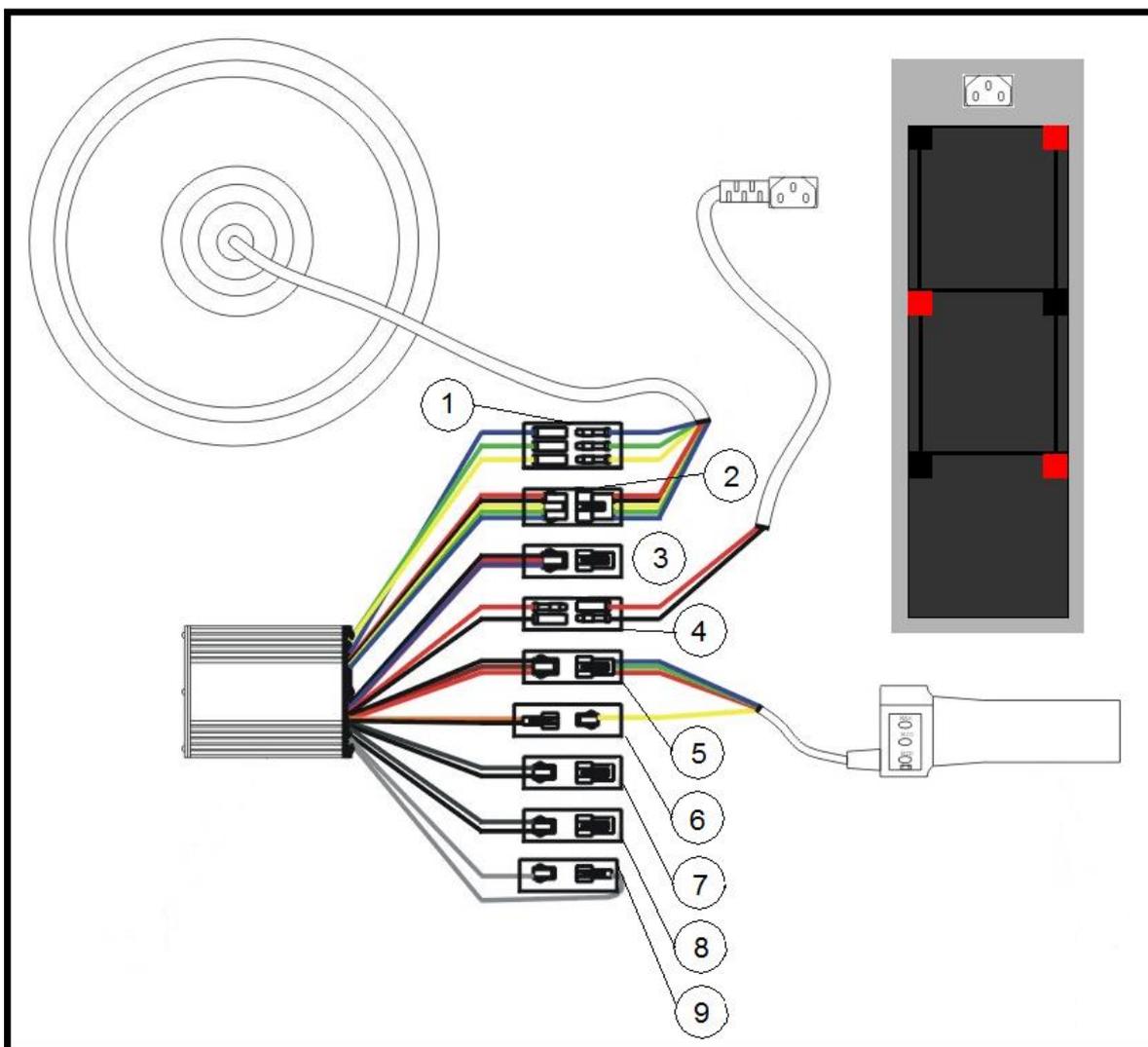


Figura 40 – Diagrama de conexões do controlador.

Fonte: Com adaptação de JUICYBIKE, 2013.

As conexões demonstradas na figura 41 se dão do seguinte modo:

- 1: Conector composto de 3 fios, sendo a fase A do motor (fio amarelo), fase B do motor (fio verde), fase C do motor (fio azul).
- 2: Conector composto de 5 fios, que vão ligados aos sensores de efeito Hall. O fio vermelho recebe + 5 V, o preto recebe 0 V, o amarelo recebe o sinal do sensor hall correspondente a fase A, o verde recebe o sinal do sensor hall correspondente a fase B e o azul recebe o sinal do sensor hall correspondente a fase C.
- 3: PAS (*Pedal Assistance System* – Sistema de Pedal Assistido) (não será utilizado).

- 4: Conector composto de 2 fios, que vão conectados na bateria. São eles o fio vermelho, que é ligado no polo positivo da bateria e o fio preto, que é ligado no polo negativo.
- 5: Conector que é ligado no acelerador. Composto de 3 fios, o vermelho é conectado no fio vermelho do acelerador (+ 5 V), o fio preto conectado no fio azul do acelerador (0 V), e o fio marrom é conectado no fio verde do acelerador (sinal do acelerador).
- 6: É ligado no display de carga que está junto ao acelerador (fio amarelo).
- 7: Sensor de freio (não será utilizado).
- 8: Sensor de freio (não será utilizado).
- 9: Restrição de velocidade. Um par de fios brancos, ambos saindo do controlador, que deve ser ligados um no outro para restringir a velocidade.

Depois de feita a montagem a bicicleta terá seu aspecto conforme a figura 41.



**Figura 41 – Bicicleta elétrica.**

**Fonte: Com adaptação de 3D CAD BROWSER, 2013.**

Considerando os componentes anteriormente citados, tem-se a seguinte relação de custos detalhados e custo total:

<b>Descrição</b>	<b>Produto/Serviço</b>	<b>Frete</b>	<b>Total do Produto</b>
Bicicleta	R\$ 209,80	R\$ 48,96	R\$ 258,76
Bagageiro	R\$ 22,90	R\$ 8,06	R\$ 30,96
Motor	R\$ 161,00	R\$ 92,76	R\$ 253,76
Controlador do motor	R\$ 54,63	R\$ 0,00	R\$ 54,63
Baterias	R\$ 360,00	R\$ 49,20	R\$ 409,20
Carregador da bateria	R\$ 39,08	R\$ 0,00	R\$ 39,08
Acelerador	R\$ 35,88	R\$ 0,00	R\$ 35,88
Raio	R\$ 23,00	R\$ 0,00	R\$ 23,00
Enraizamento	R\$ 35,00	R\$ 0,00	R\$ 35,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 1.140,27</b>

## 5 SIMULAÇÃO

Como dito anteriormente, as simulações são feitas utilizando o programa *Single Permanent Magnet Motor Electric Vehicle Simulator* (figura 42).

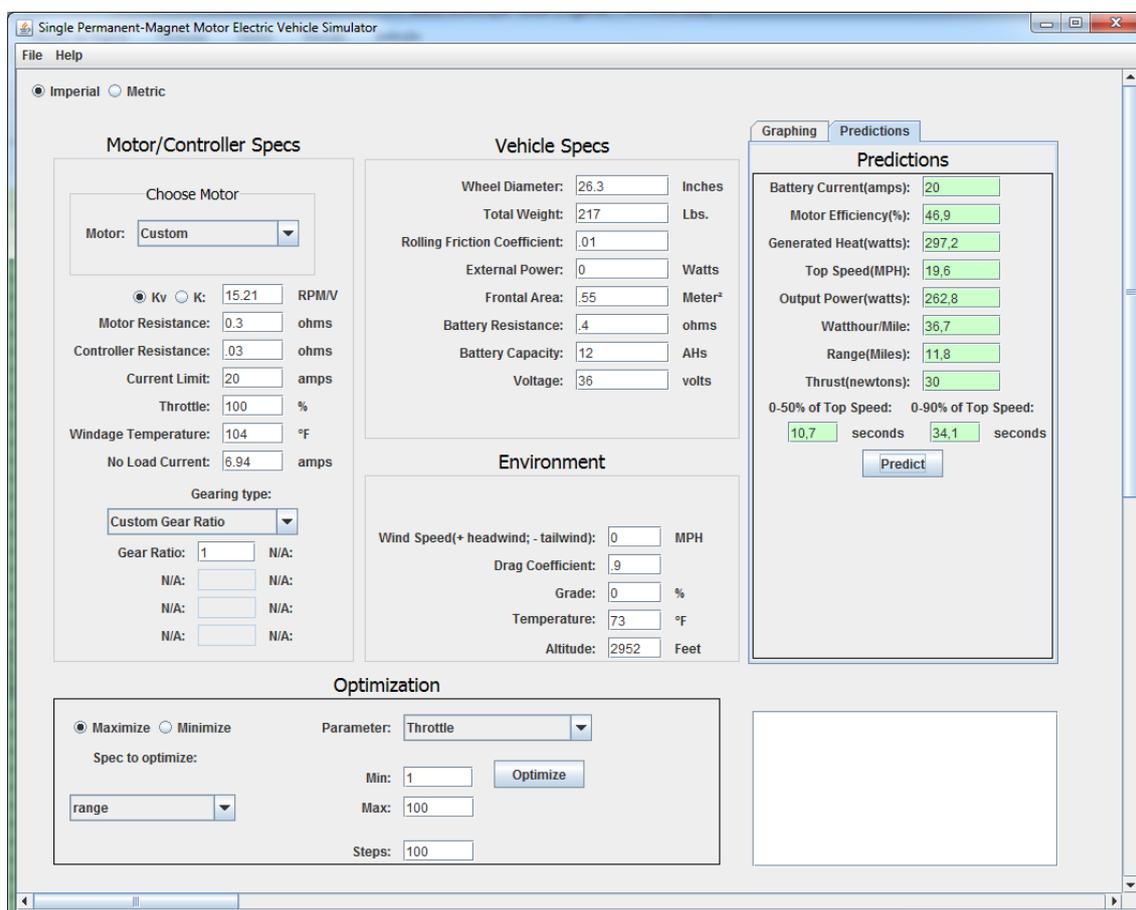


Figura 42 – Single Permanent Magnet Motor Electric Vehicle Simulator.

Fonte: ENDLESS SPHERE TECHNOLOGY, 2013.

As variáveis de entrada dessa simulação são:

- Kv: Constante do motor que expressa o número de rotações por minuto do motor por volt aplicado, considerando que o motor está sem carga. Esse valor pode ser encontrado através da seguinte expressão:  $K_v = \text{RPM} / V$ . No caso do motor utilizado nesse projeto a rotação nominal é de 547,6 RPM, a tensão nominal do motor é 36 V, logo o valor encontrado para Kv é de 15,21 RPM/V.

- Resistência do motor: para o motor em questão foi encontrada a resistência de  $0,3 \Omega$ .
- Resistência do controlador do motor: a resistência encontrada para o controlador em questão é de  $0,03 \Omega$ .
- Corrente máxima: para o sistema estudado a corrente máxima é a corrente máxima fornecida pela bateria, que é de 12 A.
- Acionamento do acelerador: o quanto o usuário está acionando o acelerador. Será considerado o acionamento total (100%).
- Temperatura dos enrolamentos: é considerada uma temperatura de  $40^{\circ} \text{C}$ .
- Corrente nominal do motor: a corrente que ele demanda sem movimentar uma carga. A corrente nominal do motor estudado é de 6,94 A.
- Diâmetro da roda: a roda da bicicleta escolhida para o projeto tem 263 mm de diâmetro.
- Peso total: a simulação será feita variando o peso total. Entretanto, existe o peso fixo da bicicleta elétrica, que é de 28,8 kg.
- Coeficiente de resistência ao rolamento: quando o pneu rola ele é deformado pela carga exercida sobre ele, fazendo com que este fique plano na zona de contato do pneu com a superfície. Essa deformação provoca uma perda de energia, que causa uma força de resistência ao rolamento (SANTOS, 2012). Será considerado o coeficiente de resistência ao rolamento de 0.01.
- Forças externas: potência, em watts, fornecida pelo ciclista através das pedaladas. Na simulação serão considerados vários casos, variando a força externa. Um adulto normal (que não é um ciclista profissional) pode gerar em média de 200 W (ASK A MATHEMATICIAN, 2014).
- Área frontal, que é a área que se opõe à resistência do ar. Será considerada uma área frontal de  $0,55 \text{ m}^2$ .
- Resistência da bateria: é considerada a resistência de  $0,4 \Omega$ .
- Corrente nominal fornecida pela bateria: para a bateria estudada no projeto a corrente nominal é de 12 A.

- Tensão nominal da bateria, que para a associação de baterias estudada no projeto é de 36 V.
- Coeficiente de arrasto, que mede a força que a massa de ar faz contra o movimento da bicicleta. É considerado o coeficiente de arrasto de 0,9.
- Temperatura ambiente: para as simulações será considerada a temperatura ambiente de 23°C.
- Altitude: é considerada a altitude de 934 metros.

A primeira simulação será feita considerando um ciclista que pesa 70 kg. Será variada a força externa e os resultados serão a autonomia da bateria (figura 42).

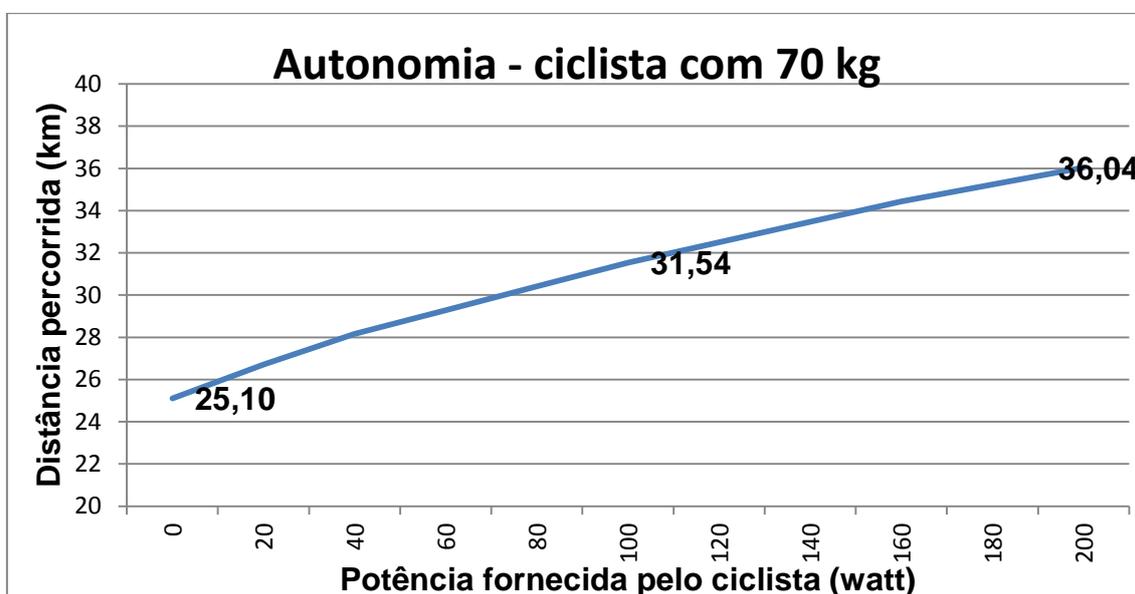


Figura 43 – Gráfico da autonomia da bicicleta para ciclistas com 70 kg.

Fonte: Autoria própria.

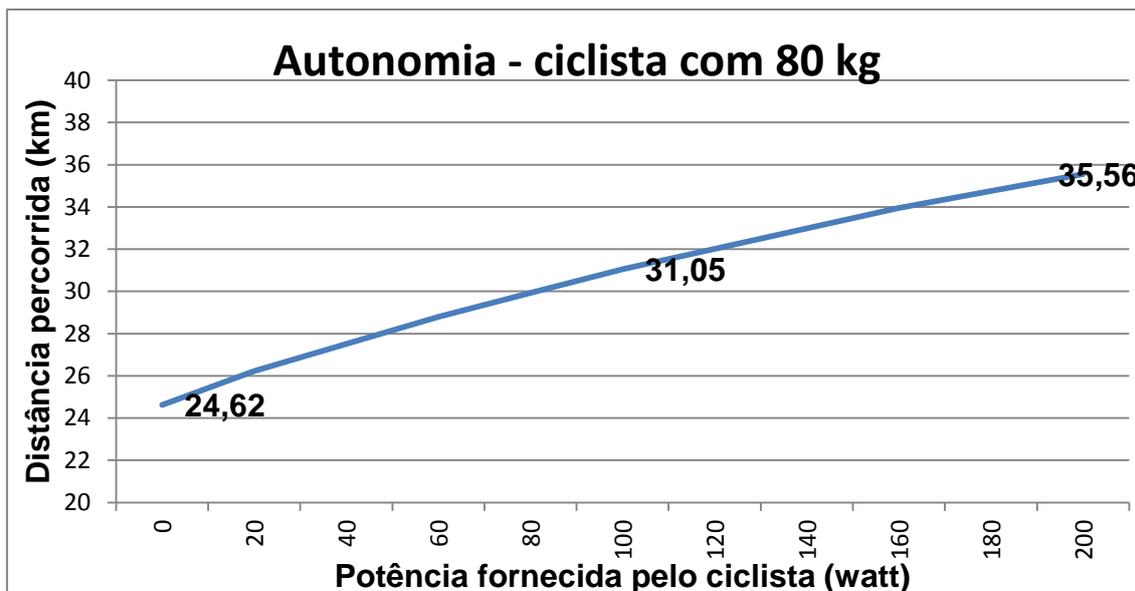


Figura 44 – Gráfico da autonomia da bicicleta para ciclistas com 80 kg.

Fonte: Autoria própria.

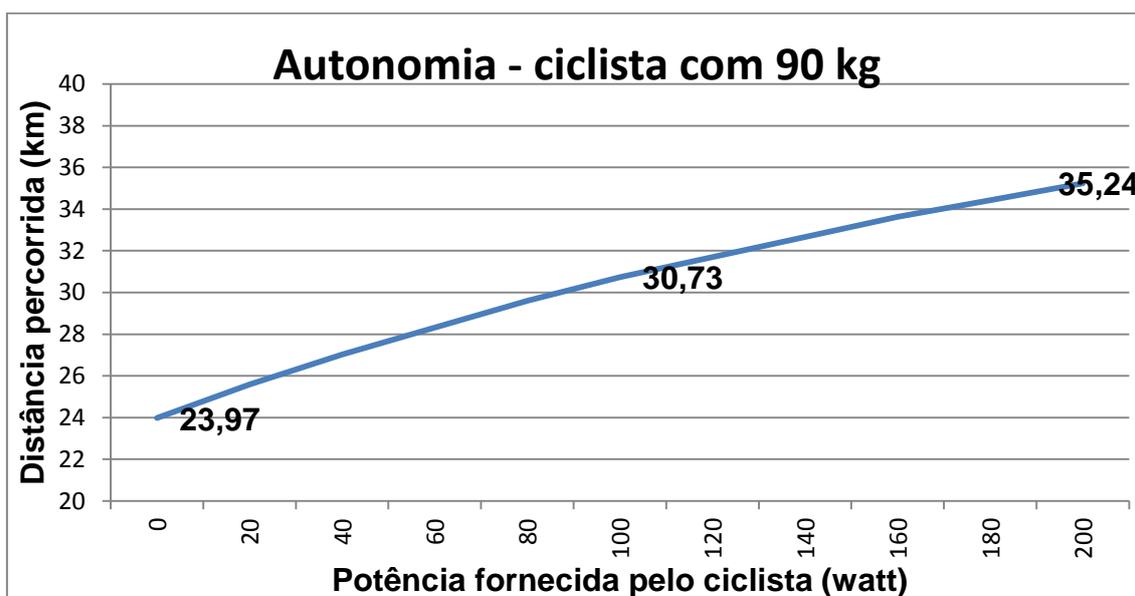


Figura 45 – Gráfico da autonomia da bicicleta para ciclistas com 90 kg.

Fonte: Autoria própria.

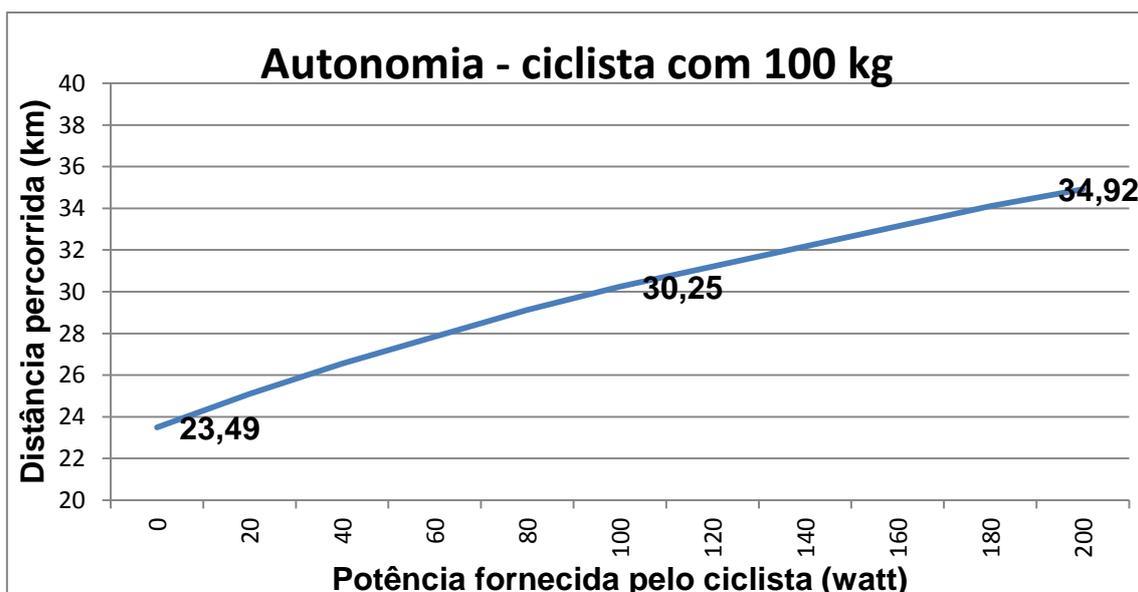


Figura 46 – Gráfico da autonomia da bicicleta para ciclistas com 100 kg.

Fonte: Autoria própria.

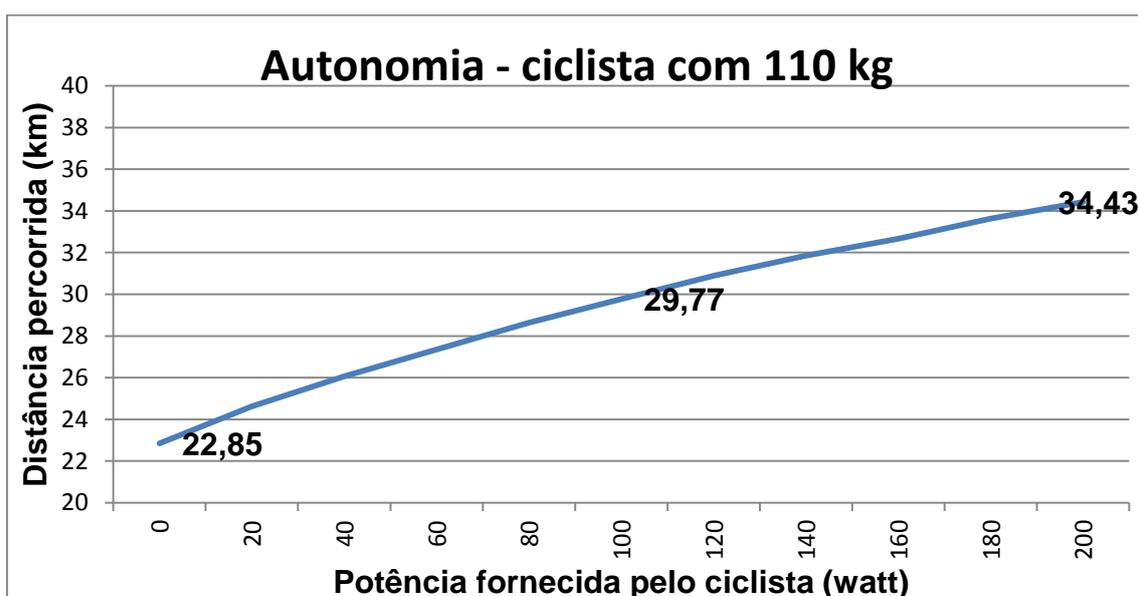


Figura 47 – Gráfico da autonomia da bicicleta para ciclistas com 110 kg.

Fonte: Autoria própria.

## 6 CONCLUSÃO

Através deste estudo pode-se demonstrar a importância de pesquisar meios de transporte alternativos, tanto por questões ambientais – como a emissão de gases tóxicos e a escassez de combustíveis fósseis – quanto por questões econômicas.

Foi possível estudar e pesquisar os princípios físicos e químicos que regem os diversos componentes que fazem parte da bicicleta elétrica, e com base nisso escolher aqueles que trabalham melhor como um sistema integrado, verificando sempre qual componente tem o melhor custo em relação a sua eficiência.

As simulações feitas estão dentro dos parâmetros da proposta, a bicicleta elétrica atende a necessidade de quem precisa fazer um percurso médio diário de até 30 km, sendo que quanto mais leve for o ciclista, maior a autonomia da bicicleta. Foi demonstrado que um ciclista de peso 70 kg, fornecendo 200 W terá uma autonomia de 36,04 km, enquanto outro ciclista de peso 110 kg, fornecendo a mesma potência, terá uma autonomia de 34,43 km.

Esse projeto mostrou-se economicamente viável, tendo um custo total de R\$ 1.140,27, somando todos os componentes e serviços necessários.

Os componentes estudados atendem todas as necessidades do projeto em questões de funcionalidade, seu funcionamento é de fácil operabilidade.

## REFERÊNCIAS

3D CAD BROWSER. **Bike [NURBS] 3D Model.** Disponível em: <<http://www.3dcadbrowser.com/download.aspx?3dmodel=32412>>. Acesso em: 29 dez. 2013.

ALIEXPRESS. **Electric Bicycle Motor.** Disponível em: <<http://www.aliexpress.com/item/electric-bicycle-conversion-kit-2013-New-Brushless-Gearless-Mini-Hub-Motor-36V-250W-for-Rear-Wheel/721491803.html>>. Acesso em: 14 ago. 2013.

ALIEXPRESS. **Battery charger.** Disponível em: <<http://www.aliexpress.com/item/Free-shipping-100-240VAC-42VDC-2-0A-Lithium-LiPo-Battery-Charger-E-Bike-charger-suitable-for/559930539.html>>. Acesso em: 11 ago. 2013.

AMERICANAS.COM. **Mountain bikes fixas.** Disponível em: <<http://www.americanas.com.br/produto/110836335/bicicleta-aro-26-hx1-impact-18-marchas-vermelho-preto-oceano?epar=buscape&epar=buscape&opn=YYNKZB#specTec>>. Acesso em: 13 out. 2013.

ARAÚJO, Rui J.F. **Desenvolvimento de uma Bicicleta Elétrica.** Portugal: Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2012.

ASK A MATHEMATICIAN. **How many people riding bicycle generators would be needed, in an 8-hour working day, to equal or surpass the energy generated by an average nuclear power plant?** Disponível em: <<http://www.askamathematician.com/2012/07/q-how-many-people-riding-bicycle-generators-would-be-needed-in-an-8-hour-working-day-to-equal-or-surpass-the-energy-generated-by-an-average-nuclear-power-plant/>>. Acesso em: 07 jan. 2014.

BANDNEWS FM CURITIBA. **Frota de veículos cresce ainda mais no PR.** Disponível em: <<http://bandnewsfmcuritiba.com/2013/01/31/frota-de-veiculos-cresce-ainda-mais-no-pr/>>. Acesso em: 21 abr. 2013.

BATERIAS PAMPA. **Regras gerais de segurança e manutenção de sua bateria.** Disponível em: <[http://www.bateriaspampa.com.br/news/n\\_0003.php](http://www.bateriaspampa.com.br/news/n_0003.php)>. Acesso em: 21 mai. 2013.

BRAGA, Newton C. **Como funcionam os sensores de Efeito Hall.** Revista Saber Eletrônica, Ed. Saber, 2001.

CHAGAS, Marcos W. P. **NOVAS TECNOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DE BATERIAS**. Curitiba: Dissertação no curso de Mestrado Profissionalizante em Desenvolvimento de Tecnologia, IEP/LACTEC, 2007.

CHAI, H. **Electromechanical motion devices**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.

ENDLESS SPHERE TECHNOLOGY. **New Open Source E-Bike/E-vehicle calculator & simulator**. Disponível em: <<http://endless-sphere.com/forums/viewtopic.php?f=2&t=6892&start=75#p119810>>. Acesso em: 17 dez. 2013.

GOZZI, Giuseppe G.M. **Circuitos Magnéticos**. Ed. Érica, 9ª Ed. 2000.

HENDERSHOT Junior, J. R. **Design of brushless permanent-magnet motors**. Hillsboro: Magna Physics; Oxford: Clarendon Press, 1994.

HYPERPHYSICS. **Hall Effect**. Disponível em: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/hall.html>>. Acesso em: 03 out. 2013.

JOHNSON ELECTRIC. **Motor EC (sem escovas)**. Disponível em: <<http://www.johnsonelectric.com/pt/resources-for-engineers/automotive-applications/motion-technology/ec-motor-brushless.html>>. Acesso em: 23 out. 2013.

JUICYBIKE. **Controller Connections**. Disponível em: <<http://www.juicybike.co.uk/diagnostics.asp>>. Acesso em: 12 nov. 2013.

KEYASSOCIADOS SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS. **Calculadora de Emissão de CO<sub>2</sub>**. Disponível em: <<http://www.keyassociados.com.br/calculadora-de-emissao-co2-carbono.php>>. Acesso em: 17 abr. 2013.

LAFUENTE, César O. **Carregador de baterias monofásico para aplicação em veículos elétricos**. Fortaleza: Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, 2011.

MACAMP. **Baterias automotivas e estacionárias**. Disponível em: <<http://www.macamp.com.br/baterias.htm>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

MADAAN, Pushek. **Cypress Semiconductor**. Disponível em: <<http://www.edn.com/design/sensors/4406682/Brushless-CC-Motors---Part-I--Construction-and-Operating-Principles>>. Acesso em: 28 abr. 2013.

MERCADO LIVRE. **Baterias para bike elétrica 12 V 12Ah**. Disponível em: <[http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-511998490-baterias-para-bike-eletrica-12v-12ah-\\_JM?redirectedFromParent=MLB498767585#!/califications](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-511998490-baterias-para-bike-eletrica-12v-12ah-_JM?redirectedFromParent=MLB498767585#!/califications)>. Acesso em: 22 set. 2013.

MERWE, Christo van der. **Home-built brushless models**. Disponível em: <[http://www.bavaria-direct.co.za/models/motor\\_info.htm](http://www.bavaria-direct.co.za/models/motor_info.htm)>. Acesso em: 31 abr. 2013.

MOÇO, Anderson. **Troque o carro pela bicicleta**. Disponível em: <[http://saude.abril.com.br/edicoes/0289/corpo/conteudo\\_250528.shtml](http://saude.abril.com.br/edicoes/0289/corpo/conteudo_250528.shtml)>. Acesso em: 22 abr. 2013.

MOURA, Ricardo L. **O uso de microcontroladores no acionamento e controle de motores Brushless CC**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.

NETO, Antônio L. Rezende; JÚNIOR, Ari Magagnin; NEIVA, Eduardo C. R; FARINHAKI, Ricardo. **Sistema de medição de campo magnético baseado no efeito Hall e Arduino**. Curitiba: Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010.

NEVES, Rodrigo A.; LUCA, Helder P. **Eficiência energética com aplicação de motores de ímãs permanentes**. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-enie-eficiencia-energetica-com-aplicacao-de-motores-de-imas-permanentes-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2013.

NEW PLAY GAME. **Diversão Online**. Disponível em: <<http://www.newplaygame.com/2011/05/imagens-de-bicicletas-para-imprimir-e-pintar/>>. Acesso em: 27 jul. 2013.

OLIVEIRA, João G. S. M. **Materiais usados na construção de motores elétricos**. Porto Alegre: Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2009.

PONTES, Ronaldo S. **Baterias de chumbo**. João Pessoa: Departamento de Química, Universidade Federal da Paraíba, 2009.

REVISTA BICICLETA. **Especial Bicicleta Elétrica**. Disponível em: <[http://www.revistabicicleta.com.br/bicicleta.php?especial\\_bicicleta\\_eletrica&id=2351](http://www.revistabicicleta.com.br/bicicleta.php?especial_bicicleta_eletrica&id=2351)>. Acesso em: 15 abr. 2013.

SANTOS, Nuno F. P. L. **Medição Experimental do Coeficiente de Resistência ao Rolamento e do Coeficiente de Arrasto Aerodinâmico de um Veículo Automóvel de Elevada Eficiência Energética**. Universidade de Coimbra: Departamento de Engenharia Mecânica, 2012.

SENSE ELETRIC BIKE. **BICICLETA ELÉTRICA**. Disponível em: <<http://www.sensebike.com.br/faq/>>. Acesso em: 15 abr. 2013.

SIEMENS. **SELEÇÃO DE MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA 1GG e 1GH**. Disponível em: <<http://www.siemens.com.br/upfiles/1700.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2013.

SUFFERN, Maurice E. **Basic Electrical Principles.** McGraw-Hill Book Company, INC. 2<sup>a</sup> Ed. 1956.

## ANEXOS

### ANEXO A – Manual de utilização da bicicleta elétrica

- Antes da primeira utilização da bicicleta é importante dar a primeira carga na bateria, que deve ser carregada totalmente;
- Conecte o cabo de alimentação na bateria para ligar a bicicleta. Para desligar desconecte o cabo;
- Para sua segurança pessoal, use sempre capacete e luvas;
- O usuário deve conseguir tocar o chão com as pontas dos pés;
- As mãos do usuário devem alcançar e apertar facilmente os freios;
- Verifique sempre a pressão dos pneus;
- Para uma maior autonomia comece pedalando, e depois acione o motor, pois o arranque quando se consome mais carga da bateria;
- Não acelere em 100% instantaneamente, acelere gradualmente para prolongar a carga da bateria;
- Evite frear e acelerar com frequência, para economizar energia e prolongar a vida útil da bicicleta elétrica;
- Siga as leis e regulamentações de trânsito de sua cidade;
- Sinalize com a mão sempre que for mudar de direção ou ao transpor um cruzamento. Mantenha o gesto até ter certeza de que os motoristas perceberam a sua intenção;
- Ande devagar em dias de chuva e freie antecipadamente quando houver obstáculos;
- Ande defensivamente;
- Fique atento com carros estacionados na rua, eles podem abrir a porta na sua frente;
- Cuidado com pedestres, crianças ou cachorros que estiverem perto, eles podem entrar na sua frente;
- Cuidado com buracos na rua, bueiros e meio-fio;
- Revise os sistemas de freio com frequência e ajuste os cabos de aço quando necessário, em razão do desgaste pela utilização das pastilhas de freio;

- Evite expor sua bicicleta a altas temperaturas;
- Evite expor sua bicicleta a chuvas fortes por um longo período de tempo;
- Evite expor sua bicicleta a fortes campos magnéticos;
- Guarde sua bicicleta em local fresco, seco e longe de líquidos e gases corrosivos;
- Nunca ande com sua bicicleta elétrica em locais com água acima de 20 cm, para preservar o sistema elétrico;
- Mantenha sempre as pastilhas de freio e aros das rodas fora de contato com óleos ou graxas para evitar falha em seu funcionamento;
- Sempre verifique as condições dos freios, quadro, selim, guidão e rodas para evitar acidentes;
- Objetos pendurados no guidão podem dificultar o controle de sua bicicleta. Evite-os;
- Para garantir a integridade dos pneus e evitar acidentes você deve evitar pedalar em terrenos acidentados, enlameados, vias empedradas e escadas;
- Mantenha sua bateria longe de fontes de calor, para evitar incêndios, explosões e formação de gases corrosivos;
- Ao manusear a bateria garanta que nenhum objeto metálico entre em contato com os polos;
- Se o ácido da bateria entrar em contato com a pele ou olhos lavar com água em abundância por pelo menos 15 minutos. Caso seja ingerido, beba imediatamente leite ou água. Procure um médico assim que possível;