

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
SANTA CATARINA.**

**CÂMPUS JOINVILLE  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA  
INDUSTRIAL**

GUILHERME KUNIYOSHI POGAN  
HELENA FERNANDES DITTERT  
JEAN LUCAS HOFFMANN

**DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO



GUILHERME KUNIYOSHI POGAN  
HELENA FERNANDES DITTERT  
JEAN LUCAS HOFFMANN

## **DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO**

JOINVILLE – SC  
2018



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA.**

**CÂMPUS JOINVILLE**

**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

GUILHERME KUNIYOSHI POGAN

HELENA FERNANDES DITTERT

JEAN LUCAS HOFFMANN

**DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO**

Submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, campus Joinville, como parte dos requisitos de obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial.

Orientador (a): José Flávio Dums, DR. ENG.

Coorientador (a): Edonir Krutzsch, TECG.

JOINVILLE – SC

2018

Dittert, Helena Fernandes.

Desenvolvimento de um Veículo Elétrico / Helena Fernandes Dittert, Jean Lucas Hoffmann, Guilherme Kuniyoshi Pogan – Joinville, 2018. 94 p.

Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto Federal de Santa Catarina, Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Joinville, 2018.

Orientador: José Flávio Dums, Dr.

1. Veículo elétrico. 2. Microcontrolador. 3. Direção eletrônica. I. Hoffmann, Jean Lucas. II. Pogan, Guilherme Kuniyoshi. III. Título.

## DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO

GUILHERME KUNIYOSHI POGAN

HELENA FERNANDES DITTERT

JEAN LUCAS HOFFMANN

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Mecatrônica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

**Joinville, 04 de Julho de 2018.**

**Banca Examinadora:**

---

Prof. José Flávio Dums, Doutor  
Orientador

---

Prof. Rafael Gomes Faust, Mestre  
Avaliador

---

Prof. Jefferson Luiz Jeronimo, Mestre  
Avaliador





## **AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto Federal de Santa Catarina, em especial nossos professores, direção e administração pela oportunidade de nos formar em um ensino superior de qualidade.

Ao professor orientador José Flávio Dums, pela dedicação e toda a ajuda na elaboração e conclusão desse trabalho.

Ao professor coorientador Edonir Krutzsch, pelo empenho, ajuda e dicas para melhoria dos aspectos visuais do protótipo.

A todos os professores que ajudaram, com disponibilização de materiais e ferramentas, para a confecção do protótipo.

Aos nossos pais, pelo amor, incentivo e todo o apoio prestado para que não desistíssemos de nossos objetivos.

A todos nossos amigos, que foram compreensivos durante os fins de semana sem nossa companhia, nosso obrigado.



## RESUMO

Este trabalho apresenta meios de desenvolver um veículo, com tração elétrica, utilizando de materiais de baixo custo em sua produção. A partir da observação da crescente popularidade dos veículos elétricos e de seus altos preços no mercado, verificou-se a possibilidade de contribuir com pesquisas para o desenvolvimento de um protótipo cujo custo final não é elevado. Para isso foram feitas pesquisas acerca de técnicas e procedimentos que poderiam ser usadas para este fim. Primeiramente foi produzida a parte mecânica, com a junção dos elementos para a criação do chassi e a usinagem de peças em materiais leves para função de eixos e sistemas de transmissão. As partes eletrônicas foram confeccionadas em módulos, garantindo um maior controle durante os testes e abrindo a possibilidade de uso dos circuitos modulares em diferentes aplicações. Essa é a parte composta pelos circuitos de controle e acionamento dos motores. Há também o painel, que armazena os circuitos modulares, e os mecanismos de pedais e volante que foram construídos para a adequação ao projeto. Com os testes realizados, constatou-se que havia certas falhas durante a execução do protótipo. Os objetivos do trabalho foram, em sua maioria, alcançados, trazendo novas ideias que podem ser implantadas posteriormente no projeto e servindo como bases para pesquisas futuras.

**Palavras-chave:** Veículo elétrico; Microcontrolador; Direção eletrônica.



## **ABSTRACT**

This work presents ways to develop a vehicle, with electric traction, using low cost materials in its production. Observing the growing popularity of electric vehicles and their high prices in the market, it was possible to make research which can contribute with the development of a low final cost prototype. In this aim, some research was done on techniques and procedures that could be used for this purpose. The mechanical structure was first produced, joining the elements for the chassis creation. The parts of the shafts and transmission systems were produced with light materials in machining processes. The electronic parts were made in modules, ensuring greater control during the tests and possibility the uses of this modular circuits in different applications. This is the part that control and drive the motors. There is also the panel, which stores the electronic circuits, the pedal and the steering wheel mechanisms, which were built to fit the design. With the tests performed, it was found that there were some failures during the execution of the prototype. The objectives of the work were, for the most part, achieved, bringing new ideas that can be implanted later in the project and serving as bases for future research.

**Keywords:** Electric vehicle; Microcontroller; Electronic direction.



## Lista de Figuras

Figura 1 - Design do primeiro carro elétrico. ....	11
Figura 2 - <i>Cadillac</i> 1912. ....	12
Figura 3 – Constituição de um motor de corrente contínua.....	13
Figura 4 - Regra da mão esquerda de Fleming.....	13
Figura 5 - Ponte H.....	15
Figura 6 - Estado 1 da ponte H, a) motor parado, b) motor rotacionando pela inércia. .....	16
Figura 7 - Estado 2 da ponte H. ....	16
Figura 8 - Estado 3 da ponte H. ....	17
Figura 9 - Estados 4 e 5. ....	17
Figura 10 - Estados 6 e 7. ....	18
Figura 11 - Exemplo de bateria automotiva convencional.....	19
Figura 12 - Exemplo de bateria estacionária.....	19
Figura 13 – Exemplo de bateria de níquel-hidreto metálico.....	20
Figura 14 – Exemplo de bateria de íon-lítio.....	20
Figura 15 - Membro com uma carga axial.....	21
Figura 16 - Membro com tensão normal de compressão.....	22
Figura 17 - Membro com tensão de cisalhamento.....	22
Figura 18 - Material com linhas de concentração de tensão.....	23
Figura 19 – Correia.....	23
Figura 20 – Corrente.....	24
Figura 21 – Engrenagem.....	24
Figura 22 – Correia plana.....	25
Figura 23 – Correia trapezoidal.....	25
Figura 24 – Correia dentada.....	26
Figura 25 – Corrente tipo Galle.....	26
Figura 26 – Corrente tipo Zobel.....	27
Figura 27 – Corrente tipo Dentes Invertidos.....	27
Figura 28 – Corrente de rolos.....	28
Figura 29 - Engrenagem cilíndrica de dentes retos e Engrenagem cilíndrica de dentes helicoidais.....	29
Figura 30 - Engrenagem cônica de dentes retos e Engrenagem cônica espiral.....	29
Figura 31 - Engrenagem parafuso sem fim.....	29
Figura 32 - Comparação entre os sistemas amortecido e os não amortecidos.....	30
Figura 33 – Funcionamento da soldagem MAG.....	31
Figura 34 – Bedame.....	32
Figura 35 – Torno convencional.....	33
Figura 36 - Torno CNC.....	33
Figura 37 – Local do “zero” em relação aos eixos X e Z.....	34
Figura 38 - Fresadora universal vertical.....	35
Figura 39 – Planejamento da estrutura em <i>Solid Works</i> .....	36
Figura 40 – Suspensão.....	37

Figura 41 – Amortecedores dianteiros acoplados.....	37
Figura 42 – Suspensão traseira.....	38
Figura 43 - Planejamento de quantidade de coroas. ....	40
Figura 44 - Tubos de aço.....	41
Figura 45 – Chassi.....	42
Figura 46 – Suportes dos amortecedores presos ao chassi. ....	42
Figura 47 - Versões para suporte dos amortecedores.....	43
Figura 48 - Dimensões da chapa de aço (Chão). ....	43
Figura 49 – Suporte do banco soldado ao chassi. ....	44
Figura 50 - Eixo. ....	45
Figura 51 – Esquema para cálculo das forças e reações sobre o eixo.....	46
Figura 52 – Critério de falha de Von Mises no eixo da roda. ....	47
Figura 53 – Deformação do eixo da roda.....	47
Figura 54 – Primeiro par. ....	49
Figura 55 – Segundo par. ....	49
Figura 56 – Barra embaixo do chassi. ....	50
Figura 57 – Redução (vista em perspectiva). ....	50
Figura 58 – Redução. ....	51
Figura 59 – Furos oblongos. ....	51
Figura 60 - PCI com vista superior e detalhes. ....	53
Figura 61 – Esquema mecânico dos potenciômetros acoplados aos pedais.....	53
Figura 62 - Volante preso ao painel.....	54
Figura 63 - Suporte para o volante. ....	54
Figura 64 - PWM do motor esquerdo em dois estágios, apenas aceleração.....	56
Figura 65 - PWM do motor esquerdo com acelerador e volante em excursão de 50% e 100%.....	56
Figura 66 – Fluxograma do funcionamento do motor esquerdo (parte 1). ....	57
Figura 67 – Fluxograma do funcionamento do motor esquerdo (parte 2). ....	58
Figura 68 - Funcionamento do potenciômetro do volante.....	59
Figura 69 – Fluxograma do funcionamento do motor direito.....	60
Figura 70 – Fluxograma do funcionamento do <i>Encoder</i> e LCD. ....	61
Figura 71 – Regulador de tensão. ....	62
Figura 72 – Circuito de potência. ....	64
Figura 73 – Placas de controle. ....	64
Figura 74 – Parte externa do painel.....	65
Figura 75 - Lado esquerdo do interior do painel. ....	65
Figura 76 - Lado direito do interior do painel. ....	65
Figura 77- Veículo finalizado. ....	66
Figura 78 – Critério de falha de Von Mises no primeiro eixo. ....	67
Figura 79 – Deformação no primeiro eixo.....	68
Figura 80 – Critério de falha de von Mises no segundo eixo. ....	68
Figura 81 – Deformação no segundo eixo. ....	68



## Lista de Siglas e Símbolos

A – Área.

B – Campo magnético.

CAD – *Computer Aided Design*.

CAM – *Computer Aided Manufacturing*.

CNC – Comando Numérico Computadorizado.

DC – *Direct Current*.

DIN – *Deutsches Institut für Normung*.

F – Força.

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina.

ISO – *International Organization for Standardization*.

kg – Quilograma.

kg/m<sup>3</sup> - Quilograma por metro cúbico.

MAG – *Metal Active Gas*.

mm – Milímetro.

ms – Milissegundos.

NiMH – Níquel-hidreto metálico.

P – Magnitude de Carregamento Axial.

Pa – Pascal.

PCI – Placa de Circuito Impresso.

PIC – *Programmable Interface Controller*.

PWM – *Pulse-Width Modulation*.

RPM – Rotações por minuto.

SAE - *Society of Automotive Engineers*.

W – Watt.

$\Omega$  - Ohm.

$\sigma$  – Tensão mecânica.

$\tau_{cis}$  - Tensão de cisalhamento máxima.

$\tau_{esc}$  - Tensão de escoamento máxima.

$^{\circ}\text{C/W}$  – Graus Célsius por Watt.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	7
1.1 JUSTIFICATIVA .....	7
1.2 OBJETIVO GERAL .....	8
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	10
2.1 HISTÓRICO DOS CARROS ELÉTRICOS.....	10
2.2 MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA .....	12
2.3 PONTE H .....	14
2.4 BATERIAS .....	18
2.5 RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS .....	21
2.6 RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO.....	23
2.6.1 Correia .....	24
2.6.2 Corrente.....	26
2.6.3 Engrenagem .....	28
2.7 SUSPENSÃO.....	30
2.8 SOLDAGEM MAG.....	31
2.9 USINAGEM.....	31
2.9.1 Torneamento .....	32
2.9.2 Fresamento.....	34
3 MECÂNICA .....	36
3.1 PLANEJAMENTO DA ESTRUTURA .....	36
3.1.1 Rodas .....	36
3.1.2 Tração.....	38
3.2 CONSTRUÇÃO.....	40
3.2.1 Chassi.....	40
3.2.2 Eixos .....	44
3.2.3 Eixos de Transmissão.....	48
4 ELETRÔNICA .....	52
4.1 CONTROLE .....	52

4.1.1 Motor esquerdo .....	55
4.1.2 Motor direito .....	59
4.1.3 Encoder e LCD.....	60
4.2 ACIONAMENTO DOS MOTORES .....	62
5 RESULTADOS OBTIDOS .....	67
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	73
APÊNDICE A – Programação do microcontrolador para o motor esquerdo.....	76
APÊNDICE B - Programação do microcontrolador para o motor direito.....	79
APÊNDICE C - Programação do microcontrolador para o <i>encoder</i> e <i>display</i> .....	82
APÊNDICE D – Projeto do circuito de driver. ....	84
APÊNDICE E – Projeto do circuito de Ponte H.....	85
APÊNDICE F – Projeto do circuito dos microcontroladores.....	86
APÊNDICE G – Projeto dos circuitos de relé, pedais e volante.....	87
APÊNDICE H – Diagrama de blocos da integração dos circuitos.....	88
APÊNDICE I – Eixo para as rodas.....	89
APÊNDICE J – Eixo de transmissão menor. ....	90
APÊNDICE K – Eixo de transmissão maior. ....	91
ANEXO A – Dados técnicos dos motores de corrente contínua.....	92
ANEXO B – Dados técnicos das baterias estacionárias.....	93
ANEXO C - Manual de usuario Honda Biz 125 ES-EX.....	94

## 1 INTRODUÇÃO

A criação do automóvel foi um dos maiores avanços tecnológicos dos últimos séculos, tornando-se uma ferramenta indispensável para o deslocamento de pessoas e cargas com agilidade e segurança. Os carros elétricos já foram mais populares e eram comumente usados, no início do século XX, para percorrer curtas distâncias dentro das cidades. Em consequência de diversos acontecimentos históricos envolvendo os veículos a combustão, os modelos elétricos se tornaram menos atrativos para a indústria e os consumidores.

Contudo, a partir da década de 1990, devido às novas tecnologias desenvolvidas pelo setor energético, bem como por questões socioambientais, firmados pelo protocolo de Kyoto, um acordo internacional entre os países integrantes da Organização das Nações Unidas, com o objetivo de diminuir a emissão de gases causadores do efeito estufa e o consequente aquecimento global, a popularidade do carro elétrico reapareceu.

Devido a essa intensificação da notoriedade do ramo automobilístico elétrico, muitas pesquisas estão sendo realizadas para melhorar a fase de desenvolvimento e a utilização dessa classe de automóveis.

Infelizmente o custo final de um modelo elétrico, de desempenho similar aos modelos à combustão, é um dos fatores mais críticos para o consumidor, pois o Brasil ainda não produz modelos “populares” de carros elétricos, e mesmo com os recentes incentivos governamentais, o imposto para importação dos veículos elétricos continua alto. Por esse aspecto entende-se que um veículo elétrico de baixo custo, com produção em território brasileiro, terá uma grande força no setor de automóveis.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

Diante das circunstâncias apresentadas, faz-se importante o uso de tecnologias que possam melhorar de alguma forma o desenvolvimento e o uso dos veículos elétricos.

Com isso, torna-se proveitoso o uso de materiais de baixo custo e que estavam em disponibilidade no campus. Houve também a possibilidade de desenvolver sistemas de gerenciamento e controle da tração do veículo utilizando microcontroladores. Isso permitiu instigar a criatividade para solucionar potenciais

desafios que surgiram no decorrer do trabalho. Este projeto fica disponível para o transporte de cargas dentro do Instituto Federal de Santa Catarina campus Joinville.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Tem-se como meta principal deste projeto o desenvolvimento de um protótipo de veículo com tração elétrica, a partir de motores de corrente contínua disponíveis no IFSC campus Joinville, bem como da utilização de materiais de baixo custo para a confecção de toda a estrutura mecânica.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Utilizar dois motores elétricos de corrente contínua, sendo cada motor acoplado a uma das rodas dianteiras, de forma a permitir a condução do veículo sem a necessidade de utilizar barras e eixos de direção;

Aplicar os conhecimentos em programação de microcontrolador PIC (*Programmable Interface Controller*) para aquisição de dados dos pedais e volante, e então fornecer os sinais de comando que acionam os motores elétricos;

Buscar o emprego de materiais diversos e de baixo custo, para desenvolver cada parte que compõe a estrutura do protótipo, a fim de avaliar sua aplicabilidade e resistência, bem como diminuir o peso final do veículo;

Fabricar peças mecânicas, aplicando os conhecimentos relacionados com o desenho mecânico e modelamento 3D, bem como a utilização de fresadora e torno convencional, fresadora e torno CNC (Comando Numérico Computadorizado) e impressão 3D.

A elaboração de esquemáticos elétricos, eletrônicos, o desenho e a confecção de placas de circuito impresso (PCI), são conhecimentos que serão trabalhados neste projeto.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Neste primeiro capítulo foi apresentada uma introdução do projeto, bem como a justificativa que levaram ao seu desenvolvimento.

O capítulo 2 trás uma revisão histórica dos carros elétricos, seu desenvolvimento e a apresentação dos principais assuntos trabalhados no decorrer do projeto.

O capítulo 3 apresenta o desenvolvimento da estrutura mecânica, detalhando o projeto dessa, bem como mostrando as principais contribuições decorrentes deste desenvolvimento.

O capítulo 4 trata do desenvolvimento da parte elétrica e eletrônica do carro, indicando a forma como essa foi concebida e os resultados obtidos.

O capítulo 5 traz as conclusões do trabalho, a avaliação dos resultados e a sugestão de melhorias.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo aborda um breve resumo das pesquisas realizadas para o desenvolvimento do projeto, trazendo informações históricas sobre os veículos elétricos, motores de corrente contínua, funcionamento dos circuitos de acionamento de motores de corrente contínua, como agem as forças mecânicas e as concentrações de tensões geradas sobre um material, a relação de transmissão de correntes, correias e engrenagens, amortecimento de massas e processos de fabricação mecânica, como solda e usinagem em tornos e fresas.

### 2.1 HISTÓRICO DOS CARROS ELÉTRICOS

O uso de carros elétricos ou híbridos<sup>1</sup> tem se tornado cada vez mais comum, seja na locomoção pessoal urbana, no transporte de cargas ou no percurso de trajetórias dentro de empresas. A Enciclopédia BARSÁ (2002, v.2, p. 221) define automóvel como “um veículo de quatro rodas, às vezes três, que se desloca sem trilho ou cabo, propulsionado por uma fonte de energia que ele mesmo conduz”.

O aumento crescente de modelos disponíveis faz com que muitos acreditem que os carros elétricos são invenções recentes e inovadoras. Porém, há registros de que estes surgiram por volta do século XIX. De acordo com José Barros Rodrigues (2011), este tipo de veículo foi criado na França em 1881, contudo, Barreto (1986, p. 20) afirma que a primeira carruagem elétrica foi inventada na Inglaterra em 1837. Essa carruagem seria composta por três rodas e um conjunto de baterias não recarregáveis, como visto na figura 1.

No início do século XX, os carros elétricos tornaram-se muito populares por causa de suas vantagens em comparação aos concorrentes da época: os veículos a combustão e a vapor. Estes apresentavam problemas como emissão de gases poluentes, barulhos e eram manualmente ligados através de manivelas.

Os carros elétricos eram comumente usados para percorrer curtas distâncias dentro de cidades, uma vez que tinham autonomia de aproximadamente 29 km e uma velocidade média de 22 km/h. De acordo com Renato Baran e Luiz Fernando Loureiro Legey (BNDES, sem ano, p. 212), “Thomas Edison inventou a bateria de

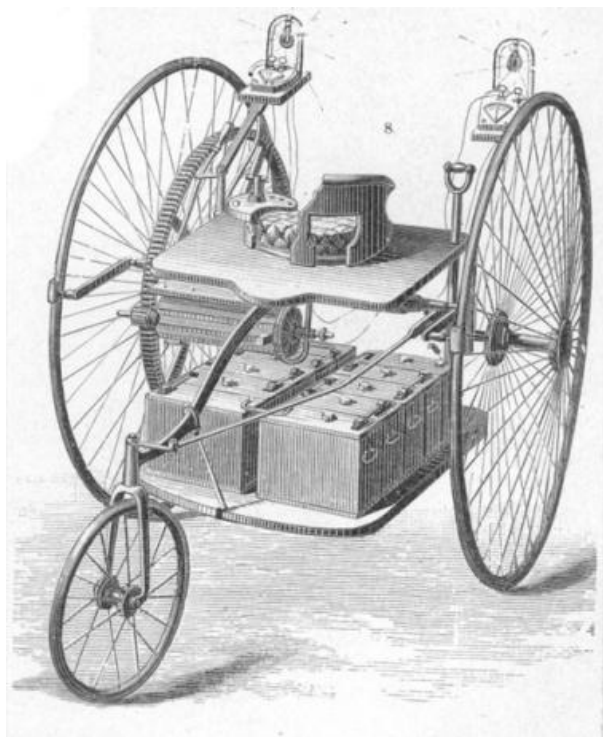
---

<sup>1</sup> Veículos híbridos (Hybrid Electric Vehicles – HEV) são aqueles que combinam um motor a combustão interna com um ou mais motores elétricos para propulsão, diminuindo a emissão de poluentes. Disponível em: <Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento>



níquel-ferro, que possuía 40% a mais de capacidade de carga sobre as baterias de chumbo. Aumentando a autonomia dos carros elétricos”.

Figura 1 - Design do primeiro carro elétrico.



Fonte: American Automove<sup>2</sup>.

Um dos principais fatores que impactaram na queda de popularidade dos automóveis elétricos, foi a produção massiva do carro de Henry Ford com o modelo T, conhecido como “*Ford T*”. Com isso os custos de um carro elétrico tornaram-se muito altos, comparados com os de combustão interna. Em 1912, o carro a gasolina custava em torno de US\$ 650 enquanto um Roadster elétrico tinha seu preço de US\$ 1750.

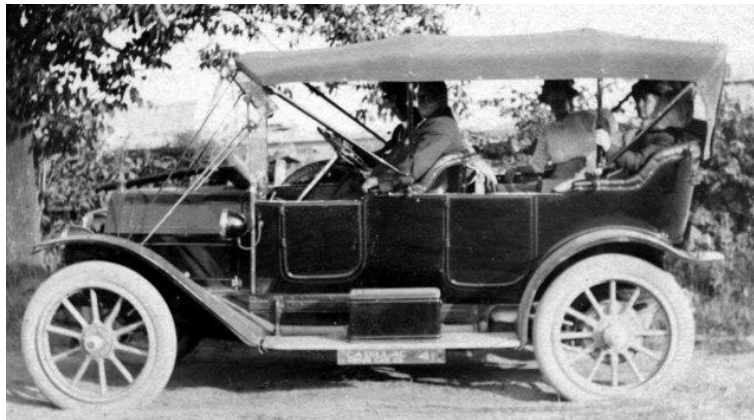
Além disso, outro fator importante, que pode ser citado, é a redução do preço da gasolina devido à descoberta de petróleo no Texas, que se tornou atrativo para empresas de transportes. Com isso, vários postos de combustível surgiram por todos os Estados Unidos, contrapondo o fato de que não havia integração das redes elétricas, limitando assim os veículos elétricos apenas às cidades (MATULKA, R., 2014).

---

<sup>2</sup> Disponível em: <[americanautomove.com/electric-car-history](http://americanautomove.com/electric-car-history)>

Outro grande motivo para a ascensão dos veículos de combustão interna foi, em 1912, a invenção da partida elétrica, juntamente com o lançamento do *Cadillac* (Figura 2). Não havendo mais a necessidade da manivela, que era um empecilho para muitos, as vendas de carro a gasolina foram alavancadas. “Em 1920 quase todos os carros utilizavam a partida elétrica e, em 1935 praticamente todos os carros elétricos tinham desaparecido” (NOCE, T., 2010, p. 22).

Figura 2 - *Cadillac* 1912.



Fonte: 100 Megs Free 4<sup>3</sup>.

## 2.2 MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

Para que haja movimentação do veículo elétrico é necessária uma fonte de energia mecânica que o propulsione. Na indústria automotiva, geralmente são utilizados motores de indução trifásicos sem escovas. Com o auxílio de um inversor de frequência, a corrente contínua da bateria é transformada em corrente alternada para esses motores. Para o projeto do veículo elétrico, fez-se o uso de motores de corrente contínua, pois com esse também é possível fazer a locomoção do carro. Esse tipo de motor foi usado por estar em disponibilidade no campus.

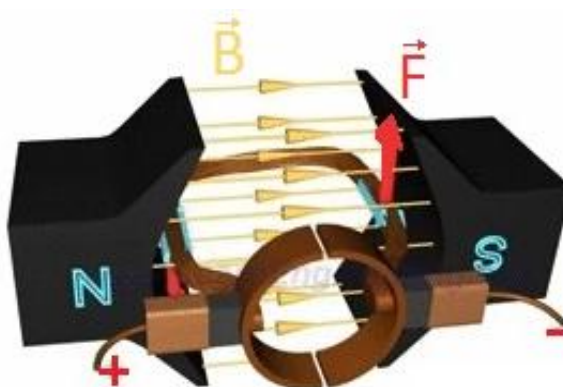
Motor de corrente contínua é uma máquina capaz de converter energia elétrica em energia mecânica a partir de um gerador de energia contínua ou de acumuladores de energia como pilhas e baterias. Seu funcionamento é baseado na constituição de um campo magnético estático e uma bobina girante alimentada por um comutador, posicionada no centro do campo magnético. Uma das formas de gerar o campo magnético estático constitui-se na disposição de dois ímãs (polos norte e sul) presos ao estator. Bruno Guilherme Gonçalves de Matos (2008, p.14)

---

<sup>3</sup> Disponível em: <[100megsfree4.com/cadillac/cad1910/cad12s.htm](http://100megsfree4.com/cadillac/cad1910/cad12s.htm)>

define que “o rotor é a parte girante, construído de um material ferromagnético envolto em um enrolamento chamado de enrolamento de armadura, este se liga ao anel comutador” e que “o estator é a parte estática, montada em volta do rotor, de forma que o mesmo possa girar internamente, constituído de material ferromagnético envolto em um enrolamento chamado de enrolamento de campo, que produz um campo magnético fixo para interagir com o campo da armadura”. A figura 3 ilustra a constituição mecânica de um motor de corrente contínua.

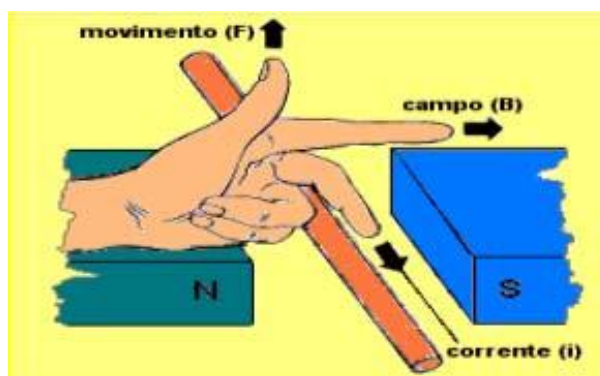
Figura 3 – Constituição de um motor de corrente contínua.



Fonte: Learn Engineering<sup>4</sup>.

Os dois ímãs geram um campo magnético, representado pela letra **B**, com o sentido partindo do norte para o sul. Combinando isso com a tensão aplicada no terminal dos motores, a corrente irá percorrer a bobina gerando uma força **F**. O sentido dessa força pode ser determinado pela regra da mão esquerda de Fleming, conforme mostra a figura 4.

Figura 4 - Regra da mão esquerda de Fleming.



Fonte: Uol Educação<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Disponível em: <[learnengineering.org/2014/09/DC-motor-Working.html](http://learnengineering.org/2014/09/DC-motor-Working.html)>

Essa força determinará o sentido de rotação do motor, no caso do exemplo da figura 4, o sentido será anti-horário. Para inverter o sentido de rotação, será necessário inverter o sentido da corrente elétrica que energiza o motor. A velocidade angular que o rotor DC gira é proporcional à tensão aplicada nas bobinas sendo assim, quanto maior a tensão aplicada, maior será a velocidade angular no motor.

Existem vantagens do uso dos motores de corrente contínua em relação aos de corrente alternada, são elas: a velocidade pode ser controlada tanto pela corrente de campo, quanto pela corrente de armadura; baixa velocidade com alto conjugado, dispensando as reduções mecânicas dependendo da sua aplicação; e a possibilidade de controles simples e baratos, ao invés do uso de inversor de frequência.

Há algumas desvantagens entre os motores de corrente contínua e os de corrente alternada, são elas: a comutação mecânica, que geram perdas de energia devido ao atrito mecânico, necessitando também de manutenção periódica das escovas; velocidade limitada a 3000 rpm (rotações por minuto) por causa de faiscamentos nos comutadores; e sua estrutura proporciona uma dissipação térmica dificultada.

## 2.3 PONTE H

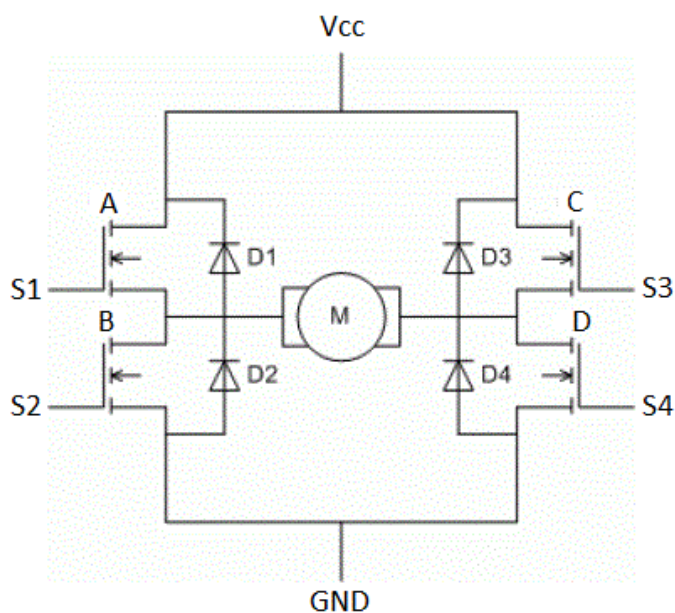
Como se faz necessário o controle do sentido de rotação, bem como da velocidade do motor, para um veículo elétrico, a utilização de circuitos que podem controlar esses requisitos são imprescindíveis. Para esse projeto, identificou-se como melhor opção o uso do circuito eletrônico de Ponte H.

A Ponte H (Figura 5) é um tipo de circuito eletrônico usado para o controle de motores de corrente contínua. Este circuito é montado com diodos e transistores, onde a partir do chaveamento dos componentes decide-se a direção de rotação do motor e com o uso de uma modulação por largura de pulso (PWM) é possível controlar a sua velocidade. A seguir, tem-se a representação simples de uma ponte H.

---

<sup>5</sup> Disponível em: <[educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/forca-magnetica---condutores-direcao-sentido-e-intensidade.htm](http://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/forca-magnetica---condutores-direcao-sentido-e-intensidade.htm)>

Figura 5 - Ponte H.



Fonte: CyberCarvalho<sup>6</sup>.

A tabela 1 mostra os estados dos componentes comutantes e seus efeitos no motor e circuito. Nos parágrafos que seguem, há a explicação do funcionamento de acordo com o estado em que se encontra o circuito.

Tabela 1 - Estados da Ponte H.

Estado	Comutador				Motor
	A	B	C	D	
1	Aberto	Aberto	Aberto	Aberto	Parado
2	Aberto	Fechado	Fechado	Aberto	Gira anti-horário
3	Fechado	Aberto	Aberto	Fechado	Gira horário
4	Fechado	Aberto	Fechado	Aberto	Travado
5	Aberto	Fechado	Aberto	Fechado	Travado
6	Fechado	Fechado	Aberto	Aberto	Curto-circuito
7	Aberto	Aberto	Fechado	Fechado	Curto-circuito

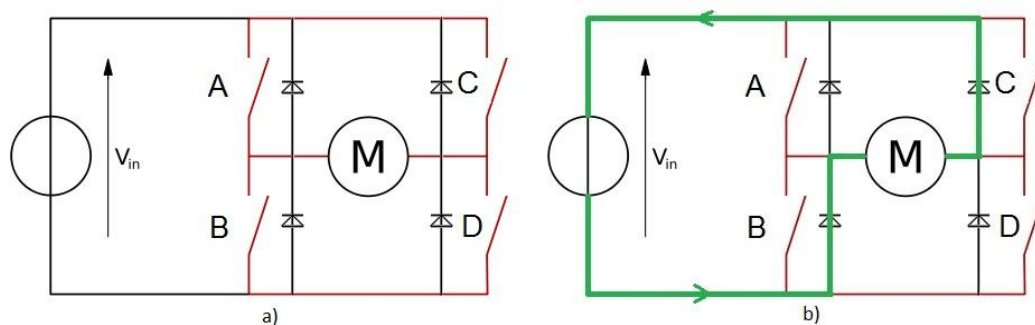
Fonte: Intranet<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Disponível em: <cybercarvalho.blogspot.com/2011/07/banco-de-circuitos.html>

<sup>7</sup> Disponível em: <intranet.dei.uminho.pt/gdmi/galeria/temas/pdf/38040.pdf>

No estado 1 (Figura 6 - a), com todos os comutadores em aberto não há circulação de corrente pelos terminais do motor, não efetuando rotação do eixo. Esta configuração é utilizada para manter o motor parado, ou se estiver em movimento, que a frenagem seja de modo livre. Nessa última, por conta da inércia, o eixo continua girando, porém passa a funcionar como um gerador de energia, recarregando a bateria (Figura 6 - b).

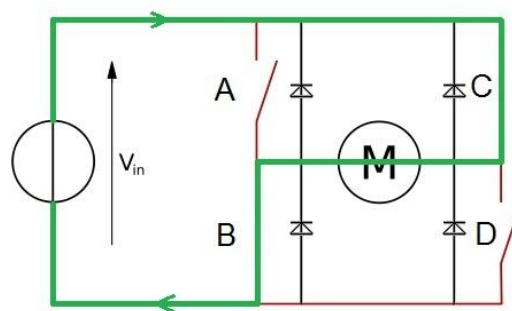
Figura 6 - Estado 1 da ponte H, a) motor parado, b) motor rotacionando pela inércia.



Fonte: Os autores.

No estado 2 (Figura 7), com os transistores B e C fechados, a corrente fará o seu caminho por estes componentes, alimentando as bobinas do motor e girando o eixo do motor no sentido anti-horário.

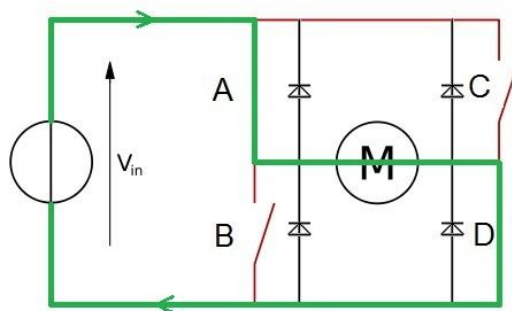
Figura 7 - Estado 2 da ponte H.



Fonte: Os autores.

No estado 3 (Figura 8), com os transistores A e D fechados, a corrente passará por estes componentes, alimentando as bobinas do motor e girando o eixo do mesmo no sentido horário.

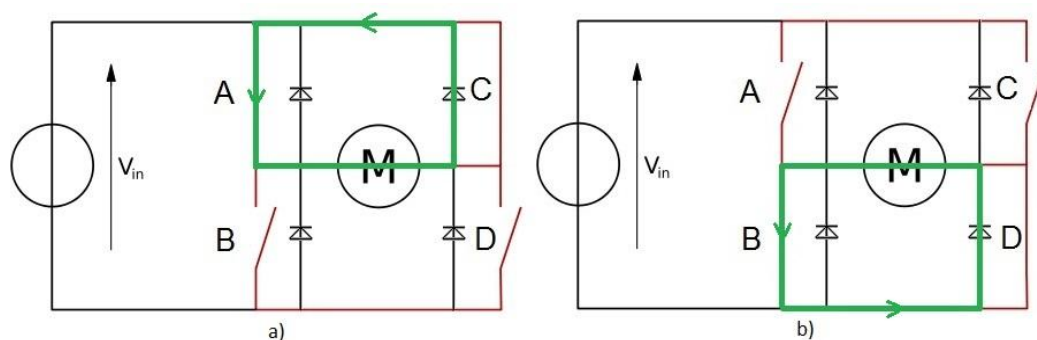
Figura 8 - Estado 3 da ponte H.



Fonte: Os autores.

No estado 4 e 5 (Figura 9 'a' e 'b' respectivamente), quando o motor já estiver em funcionamento e os transistores paralelos forem fechados, será feita uma parada forçada. Como já foi descrito anteriormente, por conta da inércia, o eixo continua girando, porém passa a funcionar como um gerador de energia. A corrente gerada pela inércia flui no sentido oposto ao giro, neste caso a corrente ao invés de carregar a bateria, passa pelo comutador fechado até o terminal do motor, realizando a parada do mesmo. De acordo com Bruno Guilherme Gonçalves de Matos (2008, p. 21), “ao unir os terminais do motor, a tensão gerada por ele será nula, pois toda a energia do motor será dissipada pela sua resistência interna de modo muito rápido”. Em cada caso é possível que haja dois sentidos de corrente, dependendo apenas do sentido da rotação do motor.

Figura 9 - Estados 4 e 5.

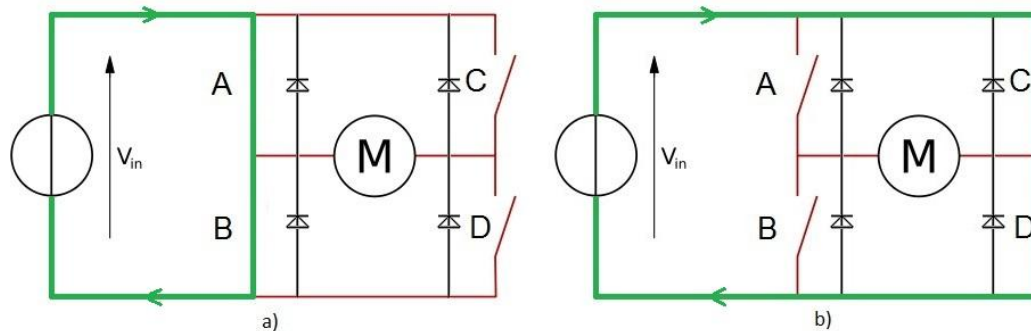


Fonte: Os autores.

No estado 6 e 7 (Figura 10), quando os componentes do mesmo lado do circuito forem comutados, haverá um curto-circuito. Como as únicas resistências do circuito serão as internas da fonte de alimentação e dos transistores fechados, a

corrente será muito elevada, causando a queima dos componentes e até mesmo a perda da fonte. Portanto, esses são estados proibidos e devem ser evitados.

Figura 10 - Estados 6 e 7.



Fonte: Os autores.

## 2.4 BATERIAS

Veículos automotivos precisam carregar sua fonte de energia embarcada. Para acionar motores elétricos é preciso dispor acumuladores de energia junto ao veículo, e isso é possível de ser feito com a utilização de baterias elétricas.

Bateria é um conjunto de pilhas, que são dispositivos eletroquímicos que servem para armazenar a energia elétrica que surge através do processo de oxirredução. Esse procedimento consiste na troca de elétrons entre dois eletrodos metálicos, imersos em uma solução eletrolítica. Assim, “em uma reação de oxirredução sempre ocorre a perda de elétrons por uma espécie e, simultaneamente, ganho de elétrons por outra” (NISENBAUM, M. A., sem ano, p. 20), isso gera a corrente elétrica.

Há vários tipos de baterias que podem ser adequadas ao veículo elétrico. Entre elas são as baterias automotivas de fato (Figura 11), conhecidas como bateria chumbo-ácido. Essas baterias possuem várias placas de chumbo com uma espessura fina, essa disposição provê uma área de contato maior com a solução alcalina, conseqüentemente aumentando o fornecimento de corrente elétrica em custo do desgaste acelerado do material. Geralmente usadas para uma grande descarga de energia momentânea e posteriormente manter a carga máxima. Essas baterias têm carga de 12 volts.



Figura 11 - Exemplo de bateria automotiva convencional.

Fonte: Carros Infoco<sup>8</sup>

O segundo tipo de baterias são as estacionárias (Figura 12), também conhecidas como bateria chumbo-ácido. Essas são compostas por chapas de chumbo mais espessas que as baterias convencionais, com isso sabe-se que as baterias estacionárias provêm menos corrente elétrica em troca de uma maior vida útil. Geralmente usadas para descargas elétricas moderadas em um intervalo de tempo maior. Essas baterias também têm carga de 12 volts.

Figura 12 - Exemplo de bateria estacionária.

Fonte: Doutor Carro<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> Disponível em: <carrosinfoco.com.br/carros/2015/05/funcionamento-e-detalhes-da-bateria-chumbo-acido-automotiva>

<sup>9</sup> Disponível em: <doutorcarro.com.br/fuga-de-corrente-a-bateria-do-seu-carro-esta-descarregando>

Há ainda baterias mais modernas, como a de níquel-hidreto metálico (NiMH). Estas eram usadas em celulares, câmeras digitais e *notebooks* mais antigos, e apresentam uma grande densidade energética além do uso de metais não tóxicos para as reações químicas. Seu tamanho é bem reduzido em relação às baterias de chumbo-ácido, a figura 13 representa uma bateria de NiMH de 12 volts.

Figura 13 – Exemplo de bateria de níquel-hidreto metálico.



Fonte: Litegear<sup>10</sup>.

A tecnologia mais recente é a da bateria de íon-lítio, que vem sendo empregada na maioria dos eletrônicos, substituindo as baterias de NiMH. Este tipo apresenta uma alta densidade energética e um peso muito menor em relação às outras baterias, chegando a ser 60% mais leve que uma bateria estacionária, sendo uma das melhores opções para a proposta do carro elétrico. A figura 14 é um exemplo de bateria íon-lítio de 12 volts.

Figura 14 – Exemplo de bateria de íon-lítio.



Fonte: Energy Source<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> Disponível em: <[store.litegear.com/product\\_p/lp-bat-nimh-12v-4.3af-4500.htm](http://store.litegear.com/product_p/lp-bat-nimh-12v-4.3af-4500.htm)>

<sup>11</sup> Disponível em: <[energysource.com.br/produtos.html](http://energysource.com.br/produtos.html)>

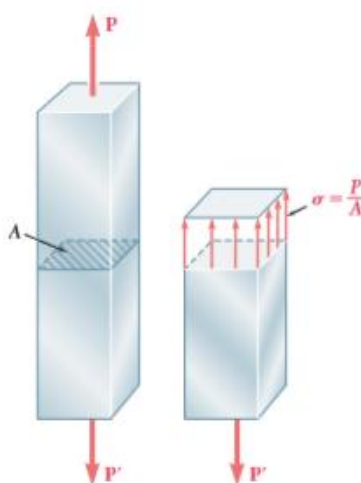
Para este projeto, foi optado o uso de baterias estacionárias, pois essas têm um custo relativamente menor (cerca de R\$400,00) que as baterias de íon-lítio e por estarem em disponibilidade no IFSC campus Joinville. Aqui se concluem as pesquisas sobre a parte eletrônica, que foram implantadas ao projeto.

## 2.5 RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

Entrando na parte das pesquisas mecânicas, tem-se que para a construção e confecção de várias partes que compõem o veículo é preciso levar em consideração a sua forma geométrica. Pois em alguns casos, a forma de um elemento pode acarretar em uma falha mecânica, desde uma flexão até a ruptura desse elemento.

Quando um corpo é submetido a uma ou um conjunto de forças externas, aparecem esforços internos que se opõem às aplicadas externamente. A tensão mecânica é dita como uma unidade de força aplicada sobre uma unidade de área sobre um ponto de um material qualquer. De acordo com Ferdinand Beer (2012, p. 7, tradução nossa), “a tensão  $\sigma$  (sigma) em uma área **A** transversal de um membro sujeito a um carregamento axial é obtida pela razão da magnitude **P** do carregamento pela área”, como visto na figura 15.

Figura 15 - Membro com uma carga axial.

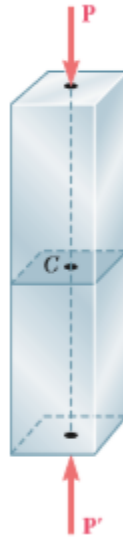


Fonte: Mechanics of Materials, 2012, p. 7.

Existem dois tipos de tensões: as normais e as de cisalhamento. A tensão normal age perpendicularmente com a área do objeto, podendo ser um esforço de tração (visto na figura 15) ou de compressão (visto na figura 16). A tensão de

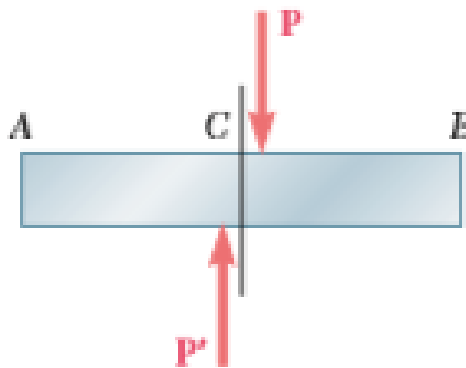
cisalhamento age tangente à área onde a força está sendo aplicada (visto na figura 17).

Figura 16 - Membro com tensão normal de compressão.



Fonte: Mechanics of Materials, 2012, p. 11.

Figura 17 - Membro com tensão de cisalhamento.

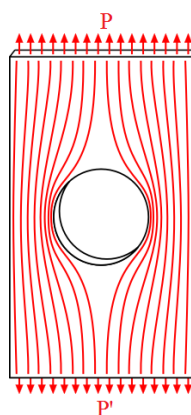


Fonte: Mechanics of Materials, 2012, p. 11.

Os pontos de concentração de tensões são encontrados em locais de um material onde há uma mudança na geometria, essas regiões têm suas linhas de tensão interna modificadas, aumentando a força aplicada externamente. Ferdinand Beer (2012, p. 7, tradução nossa) diz que, “parafusos, pinos e rebites criam concentrações de tensões no membro em que estão conectados, ao longo da superfície de apoio ou de contato”.

Na figura 18 há uma representação de como os esforços internos agem. Na parte superior e inferior as linhas de tensão são uniformes, conforme essas se aproximam do furo, no meio da peça, a concentração vai aumentando, tornando essa parte um local de concentração de tensões.

Figura 18 - Material com linhas de concentração de tensão.



Fonte: Os autores.

## 2.6 RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO

Para garantir o torque necessário para a locomoção do veículo, é preciso fazer um conjunto de transmissão em que a rotação dos motores diminua e em consequência disso, a força aumente. Na mecânica, a transmissão consiste em um mecanismo que transmite potência entre dois ou mais elementos rotativos de uma máquina. Podendo haver mudança nas velocidades ou no torque de um dispositivo para o outro. A transmissão pode ser feita através de correias (Figura 19), correntes (Figura 20) ou engrenagens (Figura 21).

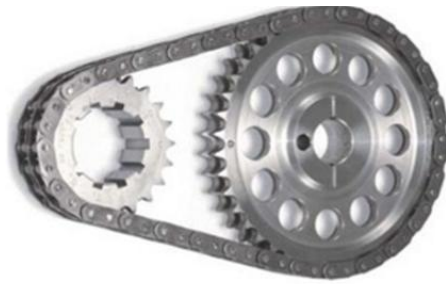
Figura 19 – Correia.



Fonte: Onix Tools<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> Disponível em: <[onixtools.com.br/produtos/polia-e-correia](http://onixtools.com.br/produtos/polia-e-correia)>

Figura 20 – Corrente.



Fonte: Correntes Reis<sup>13</sup>.

Figura 21 – Engrenagem.



Fonte: Tornearia Jales<sup>14</sup>.

### 2.6.1 Correia

Um dos elementos mais antigos usados para transmitir potência é a correia, por ser um elemento mais simples e econômico, é usado em grande escala na indústria. Geralmente é aplicado quando a distância entre os eixos é muito grande e, por ser um elemento flexível, as vibrações e choques mecânicos são reduzidos durante o funcionamento.

No conjunto, a transmissão de potência ocorre devido ao atrito presente entre a correia e a polia. Inicialmente o conjunto deverá ter uma tensão que irá comprimir a correia na polia de forma uniforme. Durante o funcionamento, essa tensão irá aumentar em um lado e conseqüentemente diminuir no outro, criando o fenômeno *creep*. “O efeito *creep* ocorre quando um aparato de borracha é submetido a uma tensão constante durante um período de tempo e este apresenta um aumento gradual da deformação” (UFPR-CESEC, sem data, pg. 2).

<sup>13</sup> Disponível em: <correntesreis.com.br>

<sup>14</sup> Disponível em: <torneariajales.com.br/slider-item/engrenagem>

Outro fenômeno que pode ocorrer é o deslizamento, quando há uma tensão inicial insuficiente ou quando ocorre uma sobrecarga excessiva. Nesse caso o deslize protege o sistema do motor.

As correias se classificam por sua forma de superfície. As mais comuns são: planas (Figura 22), trapezoidais ou em “V” (Figura 23) e dentadas (Figura 24). As trapezoidais tem vantagem em relação a plana, pois quase não ocorre o deslizamento, porém seu custo é maior. As dentadas são usadas no caso em que não pode haver nenhum deslizamento.

Figura 22 – Correia plana.



Fonte: Pocol Correias<sup>15</sup>.

Figura 23 – Correia trapezoidal.



Fonte: Direct Industry<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> Disponível em: <pocolcorreias.com.br>

<sup>16</sup> Disponível em: <directindustry.com/pt/prod/pix-transmissions-limited/product-14262-1681508.html>

Figura 24 – Correia dentada.



Fonte: Automotive Business<sup>17</sup>.

### 2.6.2 Corrente

As correntes são usadas tanto para tarefas simples, como em uma bicicleta, quanto para sistemas complexos, como o acionamento de vários eixos com apenas um motor. O sistema com correntes garante acionamentos sem deslizamentos e podem ser usados em ambientes hostis, com temperaturas altas ou com produtos químicos.

Esse tipo de transmissão consiste, basicamente, em uma série de anéis, ou elos, acoplados a duas rodas dentadas. Ao unir esses elementos ocorre uma oscilação, gerando o movimento. Para que ocorra o funcionamento correto, todas as rodas utilizadas no sistema devem estar no mesmo plano.

Existem vários tipos de correntes. As do tipo Galle (Figura 25) “são correntes sem roletes, compostas apenas por placas laterais e pinos maciços” (MARCO, F., 2009, p. 60). Essas são usadas com baixa potência e rotações.

Figura 25 – Corrente tipo Galle.



Fonte: Janus<sup>18</sup>.

<sup>17</sup> Disponível em: <[automotivebusiness.com.br/noticia/17422/correia-dentada-economiza-combustivel](http://automotivebusiness.com.br/noticia/17422/correia-dentada-economiza-combustivel)>

<sup>18</sup> Disponível em: <[janus.com.pl/pt-pt/correntes-galle-versao-pesada-tipo-c](http://janus.com.pl/pt-pt/correntes-galle-versao-pesada-tipo-c)>



As do tipo Zobel (Figura 26) “possuem as buchas fixas às placas internas e os pinos fixos às placas externas. Os pinos podem ser ocos, resultando em uma corrente com menos peso” (MARCO, F., 2009, p. 61). Essas são usadas com velocidades até 3,5m/s.

Figura 26 – Corrente tipo Zobel.



Fonte: Tsubaki<sup>19</sup>.

As correntes silenciosas ou dentes invertidos (Figura 27) são fabricadas com dentes invertidos de forma a se encaixarem com os dentes da engrenagem. Essas trabalham de uma forma mais suave e silenciosa devido a maior distribuição da carga e trabalham com alto torque e velocidade.

Figura 27 – Corrente tipo Dentes Invertidos.



Fonte: Pozelli<sup>20</sup>.

---

<sup>19</sup> Disponível em: <[tsubaki.eu/chain/ansi-leaf-chain](http://tsubaki.eu/chain/ansi-leaf-chain)>

<sup>20</sup> Disponível em: <[pozelli.ind.br/engrenagem-corrente-silenciosa.](http://pozelli.ind.br/engrenagem-corrente-silenciosa.)>

Por último a corrente de rolos (Figura 28), que é a mais utilizada. “São fabricadas com diversos elos, sendo cada um deles composto de placas, rolete, grampos ou anéis e pinos” (MARCO, F., 2009, P. 63). Esse tipo de corrente resulta em contatos deslizantes e rolantes. Com velocidades recomendadas de 3 a 5 m/s, mas podendo alcançar até 11 m/s.

Figura 28 – Corrente de rolos.



Fonte: Kamart<sup>21</sup>.

### 2.6.3 Engrenagem

As engrenagens são elementos básicos para transmissão de potência. Por não deslizarem em razão da sua geometria com dentes, estas permitem a redução ou o aumento do momento torsor e aumento ou redução de velocidades, sem que haja perdas excessivas de energia. Sendo o sistema com mais alto rendimento (Rafael Antônio Comparsi Laranja).

Existem três tipos básicos de engrenagens: as cilíndricas, as cônicas e a parafuso sem fim. As primeiras servem para transmissão entre eixos paralelos e podem ter dentes retos (Figura 29 - a) ou helicoidais (Figura 29 - b). As cônicas são usadas entre eixos concorrentes ou ortogonais e também podem ter dentes retos (Figura 30 - a) ou dentes helicoidais (Figura 30 - b). A última tem sua utilidade principalmente como redutor de velocidade, tendo rendimento baixo, porém tendo capacidade de amortecer vibrações mais que os demais tipos (Figura 31).

---

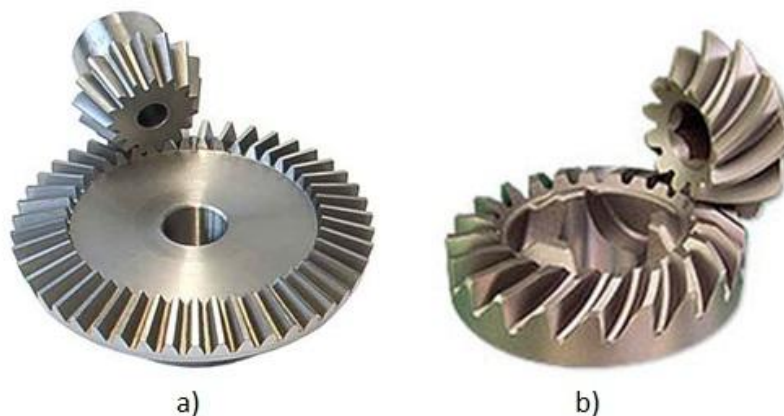
<sup>21</sup> Disponível em: <[kamart.com.br/correntes.html](http://kamart.com.br/correntes.html)>

Figura 29 - Engrenagem cilíndrica de dentes retos e Engrenagem cilíndrica de dentes helicoidais.



Fonte: a) Engrenagens Finos<sup>22</sup> e b) Rejoma<sup>23</sup>.

Figura 30 - Engrenagem cônica de dentes retos e Engrenagem cônica espiral.



Fonte: a) Export Pages<sup>24</sup> e b) Direct Industry<sup>25</sup>.

Figura 31 - Engrenagem parafuso sem fim



Fonte: IQS Directory<sup>26</sup>.

<sup>22</sup> Disponível em: <[engranesfinos.com/service1.html](http://engranesfinos.com/service1.html)>

<sup>23</sup> Disponível em: <[rejoma.com.br/site/produtos/helicoidal.htm](http://rejoma.com.br/site/produtos/helicoidal.htm)>

<sup>24</sup> Disponível em: <[exportpages.com/company/atlanta/products/bevel-gears-1024665055.htm](http://exportpages.com/company/atlanta/products/bevel-gears-1024665055.htm)>

<sup>25</sup> Disponível em: <[directindustry.com/pt/prod/nissei-corporation/product-115401-1707923.html](http://directindustry.com/pt/prod/nissei-corporation/product-115401-1707923.html)>

<sup>26</sup> Disponível em: <[blog.iqsdirectory.com/hardware/the-amazing-variety-of-gears](http://blog.iqsdirectory.com/hardware/the-amazing-variety-of-gears)>

O cálculo da relação de transmissão geral para os três casos é dada pela equação 1:

$$i = \frac{n1}{n2} = \frac{d2}{d1} \text{ (Eq. 1)}$$

Em que:

$i$  = Relação de transmissão

$n1$  = Rotação do pinhão (rpm)

$n2$  = Rotação da coroa (rpm)

$d2$  = Diâmetro primitivo da coroa (mm)

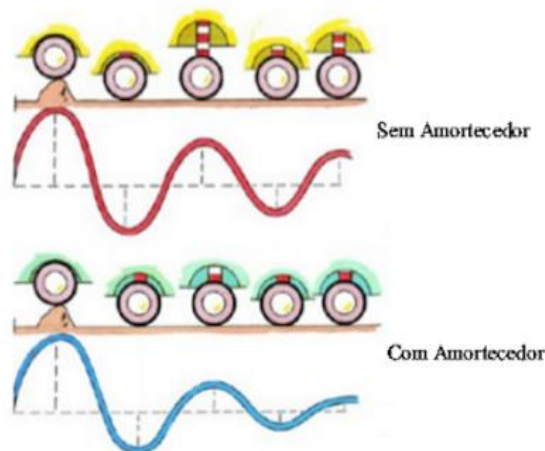
$d1$  = Diâmetro primitivo do pinhão (mm)

## 2.7 SUSPENSÃO

A suspensão é a junção de uma mola e um amortecedor, que tem como função desprezar as oscilações que o solo pode fornecer à estrutura do veículo. Essas oscilações causam uma aceleração vertical na roda, como mostra a figura 32, fazendo com que a roda se mova para cima e para baixo.

Caso não houvesse o sistema de suspensão, toda a força proveniente deste obstáculo seria transmitida para o chassi do carro, o fazendo levantar e podendo perder o contato com o solo. Se o mecanismo usasse apenas molas para esse tipo de controle, as oscilações geradas seriam apenas propagadas sem que houvesse um modo dessas pararem.

Figura 32 - Comparação entre os sistemas amortecido e os não amortecidos.



Fonte: Slide Player<sup>27</sup>.

<sup>27</sup> Disponível em: <slideplayer.com.br/slide/326740>

## 2.8 SOLDAGEM MAG

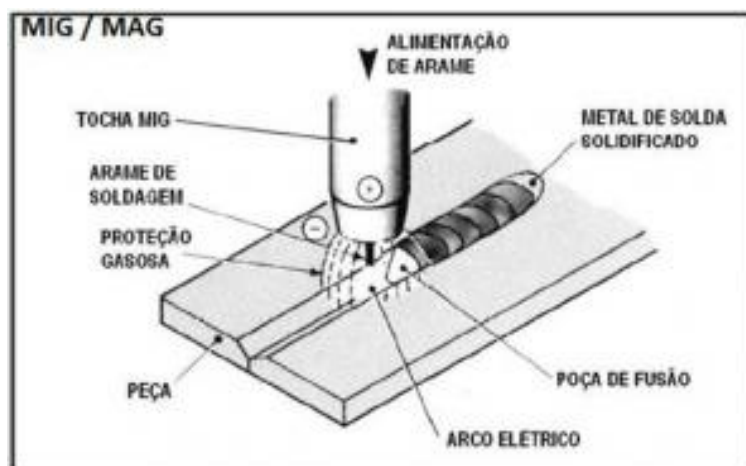
Para a junção permanente de diversas partes da estrutura do carro, é preciso de um método que garanta uma forte aderência mecânica dos materiais. A solda é um processo que assegura maior segurança.

O processo de soldagem MAG (*Metal Active Gas*) foi introduzido na década de 1920, este é um processo onde arame consumível (polaridade +) entra em contato com as superfícies a serem soldadas (polaridade -), assim ocorre o fechamento do curto circuito abrindo então um arco elétrico. Todo este processo ocorre sob atmosfera de proteção gasosa. A figura 33 exemplifica esse processo.

Com a abertura do arco elétrico os metais são aquecidos até a temperatura de fusão, como resultado obtém-se a “poça de fusão” onde parte dela é formada pelo arame consumível e a outra parte pela fusão do material base. Ao final ocorre o resfriamento, consolidando a união desses metais.

“O processo soldagem MAG se chama assim quando o gás da proteção gasosa interage com a poça de fusão, normalmente utilizado CO<sub>2</sub>” (GIMENES-JUNIOR, L. e RAMALHO, J., sem ano).

Figura 33 – Funcionamento da soldagem MAG.



Fonte: Ferramentas Kennedy<sup>28</sup>.

## 2.9 USINAGEM

Para dar a forma característica das peças do automóvel, conforme explicado no item 2.5, é necessário transformar o material bruto em elementos especiais

<sup>28</sup> Disponível em: <[ferramentaskennedy.com.br/loja/blog/processo-de-soldagem-migmag-como-funciona](http://ferramentaskennedy.com.br/loja/blog/processo-de-soldagem-migmag-como-funciona)>

através do processo de usinagem. Por isso, o conhecimento em máquinas do tipo torno e fresa são de suma importância.

Segundo a norma DIN (*Deutsches Institut für Normung*) 8580, usinagem aplica-se a todos os processos de fabricação onde ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco.

“Usinagem: processos que dão forma, dimensão e acabamento às peças através da remoção de cavacos” (STOETERAU, R. L., sem ano, p. 4).

“Cavaco: porções de material, de forma irregular, removidas da peça pela ação de uma ferramenta” (STOETERAU, R. L., sem ano, p. 4).

### 2.9.1 Torneamento

O torneamento é o processo de fabricação onde são normalmente usinadas peças cilíndricas e consegue-se obter variados tipos de produtos como polias, eixos, roscas, cones além de outros tipos de peças.

A retirada de material é feita através de uma ferramenta específica para a operação que irá ser realizada. Por exemplo, se for necessário a abertura de um canal na peça, utiliza-se um bedame (PAULINO, J. F. de F., 2009), como visto na figura 34.

Figura 34 – Bedame.

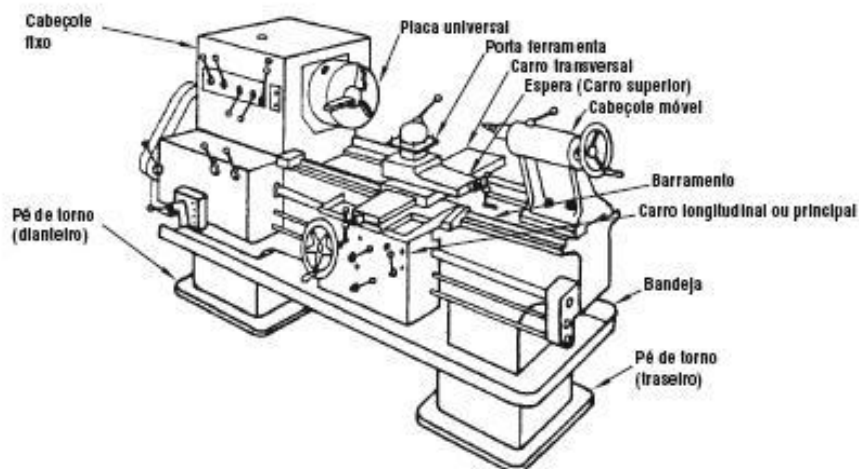


Fonte: Ferramentas de Usinagem<sup>29</sup>.

Neste processo a ferramenta é fixada no porta ferramenta, que fica no carro móvel, e a peça que rotaciona, fixada na placa do torno. A remoção do material é dada pelo movimento do carro principal, do carro transversal ou de ambos. Na figura 35 tem-se a representação de um torno convencional.

<sup>29</sup> Disponível em: <[ferramentasdeusinagem.com.br/ferramentas/ferramentas-de-usinagem/ferramentas-soldadas--140-983-140.html](http://ferramentasdeusinagem.com.br/ferramentas/ferramentas-de-usinagem/ferramentas-soldadas--140-983-140.html)>

Figura 35 – Torno convencional.



Fonte: Ebah<sup>30</sup>.

### 2.9.1.1 Torno CNC

Para facilitar o entendimento, pode-se dizer que o torno CNC (Comando Numérico Computadorizado) é um torno automático (Figura 36) onde ele produz as peças de modo autônomo. A diferença é que não é necessário o trabalho manual do operador. Os trabalhos a serem executados podem ser divididos em três etapas:

Figura 36 - Torno CNC.



Fonte: Usinagem Curitiba<sup>31</sup>.

<sup>30</sup> Disponível Em: <ebah.com.br/content/ABAAAg7tMAF/torno-mecanico&gws\_rd=cr&ei=rEptWfTjMsu\_wASqtZDQCA>

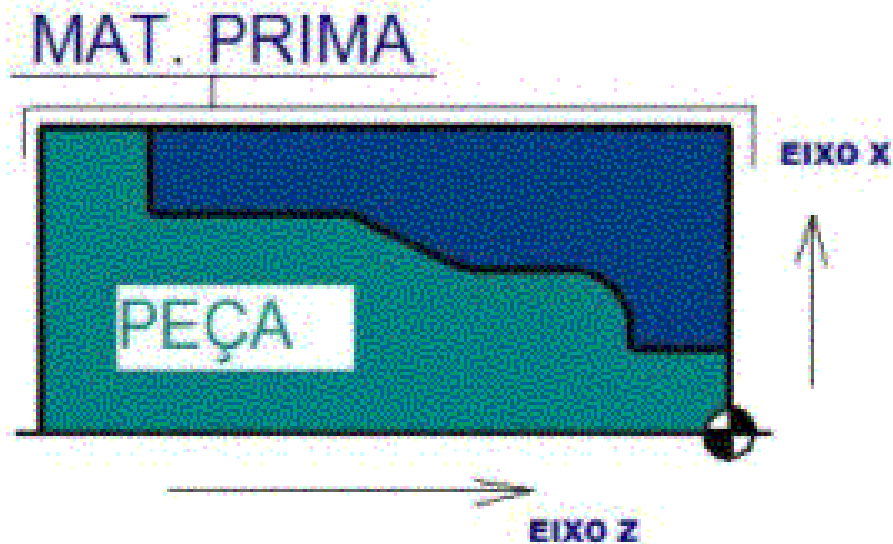
<sup>31</sup> Disponível em: <usinagemcuritiba.com/empresa.php>

A primeira é fazer o código da peça, podendo ser escrito diretamente na máquina ou feito através do CAM (*Computer Aided Manufacturing*), que utiliza a peça feita em CAD (*Computer Aided Design*) para gerar o código, que será importado. A linguagem de programação pode mudar de acordo com a máquina. A linguagem utilizada no torno CNC do IFSC campus Joinville é ISO (*International Organization for Standardization*).

A segunda etapa é posicionar o material bruto na máquina e informar suas dimensões.

A terceira é fazer o zeramento das ferramentas que serão utilizadas, para evitar o risco de uma possível colisão na máquina. O zeramento das ferramentas consiste em colocar a máquina em modo manual e aproximar a ferramenta até a face da peça e informando que esta é a posição zero no eixo Z, em seguida deslocar a ferramenta até o diâmetro onde será definido o zero no eixo X. Na figura 37 tem-se a representação de onde será o ponto zero da máquina, marcado pelo círculo preto e branco.

Figura 37 – Local do “zero” em relação aos eixos X e Z.



Fonte: Mundo CNC<sup>32</sup>.

## 2.9.2 Fresamento

Fresamento é o processo de usinagem que utiliza ferramentas chamadas fresas, que fazem a remoção do material da peça a ser usinada. Esta remoção

<sup>32</sup> Disponível em: <[mundocnc.com.br/basic11.php](http://mundocnc.com.br/basic11.php)>

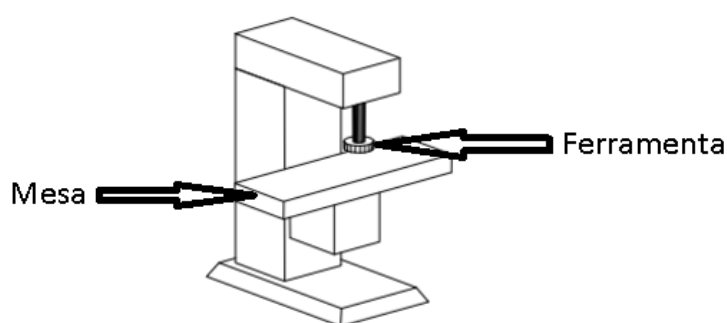


ocorre através de dois movimentos, o da mesa onde esta está fixada a peça e o outro é a rotação da ferramenta (Escola de Engenharia de Piracicaba, 2010, p. 5).

São normalmente usinadas peças de seção quadrada ou retangular, mas podem ser usinadas peças de outros tipos de seções, como circulares, quando utilizados juntos de acessórios que permitem a fixação correta da peça.

Com as fresadoras (Figura 38) consegue-se usinar vários tipos de peças como engrenagens, sextavados, fazer furações, entre outros.

Figura 38 - Fresadora universal vertical.



Fonte: Unifei<sup>33</sup>.

As pesquisas acerca dos principais assuntos necessários para a elaboração do trabalho têm fundamental importância para um bom planejamento do protótipo como um todo. Estas buscas por informações instigam a imaginação e por vezes abrem novas opções para o desenvolvimento do projeto.

Aqui se concluem as pesquisas para a fabricação da parte mecânica do veículo elétrico. Para a construção das partes mecânica e eletrônica, tem-se o objetivo de confeccionar o carro de modo que este não exceda 100 kg e que se mantenha com um preço de produção de no máximo R\$5.000,00.

---

<sup>33</sup> Disponível em: <iem.unifei.edu.br/gorgulho/download/Parte\_1\_Fresamento.pdf>

### 3 MECÂNICA

#### 3.1 PLANEJAMENTO DA ESTRUTURA

A estrutura do veículo foi projetada para ter o mínimo de peso possível (Figura 39), utilizando de materiais leves, como tubos de aço, componentes em alumínio e *nylon*, além da utilização de apenas três rodas para sustentação e locomoção.

Os tubos que compõem o chassi e demais partes que necessitavam de uma junção mais rígida foram soldadas através de solda MAG, garantindo maior segurança na peça. As partes que não necessitavam de solda para sua união, foram utilizados rebites e/ou parafusos.

Figura 39 – Planejamento da estrutura em *Solid Works*.



Fonte: Os autores.

##### 3.1.1 Rodas

Seguindo o objetivo de reduzir ao máximo o peso da estrutura do carro, com a utilização da ferramenta *brainstorming*, foi cogitado o uso de rodas pneumáticas, normalmente utilizadas em bicicleta e carrinho de mão. Esse segundo foi descartado devido à ausência de rolamentos em seu eixo, o que dificultaria a rolagem pelo eixo do próprio carro.

Assim, foi decidido que seriam utilizadas três rodas de bicicleta de aro 20. Além de reduzir o peso, a área de contato entre o pneu e o chão é menor e assim

diminuirá o torque necessário do motor para movimentar o carro. Cada roda pesa aproximadamente 0,420 kg e custam por volta de R\$40,50.

Nos eixos das rodas dianteiras foram acoplados amortecedores de moto do marca Honda, modelo Biz, como mostram as figuras 40 e 41, o anexo C traz informações acerca do peso da motoneta e a capacidade de carga da mesma, demonstrando que os amortecedores aguentam uma carga de até 263 kg. Na parte traseira do veículo, um garfo de bicicleta com suspensão foi utilizado, como pode ser visto na figura 42.

Figura 40 – Suspensão.



Fonte: Os autores

Figura 41 – Amortecedores dianteiros acoplados.



Fonte: Os autores.

Figura 42 – Suspensão traseira.



Fonte: Os autores.

Os amortecedores da motoneta Biz tem, individualmente, 1,300 kg e o par custa em média R\$117,00. Enquanto o garfo de bicicleta, para rodas de aro 20, pesa em torno de 1,750 kg com preço de R\$54,90.

### 3.1.2 Tração

Para realizar a movimentação do veículo, foi necessário implantar um sistema com uma relação de transmissão que fosse capaz de aumentar o torque provindo do motor para a roda.

Como opção, havia a possibilidade de ser usado um jogo de correias e polias para executar a transmissão de movimento. Porém esse método possui um custo muito elevado e manutenção muito complicada, pois a dimensão da correia é invariável, o que impossibilitaria ajustes da mesma durante a montagem do veículo.

Foi adotado assim o uso de correntes e coroas. Essas possuem um custo menor em relação às correias e polias, além de abrir a possibilidade de pequenos ajustes no tamanho da corrente, conforme a necessidade, durante a montagem da transmissão. A relação de transmissão foi calculada a partir da equação 1 apresentada no capítulo 2.6.3, utilizando a rotação de 2655 rpm, como visto nos dados técnicos do motor de corrente contínua no anexo A, coroas de 14 dentes e 46

dentes. O torque máximo do motor se dá na metade da rotação total, porém, dimensionando uma redução para a maior rotação, que possui um menor torque, a redução será efetiva para um torque maior provindo do motor.

$$\frac{2655}{n2} = \frac{46}{14}$$

$$n2 = 808,043478 \text{ rpm}$$

$$\frac{808,04}{n3} = \frac{46}{14}$$

$$n3 = 245,926276 \text{ rpm}$$

$$\frac{246}{n4} = \frac{46}{14}$$

$$n4 = 74,847127 \text{ rpm}$$

$$i = \frac{2655}{74,85} = 35,47$$

Em que:

$n2$  = Rotação na primeira redução (rpm)

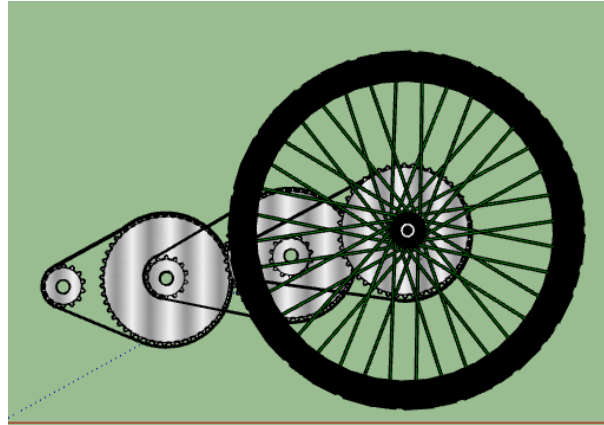
$n3$  = Rotação na segunda redução (rpm)

$n4$  = Rotação na roda do veículo (rpm)

$i$  = Redução final obtida

De acordo com os cálculos a redução necessária foi de 1:35. Esta foi feita com jogos de coroas, dispostas na sequência vista na figura 43. Com três coroas grandes com 46 dentes cada e três coroas pequenas com 14 dentes cada, para se alcançar a redução calculada.

Figura 43 - Planejamento de quantidade de coroas.



Fonte: Os autores.

Na prática, a primeira coroa pequena, à esquerda, foi acoplada ao motor, as duas grandes no centro têm duas pequenas juntas para que compartilhem o mesmo torque e a última coroa maior foi acoplada à roda. Cada coroa com 46 dentes pesa aproximadamente 0,100 kg e tem seu preço em torno de R\$11,90. Já os pinhões, com 14 dentes, pesam aproximadamente 0,025 kg e custam por volta de R\$5,25 a unidade.

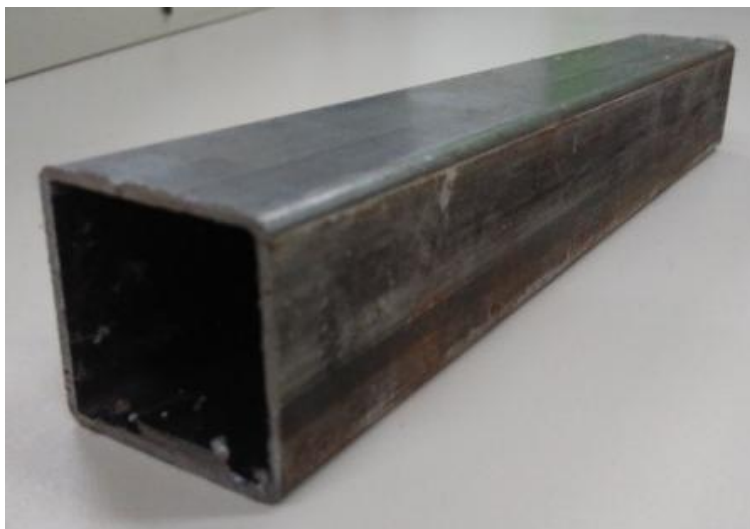
## 3.2 CONSTRUÇÃO

Como um dos objetivos era o desenvolvimento de um carro compacto, o chassi foi todo construído com dimensões que comportassem um condutor confortavelmente. Algumas partes por necessitarem de geometrias específicas para se adequar ao projeto, foram confeccionadas pelos autores.

### 3.2.1 Chassi

O chassi do carro foi confeccionado a partir de 6 tubos de aço 30x30x2000 mm quadrados, disponibilizados por professor do IFSC campus Joinville, conforme ilustra a figura 44. Estes foram cortados, com o auxílio de uma serra fita horizontal em 13 partes. A tabela 2 possui a quantidade de barras utilizadas na construção da base do carro e seus comprimentos.

Figura 44 - Tubos de aço.



Fonte: Os autores.

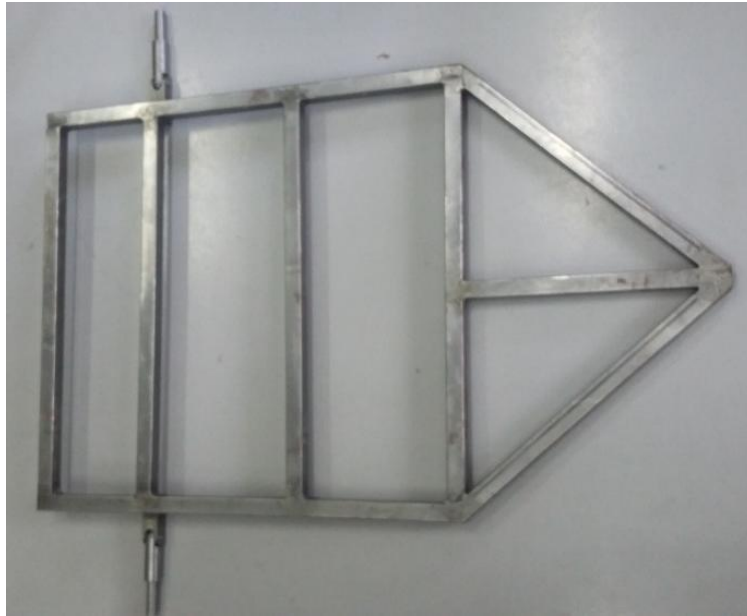
Tabela 2 - Quantidade e tamanho das barras.

Comprimento	Quantidade
640 mm	5
800 mm	2
550 mm	2
430 mm	2
600 mm	1
400 mm	1
300 mm	1

Fonte: Os autores.

As partes foram unidas por solda MAG, seguindo o projeto, como visto na figura 45. Este processo de soldagem foi utilizado, pois proporciona uma estrutura mais leve, com ligações mais simples, em comparação a ligações aparafusadas, além de ser um dos recursos disponíveis no campus.

Figura 45 – Chassi.



Fonte: Os autores.

Os tubos que fazem o apoio dos amortecedores dianteiros e traseiro também foram soldados à parte debaixo do chassi, demonstrado na figura 46. Foi utilizado um total de 8,06 metros de tubo de aço, essa quantia condiz com aproximadamente 10 kg de chassi e um valor aproximado de R\$16,90 por metro, correspondendo a R\$136,22 de material.

Figura 46 – Suportes dos amortecedores presos ao chassi.



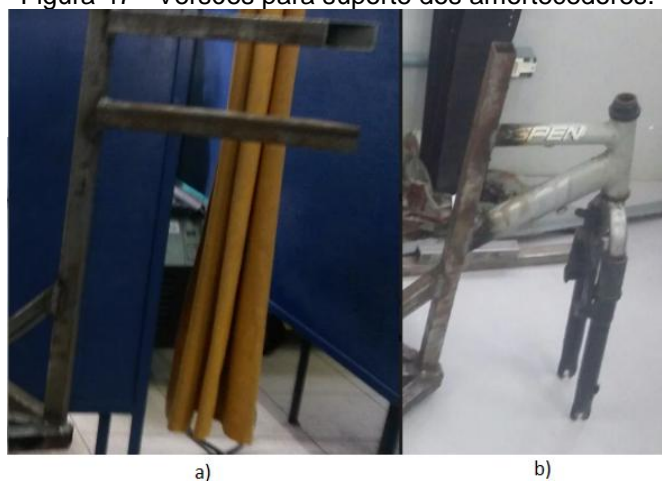
Fonte: Os autores.

A ideia inicial para prender o garfo de bicicleta na parte traseira do veículo não se mostrou eficaz, pois seria preciso um trabalho desnecessário para a adequação das partes. Foi então usado a parte frontal do quadro de uma bicicleta



para manter o garfo preso ao carro e ainda manter sua função de giro. Na figura 47 pode ser visto a comparação de como era o planejamento (a) e como ficou a versão final (b).

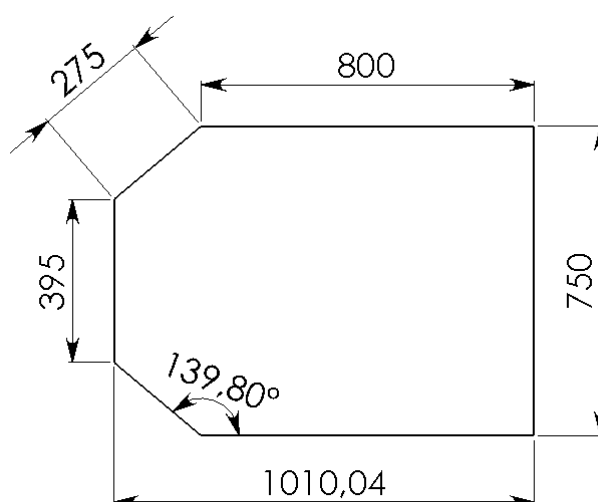
Figura 47 - Versões para suporte dos amortecedores.



Fonte: Os autores.

Para o chão foi utilizado uma chapa de aço, recebidas de doação, de 2 mm de espessura com dimensões demonstradas na figura 48. Porém, o peso específico<sup>34</sup> do aço é de 7800 kg/m<sup>3</sup>, enquanto o do alumínio laminado é de 2725 kg/m<sup>3</sup>. Para este projeto, o ideal seria a utilização de uma chapa de alumínio, pois nas mesmas dimensões essa se torna 2,86 vezes mais leve que o aço.

Figura 48 - Dimensões da chapa de aço (Chão).



Fonte: Os autores.

<sup>34</sup> Dados disponíveis em: <[sucrana.com.br/tabelas/peso-especifico-materiais.pdf](http://sucrana.com.br/tabelas/peso-especifico-materiais.pdf)>

A chapa de aço foi rebitada ao chassi do carro com rebites de 5 mm de diâmetro. Ao utilizar rebites ao invés da solda, consegue-se reduzir o peso final do veículo, uma vez que a liga de aço carbono<sup>35</sup> pesa  $7,8 \text{ g/cm}^3$  e cada rebite em média 2 g. A chapa de aço possui aproximadamente 4 kg e custa em média R\$2,65 por quilo, totalizando R\$10,60 desse material.

O suporte do banco do motorista também foi soldado ao chassi, este foi feito em formato de cubo retangular, com medidas de 300 mm de altura, 400 mm de comprimento e 250 mm de largura a partir de uma barra de aço SAE (*Society of Automotive Engineers*) 1045. Esse suporte tem medidas para que caibam duas baterias estacionárias embaixo do banco, como pode ser visto na figura 49. Custam aproximadamente R\$33,00 cada meio metro, totalizando um gasto de R\$62,70. O peso do suporte é de 3,5 kg.

Figura 49 – Suporte do banco soldado ao chassi.



Fonte: Os autores.

### 3.2.2 Eixos

A usinagem dos eixos do carro foi feita em um torno CNC a partir de duas barras de aço SAE 1045. Estas foram usinadas conforme a figura 50, com 250 mm de comprimento e 30 mm e 17 mm de diâmetro. O desenho mecânico pode ser conferido no apêndice I.

---

<sup>35</sup> Disponível em: <demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/custo\_em\_soldagem.pdf>

Figura 50 - Eixo.



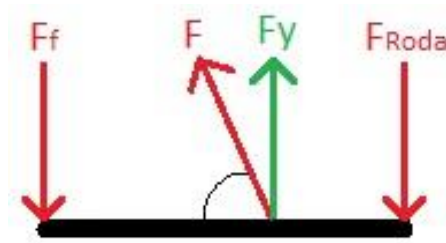
Fonte: Os autores.

A partir das aulas de CNC CAD/CAM, foram obtidos conhecimentos acerca da linguagem de programação ISO. Assim foi possível a elaboração de um código para o torneamento dos eixos. A usinagem foi feita em duas etapas, devido ao tamanho da peça. Na primeira foi feito o diâmetro maior de 30 mm em conjunto com um domo de raio 15 mm e na segunda etapa, invertendo a peça na placa, foi feito o diâmetro de 17 mm. A outra parte do eixo foi feita em uma fresadora universal. A peça foi usinada apenas nas laterais do domo para que fosse possível o encaixe na parte fixa ao chassi.

A parte que vai fixada ao chassi foi usinada toda em fresadora convencional, foi feita em formato retangular com dimensões de 30x30x90 mm, para que o eixo pudesse se mover de forma livre, foi feito um furo passante na sua extremidade, permitindo a aplicação de um pino para manter o eixo e seu suporte unidos.

O dimensionamento desses eixos foi feito com base em um peso estimado do veículo final com um motorista, este foi dividido pelas três rodas do veículo considerando o centro de gravidade do carro na distância do acento. A equação 2 foi usada para a divisão do peso, a equação 3 é a transformação de kg para Newtons, as equações 4 e 5 são somatórios de momentos e forças atuantes sobre o eixo e a equação 6 é o cálculo de tensão aplicada a peça. A figura 51 é uma representação para os cálculos de reações de apoio.

Figura 51 – Esquema para cálculo das forças e reações sobre o eixo.



Fonte: Os autores.

$$Pf = \frac{Pt}{\%f} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$Pf = 128,8 \text{ kg}$$

$$Ff = \frac{m \times a}{2} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$Ff = 631,76 \text{ N}$$

$$\sum M_{roda} = 0 \quad (\text{Eq. 4})$$

$$Fy = 1003,39 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0 \quad (\text{Eq. 5})$$

$$F_{roda} = 237,2 \text{ N}$$

$$\sigma = Fy/A \quad (\text{Eq. 6})$$

$$\sigma = 668,93 \text{ kPa}$$

Em que:

$Pf$  = Peso frontal (kg)

$Pt$  = Peso total (kg) (200 kg estimados)

$\%f$  = Porcentagem do peso segurado pelos eixos frontais (64% aproximados)

$Ff$  = Força frontal (N)

$m$  = Massa (kg)

$a$  = Aceleração gravitacional ( $\text{m/s}^2$ )

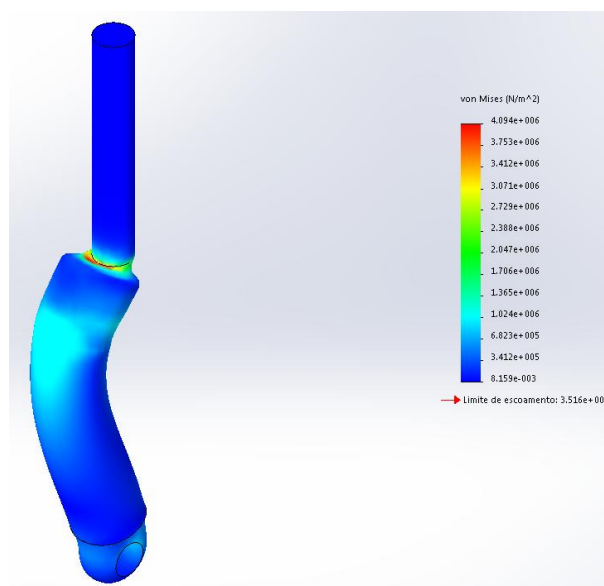
$Fy$  = Força feita pelo amortecedor no eixo Y (N)

$\sigma$  = Tensão aplicada (Pa)

$A$  = Área de força aplicada (mm)

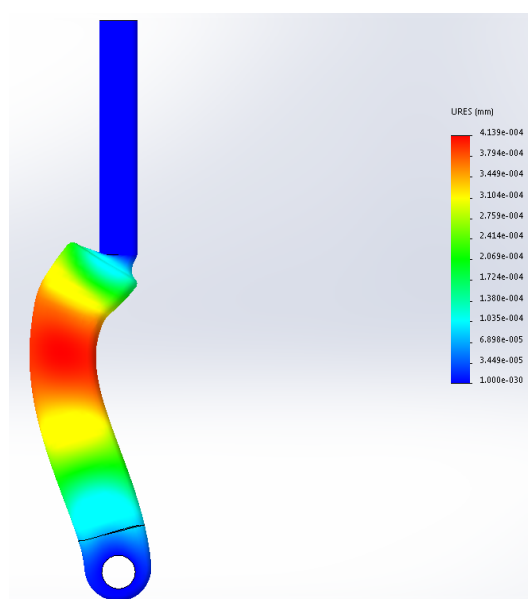
Sabendo que a tensão de escoamento a cisalhamento ( $\tau_{cis}$ ) do aço SAE 1020 é de 210 MPa<sup>36</sup> e que o resultado obtido pela equação 6 de 668,93 kPa é muito menor que o limite de escoamento da peça, tem-se que o dimensionamento para o eixo está correto e que este não apresentará falhas, como exemplificado pelas figuras 52 e 53.

Figura 52 – Critério de falha de Von Mises no eixo da roda.



Fonte: Os autores.

Figura 53 – Deformação do eixo da roda.



Fonte: Os autores.

<sup>36</sup> Disponível em: <[uff.br/petmec/downloads/resmat/W%20-%20Apendice%20C%20Materiais.pdf](http://uff.br/petmec/downloads/resmat/W%20-%20Apendice%20C%20Materiais.pdf)>

O conjunto pesa aproximadamente 2 kg, o preço do metro em média é de R\$77,99. Para os dois lados têm-se 4 kg de eixos e um valor de R\$53,03 para sua construção.

### 3.2.3 Eixos de Transmissão

Para que o conjunto de coroas fosse fixado ao carro, houve a necessidade de construir eixos que acomodassem as coroas e permitissem seus movimentos de rotação, além de aguentar a força do torque que a redução proporcionaria.

Foi decidido que tais eixos seriam fabricados em *nylon*, pois é um material leve e de fácil usinagem. Dois pares de eixos foram desenhados e usinados em torno convencional. O primeiro par, visto na figura 54, e o segundo par visto na figura 55. O dimensionamento desses eixos foi feito a partir da equação 7, usando como tensão de escoamento a tensão ( $\tau_{esc}$ ) o valor de 80 MPa<sup>37</sup>.

$$r = \sqrt[3]{\frac{T}{2\pi\tau}} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$r_1 = 11,11 \text{ mm}$$

e

$$r_2 = 16,52 \text{ mm}$$

Em que:

$r$  = Raio do eixo (mm)

$r_1$  = Raio do primeiro eixo (mm)

$r_2$  = Raio do segundo eixo (mm)

$T$  = Torque aplicado ao eixo (W)

$\tau$  = Tensão de escoamento do nylon seco (Pa)

<sup>37</sup> Disponível em: <plastecno.com.br/wp-content/uploads/2016/09/Dados-técnicos-Nylon-6.pdf>

Figura 54 – Primeiro par.



Fonte: Os autores.

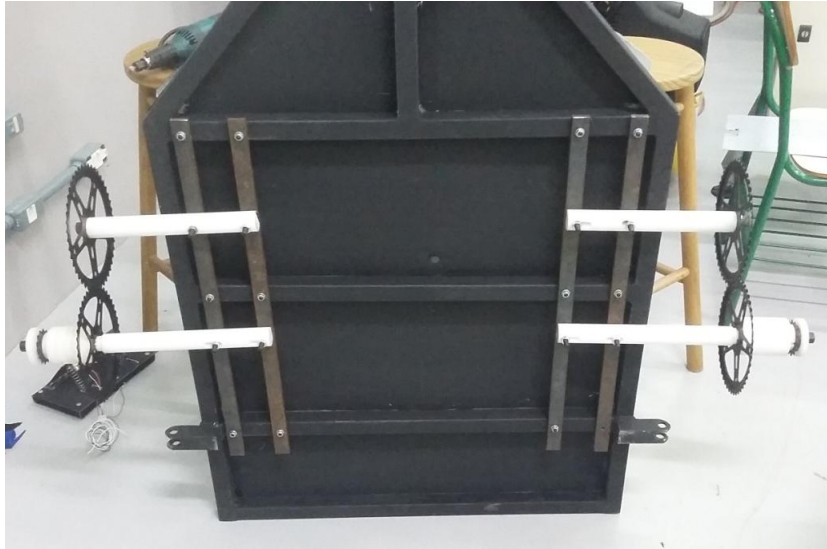
Figura 55 – Segundo par.



Fonte: Os autores.

Esses eixos foram fixados ao chassi do carro através de barras metálicas que foram parafusadas ao chassi do carro. Na figura 56 é possível ver como funciona a aplicação dos eixos na barra.

Figura 56 – Barra embaixo do chassi.



Fonte: Os autores.

Com os eixos postos em seus lugares, foram colocadas as correntes já ajustadas em comprimento. O resultado final da relação de transmissão pode ser visto nas figuras 57 e 58.

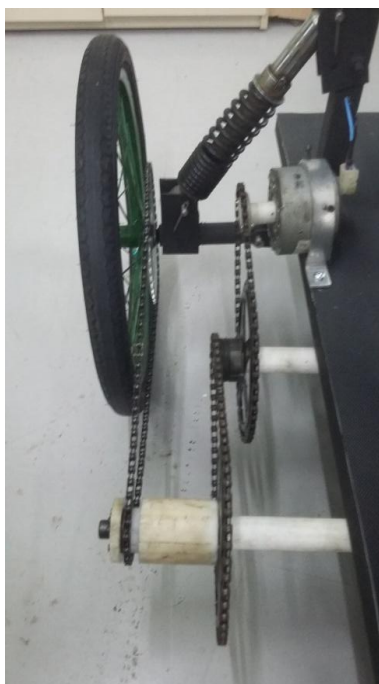
Figura 57 – Redução (vista em perspectiva).



Fonte: Os autores



Figura 58 – Redução.



Fonte: Os autores

Algumas adaptações tiveram de ser realizadas para acomodar os jogos de coroas. A primeira delas foi a furação dos eixos, que possuíam furos para parafusos M8, que manteriam os eixos presos definitivamente. Porém eram necessários pequenos ajustes na posição para que as coroas de cada eixo fossem concordantes, então os furos foram transformados em furos oblongos (Figura 59).

Figura 59 – Furos oblongos.



Fonte: Os autores.

Com a construção mecânica do carro perto de ser finalizada, deram-se início as elaborações elétricas e eletrônicas do mesmo.

## 4 ELETRÔNICA

Este capítulo contará com informações acerca da construção da parte elétrica e eletrônica do veículo, bem como a programação para aquisição de dados e controle dos sinais de saída para o acionamento dos motores elétricos. Os dados técnicos dos motores de corrente contínua utilizados podem ser vistos no anexo A, e os dados técnicos das baterias estacionárias estão no anexo B.

### 4.1 CONTROLE

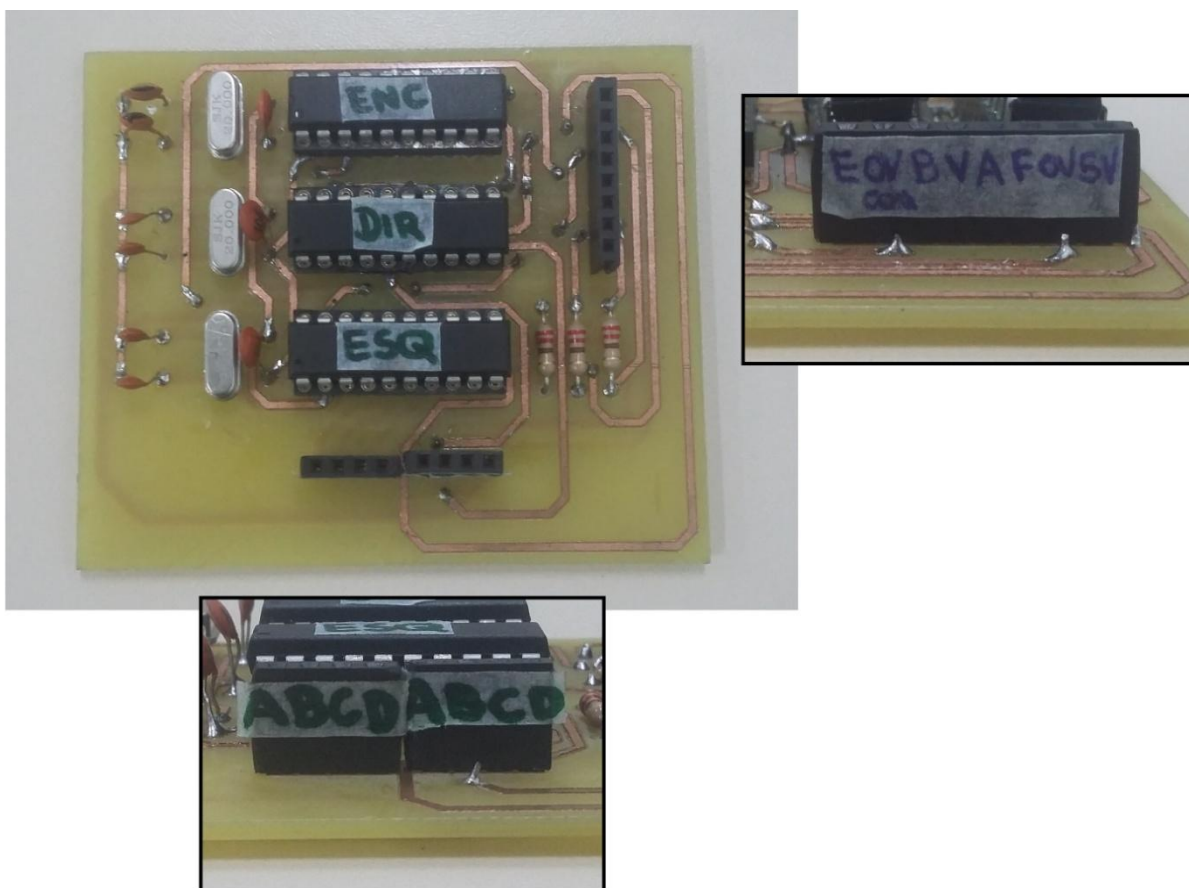
O comando foi programado através de microcontroladores PIC (*Programmable Interface Controller*) da família 16F690. No total foram utilizados três microcontroladores, sendo um para cada motor, com função de receber sinais, processar e gerar sinais PWM (*Pulse-Width Modulation*) e um terceiro que faz a aquisição dos sinais emitidos pelo *encoder* e realiza o cálculo da velocidade média percorrida pelo veículo.

Para a aplicação neste projeto, foi escolhido o microcontrolador PIC pelo seu custo-benefício em relação ao Arduino. Como é necessário fazer a leitura de vários sinais de entrada e emitir oito saídas com largura de pulso moduladas, o uso de um hardware com diversas entradas e saídas digitais e analógicas era preciso para o funcionamento dos motores.

Outro fator decisivo para esta escolha foi que o microcontrolador PIC16F690 possui registradores específicos que permite o controle de saídas PWM para aplicação no circuito de Ponte H, diferente do Arduino que seria preciso a aquisição de um módulo extra para essa mesma aplicação.

Na figura 60 pode-se ver com detalhes como ficou a placa de circuito impresso que comporta os três microcontroladores, o apêndice F apresenta o projeto desse circuito.

Figura 60 - PCI com vista superior e detalhes.



Fonte: Os autores.

Os pedais foram feitos com potenciômetros lineares presos à uma placa de madeira, chapas de aço onde haverá o toque do pé e um mecanismo feito com impressora 3D, molas e uma pequena haste de metal para o controle dos potenciômetros. A figura 61 demonstra os detalhes do esquema mecânico usado.

Figura 61 – Esquema mecânico dos potenciômetros acoplados aos pedais.



Fonte: Os autores.

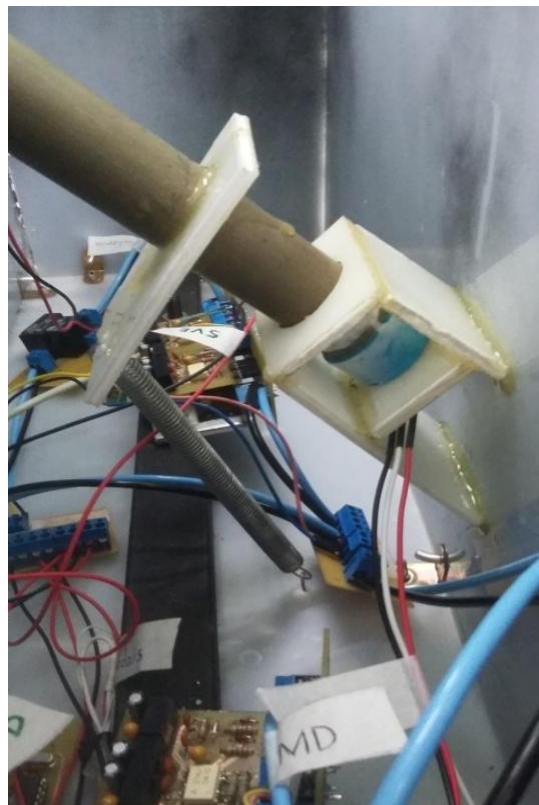
O mecanismo do volante foi feito com um rolamento de 25 mm de diâmetro interno, que manterá o volante fixado ao painel do carro (Figura 62), e no interior do painel há um suporte em forma de quadrilátero convexo (Figura 63), que manterá o volante sempre alinhado e preso ao potenciômetro. O esquema eletrônico de ambos pode ser visto no apêndice G.

Figura 62 - Volante preso ao painel.



Fonte: Os autores.

Figura 63 - Suporte para o volante.



Fonte: Os autores.

Preso ao eixo do volante há uma chapa de plástico que contém um furo que suporta uma mola de tração, essa tem sua outra extremidade presa à parte debaixo do painel, pode ser visto na figura 63. Esse mecanismo faz o retorno do volante para sua posição original.

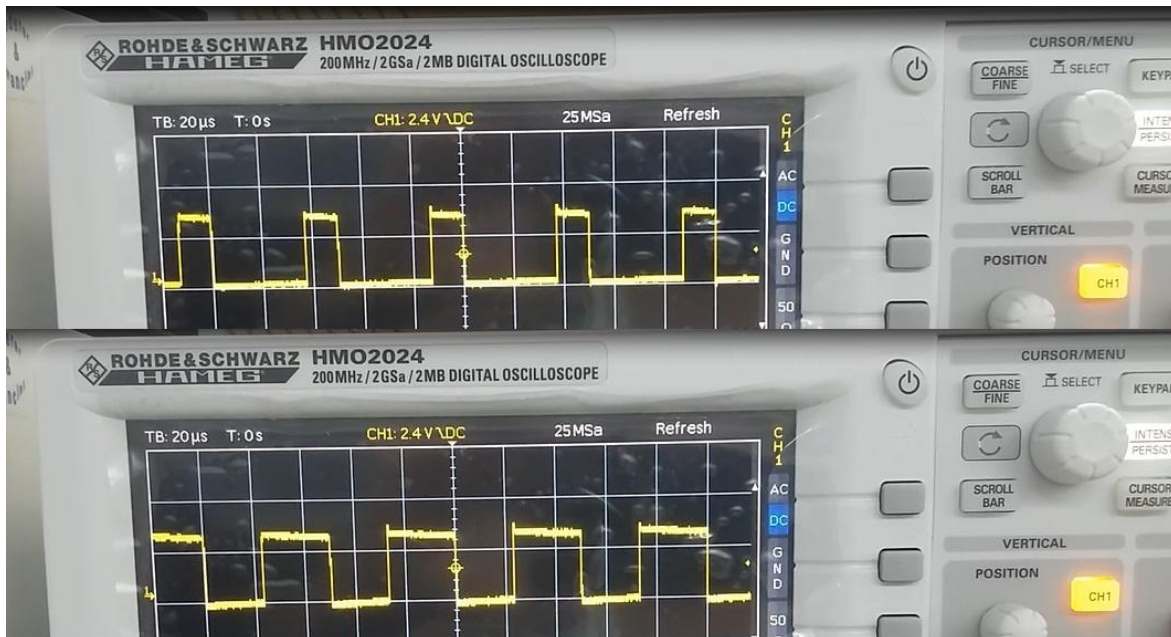
#### 4.1.1 Motor esquerdo

Como precisa-se controlar a rotação dos motores de modo diferenciado para executar curvas, a proposta foi a utilização do pedal de acelerador, que corresponde a 50% da velocidade em ambos os motores; e do volante, que completa os 100% e funciona de modo alternado para os dois motores. Na realização das curvas, o volante faz o controle de um potenciômetro, onde na excursão de seu ponto médio até a resistência zero, o rpm de um só motor é aumentado até o máximo de 2655 rpm, enquanto o outro motor permanece somente com o comando do pedal. E do ponto médio até o máximo da resistência, o rpm do outro motor é aumentado até o máximo.

O microcontrolador do motor esquerdo recebe os sinais de *encoder*, do pedal de aceleração, de freio e do volante. Na programação desse (pode ser conferido no APÊNDICE A), quanto maior a resistência do potenciômetro do acelerador, maior será a largura dos pulsos do PWM de saída para o motor, o funcionamento desse programa é demonstrado no fluxograma das figuras 66 e 67. Em sua resistência máxima esse potenciômetro será o responsável por 50% da velocidade total proporcionada. No volante, da metade de sua resistência até o mínimo da mesma, tem-se o controle proporcional dos outros 50% de aceleração do motor, visto na figura 64. A figura 65 representa o comando PWM para o motor esquerdo com o acelerador acionado em 100% juntamente com o volante em sua excursão em 50% (acima) e 100% (abaixo) para a esquerda.

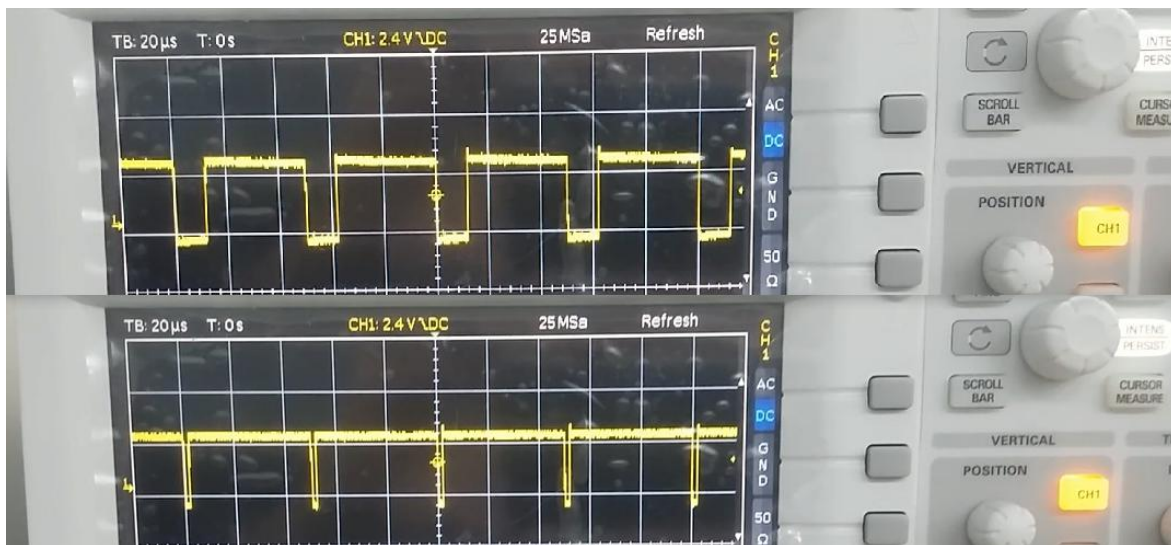
O pedal do freio só funciona se o veículo estiver em movimento, esse, quando pressionado, faz a inversão da comutação dos *Mosfets*. Relembrando o esquema da Ponte H da figura 5 no capítulo 2.3, se o veículo estiver sendo acelerado com os *Mosfets* A e D comutados, ao frear, a programação do microcontrolador desligará os *Mosfets* A e D, e ligando os *Mosfets* B e C, invertendo o sentido de rotação do motor e consequentemente parando-o.

Figura 64 - PWM do motor esquerdo em dois estágios, apenas aceleração.



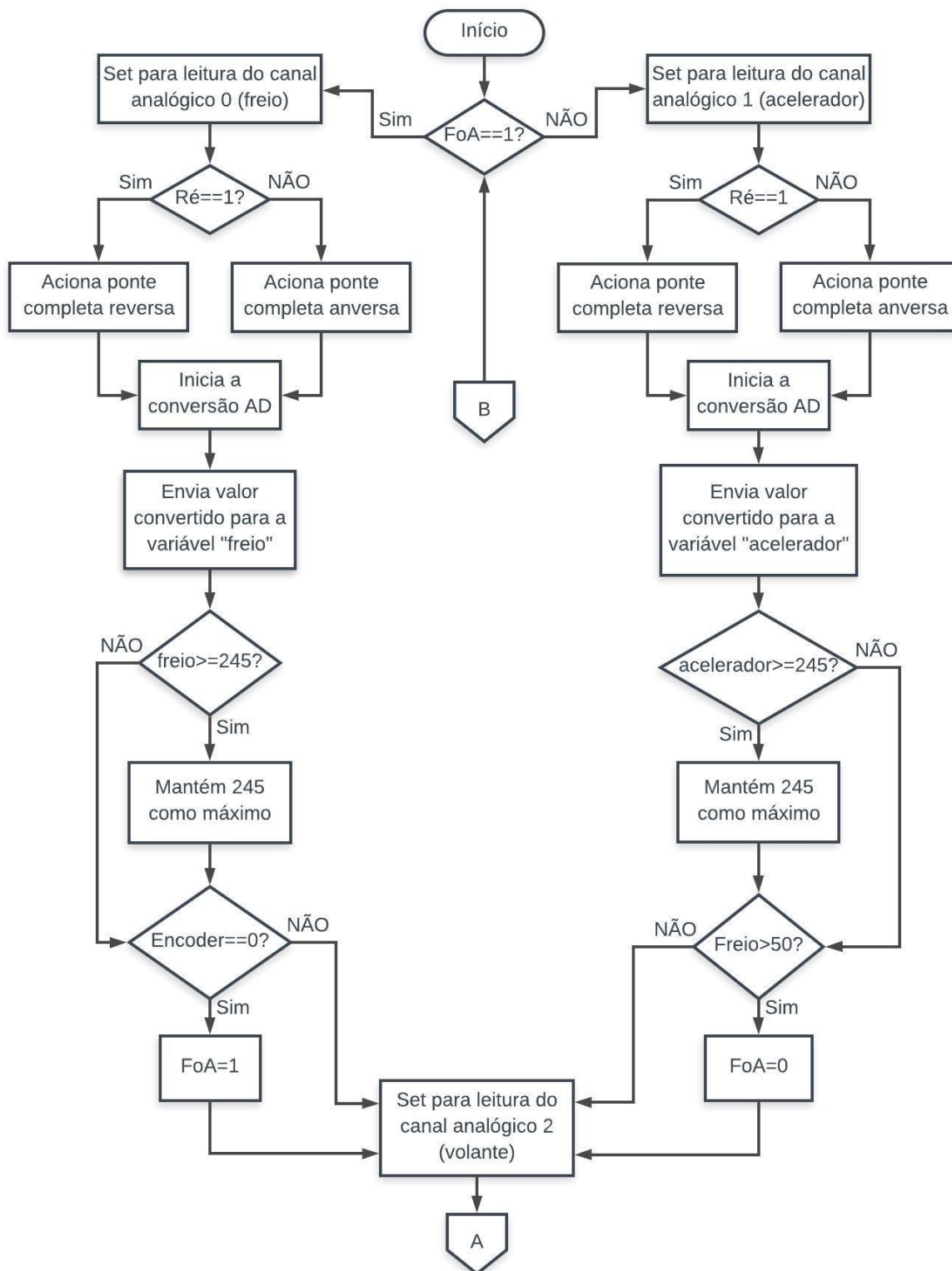
Fonte: Os autores.

Figura 65 - PWM do motor esquerdo com acelerador e volante em excursão de 50% e 100%.



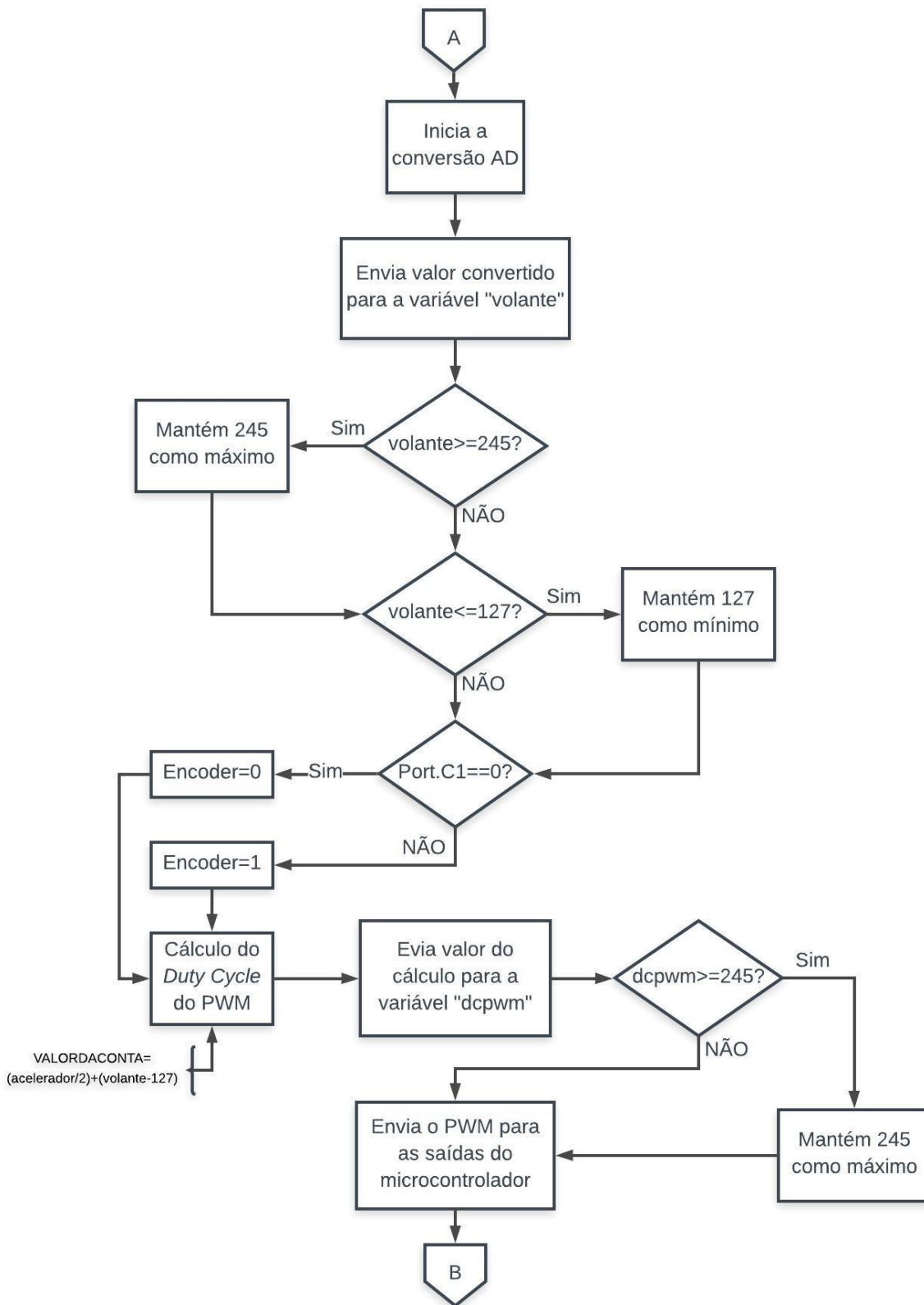
Fonte: Os autores.

Figura 66 – Fluxograma do funcionamento do motor esquerdo (parte 1).



Fonte: Os autores.

Figura 67 – Fluxograma do funcionamento do motor esquerdo (parte 2).



Fonte: Os autores.

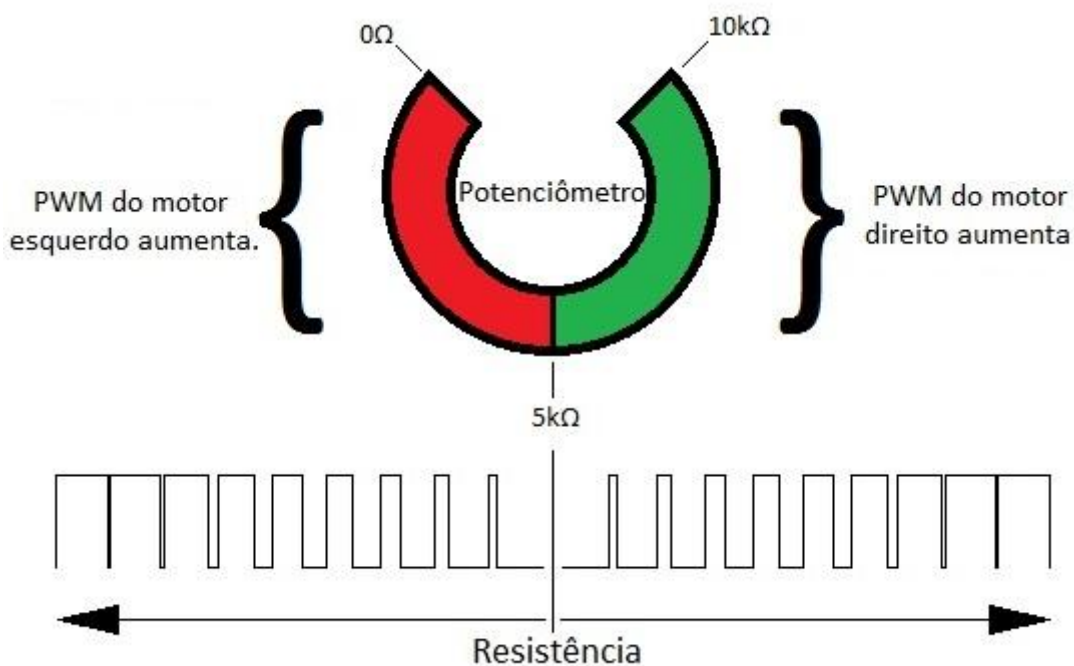


#### 4.1.2 Motor direito

O microcontrolador do motor direito funciona no mesmo esquema do motor esquerdo. Os sinais dos potenciômetros de acelerador, freio e volante entram no PIC, quanto maior a resistência aplicada pelo acelerador, maior o PWM fornecido ao motor direito. A diferença está no código do volante e na conta final conforme os códigos do APÊNDICE B. Ao contrário do motor esquerdo, o potenciômetro funciona da metade de sua resistência até o máximo da mesma, a figura 68 exemplifica essa situação, destacando também a largura dos pulsos PWM relacionados com a variação da resistência. O funcionamento do programa do motor direito é demonstrado no fluxograma da figura 69.

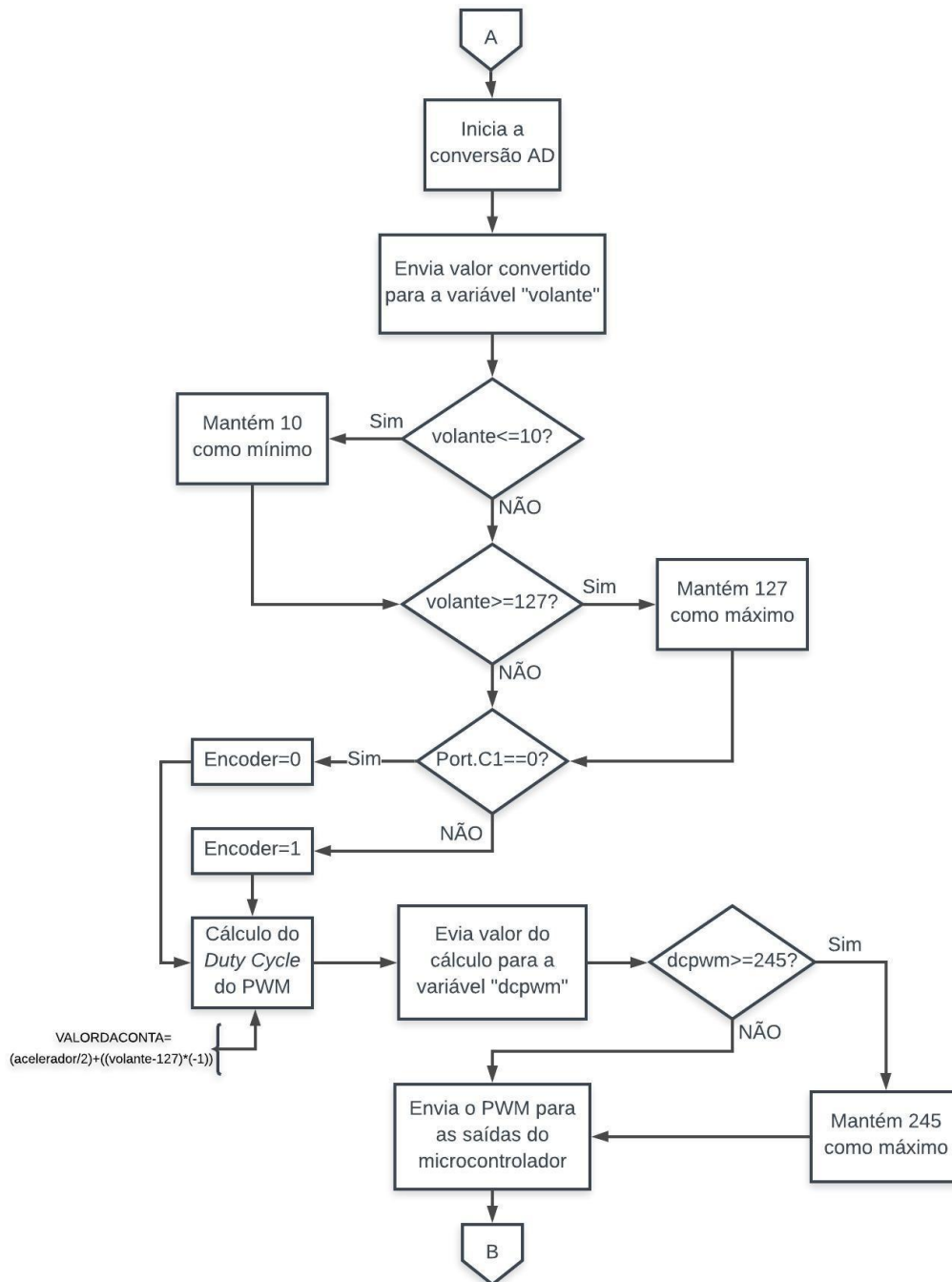
Para o motor direito, a frenagem funciona da mesma maneira que no motor esquerdo, pois a sua programação se mantém a mesma.

Figura 68 - Funcionamento do potenciômetro do volante.



Fonte: Os autores.

Figura 69 – Fluxograma do funcionamento do motor direito.



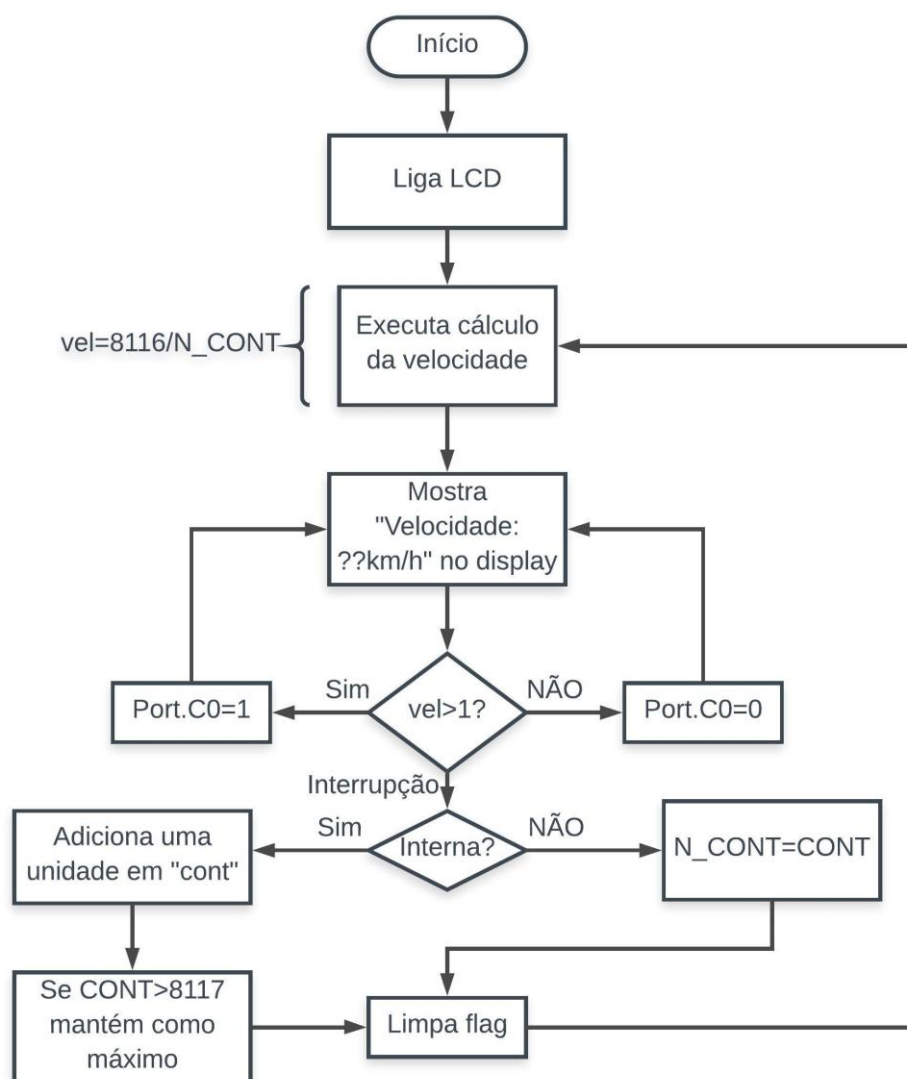
Fonte: Os autores.

#### 4.1.3 Encoder e LCD

Para o funcionamento da lógica da programação para o acionamento dos motores e para o cálculo da velocidade do veículo, foi feito um *encoder* com um sensor magnético da *MetalTex*, SM1000, com o ímã acoplado na roda e o sensor magnético acoplado ao garfo da roda traseira.

No corpo da programação é ligado o *display* LCD, a cada ciclo de máquina do microcontrolador é adicionado uma unidade na variável *cont*, essa será utilizada para calcular o tempo que a roda traseira leva para dar uma volta completa. Dentro das interrupções do programa do microcontrolador, há a interrupção externa, causada pelo sensor magnético. A cada giro da roda do veículo, a interrupção pegará o valor armazenado em "*cont*" e o transformará de milissegundos para segundos e então fará o cálculo da velocidade. A velocidade é então mostrada através do *display* gráfico no painel do veículo e enviada do microcontrolador de cálculo para os microcontroladores dos motores. Essa lógica pode ser vista no fluxograma da figura 70 e o programa pode ser visto no APÊNDICE C.

Figura 70 – Fluxograma do funcionamento do *Encoder* e LCD.



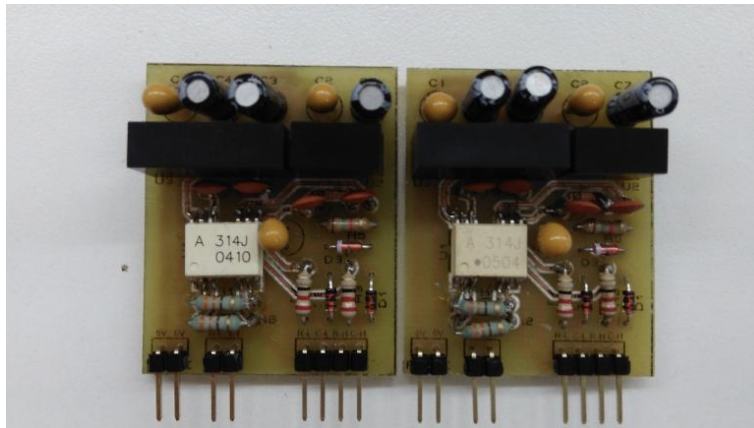
Fonte: Os autores.

## 4.2 ACIONAMENTO DOS MOTORES

O acionamento dos motores foi feito através de circuitos eletrônicos, compostos por dois *drivers* de comando e uma placa de potência, para cada motor.

A função do *driver* (Figura 71) é adquirir o sinal PWM provindo do PIC, fazer o isolamento desse sinal através do optoacoplador e com o uso de transformadores isoladores de 2W adequar os níveis de tensão do microcontrolador para os *Mosfets* de potência da ponte H. Os componentes utilizados nessas placas seguem as recomendações do fabricante do optoacoplador. O projeto do *driver* pode ser conferido no apêndice D.

Figura 71 – Regulador de tensão.



Fonte: Os autores

Ao receber os sinais de comando, vindo dos *drivers*, o circuito de potência (Figura 72) que é composto pela Ponte H realiza os chaveamentos e, com a energia vinda da bateria, disponibiliza a corrente elétrica para acionar o motor. Unindo os módulos tem-se o resultado na figura 73. O projeto pode ser visto no apêndice E. Devido à alta circulação de corrente pelos Transistores de potência, é necessário dimensionar o seu aquecimento em função da dissipação de potência por eles dissipada, e desta forma obter parâmetros para a escolha de um dissipador de calor adequado. Esse dimensionamento foi realizado de acordo com o equacionamento que segue.

$$P = P_{cond} + P_{com} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$P_{cond} = \frac{t_{on}}{T} R_{ds(on)} I_{d(on)}^2 \quad (\text{Eq. 9})$$

$$P_{cond} = 9,27 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$P_{com} = \frac{f}{2}(t_r + t_f)I_{d(on)}V_{ds(on)} \quad (\text{Eq. 10})$$

$$P_{com} = 0,396 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$T_J - T_A = P \times (R_{jC} + R_{cD} + R_{dA}) \quad (\text{Eq. 9})$$

$$R_{dA} = 13,23 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Em que:

$t_{on}$  = Tempo que o transistor fica fechado (durante um período de comutação)

$t_r$  = Tempo de subida (ns)

$t_f$  = Tempo de descida (ns)

$T$  = Período de comutação dos transistores (função da frequência de chaveamento adotada)

$T_J$  = Temperatura da junção ( $^\circ\text{C}$ )

$T_A$  = Temperatura ambiente ( $^\circ\text{C}$ )

$P$  = Potência térmica produzida pelo componente (W)

$P_{cond}$  = Perdas de condução (W)

$P_{com}$  = Perdas de comutação (W)

$R_{ds(on)}$  = Resistência interna do *Mosfet* ( $\Omega$ )

$V_{ds(on)}$  = Tensão máxima utilizada no circuito (V)

$I_{d(on)}$  = Corrente máxima consumida no circuito (A)

$f$  = Frequência de operação (kHz)

$R_{jC}$  = Resistência térmica entre junção e cápsula ( $^\circ\text{C/W}$ )

$R_{cd}$  = Resistência térmica entre o componente e o dissipador ( $^\circ\text{C/W}$ )

$R_{da}$  = Resistência térmica entre o dissipador e o meio ambiente ( $^\circ\text{C/W}$ )

Para calcular a potência dissipada por cada *Mosfet* foram usadas as informações do *datasheet*<sup>38</sup> do IRFP260N, onde o tempo de subida é de 60 ns e a de descida 48 ns, a resistência interna é de 0,04  $\Omega$  e a frequência de operação é de 20 kHz. A tensão e corrente máximas no circuito são respectivamente 24 V e 15,3 A.

<sup>38</sup> Disponível em: <pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/68507/IRF/IRFP260N.html>

A temperatura da junção e as resistências térmicas entre a junção e a cápsula, e do componente e o dissipador foram retirados do *datasheet* e são respectivamente 175 °C, 0,5 °C/W e 0,24 °C/W. A temperatura ambiente foi cogitada em torno dos 40 °C, caso o veículo seja utilizado durante um dia quente. Com esses valores pode-se chegar ao resultado de 13,23 °C/W para a resistência entre o dissipador e o meio ambiente. Utilizando o catálogo da HS Dissipadores<sup>39</sup> encontrou-se o dissipador ideal para a aplicação, o HS 1818.

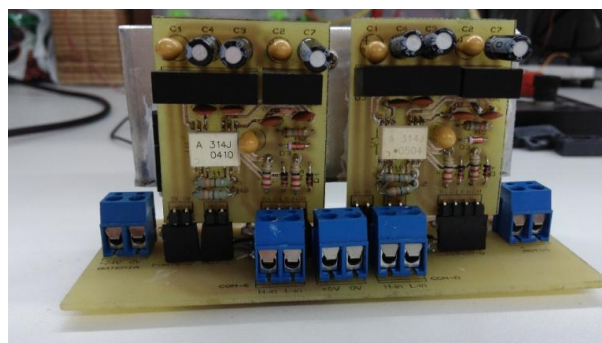
O dissipador utilizado na prática foi confeccionado com uma chapa de alumínio com dimensões de 100x50x5 mm, essa placa ainda foi afixada ao chassi do carro, aumentando a área metálica disponível para a dissipação do calor. O teste da dissipação será feito durante o teste prático.

Figura 72 – Circuito de potência.



Fonte: Os autores

Figura 73 – Placas de controle.



Fonte: Os autores.

O painel foi confeccionado a partir de placas de plástico formando uma caixa (Figura 74). A parte externa comporta um volante, um botão para acionamento de ré

<sup>39</sup> Disponível em: <[hsdissipadores.com.br/catalogo.pdf](http://hsdissipadores.com.br/catalogo.pdf)>

e a chave de liga e desliga. A parte interna armazena as placas eletrônicas e o mecanismo de giro do volante.

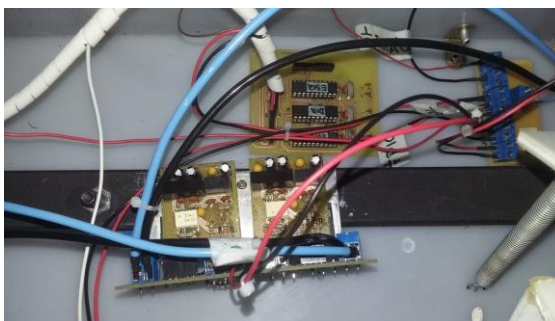
Figura 74 – Parte externa do painel.



Fonte: Os autores.

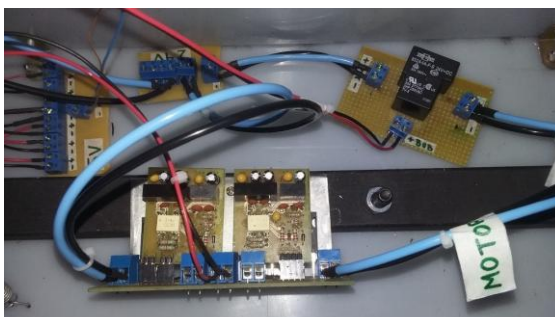
Ainda dentro do painel, estão fixados os circuitos eletrônicos do carro. O circuito de potência, que faz o acionamento dos motores, possui uma chapa de alumínio para dissipar o calor dos *Mosfets*. Além disso, o tubo de aço que suporta toda a estrutura do painel foi também utilizado como um dissipador de calor extra para os circuitos de potência. Os detalhes podem ser vistos nas figuras 75 e 76.

Figura 75 - Lado esquerdo do interior do painel.



Fonte: Os autores.

Figura 76 - Lado direito do interior do painel.



Fonte: Os autores.

Utilizando de fitas adesivas, abraçadeiras plásticas e tubos espirais puderam ser garantidos uma fixação dos componentes eletrônicos sem riscos de que seus contatos e trilhas venham a causar curtos-circuitos.

Os circuitos eletrônicos não fizeram tanta diferença para um cálculo do peso, porém, foram contabilizados aproximadamente 0,500 kg de placas de circuito impresso, componentes e 6 metros de cabo de energia. Tendo um custo médio de R\$149,68. Cada motor pesa 1,500 kg e custa R\$408,00. As baterias estacionárias são a maior parcela de peso e custo para a produção do veículo, sendo que cada uma pesa 22 kg e custa por volta de R\$904,90.

A figura 77 apresenta o resultado final do veículo, com mecânica e eletrônica integradas.

Figura 77- Veículo finalizado.



Fonte: Os autores.

Com todos estes elementos fixados, chega-se ao momento de fazer os testes finais.



## 5 RESULTADOS OBTIDOS

Com a integração de todas as partes mecânicas pode-se fazer o teste prático de resistência dos materiais utilizados. O chassi, os eixos das rodas e amortecedores se mostraram eficazes para suportar o peso da estrutura do veículo e um motorista de 100 kg.

Porém, durante a execução do veículo, os eixos de *nylon*, que fazem a transmissão, se mostraram ineficazes devido à construção subdimensionada, a força aplicada aos eixos faziam com que os eixos maiores vergassem, desalinhando as coroas e conseqüentemente fazendo com que as correntes saíssem da formação.

Com isso, foi optado por refazer os eixos, dessa vez em aço SAE 1020. Com a equação 7 e sabendo que a tensão de escoamento ao cisalhamento ( $\tau_{cis}$ ) desse material é de 210 MPa, tem-se os seguintes resultados.

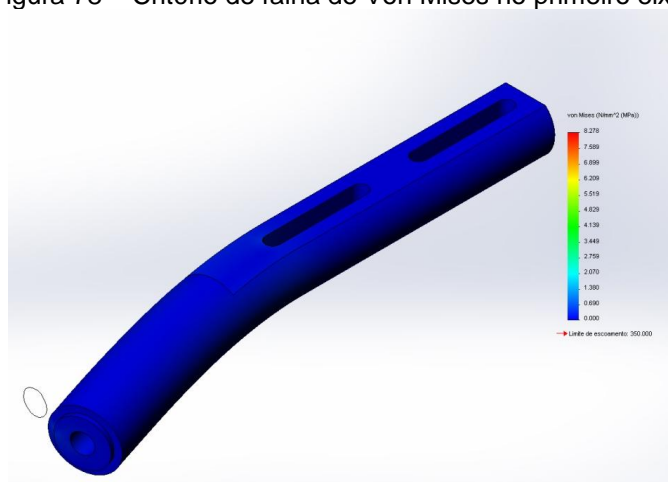
$$r_1 = 8,06 \text{ mm}$$

e

$$r_2 = 11,98 \text{ mm}$$

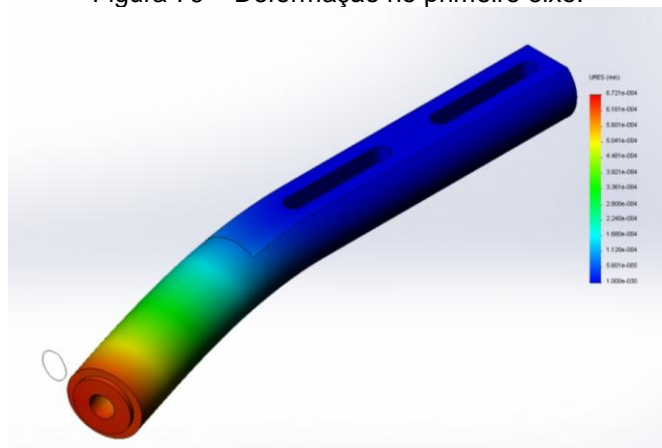
Com esses valores, foi possível fazer simulações no *software SolidWorks* e retirar informações acerca do dimensionamento e como este se comporta com as forças aplicadas. As figuras 78 e 79 são as representações para o primeiro par de eixos e as figuras 80 e 81 para o segundo par de eixos.

Figura 78 – Critério de falha de Von Mises no primeiro eixo.



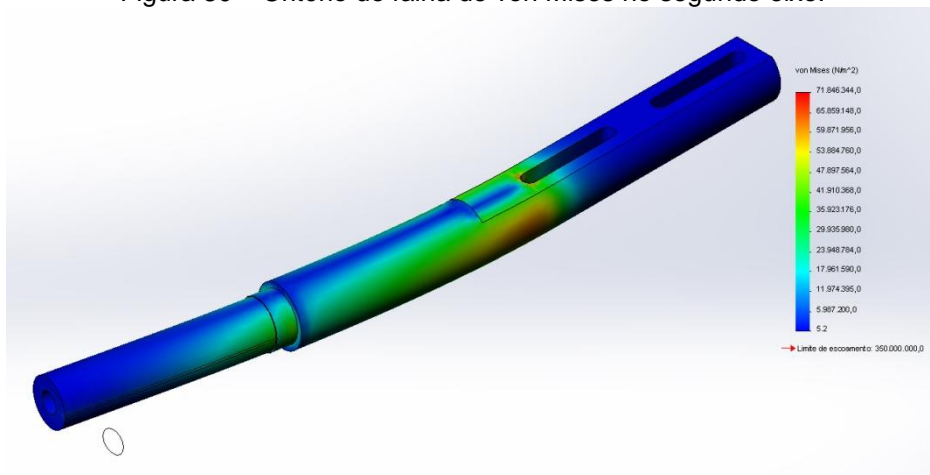
Fonte: Os autores.

Figura 79 – Deformação no primeiro eixo.



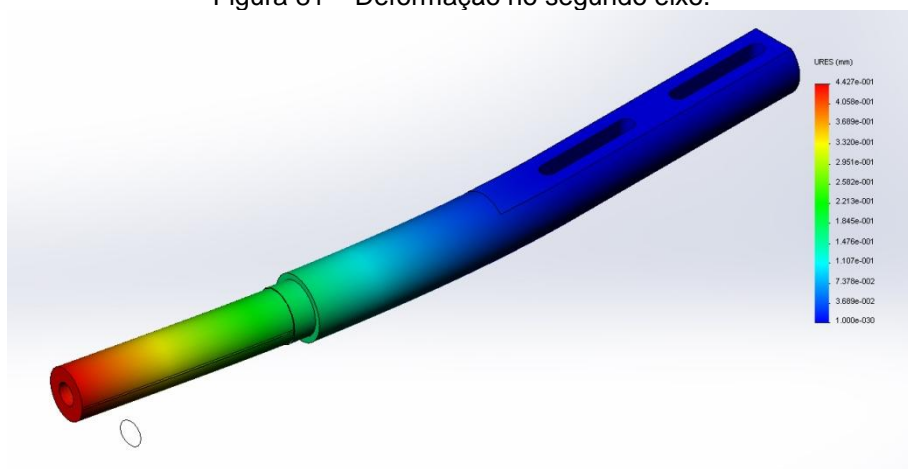
Fonte: Os autores.

Figura 80 – Critério de falha de von Mises no segundo eixo.



Fonte: Os autores.

Figura 81 – Deformação no segundo eixo.



Fonte: Os autores.

Com as simulações, foi possível concluir que com esses novos eixos, a flexão deles não acontecerá, mantendo as coroas sempre alinhadas, evitando que essas caiam durante o funcionamento dos motores. Os apêndices J e K trazem as medidas dos novos eixos que fazem a transmissão.

A integração da parte eletrônica se encontra, em sua maioria, dentro do painel do veículo. Os cabos de energia que vêm das baterias passam por debaixo do tapete do carro e sobem até o painel através do tubo vertical na lateral. Os cabos de alimentação e sinal de comando dos potenciômetros dos pedais e do *encoder* também passam pelos tubos verticais, assim como a alimentação dos motores de ambos os lados.

A tensão de 24 V passa por um relé e uma chave, esse é o sistema para ligar e desligar a energia do veículo todo. Ao fechar o comando da chave, o relé comuta e faz com que a tensão chegue a uma placa de distribuição, onde é repartida: pelos circuitos de ponte H de ambos os motores, para que posteriormente esses motores possam ser acionados; e para um conversor *Buck*, que fará a transformação de 24 V para 5V. Essa nova tensão, através de outra placa de distribuição, é repassada para: os circuitos de ponte H e faz a energização dos *drivers* comportados nessa placa; a placa dos microcontroladores; o *display*; os potenciômetros do volante e pedais, e o *encoder*. Esses últimos, quando energizados, retornam valores que são enviados à placa dos microcontroladores, onde são processados através da programação dos mesmos. Após esse processamento, os sinais de PWM são enviados às placas de ponte H, que fazem a abertura e fechamento dos *Mosfets*, permitindo que os 24 V anteriormente mencionados, possam de modo regulado, alimentar os motores.

O apêndice H trás um diagrama de blocos de como os circuitos são interligados. As flechas vermelhas e pretas mais grossas simbolizam 24 V e GND respectivamente, as flechas vermelhas e pretas mais finas simbolizam 5 V e GND respectivamente, as flechas em azul são os sinais vindos pelos potenciômetros e do *encoder*, as flechas amarelas são os sinais de PWM, e por fim, a flecha verde são os dados para o *display*.

A programação do *display* foi feita posteriormente, o funcionamento da programação do *encoder* continua igual, apenas foram adicionadas linhas de comando que inicializam o *display* e fazem a apresentação da velocidade para o motorista. Para isso o programa utiliza o valor obtido do cálculo e por meio de uma

função o transforma de valor numérico para caracteres que podem ser exibidos pelo *display*. A nova programação do microcontrolador pode ser vista no apêndice C.

A programação do *display* foi testada no *software Protheus 8 Professional*, durante as simulações o programa funcionou como o esperado, mostrando a velocidade atual do veículo em km/h.

Os testes dos dissipadores não puderam ser realizados com a carga máxima aplicada aos motores, devido o problema encontrado nos eixos de transmissão, assim, com os motores em vazio constatou-se que as chapas em alumínio fizeram a dissipação do calor de modo efetivo.

Uma parte do objetivo geral deste trabalho era manter o peso do veículo o mais reduzido possível. Com a integração das partes do veículo, obteve-se um peso final de aproximadamente 74,565 kg, esse valor é um décimo do peso do *Renault Kwid Life*<sup>40</sup>, o carro mais leve no Brasil atualmente.

Como já visto no capítulo 3.1.1 e no anexo C, os amortecedores utilizados suportam 263 kg, então, o limite de peso para o motorista mais a carga que esteja transportando, não deve exceder de 161,435 kg para o correto funcionamento dos amortecedores.

A outra parte do objetivo geral era confeccionar o veículo com materiais de baixo custo para que o seu preço final não fosse tão elevado. Contabilizando todos os custos do investimento, obteve-se um valor final de R\$3.342,70 aproximadamente, mantendo-se bem abaixo do limite de R\$5.000,00 estimados anteriormente.

---

<sup>40</sup> Disponível em: <[icarros.com.br/noticias/top-10/os-hatches-e-sedas-mais-leves-do-brasil/23306](http://icarros.com.br/noticias/top-10/os-hatches-e-sedas-mais-leves-do-brasil/23306)>

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou uma análise acerca de como pode ser produzido um automóvel elétrico de baixo custo, utilizando de materiais concedidos pelo IFSC campus Joinville e seus professores, de lojas de acessórios e equipamentos diversos, além de materiais que puderam ser encontrados em casa.

Toda a pesquisa para o desenvolvimento do trabalho foi de substancial relevância para o entendimento do funcionamento de um veículo elétrico, bem como a revisão de assuntos das áreas elétrica, eletrônica e mecânica e também a possibilidade de empregar todos esses conhecimentos na confecção do protótipo do veículo.

A elaboração do projeto eletrônico ocorreu de forma descomplicada, a confecção dos diagramas eletrônicos, a fabricação das placas de circuito impresso e demais apetrechos como os pedais, volante e painel se mostraram funcionais durante os testes individuais e posteriormente quando integrados.

A construção da parte mecânica apresentou certa dificuldade em sua realização. Após o planejamento da estrutura e dado início ao processo de fabricação do chassi, foram enfrentados diversos problemas para adequar as partes para que funcionassem em conjunto, sendo necessárias pequenas modificações. Ainda assim, um problema com a relação de transmissão persistiu. O dimensionamento de novos eixos em aço foi feito, porém essas peças não foram produzidas.

Em suma, o objetivo geral e cerca de 90% dos objetivos específicos foram alcançados. O protótipo foi inteiramente produzido com materiais de baixo custo e possui tração elétrica a partir de dois motores de corrente contínua acoplados às rodas dianteiras, o que permite a dispensa de barras ou eixos para a direção. Estes motores funcionam a partir da programação de microcontroladores PIC, os quais fazem aquisição e processamento de sinais e fornecem sinais de comando para o desempenho de sua rotação. As peças mecânicas como eixos e pinos foram desenhadas e usinadas de acordo para sua aplicação, deixando a desejar apenas a possibilidade de condução do veículo.

Há modos de consertar o problema com a relação transmissão, uma delas, continuando com a ideia de manter um veículo de baixo custo, é a usinagem de uma espécie de flange que vai fixada às coroas para servir como guia para a corrente e

assim mantê-la alinhada às coroas que a seguram; ou realizar a usinagem das peças em aço como foram dimensionadas no capítulo 5. Outra opção, porém depende de um investimento maior de dinheiro, seria a contratação de uma empresa terceirizada com competências para a fabricação de uma caixa de redução nas especificações que foram dadas no decorrer desse trabalho.

É possível aprofundar as pesquisas ainda mais, principalmente no quesito mecânico. Como sugestões para futuras evoluções deste trabalho, tem-se o uso de outro tipo de relação de transmissão, algo que possa ser mais estável e de fácil aplicabilidade. Essa deve ser decidida juntamente com a suspensão. Com isso, será possível fazer o teste dos dissipadores de calor com a carga completa nos motores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SIEBEN, Vincent. **A High Power H-Bridge**. , 2003. 24 p. v. 1.
- MATOS, Bruno Guilherme Gonçalves de. **Controlador e Accionador para Motor DC em Malha Fechada**. 2008. 242 p. Dissertação (Mestre em Eletronica Industrial e Computadores)- Engenharia, Universidade do Minho , Braga, Portugal, 2008.
- BEER, Ferdinand P. et al. **Mechanics of Materials**. 6. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2012. 758 p.
- INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Cálculo Técnico: Cálculo de RPM**. Bahia: [s.n.], 2012. 12 p.
- NOCE, Toshizaemom. **ESTUDO DO FUNCIONAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E CONTRIBUIÇÕES AO SEU APERFEIÇOAMENTO**. 2009. 127 p. Dissertação (Mestre em Engenharia)- Engenharia Mecânica, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS, Minas Gerais, 2009.
- BARAN, Renato; LEGEY, Luiz F. L. **Veículos Elétricos: História e perspectivas no Brasil**. [S.l.: s.n.], [2010?]. 18 p.
- BARRETO, Gilmar. **Veículo elétrico à bateria: contribuições à análise de seu desempenho e seu projeto**. 1986. 360f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- NISENBAUM, Moises André. **Pilhas e Baterias**. [S.l.]: Creative Commons, [200?]. 39 p. Disponível em: <[http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL\\_pilhas\\_e\\_baterias.pdf](http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_pilhas_e_baterias.pdf)>. Acesso em: 19 jul. 2017.
- LEMES, Daniel A. F. et al. **CORRENTES: Transmissões por correntes**. 2015. 9 p. Engenharia Mecânica, UniEvangélica, Anápolis-Goiás, 2015.
- SENAI. **Noções Básicas de Elementos de Máquinas**. Vitória-Espirito Santo: [s.n.], 1996. 137 p.

ARAÚJO, Bruno B. de. **TRANSMISSÃO POR CORRENTES**. 2012. 23 p. Dissertação (123)- Médio Técnico Integrado em Mecânica, UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Ponta Grossa-Paraná, 2012.

UFPR-CESEC. **MATERIAIS ELASTOPLÁSTICOS**. Paraná: [s.n.], sem ano. 9 p.

FONSECA, Ulysses. **O que é a ponte H**. Disponível em: <sisistemaembutido.com.br/article.php?id=124>. Acesso em: 06 mar. 2017

CHRUSCINSKI, Dan. **Como calcular o torque necessário para um veículo**. Disponível em: <http://www.ehow.com.br/calcular-torque-necessario-veiculo-como\_85740/>. Acesso em: 19 jul. 2017.

RODRIGUES, José Barros. **História dos automóveis elétricos**. Disponível em: <http://motordream.bol.uol.com.br/noticias/ver/2011/08/05/especial-historia-dos-automoveis-eletricos>. Acesso em: 10 abr. 2017.

BBC. **Por que terminamos usando gasolina se já tínhamos carros elétricos e a vapor?**. Disponível em: <bbc.com/portuguese/noticias/2016/02/160228\_carros\_eletricos\_tg#orb-banner>. Acesso em: 10 abr. 2017.

GAGO, Teresa. **FATOS EM CARROS ELÉTRICOS: Curiosidades**. Disponível em: <http://www.autoclassic.com.br/fatos-em-carros-eletricos-curiosidades/>. Acesso em: 10 abr. 2017.

FOGAÇA, Jennifer R. V. **A Ponte Salina das Pilhas**. Disponível em: <munodoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/a-ponte-salina-das-pilhas.htm>. Acesso em: 17 maio 2017.

ANDRADE, Alan Sulato de. **Elementos Orgânicos de Máquinas II**. Disponível em: <www.madeira.ufpr.br/disciplinasalan/AT102-Aula06.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2017.

VAZ, Luiz Felipe Hupsel; BARROS, Daniel Chiari; CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de. **Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento**. [S.l.:s.n.],sem ano. 50 p. Disponível em: <web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4284/1/BS%2041\_Ve%C3%ADculos%20h%C3%ADbridos%20e%20el%C3%A9tricos\_P.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2018.



ALMEIDA, Reinaldo de; MEIRELES, Rodrigo; TAVARES, Jaderson. **Introdução aos Elementos de Transmissão**. 31 p. Apresentação em Slide - Técnico em Mecânica, [S.I.], 2015. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/rodrigomeireles5201/elementos-organicos-de-mquinas-introduo-aos-elementos-de-transmisso>>. Acesso em: 09 jun. 2017.

LARANJA, Rafael A. C. **Engrenagens**. [S.I.], [200-]. 46 p

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Fundamentos dos Processos de Usinagem**, [200-]. Material apresentado para a disciplina de Introdução à Manufatura Mecânica nos cursos de Engenharias da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Usinagem com Ferramentas de Geometria Definida**, [200-]. Material apresentado para a disciplina de Introdução à Manufatura Mecânica nos cursos de Engenharias da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Fundamentos dos Processos de Usinagem**, [200-]. Material apresentado para a disciplina de Introdução à Manufatura Mecânica nos cursos de Engenharias da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Dmesg. **Baterias automotivas vs. estacionárias em nobreaks**. Disponível em: <[dmesg.com.br/uso-de-baterias-automotivas-vs-estacionarias-em-no-breaks/](http://dmesg.com.br/uso-de-baterias-automotivas-vs-estacionarias-em-no-breaks/)>. Acesso em: 21 jun. 2018.

Sucrana. **Peso Específico de Materiais**. Disponível em: <[sucrana.com.br/tabelas/peso-especifico-materiais.pdf](http://sucrana.com.br/tabelas/peso-especifico-materiais.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2018

Honda. **Manual do Proprietário: Biz 125 ES/EX**. Disponível em: <[honda.com.br/sites/default/files/2016-08/Biz%20125%202013.pdf](http://honda.com.br/sites/default/files/2016-08/Biz%20125%202013.pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2018.

BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência**. Florianópolis: UFSC, 1986. 360 p.

## APÊNDICE A – Programação do microcontrolador para o motor esquerdo.

```

void main()
{
    unsigned int canal;                //Variável para trocar o canal
    unsigned int acelerador;           //Variável para o duty cycle do acelerador
    unsigned int freio;                //Variável para o duty cycle do acelerador
    unsigned int volante;              //Variável para o duty cycle do volante
    unsigned int FoA;                  //Variável para função FREIO ou ACELERA
    unsigned int encoder;              //Variável para leitura do encoder
    unsigned int VALORDACONTA;         //Variável para o final do cálculo do duty cycle
    unsigned int dc_pwm;               //Variável de transição do duty cycle

    TRISC      = 0b00000011;           //Seta todas as portas como saída e RC0 e
                                        RC1 como entrada

    TRISA      = 0b00000111;           //RA0 a RA2 como entrada
    ANSEL      = 0b00000111;           //AN0 a AN2 como entrada analógica
    ANSELH     = 0b00000000;           //AN8 a AN11 como i/o digital
    PORTC      = 0b00000000;           //Limpa todas as portas C
    PORTA      = 0b00000000;           //Limpa todas as portas A
    INTCON     = 0b00000000;           //Desabilita todas as interrupções
    OPTION_REG = 0b10000000;           //Desabilita os Pull Ups

    // ---CONFIGURAÇÃO DO PWM--- //
    CCP1CON    = 0b01001100;           //Ponte completa para frente
    CCPR1L     = 0b00000000;           //Início do duty cycle em zero
    T2CON      = 0b00000100;           //Postscale 1:1, timer2=on, prescale 1:1
    PR2        = 0b11111001;           //20k
    TMR2       = 0b00000000;           //Início do timer em zero

    // ---CONVERSOR A/D--- //
    ADCON0     = 0b00000001;           //Conversor A/D está no canal AN0
    ADCON1     = 0b00100000;           //Frequência de conversão

    // ---VARIÁVEIS DE INÍCIO--- //
    volante    = 0;
    acelerador = 0;
    freio      = 0;
    canal      = 0;                     //Impõe o canal de leitura inicial
    FoA        = 0;                     //0-Freio 1-Acelera

    // ---INÍCIO DO PROGRAMA--- //
    for(;;)
    {
        if(FoA==0)                     //Se função FREIO acionada
        {
            canal=0;                    //Set para leitura do AN0
            delay_ms(150);               //Tempo
            if(canal==0)                 //Leitura do canal AN0
            {
                ADCON0.F2=0;             //Garantia de leitura do AN0
                ADCON0.F3=0;             //Garantia de leitura do AN0
                ADCON0.F4=0;             //Garantia de leitura do AN0

                if(PORTC.F0==1)          //Se ré ativada...
                {
                    CCP1CON.F7 = 1;     //Seta ponte completa reversa
                }
                if(PORTC.F0==0)          //Se ré desativada
            }
        }
    }
}

```

```

    {
        CCP1CON.F7 = 0;    //Seta ponte completa anversa
    }

    ADCON0.F1=1;          //Inicia a conversão A/D

    while(ADCON0.F1==1)  //Fica no loop até o termino da conversão
    {
        freio=ADRESH;    //Manda os valores A/D para variável
        if(freio >= 245) //Se o valor for maior ou igual a 245...
        {
            freio = 245; //Mantém em 245
        }

        canal=2;        //Seta a variável canal
    }

    if(encoder==0)       //Se motor quase parando...
    {
        FoA=1;          //Seta FoA para função ACELERA
    }
}

if(FoA==1)             //Se função ACELERA acionada
{
    canal=1;           //Set para leitura do AN1
    delay_ms(150);     //Tempo
    if(canal==1)       //Leitura do canal AN1
    {
        ADCON0.F2=1;   //Garantia de leitura do AN1
        ADCON0.F3=0;   //Garantia de leitura do AN1
        ADCON0.F4=0;   //Garantia de leitura do AN1

        if(PORTC.F0==1) //Se ré ativada...
        {
            CCP1CON.F7 = 1; //Seta ponte completa reversa
        }
        if(PORTC.F0==0)   //Se ré desativada
        {
            CCP1CON.F7 = 0; //Seta ponte completa anversa
        }

        ADCON0.F1=1;      //Inicia a conversão A/D

        while(ADCON0.F1==1) //Fica no loop até o término da conversão
        {
            acelerador=ADRESH; //Manda os valores A/D para variável
            if(acelerador >= 245) //Se o valor for maior ou igual a 245...
            {
                acelerador = 245; //Mantém em 245
            }

            canal=2;      //Seta a variável canal
        }
    }
}

if(freio>50)           //Se freio 25% apertado...

```

```

    {
        FoA=0; //...seta função FREIO
    }
}

if(canal==2) //Leitura do canal AN2 VOLANTE
{
    ADCON0.F2=0; //Garantia de leitura do AN2
    ADCON0.F3=1; //Garantia de leitura do AN2
    ADCON0.F4=0; //Garantia de leitura do AN2

    delay_ms(150); //Tempo
    ADCON0.F1=1; //Inicia a conversão A/D

    while(ADCON0.F1==1) //Fica no loop até o termino da conversão
    {
        volante=ADRESH; //Manda os valores A/D para variável
        if(volante >= 245) //Se o valor for maior ou igual a 245...
        {
            volante = 245; //Mantém em 245.
        }
        if(volante <= 127) //Se o valor for menor ou igual a 127...
        {
            volante = 127; //Mantém em 127.
        }

        canal=0; //Reseta a variável canal
    }

    if(PORTC.F1==0) //Leitura do encoder
    {
        encoder=0;
    }
    else
    {
        encoder=1;
    }

    VALORDACONTA = (acelerador/2)+(volante-127); //Cálculo para rotação do motor ESQUERDO

    dc_pwm=VALORDACONTA; //VALORDACONTA será o duty
                          //cycle do PWM do motor ESQUERDO
    if(dc_pwm>=245) //Se o valor for maior ou igual a 245...
    {
        dc_pwm=245; //Mantém em 245
    }
    CCPR1L=dc_pwm; //Envia o valor do PWM para a saída
}
}
}

```

## APÊNDICE B - Programação do microcontrolador para o motor direito.

```

void main()
{
    unsigned int canal;           // Variável para trocar o canal
    unsigned int acelerador;      // Variável para o duty cycle do acelerador
    unsigned int freio;           // Variável para o duty cycle do acelerador
    unsigned int volante;         // Variável para o duty cycle do volante
    unsigned int FoA;             // Variável para função FREIO ou ACELERA
    unsigned int encoder;         // Variável para leitura do encoder
    unsigned int VALORDACONTA;    // Variável para o final do cálculo do duty cycle
    unsigned int dc_pwm;          // Variável de transição do duty cycle

    TRISC      = 0b00000011;      // Seta todas as portas como saída e RC0 e
                                  // RC1 como entrada
    TRISA      = 0b00000111;      // RA0 a RA2 como entrada
    ANSEL      = 0b00000111;      // AN0 a AN2 como entrada analógica
    ANSELH     = 0b00000000;      // AN8 a AN11 como i/o digital
    PORTC      = 0b00000000;      // Limpa todas as portas C
    PORTA      = 0b00000000;      // Limpa todas as portas A
    INTCON     = 0b00000000;      // Desabilita todas as interrupções
    OPTION_REG = 0b10000000;      // Desabilita os Pull Ups

    // ---CONFIGURAÇÃO DO PWM--- //
    CCP1CON   = 0b01001100;      // Ponte completa para frente
    CCPR1L    = 0b00000000;      // Início do duty cycle em zero
    T2CON     = 0b00000100;      // Postscale 1:1, timer2=on, prescale 1:1
    PR2       = 0b11111001;      // 20k
    TMR2      = 0b00000000;      // Início do timer em zero

    // ---CONVERSOR A/D--- //
    ADCON0    = 0b00000001;      // Conversor A/D está no canal AN0
    ADCON1    = 0b00100000;      // Frequência de conversão

    // ---VARIÁVEIS DE INÍCIO--- //
    volante   = 0;
    acelerador = 0;
    freio     = 0;
    canal     = 0;                // Impõe o canal de leitura inicial
    FoA       = 0;                // 0-Freio 1-Acelera

    // ---INÍCIO DO PROGRAMA--- //
    for(;;)
    {
        if(FoA==0)                // Se função FREIO acionada
        {
            canal=0;               // Set para leitura do AN0
            delay_ms(150);         // Tempo
            if(canal==0)           // Leitura do canal AN0
            {
                ADCON0.F2=0;      // Garantia de leitura do AN0
                ADCON0.F3=0;      // Garantia de leitura do AN0
                ADCON0.F4=0;      // Garantia de leitura do AN0

                if(PORTC.F0==1)   // Se ré ativada...
                {
                    CCP1CON.F7 = 1 // Seta ponte completa anversa (manda o
                                     // carro ir para frente)
                }
                if(PORTC.F0==0)   // Se ré desativada
            }
        }
    }
}

```

```

{
    CCP1CON.F7 = 0;           // Seta ponte completa reversa (manda o
}                             carro ir para trás)

    ADCON0.F1=1;             // Inicia a conversão A/D

    while(ADCON0.F1==1)      // Fica no loop até o termino da conversão
    {
    }

    freio=ADRESH;            // Manda os valores A/D para variável
    if(freio >= 245)          // Se o valor for maior ou igual a 245...
    {
        Freio = 245;         // Mantém em 245
    }

    canal=2;                 // Seta a variável canal
}

if(encoder==0)                // Se motor quase parando...
{
    FoA=1;                   //...Seta FoA para função ACELERA
}
}

if(FoA==1)                   // Se função ACELERA acionada
{
    canal=1;
    delay_ms(150);           // Tempo
    if(canal==1)             // Leitura do canal AN1
    {
        ADCON0.F2=1;         // Garantia de leitura do AN1
        ADCON0.F3=0;         // Garantia de leitura do AN1
        ADCON0.F4=0;         // Garantia de leitura do AN1

        if(PORTC.F0==1)      // Se ré ativada...
        {
            CCP1CON.F7 = 1; // Seta ponte completa reversa
        }
        if(PORTC.F0==0)      // Se ré desativada
        {
            CCP1CON.F7 = 0; // Seta ponte completa anversa
        }

        ADCON0.F1=1;         // Inicia a conversão A/D

        while(ADCON0.F1==1)  // Fica no loop até o termino da conversão
        {
        }

        acelerador=ADRESH;    // Manda os valores A/D para variável
        if(acelerador >= 245) // Se o valor for maior ou igual a 245...
        {
            acelerador = 245; // Mantém em 245
        }

        canal=2;             // Seta a variável canal
    }

    if(freio>50)             // Se freio 25% apertado...

```

```

    {
        FoA=0 //...seta função FREIO
    }

    if(canal==2) // Leitura do canal AN2 VOLANTE
    {
        ADCON0.F2=0; // Garantia de leitura do AN2
        ADCON0.F3=1; // Garantia de leitura do AN2
        ADCON0.F4=0; // Garantia de leitura do AN2

        delay_ms(150); // Tempo
        ADCON0.F1=1; // Inicia a conversão A/D

        while(ADCON0.F1==1) // Fica no loop até o termino da conversão
        {
        }

        volante=ADRESH; // Manda os valores A/D para variável
        if(volante <= 10) // Se o valor for menor ou igual a 10...
        {
            volante = 10; // Mantém em 10
        }
        if(volante >= 127) // Se o valor for maior ou igual a 127...
        {
            volante = 127; // Mantém em 127
        }

        canal=0; // Reseta a variável canal
    }

    if(PORTC.F1==0)
    {
        encoder=0;
    }
    else
    {
        encoder=1;
    }

    VALORDACONTA=(acelerador/2)+((volante-127)*(-1)); // Cálculo para rotação do motor DIREITO

    dc_pwm=VALORDACONTA; // VALORDACONTA será o duty cycle do
                          // PWM do motor DIREITO
    if(dc_pwm>=245) // Se o valor for maior ou igual a 245...
    {
        dc_pwm=245; // Mantém em 245
    }
    CCPR1L=dc_pwm; // Envia o valor do PWM para a saída
}
}

```

## APÊNDICE C - Programação do microcontrolador para o *encoder* e *display*.

```

sbit LCD_RS at RC2_bit; // Configurações das conexões do LCD
sbit LCD_EN at RC3_bit;
sbit LCD_D4 at RC4_bit;
sbit LCD_D5 at RC5_bit;
sbit LCD_D6 at RC6_bit;
sbit LCD_D7 at RC7_bit;

sbit LCD_RS_Direction at TRISC2_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISC3_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISC4_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISC5_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISC6_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISC7_bit;

unsigned CONT, N_CONT, VEL; // Variáveis de armazenamento de dados
char VELOCIDADE[15], CONTAR[15]; // Variáveis de conversão para mostrar valores no LCD

void interrupt () // Função de interrupção
{
    GIE_bit = 0; // Desabilita interrupções

    if (T0IF_bit == 1) // Interrupção do timer0
    {
        TMR0 = 0x176; // Seta o início da contagem do timer0 em 176
        T0IF_bit = 0; // Limpa flag da interrupção do timer0
        CONT = CONT + 1; // Incrementa a variável de contagem do tempo

        if (CONT >= 8117) // Se contagem maior que...
        {
            CONT = 8117; // Mantém 8117 como máximo
            N_CONT = 8117; // Mantém variável como 8117
        }
    }

    if (INTF_bit == 1) // Interrupção externa
    {
        TMR0 = 0x178; // Seta o início da contagem do timer0 em 178
        INTF_bit = 0; // Limpa flag da interrupção externa
        T0IF_bit = 0; // Limpa flag da interrupção do timer0
        N_CONT = CONT; // N_CONT recebe o valor de CONT
        CONT = 0; // Zera variável
    }

    GIE_bit = 1; // Habilita interrupções
}

void main(){
    OPTION_REG = 0b10010010; // Configuração do timer0
    INTCON = 0b00110000; // Habilita todas as interrupções
    ANSEL = 0b00000000; // Mantém portas como digitais
}

```



```

ANSELH      = 0b00000000;           // Mantém portas como digitais
CCP1CON     = 0b00000000;           // Mantém saídas PWM desabilitadas
TRISA       = 0b00000100;           // Seta RA2 como entrada
TRISB       = 0b00000000;           // Seta tudo como saída
TRISC       = 0b00000000;           // Seta tudo como saída
PORTA       = 0b00000000;           // Limpa todas as portas
PORTB       = 0b00000000;           // Limpa todas as portas
PORTC       = 0b00000000;           // Limpa todas as portas

N_CONT = 8117;
CONT = 0;                                     // Zera a variável

Lcd_Init();                                  // Inicializa o display

Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);                         // Limpa a tela do display
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);                   // Apaga o cursor do display

Lcd_Out(1,2,"INICIALIZANDO");               // Escreve mensagem
Lcd_Out(2,5,"Aguarde");                     // Escreve mensagem
Delay_ms(500);                               // Tempo de espera

Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);                         // Limpa a tela do display

TMR0 = 0x176;                                // Seta o início da contagem do timer0 em
                                              // 176
GIE_bit = 1;                                 // Habilita interrupções

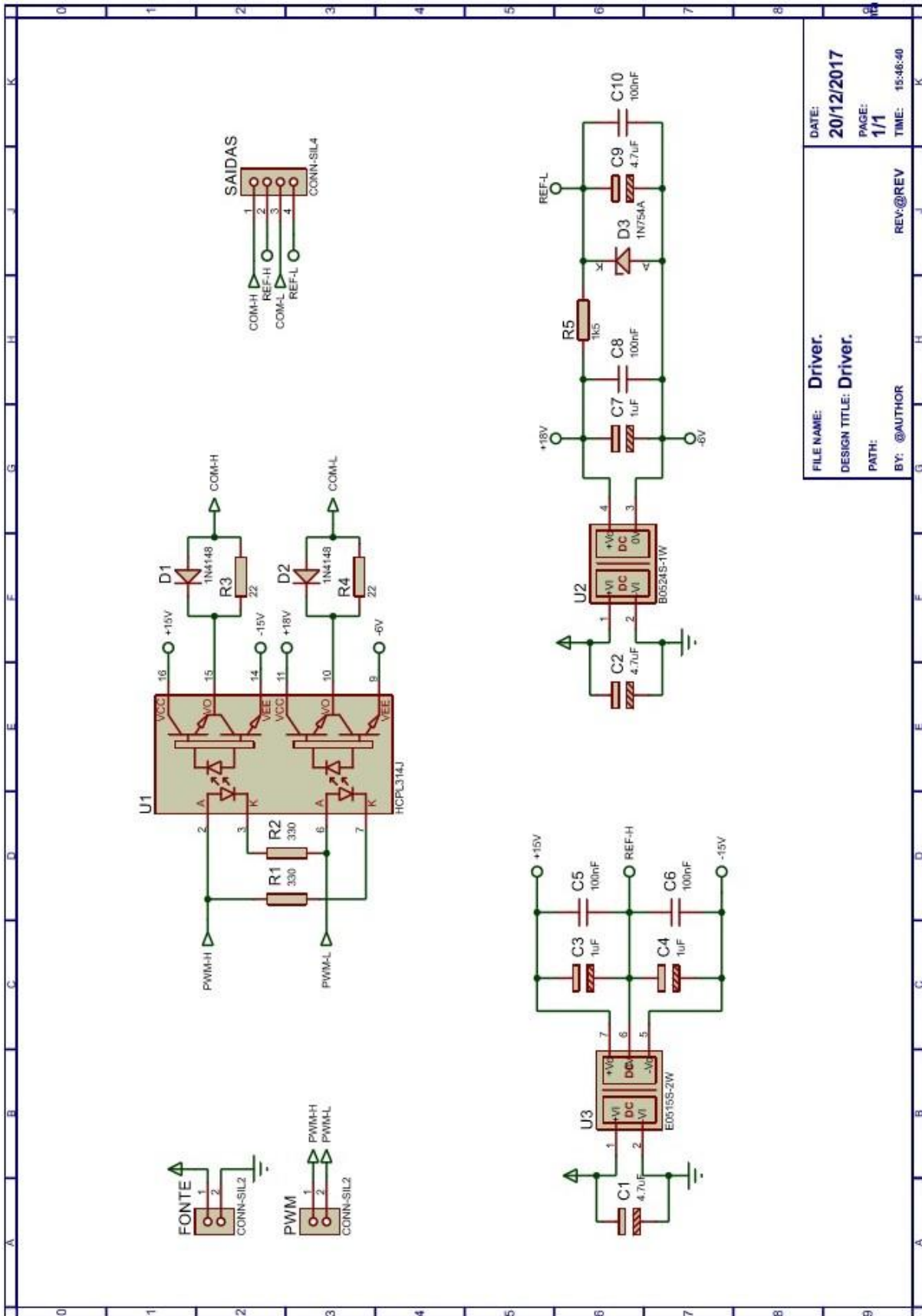
while(1)                                     // Loop infinito
{
    VEL = (8116/N_CONT);                     // Cálculo da velocidade
    IntToStr(VEL, VELOCIDADE);               // Converte de números para caracteres

    Lcd_Out(1,3,"Velocidade:");             // Escreve mensagem
    Lcd_Out(2,1,"  km/h");                   // Escreve mensagem
    Lcd_Out(2,1,VELOCIDADE);                 // Escreve mensagem
    delay_ms(200);                           // Tempo de espera

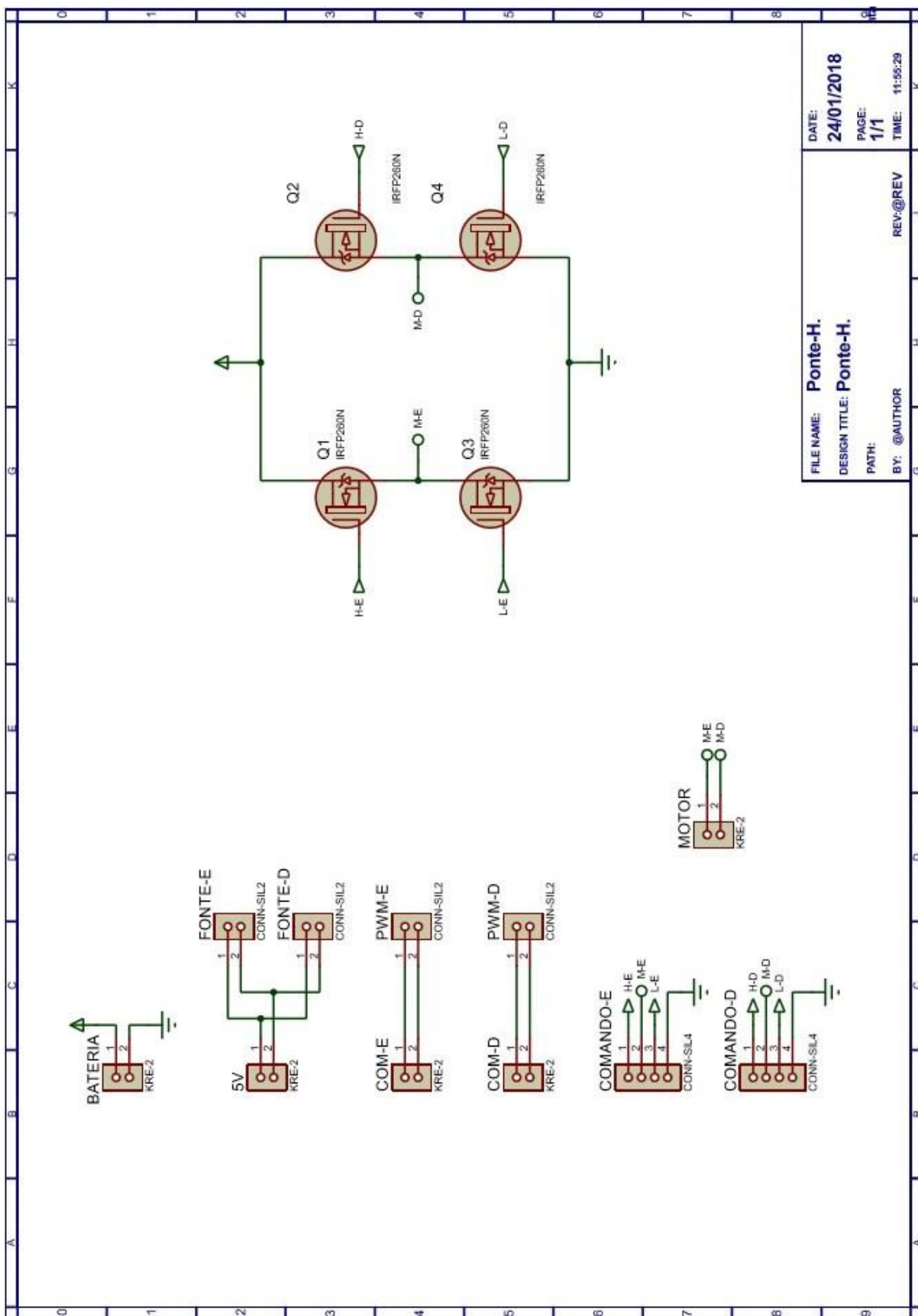
    if(vel>=1)
    {
        PORTC.F0 = 1;                       // Manda valor da velocidade pro PORTC1
    }
    else
    {
        PORTC.F0 = 0;                       // Manda valor da velocidade pro PORTC1
    }
}
}

```

APÊNDICE D – Projeto do circuito de driver.

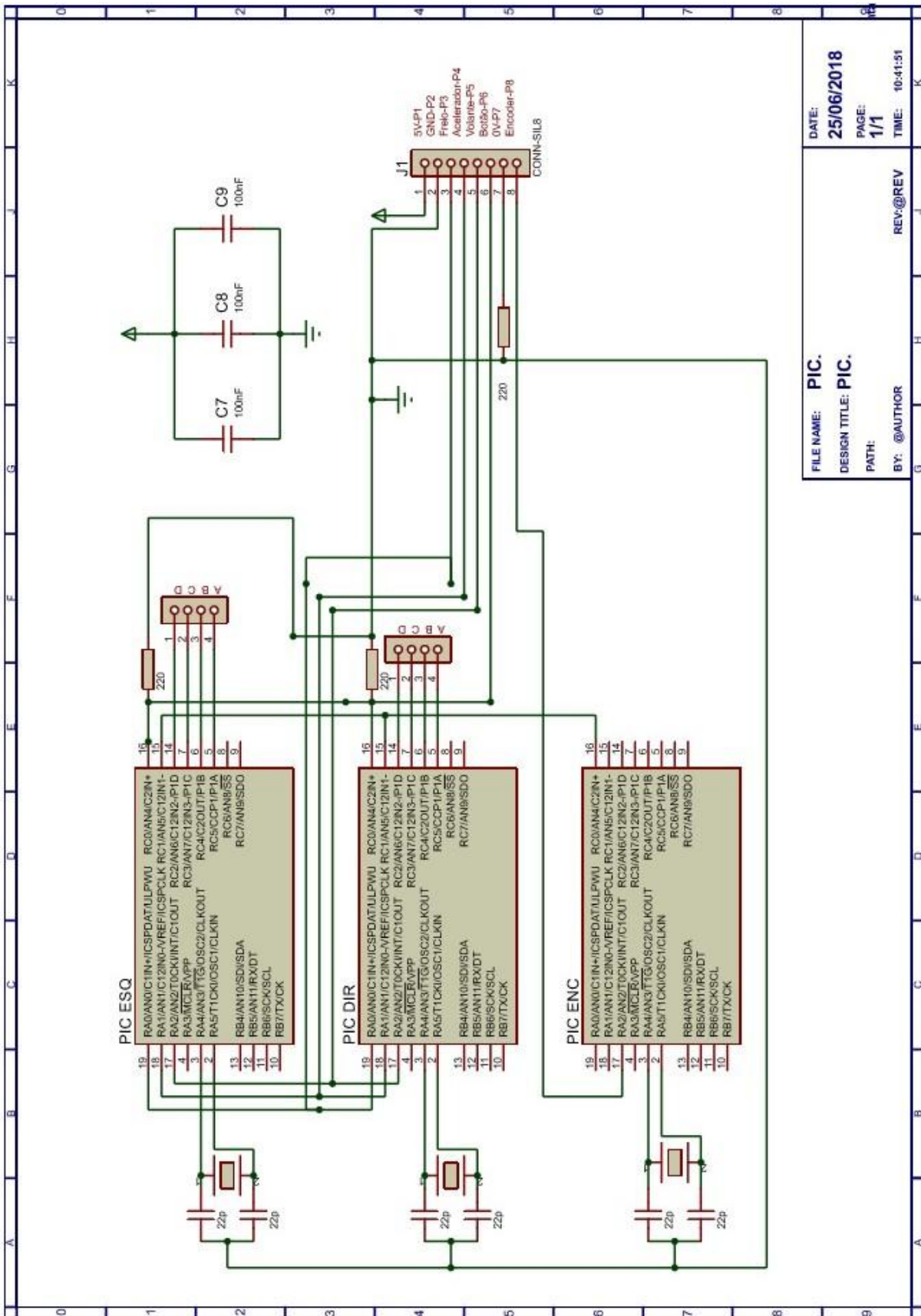


### APÊNDICE E – Projeto do circuito de Ponte H.



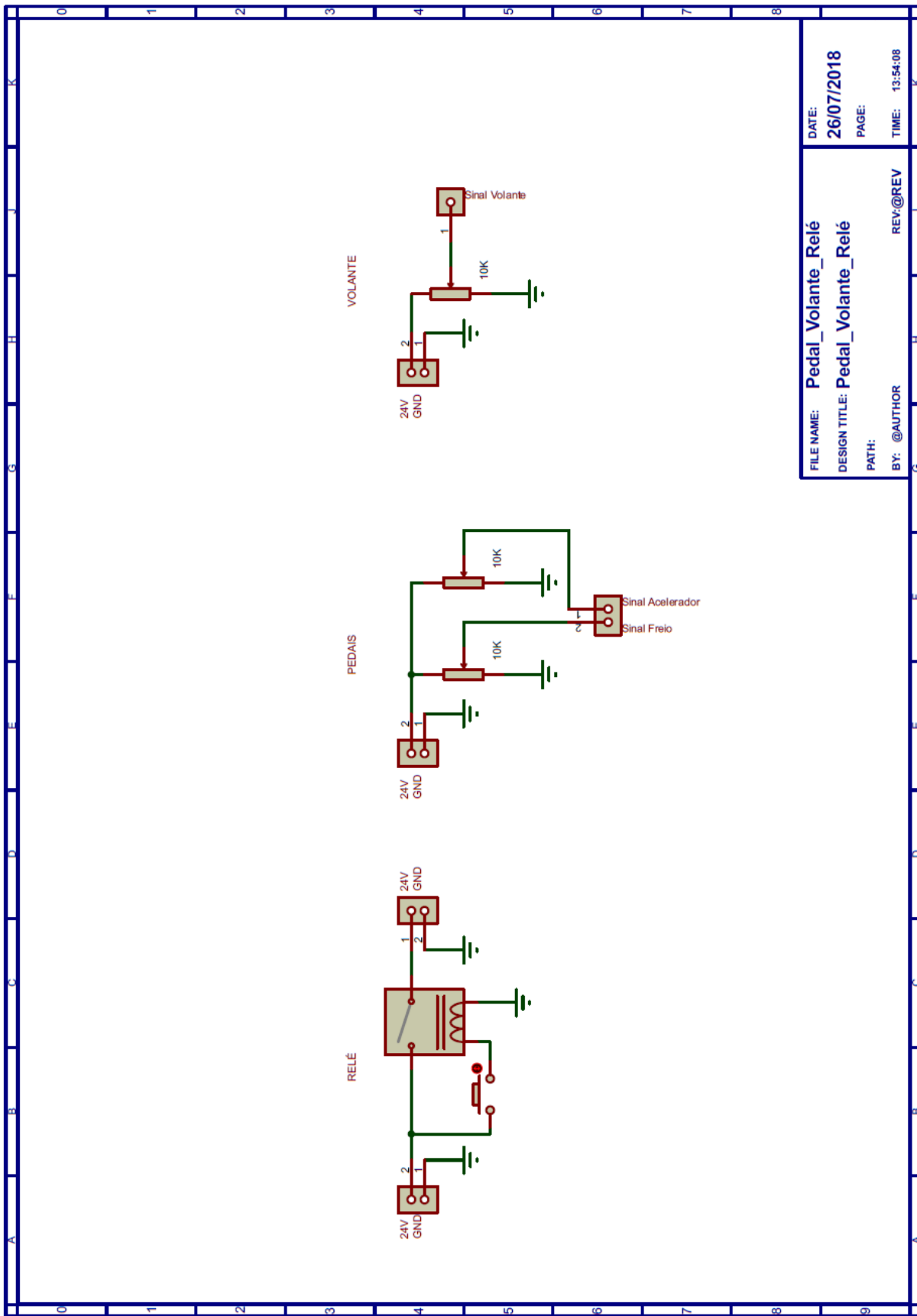
FILE NAME: <b>Ponte-H.</b>	DATE: <b>24/01/2018</b>
DESIGN TITLE: <b>Ponte-H.</b>	PAGE: <b>1/1</b>
PATH:	TIME: <b>11:55:29</b>
BY: <b>@AUTHOR</b>	REV: <b>@REV</b>

APÊNDICE F – Projeto do circuito dos microcontroladores.



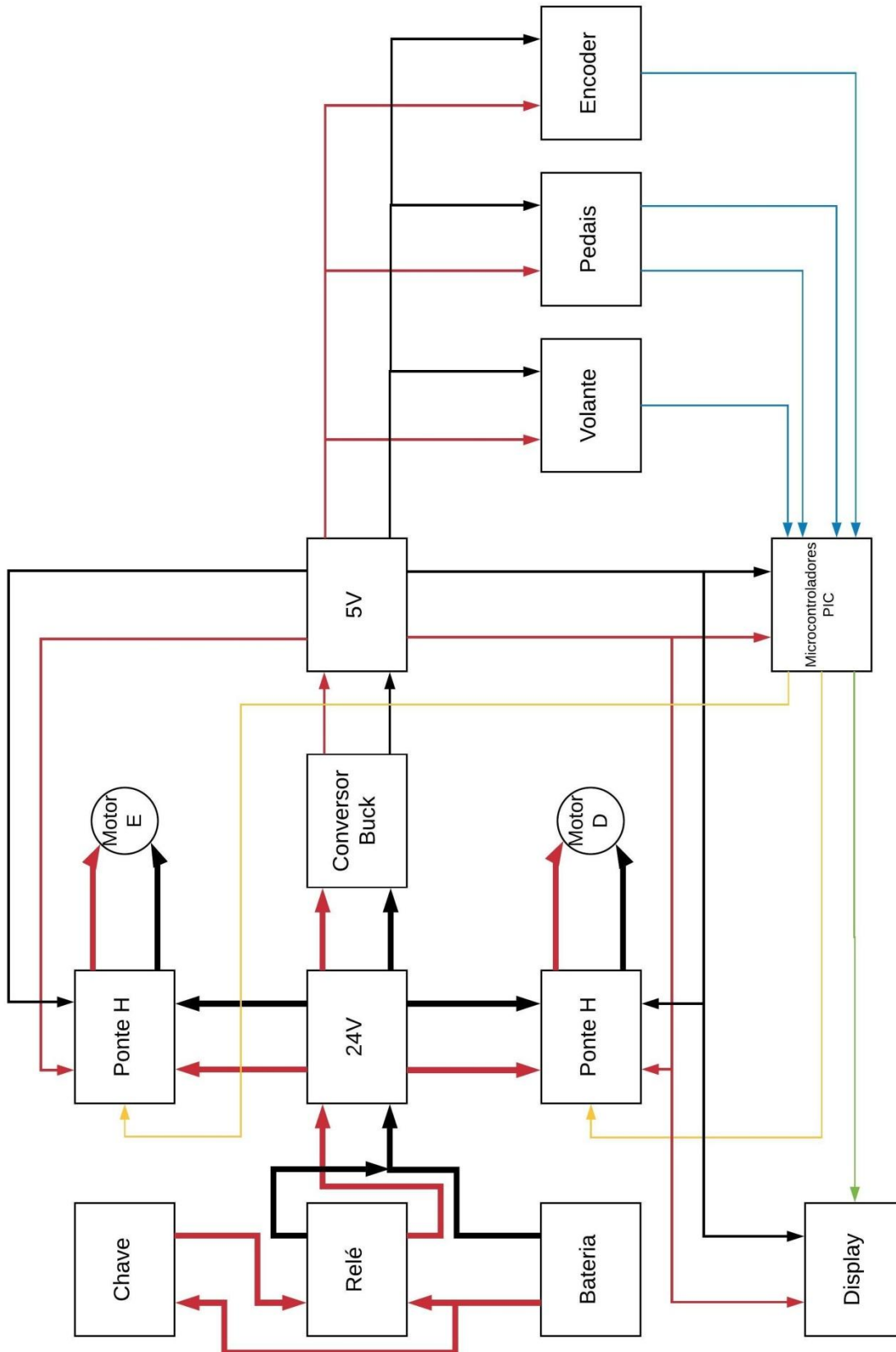
FILE NAME: <b>PIC.</b>	DATE: <b>25/06/2018</b>
DESIGN TITLE: <b>PIC.</b>	PAGE: <b>1/1</b>
PATH:	TIME: <b>10:41:51</b>
BY: <b>@AUTHOR</b>	REV: <b>@REV</b>

### APÊNDICE G – Projeto dos circuitos de relé, pedais e volante.

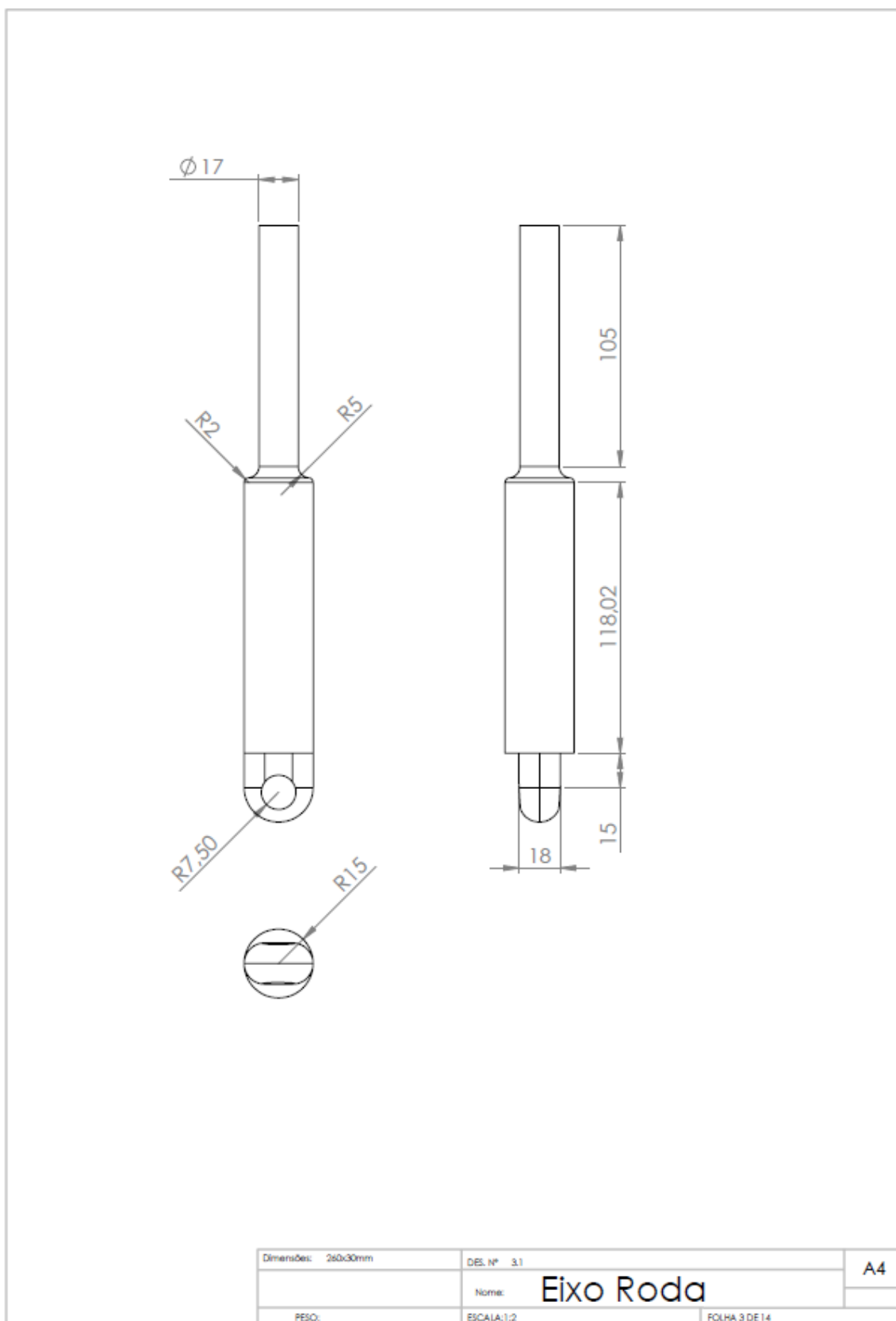


FILE NAME:	Pedal_Volante_Relé	DATE:	26/07/2018
DESIGN TITLE:	Pedal_Volante_Relé	PAGE:	
PATH:	@AUTHOR	TIME:	13:54:08
BY:	@AUTHOR	REV:	REV@REV

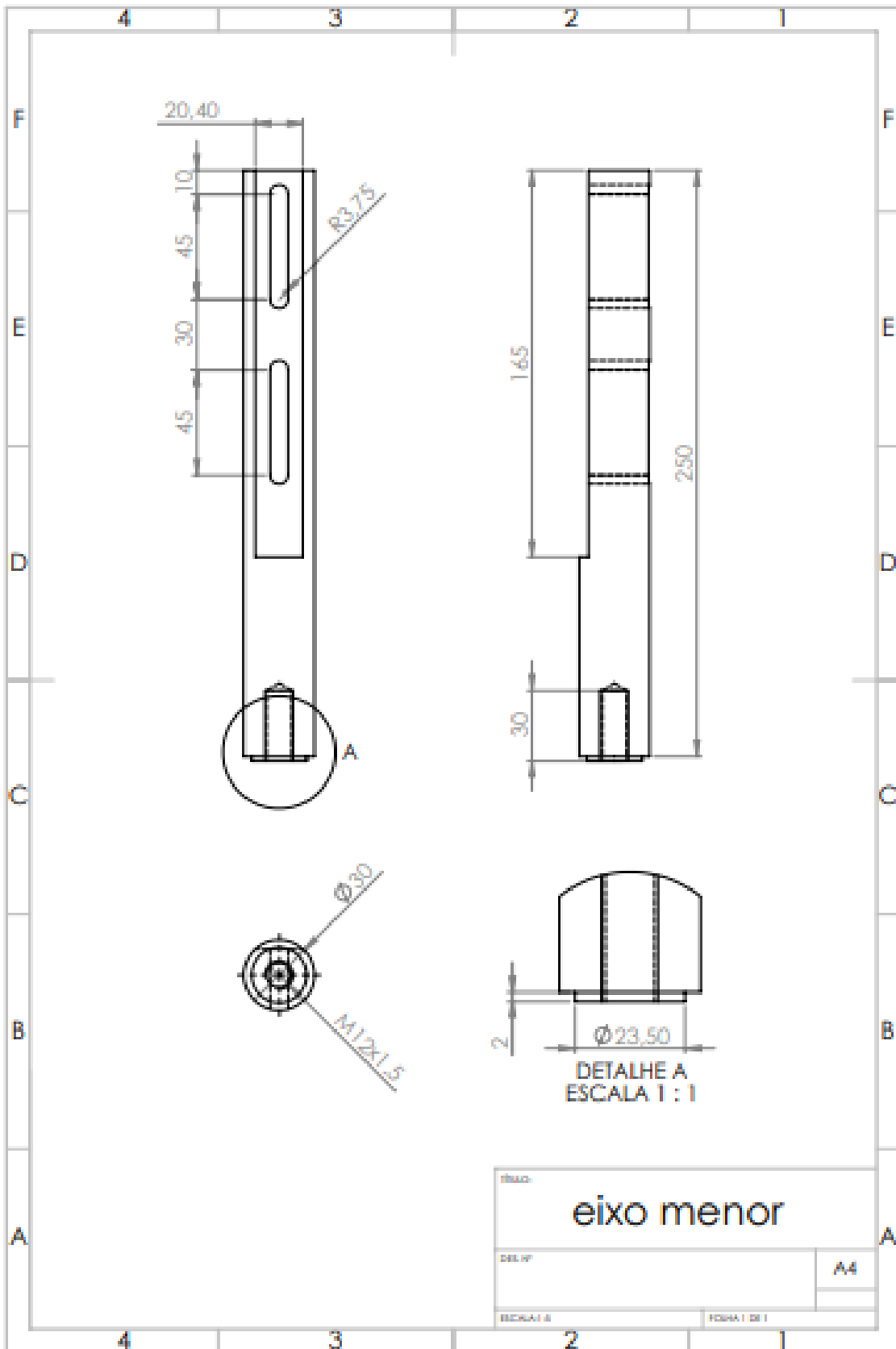
## APÊNDICE H – Diagrama de blocos da integração dos circuitos.



## APÊNDICE I – Eixo para as rodas.

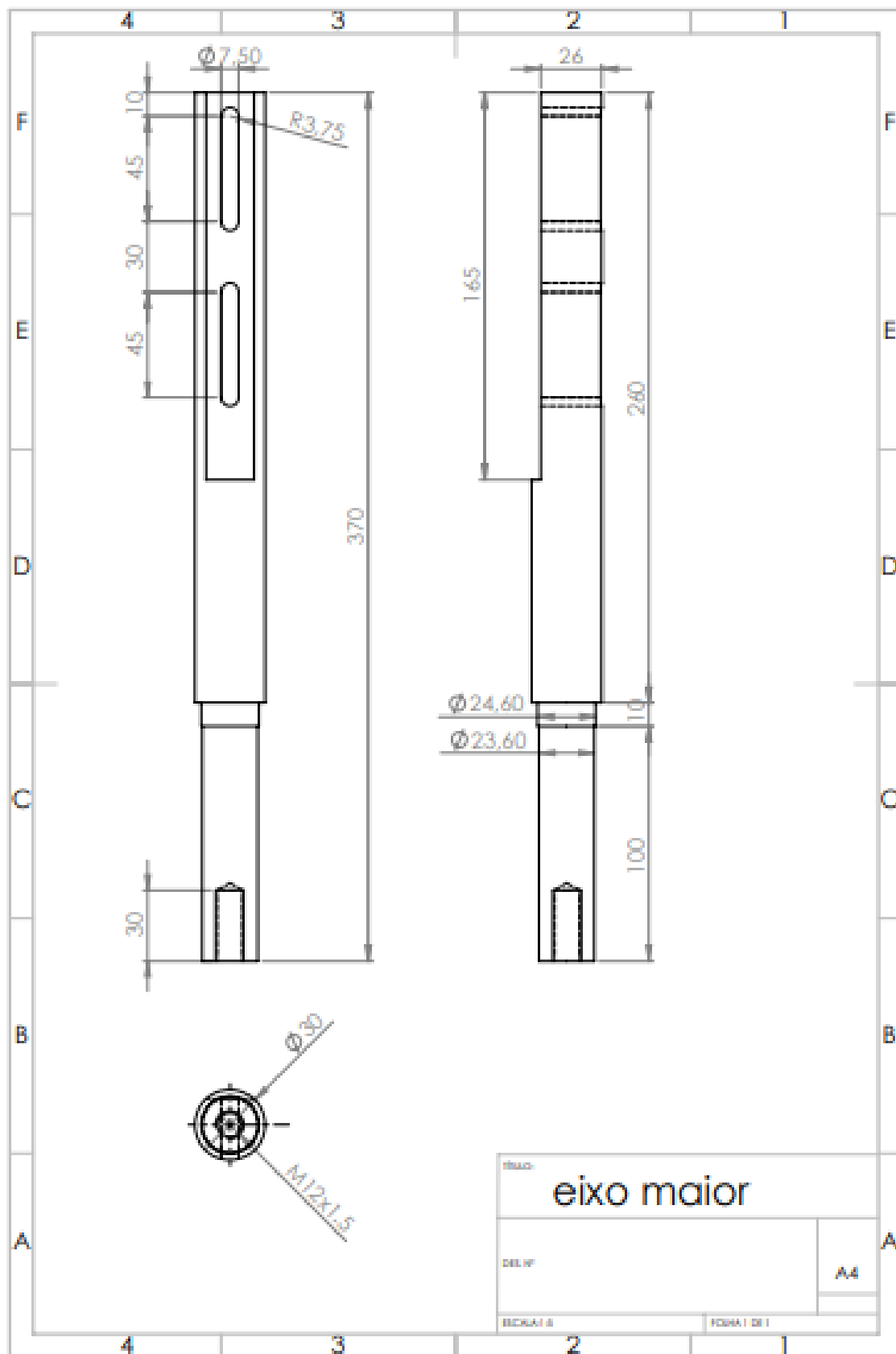


APÊNDICE J – Eixo de transmissão menor.





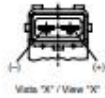
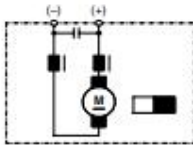
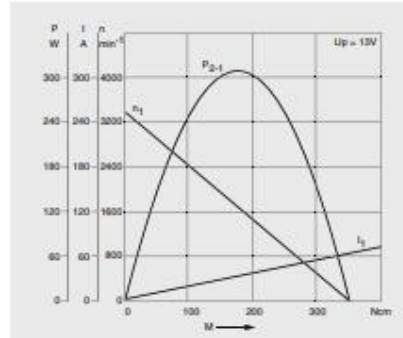
### APÊNDICE K – Eixo de transmissão maior.



## ANEXO A – Dados técnicos dos motores de corrente contínua.

**BOSCH****GPC 9 130 451 127****24 V 210 W**

$U_N$	24 V
$P_N$	210 W
$n_N$	2655 rpm
$I_N$	15,3 A
$M_N$	75 Ncm
$M_A$	355 Ncm
Rot.	R
S	S1
IP	IP 03
kg	1,500 kg
⊕	9 130 451 127

**CASA FERREIRA**

R. Florêncio de Abreu, 150 - Centro - São Paulo - SP

Tel. (11) 3326.3099 - Fax (11) 3228.3047

Site: [www.casaferreira.com.br](http://www.casaferreira.com.br) E-mail: [vendas@casaferreira.com.br](mailto:vendas@casaferreira.com.br)

## ANEXO B – Dados técnicos das baterias estacionárias.



**UNIPOWER**

**UP12700(G)**

### U Especificações Specifications

Tensão Nominal Nominal Voltage		12 V
Capacidade Nominal (C10) Nominal Capacity (C10)		70 Ah
Dimensões Dimensions	Altura Total Total Height	179 mm
	Altura Height	179 mm
	Comprimento Length	350 mm
	Largura Width	166 mm
Peso aproximado Weight approx.		22.0 kg

### U Características Characteristics

Capacidade Capacity 25 °C	20 horas - 1,75 vpc - 3,85 A		71.6 Ah	
	10 horas - 1,75 vpc - 7,07 A		65.7 Ah	
	5 horas - 1,75 vpc - 11,2 A		56.0 Ah	
	1 hora - 1,60 vpc - 42,0 A		39.0 Ah	
Resistência Interna Internal Resistance	Plena Carga a 25 °C Full Charge at 25 °C		5,00 mΩ	
Capacidade em função da temperatura Capacity affected by temperature C10	40 °C		102 %	
	25 °C		100 %	
	0 °C		85 %	
	- 15 °C		65 %	
Auto-descarga Self Discharge 25 °C	Capacidade residual após Capacity after	03 Meses Months	91 %	
		06 Meses Months	82 %	
		12 Meses Months	64 %	
Terminal Terminal	Inserto Insert		M6	
	Torque Torque		4 a 5,4 Nm	
Carga Tensão Constante Constant Voltage Charge 25 °C	Cíclico Cycle	Corrente Inicial Initial Current		17,5 A
		Tensão Voltage		14,1 a 14,4V
	Flutuação Float	Tensão Voltage		13,5 a 13,8V
Corrente de Curto Circuito Short Circuit Current			1400.0 A	
Corrente Máxima de Descarga (A/5s) Max Discharge Current (A/5s)			700.0 A	
Condutância (S) Conductance (S)			-	



Tempo	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	8 h	10 h	20 h
9.6 V A	224	148	119	80	42,0	24,5	18,0	14,0	11,6	8,19	7,35	3,97
10.2 V A	217	133	112	76	39,5	23,4	17,5	13,7	11,3	7,98	7,21	3,85
10.5 V A	210	119	98	71	38,2	22,8	17,1	13,4	11,2	7,91	7,07	3,85
10.8 V A	202	112	91	66	37,0	22,3	16,7	13,2	10,9	7,70	7,00	3,78
11.1 V A	196	105	84	59	35,7	21,7	16,1	12,9	10,6	7,49	6,65	3,57

Devido as contínuas pesquisas e melhorias em nossos produtos, as especificações nesta folha de dados estão sujeitas a mudanças sem prévio aviso.

## ANEXO C - Manual de usuario Honda Biz 125 ES-EX

BIZ125 ES • EX

• Captura Retangular

ESPECIFICAÇÕES 10-1

DIMENSÕES	
Comprimento total	1.891 mm
Largura total	726 mm
Altura total	1.087 mm
Distância entre eixos	1.261 mm
Distância mínima do solo	130 mm
Altura do assento	753 mm
PESO	
Peso seco	103 kg (BIZ125 ES)
	105 kg (BIZ125 EX)
CAPACIDADES	
Óleo do motor	0,7 litro (após drenagem)
	0,9 litro (após desmontagem do motor)
Tanque de combustível	5,5 litros
Reserva de combustível	1,6 litro (aproximadamente)
Capacidade	Piloto e um passageiro
Capacidade máxima de carga	160 kg