

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
JEFFERSON ALEX SCHICALSKI**

**PROJETO DE CORTADOR DE GRAMA A GASOLINA COM SISTEMA DE
CONTROLE E TRAÇÃO ELÉTRICOS**

CASCABEL 2023

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
JEFFERSON ALEX SCHICALSKI**

**PROJETO DE CORTADOR DE GRAMA A GASOLINA COM SISTEMA DE
CONTROLE E TRAÇÃO ELÉTRICOS**

Projeto a ser apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário FAG para obtenção de parcela de nota na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Professor. Esp. Ederson Zanchet

CASCADEL 2023

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
JEFFERSON ALEX SCHICALSKI**

**PROJETO DE CORTADOR DE GRAMA A ASOLINA COM SISTEMA DE
CONTROLE E TRAÇÃO ELÉTRICOS**

Trabalho apresentado no curso de engenharia elétrica, da faculdade assis gurgacz / dom bosco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel/licenciado em engenharia elétrica, sob a orientação do professor. me. ederson zanchet.

BANCA EXAMINADORA

Professor(a) Orientador(a)

Instituição a que Pertence

Titulação

Professor(a) Orientador(a)

Instituição a que Pertence

Titulação

Professor(a) Orientador(a)

Instituição a que Pertence

Titulação

CASCADEL 2023

AGRADECIMENTOS

Dedico esse trabalho primeiramente à Deus, por me propiciar estar graduando em um curso tão respeitado.

Ao professor Esp. Ederson Zanchet pelo apoio e orientação para a realização deste trabalho.

À minha mãe Rosa por nunca desistir e incentivar-me cada vez mais em busca de novos conhecimentos.

Ao meu padrasto Ari Fernandes, por ajudar com partes estruturais deste trabalho, incentivar estar presente em minha vida.

À minha esposa Rosicleia por me aturar enquanto ela assistia o filminho e eu estava aqui desenvolvendo este trabalho.

E a todo o colegiado de Engenharia Elétrica do grupo FAG, por estarem presentes e por toda a cooperação prestada para para que este trabalho fosse realizado.

RESUMO

Este trabalho descreve um projeto inovador que visa transformar um cortador a combustão já existente no mercado em uma máquina autônoma. A ideia é simples, mas o impacto é imenso: eliminar o esforço físico do operador, permitindo-lhe controlar o cortador por meio de um *smartphone*. Quatro motores de corrente contínua foram estrategicamente acoplados às rodas para tracionar a máquina, dando ao operador o poder de controlar a direção e a velocidade com um simples toque na tela. Não para por aí: um sistema inteligente, alimentado por um alternador e uma bateria integrada, não apenas estabiliza a tensão, mas também fornece energia aos motores de tração e aos circuitos de controle. Tudo isso é gerenciado por um sofisticado sistema de controle que utiliza tecnologia *Bluetooth®*. Comandos transmitidos pelo *smartphone* são interpretados por um microcontrolador que, por sua vez, coordena os motores, oferecendo ao operador dois níveis de velocidade para se adaptar a diferentes tipos de gramados. Este é mais do que um simples projeto: é uma revolução na forma como os cortadores de grama podem ser utilizados, trazendo eficiência e facilidade para a manutenção de áreas verdes.

Palavras-chaves: Engenharia Elétrica. Máquinas a combustão. Cortador de grama. Controle e Automação. Eletrônica Embarcada.

ABSTRACT

This work describes an innovative project aimed at transforming an existing combustion-powered mower on the market into an autonomous machine. The idea is simple, yet its impact is immense: to eliminate the physical effort of the operator, allowing them to control the mower through a smartphone. Four direct current motors have been strategically attached to the wheels to propel the machine, granting the operator the ability to steer and control speed with a simple touch on the screen. But it doesn't stop there: an intelligent system, powered by an alternator and an integrated battery, not only stabilizes the voltage but also provides power to the traction motors and control circuits. All of this is managed by a sophisticated control system utilizing Bluetooth® technology. Commands transmitted by the smartphone are interpreted by a microcontroller, which in turn coordinates the motors, offering the operator two speed levels to adapt to different types of lawns. This is more than just a simple project: it's a revolution in how lawnmowers can be used, bringing efficiency and convenience to the maintenance of green areas.

Keywords: Electrical Engineering. Combustion Machines. Lawn Mower. Control and Automation. Embedded Electronics.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	GRAMINEAS	15
2.2	MÁQUINAS ELÉTRICAS.....	15
2.3	MOTORES A COMBUSTÃO.....	16
2.4	ALTERNADORES.....	16
2.5	MOTORES ELÉTRICOS	16
2.6	MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA.....	17
2.7	CONTROLE E AUTOMAÇÃO	17
2.8	SISTEMA <i>BLUETOOTH</i> [®]	19
2.9	BATERIA.....	20
2.10	CIRCUITO DE PROTEÇÃO.....	21
2.11	SISTEMAS MECÂNICOS	21
2.12	METODOLOGIA DE TESTES	23
2.13	SISTEMAS ELETRÔNICOS.....	24
2.14	<i>ARDUINO</i> [®]	25
2.15	INTERFACES ELETRÔNICAS	26
3	METODOLOGIA.....	28
3.1.	MATERIAIS	28
3.2	FLUXOGRAMA	31
3.3	CIRCUITOS DESENVOLVIDOS	32
3.3.2	Circuito de potência	39
3.4	CUSTOS DO PROJETO.....	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57

6	TRABALHOS FUTUROS.....	60
	ANEXO A – Código desenvolvido para o microcontrolador	61
	REFERÊNCIAS.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Cortador de grama LC 140P Husqvarna®	30
Figura 3.2 - Visão geral do sistema desenvolvido	32
Figura 3.3 - Arduino® UNO utilizado no projeto	33
Figura 3.4 - Módulo Lm317 Dc-dc Step Down.....	35
Figura 3.5 - Equema de ligação do módulo HC-06	36
Figura 3.6 - Interface Software Arduino® Bluetooth® Controller	37
Figura 3.7 - Ponte H – BTS7960	38
Figura 3.8- Alternador Veicular WAPSA 55A	39
Figura 3.9 - Esquema de ligação bateria com o alternador	40
Figura 3.10 – Dados técnicos do motor a combustão	41
Figura 3.11 - Fixação da polia Motora.....	43
Figura 3.12 - Fixação da polia motriz e alternador no chassi.....	43
Figura 3.13 - Chapas para fixação do conjunto de rodas	44
Figura 3.14- Conjunto motor de tração e roda	45
Figura 3.15 - vista fronta conjunto motor de tração e roda	45
Figura 4.1 - vista traseira do Cortador	49
Figura 4.2 - Portas de saída do microcontrolador.....	51
Figura 4.3 - Definição dos pinos de saída do microcontrolador	52
Figura 4.4 - Cilclo de repetição	52
Figura 4.5 - Controle de velocidade.....	53
Figura 4.6 - Saídas acionadas quando o estado F for selecionado	54
Figura 4.7 - Saídas acionadas função D.....	54
Figura 4.8 - Saídas acionadas em L.	55
Figura 4.9 - Saídas acionadas em R.....	55
Figura 4.10 - Saídas acionadas comando B.	55
Figura 4.11 - Saídas acionadas comando S.....	56
Figura 5.1 - Galvanometro utilizado.....	57
Figura 5.2 - Corrente consumida por um dos motores de tração.....	58
Figura 5.3- Montagem final do cortador.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Materiais usados na adaptação do cortador	28
Tabela 3.2 - função dos pinos de controle de entrada, Ponte H-BTS7960	38
Tabela 3.3 - Custos do projeto.....	46
Tabela 4.1- Saídas ativadas para cada botão pressionado.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS

BLE: *Bluetooth Low Energy*

CA: Corrente Alternada

CC: Corrente Continua

PWM: *Pulse Width Modulation*

RPM: Rotações por minuto

RX: Receptor de comunicação serial

TX: Transmissor de comunicação serial

1 INTRODUÇÃO

A constante busca por inovações tecnológicas tem moldado o cenário atual, resultando na implementação de equipamentos eletroeletrônicos que automatizam atividades cotidianas, poupando tempo e esforço físico. Em ambientes urbanos, parques, campos e espaços verdes, a manutenção e o cuidado com a grama desempenham um papel fundamental, seja por motivos estéticos ou questões de segurança. No entanto, o processo de cortar a grama tradicionalmente tem sido uma tarefa que exige esforço físico e constante supervisão. O presente trabalho tem como objetivo não apenas criar um cortador de grama controlado remotamente via *Bluetooth*[®], mas também desenvolver um cortador capaz de operar eficazmente em espaços maiores e em terrenos acidentados, como parreirais de uvas, sem que o operador tenha que empurrar manualmente a máquina. A proposta visa fornecer uma solução prática e confortável para o corte de grama, com foco na automação e eficiência.

Este projeto tem como propósito primordial a implementação de um sistema de controle via *Bluetooth*[®] em um cortador de grama a combustão. Dessa forma, o cortador poderá ser controlado à distância e será autossuficiente em termos de energia para operar, usando apenas gasolina como fonte de combustível. Além disso, o projeto visa resolver o desafio de eliminar a necessidade do operador de transportar ou empurrar manualmente o equipamento em terrenos irregulares ou extensos. O sistema proposto também inclui a incorporação de um alternador no cortador, permitindo que o equipamento gere sua própria energia para alimentar os motores e sistemas elétricos. A introdução de uma bateria de motocicleta no sistema é essencial para estabilizar a tensão do sistema elétrico. O controle de velocidade e direção é alcançado por meio de uma biblioteca PWM implementada no microcontrolador Arduino[®], que, por sua vez, se comunica com um sistema de *Bluetooth*[®].

Com base no entendimento dos princípios de funcionamento de cortadores de grama elétricos e a combustão, este projeto busca calcular as especificações adequadas para os motores de tração, levando em consideração o peso do cortador e a potência necessária para o corte eficiente. Além disso, a pesquisa se concentra em encontrar um sistema de controle que permita ao cortador operar com agilidade e precisão. Através da metodologia e especificação das características aplicadas, juntamente com o software para o desenvolvimento do programa de operação do cortador, espera-se criar um protótipo que alcance os resultados esperados.

O objetivo geral deste projeto é projetar e construir um cortador de grama que gere sua própria energia de operação, seja controlado remotamente via *Bluetooth*[®] e tenha apenas um

combustível base, a gasolina. Isso será alcançado por meio da instalação de um alternador veicular e quatro motores de vidro elétrico em um cortador de grama movido a combustível fóssil.

Primeiramente, propôs-se a realizar estudos sobre o funcionamento de cortadores a combustão, seguido pela investigação minuciosa do funcionamento de alternadores veiculares. Em paralelo, foi necessário pesquisar motores que operassem com tensão e corrente contínua, atendendo às especificações do projeto, e desenvolver modelos matemáticos capazes de abranger os parâmetros elétricos e mecânicos exigidos. Além disso, o projeto contemplou a implementação de adaptações mecânicas para a instalação dos motores e alternador, bem como a pesquisa e implementação de um sistema *Bluetooth*® adequado para a aplicação. Outros aspectos incluíram o projeto de um programa para a comunicação do controlador com os circuitos da Ponte H, a realização de testes elétricos para avaliar a geração e consumo de corrente, e a avaliação prática do desempenho do cortador de grama.

Com esses objetivos definidos e baseados em teorias estabelecidas, espera-se alcançar os resultados esperados por meio da metodologia adotada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dentro do estudo procura-se desenvolver alguns conceitos básicos sobre gramíneas e a aplicação de cortadores de grama, observando que esses conceitos são usados para projetar e melhorar cada vez mais a eficiência de cortadores de grama elétricos e a combustão.

2.1 GRAMINEAS

Gramados podem ser aplicados em diferentes e locais, tais como áreas públicas, parques, praças, áreas residenciais, canteiros de rodovias e campos esportivos. Possuem também diferentes propósitos. Um gramado com sua manutenção em dia promove bem estar e é um local confortável para se divertir e praticar esportes.

Ocorre também a liberação de oxigênio em um gramado e este ajuda na diminuição do efeito estufa, além de contribuir para a não erosão do solo (BEARD *et al*, 1985).

Independente do ambiente o gramado tem seu objetivo, seja para embelezar um local ou até mesmo para evitar erosões prevenindo assim que solo fique descoberto, para tanto todo e qualquer gramado necessita de manutenção, sendo desenvolvido o estudo do cortador autônomo, mas controlado via *Bluetooth*[®].

2.2 MÁQUINAS ELÉTRICAS

Segundo J. Chapman (2013), máquinas elétricas são mecanismos capazes de converter energia elétrica em mecânica e também energia mecânica em energia elétrica, sendo os conceitos de gerador atribuídos aquele que transforma energia mecânica em energia elétrica e motor atribuídos aquele que transforma energia elétrica em energia mecânica.

Máquinas desempenham um papel fundamental na sociedade, automatizam e melhoram a produtividade, realizam tarefas de forma rápida sem fadigar, permitindo produção em larga escala. Também impulsionam avanços tecnológicos, permitindo inovação constante com a internet e desenvolvimento de novas tecnologias.

Influenciam e melhoram a qualidade de vida das pessoas, tornam tarefas domésticas rápidas e fáceis, liberando tempo e energia para outras atividades. Enquanto tarefas corriqueiras são substituídas por máquinas, novas oportunidades de emprego podem ser criadas, tanto na criação quanto na operação e também na manutenção de máquinas (RODRIGUES, 2016).

2.3 MOTORES A COMBUSTÃO

Segundo Brunetti (2012), motores a combustão são dispositivos que convertem a energia contida em um combustível em energia mecânica. Esses motores funcionam através da queima controlada de combustível em uma câmara de combustão, gerando gases de alta pressão que são direcionados para impulsionar um pistão ou outro componente mecânico.

Motores a 4 tempos são também conhecidos como motores de ciclo otto, são um tipo comum de motores a combustão interna usado em veículos automotores, como carros, motocicletas e alguns equipamentos industriais. Esses motores seguem um ciclo de quatro etapas ou tempos: admissão, compressão, combustão e exaustão (TILMANN, 2013).

2.4 ALTERNADORES

Lamberts, *et al* (2010) destaca que alternadores de energia elétrica são dispositivos ou sistemas que convertem formas de energia, como energia mecânica, química, ou térmica, em energia elétrica. Eles são utilizados para produzir eletricidade em pequena ou larga escala para suprir as necessidades de consumo em residências, indústrias, hospitais, escritórios, mecanismos entre outros equipamentos.

2.5 MOTORES ELÉTRICOS

Os motores elétricos são empregados para transformar energia elétrica em energia cinética e são considerados uma das inovações mais benéficas na área de engenharia elétrica.

Um motor elétrico é constituído de ímãs ou bobinas de fio que geram um campo magnético onde há circulação de corrente elétrica. Há duas classificações fundamentais de motores: de corrente alternada CA e de corrente contínua CC. Ambas as categorias compartilham componentes essenciais, porém apresentam variações que lhes permitem operar com fontes de alimentação distintas (PETRUZELLA, 2013).

2.6 MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

Para Mamede Filho (2017), motores de corrente contínua referem-se aos acionados por uma fonte de corrente contínua. Desempenham um papel crucial em indústrias que requerem controle preciso da velocidade em processos de fabricação, como a indústria do papel. Esses motores são produzidos em três diferentes configurações.

- a) Motores em série: São motores nos quais a corrente de carga também é utilizada como corrente de excitação, ou seja, as bobinas do campo são conectadas em série com as bobinas do induzido. Esses motores não podem operar sem carga, pois sua velocidade tenderia a aumentar indefinidamente, o que danificaria a máquina.
- b) Motores em derivação: São motores nos quais o campo está diretamente ligado à fonte de alimentação e em paralelo ao induzido. Sob tensão constante, esses motores mantêm uma velocidade constante e um torque variável de acordo com a carga.
- c) Motores compostos: São motores nos quais o campo é constituído por duas bobinas, sendo uma ligada em série e a outra em paralelo ao induzido. Esses motores combinam as vantagens dos motores em série e em derivação, ou seja, possuem um alto torque de partida e uma velocidade aproximadamente constante ao acionar cargas variáveis.

Os motores de corrente contínua são versáteis e podem ser encontrados em uma ampla gama de aplicações devido à sua capacidade de controle preciso e reversibilidade. Eles são muito requisitados na automação industrial e em muitos dispositivos e sistemas que dependem de movimento controlado e eficiente.

2.7 CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Para Ribeiro (2001), o controle em automação é uma parte fundamental da tecnologia que visa melhorar a eficiência, segurança e confiabilidade em diversas áreas da indústria e

da vida cotidiana, tornando os sistemas capazes de operar de maneira autônoma e de acordo com parâmetros definidos. Isso é alcançado por meio de sensores, atuadores e sistemas de lógica e controle que monitoram, avaliam e ajustam continuamente o desempenho dos sistemas automatizados

Rodrigues (2016), considera uma máquina automatizada aquela que por meio de um programa recebe instruções e o controle executa uma atividade e ou processo sem a participação direta de um operador.

O planejamento das operações e processos produtivos consideram documentos e projeto do produto a ser oferecido, estabelecendo assim uma sequência de produção e ciclo de montagem.

Ribeiro (2001), elenca que automatizar equipamentos aumenta sua eficiência, produtividade e segurança, ainda destaca algumas razões pela qual a automação é tão importante:

- a) Aumento da produtividade: Máquinas automatizadas pode operar de forma continua, sem necessidade de descanso e gerando maior produtividade.
- b) Melhoria da qualidade: a automação reduz a influência humana na produção, minimizando erros e mantendo padrões estabelecidos.
- c) Redução de custos: vislumbrando que investimento inicial possa ser significativo, a longo prazo geralmente se tem uma redução de custos operacionais.
- d) Flexibilidade e adaptação: máquinas automatizadas podem ser programadas e reprogramadas de forma fácil e rápida para realizar diferente tarefas e atender a demanda de produção.
- e) Coleta de dados e análise: permite em tempo real a coleta de dados, sobre desempenho de máquinas e processos, sendo possível identificar possíveis melhorias baseado em informações concretas.

Um sistema consiste na combinação de vários atuadores, entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) que juntos visam atingir um objetivo, atuando de forma organizada para otimizar um processo e aumentar a produtividade. Buscando a redução de custos, comodidade e dinamicidade para aquele que o implementa (MARTELLI, 2012).

2.8 SISTEMA *BLUETOOTH*[®]

Para Fusco (2007), a tecnologia *Bluetooth*[®] opera por meio da transmissão de sinais de rádio em frequências curtas, geralmente em torno de 2,4 GHz. Esses sinais de rádio são responsáveis por estabelecer conexões entre dispositivos, substituindo a necessidade de cabos físicos. O *Bluetooth*[®] permite que um dispositivo se conecte a até oito outros dispositivos simultaneamente, garantindo que não haja interferência entre essas conexões. Isso é possível porque o *Bluetooth*[®] realiza uma verificação das conexões próximas e, se detectar outras conexões, seleciona uma das 79 frequências de rádio disponíveis para cada uma delas, evitando assim conflitos de sinal.

Além disso, para evitar interferências, cada conexão *Bluetooth*[®] muda de frequência 1600 vezes por segundo, e cada dispositivo possui um endereço único programado pelo fabricante. Esses dois fatores combinados asseguram que as diferentes conexões não se sobreponham ou causem problemas de interferência entre si.

Alguns pontos essenciais para o funcionamento do *bluetooth*[®] são elencados:

- a) Conexão de curto alcance: O *Bluetooth*[®] opera na faixa de frequência de rádio de 2,4 GHz, viabilizando conexões sem fio em curtas distâncias. A maioria dos dispositivos *Bluetooth*[®] tem um alcance eficaz de até 10 metros, embora dispositivos de Classe 1 possam alcançar até 100 metros.
- b) Emparelhamento e descoberta: Para que dois dispositivos *Bluetooth*[®] possam se comunicar, é necessário realizar um processo de emparelhamento. Esse procedimento permite que os dispositivos reconheçam mutuamente suas identidades, estabelecendo uma conexão segura. Geralmente, isso envolve inserir um código de emparelhamento ou confirmar um código exibido em ambos os dispositivos.
- c) Protocolos de comunicação: O *Bluetooth*[®] utiliza protocolos para facilitar a transferência de dados. Os dispositivos emparelhados estabelecem um canal de comunicação seguro, possibilitando o compartilhamento de informações, como arquivos, áudio ou comandos de controle.
- d) Classes de dispositivos: Os dispositivos *Bluetooth*[®] são categorizados em classes conforme sua potência de transmissão. Os dispositivos de Classe 1 têm maior potência e alcance, enquanto os de Classe 2 e Classe 3 possuem alcances menores. Essas categorias determinam principalmente a distância efetiva de operação dos dispositivos.
- e) Perfis *Bluetooth*[®]: Os perfis *Bluetooth*[®] são padrões que definem como os dispositivos interagem em diferentes tipos de aplicativos. Por exemplo, o perfil A2DP (Advanced Audio Distribution Profile) é utilizado para transmitir áudio estéreo de alta qualidade

entre dispositivos, como smartphones e alto-falantes *Bluetooth*[®].

- f) Segurança: O *Bluetooth*[®] é projetado com várias camadas de segurança para proteger as comunicações. Isso inclui a criptografia de dados e a autenticação dos dispositivos durante o processo de emparelhamento.
- g) Economia de energia: O *Bluetooth*[®] *Low Energy* BLE, também conhecido como *Bluetooth*[®] Smart, é uma versão de baixo consumo de energia do *Bluetooth*[®]. Ele é amplamente aplicado em dispositivos que utilizam baterias pequenas, como sensores, relógios inteligentes e dispositivos vestíveis.
- h) Comunicações ponto a ponto e em rede: O *Bluetooth*[®] pode ser empregado para estabelecer conexões ponto a ponto entre dois dispositivos ou em configurações de rede, permitindo a comunicação entre diversos dispositivos. Por exemplo, uma rede *Bluetooth*[®] pode ser utilizada para controlar todos os dispositivos de uma casa, como eletrodomésticos inteligentes, por meio de um único aplicativo em um smartphone.

O *Bluetooth*[®] é uma tecnologia amplamente adotada que viabiliza a comunicação sem fio entre dispositivos eletrônicos em distâncias curtas. Essa tecnologia oferece versatilidade, segurança e eficiência em diversas aplicações, abrangendo desde a transmissão de música em alto-falantes sem fio até a troca de dados entre dispositivos médicos, entre outras possibilidades (MAGRANI, 2018).

2.9 BATERIA

Uma bateria é um dispositivo que armazena energia química e a converte em energia elétrica por meio de uma reação eletroquímica. Ela é composta por um ou mais células eletroquímicas interconectadas, capazes de fornecer energia elétrica para alimentar dispositivos eletrônicos, veículos elétricos, sistemas de armazenamento de energia e uma ampla gama de outros equipamentos. As baterias têm uma ampla gama de aplicações e são usadas em dispositivos portáteis, como smartphones, laptops, câmeras, bem como em veículos elétricos, sistemas de energia solar e sistemas de backup de energia. Elas permitem que os dispositivos funcionem independentemente de uma fonte de energia externa e são recarregáveis em muitos casos, o que aumenta sua utilidade e eficiência (BERGVELD, 2001).

2.10 CIRCUITO DE PROTEÇÃO

O circuito de proteção para Wilamowski (2011), também conhecido como circuito de proteção de bateria ou circuito de gerenciamento de bateria, são componentes eletrônicos projetados para proteger as baterias contra condições perigosas ou danosas. Desempenham várias funções críticas para garantir o desempenho seguro e confiável das baterias. Algumas das funções mais comuns incluem:

- a) Proteção contra sobrecarga: Os circuitos de proteção monitoram a tensão da bateria durante o processo de carga e interrompem o fornecimento de energia quando a tensão atinge um nível máximo seguro. Isso evita danos à bateria causados pelo excesso de carga.
- b) Proteção contra descarga excessiva: Os circuitos de proteção monitoram a tensão da bateria durante o uso e interrompem o fornecimento de energia quando a tensão atinge um nível mínimo seguro. Isso evita danos à bateria causados pela descarga excessiva, que pode levar à perda de capacidade ou à inutilização da bateria.
- c) Proteção contra curto-circuito: Os circuitos de proteção detectam curto-circuitos na bateria e interrompem o fluxo de corrente para evitar danos à bateria e minimizar riscos de incêndio ou explosões.
- d) Equilíbrio de células: Em baterias compostas por várias células individuais, os circuitos de proteção monitoram e controlam o estado de carga de cada célula, garantindo que todas elas sejam carregadas e descarregadas de maneira uniforme. Isso ajuda a prolongar a vida útil da bateria e a otimizar seu desempenho.

2.11 SISTEMAS MECÂNICOS

Sistemas mecânicos são conjuntos de componentes e mecanismos que trabalham em conjunto para realizar uma função específica. Esses sistemas são compostos por elementos mecânicos, como engrenagens, correias, polias, eixos, rolamentos, molas, entre outros. Eles desempenham um papel fundamental na transmissão, transformação e controle do movimento e da energia em máquinas e dispositivos mecânicos.

Esses sistemas são projetados para realizar diversas tarefas, como transmitir força e movimento entre componentes, amplificar ou reduzir a velocidade e o torque, controlar a direção do movimento, armazenar e liberar energia, entre outras funcionalidades. Além disso, os sistemas mecânicos podem ser compostos por diferentes tipos de elementos, como

sistemas de transmissão de potência, sistemas de movimento linear, sistemas de suspensão e sistemas de direção. Cada um desses sistemas possui características específicas e requer o uso adequado de componentes mecânicos para garantir o seu funcionamento correto e eficiente (FRANCESCHI *et al*, 2014).

2.11.1 Relação de transmissão (JR. et al, 2016)

Considerando que a velocidade periférica é constante nas duas polias, temos uma relação entre o número de rotações das polias por unidade de tempo (n) e seus respectivos tamanhos. Assim temos:

$$V_1 = V_2 \rightarrow \pi \times D_1 \times n_1 = \pi \times D_2 \times n_2 \text{ Logo: } D_1 \times n_1 = D_2 \times n_2 \quad \text{Equação 2.1}$$

Simplificando a equação:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} = i \quad \text{Equação 2.2}$$

Sendo que D_1 é o $\emptyset$ (diâmetro) da polia menor, D_2 o $\emptyset$ (diâmetro) da polia maior, n_1 a RPM(Rotações por minuto) da polia menor e n_2 a RPM(Rotações por minuto) da polia maior.

A correia é o componente da máquina que, ao ser acionada por uma polia motriz, transfere força e velocidade para a polia acionada. É um sistema amplamente empregado no transporte de cargas, sendo reconhecido como um dos mais eficazes já desenvolvidos, cuja utilização pode ser aplicada em diversas máquinas e contextos.

2.11.2 Correias do V (OLIVIO, 2017)

As correias do tipo V, também conhecidas como correias trapezoidais, são um tipo de correia de transmissão amplamente utilizado em sistemas mecânicos. Elas possuem uma seção transversal em formato de V e são projetadas para se encaixar em polias com canais correspondentes em formato de V. As correias do tipo V são feitas de borracha reforçada com materiais como poliéster, nylon e aramida. A seção em forma de V ajuda a aumentar a

aderência entre a correia e a polia, permitindo a transmissão eficiente de força e torque. Elas são adequadas para aplicações que requerem alta potência de transmissão, como motores automotivos, motores industriais, compressores e outros equipamentos pesados.

2.12 METODOLOGIA DE TESTES

A metodologia de testes engloba um conjunto de diretrizes, técnicas e procedimentos organizados empregados na concepção, planejamento, implementação e avaliação dos testes de software ou de sistemas em geral. Essa abordagem estruturada define um conjunto de práticas e etapas a serem seguidas visando assegurar a efetividade e a excelência dos testes conduzidos (ANDRADE, 2015).

A metodologia de testes envolve diferentes fases e atividades, incluindo:

- a) Planejamento de testes: Nesta fase, os objetivos, escopo, recursos e cronograma dos testes são definidos. São identificados os requisitos a serem testados, as estratégias de teste a serem adotadas e os critérios de aceitação.
- b) Projeto de testes: Nessa etapa, são desenvolvidos os casos de teste e os cenários de teste com base nos requisitos e nas especificações do sistema. São determinadas as entradas de teste, as ações a serem executadas e os resultados esperados.
- c) Preparação de ambiente de teste: É necessário configurar o ambiente adequado para realizar os testes.
- d) Execução de testes: Nesta fase, os casos de teste são executados de acordo com o plano estabelecido. Os resultados são registrados e os defeitos encontrados são avaliados para correção.
- e) Análise de resultados: Após a execução dos testes, os resultados são analisados para determinar se o sistema atende aos critérios de aceitação. São identificados e documentados os defeitos encontrados, juntamente com informações adicionais sobre os testes realizados.
- f) Reteste e regressão: Caso sejam encontrados defeitos, é necessário realizar o reteste dos casos afetados após a correção. Além disso, a regressão envolve a execução de testes adicionais para garantir que as alterações realizadas não tenham introduzido novos problemas.
- g) Relatório e encerramento: Um relatório de testes é preparado, resumindo as atividades realizadas, os resultados obtidos, os defeitos encontrados e outras informações relevantes.

A metodologia de testes é uma abordagem sistemática para avaliar o desempenho, a

funcionalidade e a qualidade de sistemas, produtos e processos. Ela desempenha um papel crítico em garantir que as soluções atendam aos requisitos, sejam confiáveis e seguras, e atendam às expectativas dos usuários e clientes.

2.12.1 Testes elétricos

Para Fitzgerald (2006), os testes elétricos abrangem uma diversidade de processos e avaliações executados para verificar a integridade, eficácia e aderência dos elementos elétricos, sistemas e dispositivos. Essas análises têm como finalidade assegurar a proteção, confiabilidade e otimização das instalações, equipamentos e dispositivos elétricos.

Os testes elétricos podem abranger uma ampla área de aplicações e incluem: Testes de continuidade, testes de resistência, testes de isolamento, testes de polaridade, testes de carga e testes de curto circuito.

2.12.2 Testes Mecânicos

Souza (1982), elenca que ensaios mecânicos consistem em práticas executadas para examinar as características e desempenho de elementos, substâncias, construções ou sistemas mecânicos. Essas avaliações visam estabelecer a resistência, durabilidade, resposta à carga, propriedades de fratura, atributos físicos e demais propriedades significativas dos objetos ou materiais submetidos aos testes. A escolha do teste adequado, depende do material ou do componente que está sendo testado.

2.13 SISTEMAS ELETRÔNICOS

Para Nogueira (2011), sistemas eletrônicos são conjuntos de componentes interconectados na qual trabalham em conjunto para realizar funções específicas. São compostos por dispositivos eletrônicos, circuitos integrados, transistores, resistores, capacitores e outros elementos, sendo projetados para processar, transmitir e controlar sinais elétricos.

Alguns exemplos de sinais eletrônicos incluem: sistemas de comunicação, sistemas de

controle, sistemas embarcados, sistemas de alimentação e sistemas de sensoriamento.

Os sistemas são projetados para fornecer funções específicas e geralmente envolvem o processamento de sinais elétricos para controlar e interagir com o ambiente ou com outros sistemas.

2.14 ARDUINO®

O *Arduino*® é uma plataforma eletrônica de prototipagem de código aberto amplamente empregada no desenvolvimento de projetos interativos. Consiste em uma placa de circuito integrado equipada com um controlador e uma interface de programação que capacita os usuários a gerenciar e interagir com elementos eletrônicos externos, como sensores, atuadores e dispositivos de comunicação (MICHAEL, 2011).

Projetado para ser acessível e de fácil utilização o *Arduino*® proporciona uma maneira simples de criar projetos eletrônicos e programá-los para desempenhar diversas tarefas. Sua base é composta por uma linguagem de programação simplificada e um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) que simplifica a redação e o envio de códigos para a placa. Oliveira *et al* (2018), a versatilidade é uma das características fundamentais do *Arduino*®, permitindo que os usuários desenvolvam uma vasta gama de projetos, desde sistemas de automação residencial básicos até robôs complexos, sistemas de monitoramento ambiental e dispositivos de arte interativa.

Há muitos modelos disponíveis no mercado, cada um com seus recursos e especificações. Alguns dos modelos mais conhecidos são:

- a) *Arduino*® Uno: É um dos modelos mais populares e amplamente utilizados. Possui um microcontrolador ATmega328P, várias entradas e saídas digitais e analógicas, bem como interfaces USB. É uma ótima opção para projetos iniciantes e intermediários.
- b) *Arduino*® Mega: Oferece muito mais recursos do que o Uno. Possui um microcontrolador ATmega2560 e mais pinos de E/S, o que o torna ideal para projetos maiores e mais complexos.
- c) *Arduino*® Nano: É uma versão compacta do Uno, adequada para projetos onde o espaço é limitado. Possui um microcontrolador ATmega328.
- d) *Arduino*® Due: É baseado no microcontrolador SAM3X8E, que é mais poderoso em termos de desempenho. É uma escolha adequada para projetos que exigem maior poder de processamento e recursos avançados.
- e) *Arduino*® Leonardo: Usa o microcontrolador ATmega32u4 e possui a capacidade de simular um teclado ou mouse, o que o torna ideal para projetos de emulação de

dispositivos de entrada.

- f) *Arduino*[®] Mini: É uma versão compacta do *Arduino Uno*, ideal para projetos onde o espaço é um problema. Ele não possui uma porta USB incorporada.
- g) *Arduino*[®] Pro Mini: Semelhante ao Mini, mas ainda menor em tamanho e não possui uma porta USB incorporada. É usado principalmente em projetos em que o espaço é extremamente limitado.
- h) *Arduino*[®] Lilypad: Projetado especificamente para projetos de roupas e wearables, o Lilypad é pequeno, leve e flexível.
- i) *Arduino*[®] Yún: Combina um microcontrolador com um sistema Linux, permitindo a conectividade Wi-Fi e a execução de scripts Python. É adequado para projetos de IoT (Internet das Coisas).
- j) *Arduino*[®] MKR Series: A família MKR inclui várias placas projetadas para IoT, com conectividade embutida, como *Wi-Fi* e *LoRa*, e recursos voltados para aplicações de baixa potência.
- k) *Arduino*[®] Zero: Possui um microcontrolador SAMD21G18, oferecendo uma ótima relação desempenho/energia. É usado em projetos que requerem eficiência energética.
- l) *Arduino*[®] Industrial: Projetado para aplicações industriais, como automação e controle, essa linha de placas *Arduino*[®] é robusta e adequada para ambientes desafiadores.

Existem diversos modelos e variações de placas *Arduino*[®] disponíveis, cada um com suas próprias especificações e recursos particulares. Além disso, o *Arduino*[®] é compatível com uma ampla variedade de sensores, atuadores e outros módulos eletrônicos, o que possibilita a personalização e a adaptação dos projetos conforme as necessidades individuais de cada pessoa.

2.15 INTERFACES ELETRÔNICAS

Segundo Oliveira *et al* (2015), interfaces eletrônicas são mecanismos ou circuitos que possibilitam a troca de dados e a interação entre elementos eletrônicos, sistemas ou dispositivos diversos. Elas funcionam como intermediárias, estabelecendo a ligação entre distintas partes do sistema e facilitando a transferência de informações, sinais ou energia.

As interfaces eletrônicas desempenham um papel fundamental na área da eletrônica, viabilizando a operação coordenada e eficiente de diferentes componentes ou sistemas. Elas

podem englobar a conversão de sinais, o ajuste dos níveis de tensão, o controle da corrente elétrica, a amplificação de sinais, o isolamento elétrico e outras funcionalidades.

Para a escolha da interface do projeto, três requisitos precisam ser levados em consideração, ser compatível com celular Android, com microcontrolador *Arduino*[®] e reconhecer o módulo HC-06.

3 METODOLOGIA

3.1. MATERIAIS

Para a adaptação, construção e desenvolvimento do projeto do cortador de grama a gasolina com sistema e controles elétricos, pode-se elencar os principais *softwares* empregados no projeto, constantes nos itens de a até d.

a) *Arduino*[®]

b) *Tinkercad*[®] versão estudante

c) Pacote *Microsoft*[®] *Office* 2013

d) *Roboboy*

Como se trata de projeto de adaptação foi necessário a compra de peças mecânicas e elétricas configuradas com *hardwares* para a confecção do projeto, constantes na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Materiais usados na adaptação do cortador

Material	Quantidade
Cortador de grama <i>Husqvarna</i> [®] Modelo – LC140P	1
Alternador marca <i>Wapsa</i> [®] utilizado em carros da <i>Ford</i> [®] Modelo Escort	1
Motor de vidro elétrico <i>Chevrolet</i> [®] Modelo Astra	4
Controlador <i>Arduino</i> [®]	1
Ponte H 43A BTS7960 –IBT2, Marca <i>Infineon</i> [®]	4
Modulo Lm317 Dc-dc Step-Down <i>Artschip</i> [®]	1
Modulo <i>Bluetooth</i> [®] HC-06, Genérico	1
Disjuntor 20A curva C	1
Bateria 7Ah, Marca <i>Júpiter</i> [®]	1
Chapa de aço com 3mm de espessura, 180mm x 110mm	4
Polia tipo V Diam. 80mm, em alumínio	4
Polia tipo V Diam. 50mm, em alumínio	4

Polia tipo V Diam. 230mm, em alumínio	1
Polia tipo V Diam. 100mm, em alumínio	1
Correia A-16	4
Correia A-48	1
Roda de 150mm de Diam. usada em máquina de cortar grama modelo <i>Trapp</i> [®]	4
Fio 1x2,5mm vermelho	3M
Fio 1x2,5mm verde	3M
Galvanometro Kron [®] com escala de 0 a 15A	1

Fonte: Autor, 2023

Todos os componentes foram comprados para a montagem do projeto, excluindo o *Arduino*[®], serviços de torno e solda também estão considerados no projeto.

Foram consideradas várias possibilidades para a execução deste projeto, levando em consideração a disponibilidade de peças no mercado, facilidade de montagem e custo dos componentes envolvidos.

Primeiramente, verificou-se qual cortador de grama seria a melhor opção para o projeto, a idéia inicial era utilizar um cortador de baixo custo e com motor elétrico, porem esta opção foi descartada, devido ao peso de uma bateria de grande capacidade e tanto a carcaça quanto as rodinhas serem de plástico, tendo baixa robustez e deixando o cortador não totalmente autônomo.

As demais alternativas foram utilizar um cortador disponível no mercado, mais robusto com chassi de metal e motor a combustão ou adquirir um motor a combustão e construir um chassi totalmente novo utilizando aço ou alumínio.

Verificando o alto custo para se adquirir um motor a combustão e construir um chassi, optou-se por adquirir um cortador de grama usado com motor a combustão e assim adaptá-lo. O cortador utilizado foi o modelo LC 140P da *Husqvarna*[®] (Fig. 3.1.)

Figura 3.1 - Cortador de grama LC 140P Husqvarna®



Fonte: Autor, 2023

Tendo em vista o cortador de grama adquirido, pensou-se em como este cortador poderia gerar energia a ponto de se movimentar por conta própria, vislumbrado a idéia de que o cortador pudesse gerar sua própria energia para locomoção, também para se comunicar com um sistema *Bluetooth*®, tomou-se a decisão de empregar um sistema de alimentação, sendo um alternador veicular utilizado no projeto, alternador da marca *Wapsa*® com capacidade de geração de 55A, este alternador produz 14V em tensão contíua, pois já possui retificador integrado.

Os motores de tração utilizados no projeto foram 4 Maxion de 12Vcc, são motores de corrente contínua e ímãs permanentes, possuem redução e geralmente são utilizados em vidros elétricos de automóveis da linha *Chevrolet*® Especificamente no Modelo Astra. A opção de ter os adquirido em um desmanche de carros usados e com baixo custo, além do baixo consumo de corrente, 1,57Ah, possibilitou testa-los neste projeto.

No primeiro momento os acoplamentos serão feitos por correias do tipo V, o alternador também será fixado na parte traseira do cortador e terá uma polia movida fixada em seu eixo produzindo tensão e corrente contínua, uma polia motora será fixada ao eixo do motor a combustão juntamente com a faca de corte.

Os motores Maxion na qual fornecerão movimento ao cortador de grama terão

também uma polia motora fixada ao eixo dos mesmos, estes fornecerão movimento por meio de correias tipo V as rodas do cortador, que contarão com uma polia movida fixada nas mesmas, como o modelo de cortador não possui 4 rodas de mesmas dimensões, serão adquiridas 4 rodas paralelas para o projeto.

O sistema escolhido para o controle do cortador foi o *Bluetooth*[®], sendo empregado um módulo de comunicação o HC-06, esse módulo permite através de um aplicativo instalado no *Smartphone* a comunicação com o *Arduino*[®], sendo a opção mais acessível no momento.

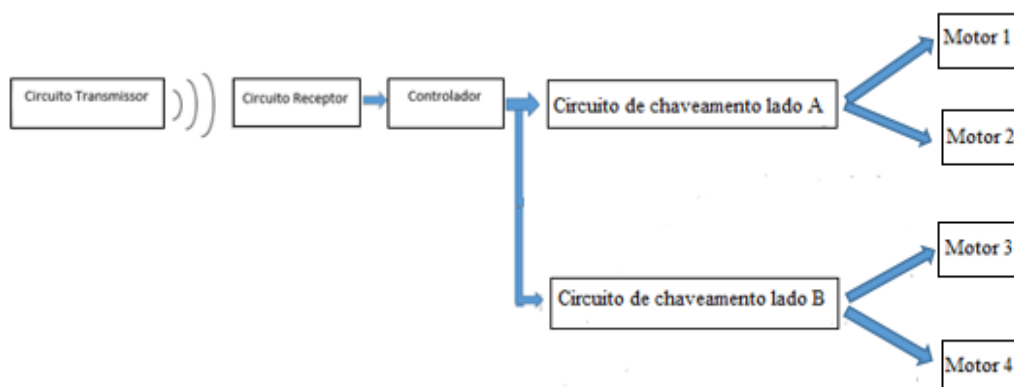
A velocidade do cortador pode ser variável, portanto optou-se pela escolha de 2 velocidades fixas para se deslocar para frente, como o cortador tem um controlador *Arduino*[®] implementado, a velocidade pode ser ajustada por meio de PWM, essa técnica permite controlar a tensão de saída dos motores e portanto estabelecer duas velocidades ou até mais caso haja necessidade.

Para controle da tensão de saída, aplicou-se a utilização de quatro circuitos Ponte H independentes para o chaveamento dos motores Maxion.

3.2 FLUXOGRAMA

Um visão geral do sistema geral pode ser verificada na figura 3. Nesta figura o circuito transmissor envia diferentes sinais para o circuito receptor interpretando e conversando com o controlador, este por sua vez envia comandos que acionam os circuitos de chaveamento responsáveis pela alimentação dos motores 1,2,3 e 4.

Figura 3.2 - Visão geral do sistema desenvolvido



Fonte: Autor, 2023

Através do modelo de fluxograma, procura-se a montagem do projeto e análise do dados.

3.3 CIRCUITOS DESENVOLVIDOS

Para um melhor entendimento os circuito desenvolvidos foram divididos em 2 partes, sendo eles circuito de comando e circuito de potência.

3.3.1 Circuito de comando

O circuito de comando compreende o conjunto de dispositivos elétricos e eletrônicos que foram projetados para controlar o cortador, permitindo que o operador contole o cortador de forma remota, o circuito de comando foi dividido em tópicos para melhor exemplificação:

a) Controlador *Arduino*®

Por sua facilidade em projetos de pequeno porte foi utilizado o *Arduino*® Uno como microcontrolador para este projeto.

Figura 3.3 - Arduino® UNO utilizado no projeto



Fonte: Autor, 2023

O microcontrolador *Arduino*® é uma plataforma de código aberto baseada em *hardware* e *software*, são programáveis e executam instruções de *software* para controlar dispositivos e executar tarefas. Configurado para receber em sua entrada externa de 7 a 12V. O módulo *Step Down* foi implementado para alimentar o *Arduino*® e sua tensão de saída ajustada em 9V.

O controlador possui 14 portas digitais, na qual podem ser utilizadas tanto para entrada(*input*) quanto para saída(*output*), as portas vão da numeração 0 ao 13.

As portas PWM também são digitais mas simulam portas analógicas, ou seja podem variar de 0 a 5V em suas saídas, tendo seus pinos denominados por (~), as portas são a 3, 5, 6, 9, 10 e 11 do controlador.

As portas RX e TX podem ser utilizadas como portas digitais, mas sua principal função é a comunicação serial para a entrada e saída de dados.

O controlador também oferece pinos de energia que são, 5V para dispositivos externos, GND ou Terra para dispositivos externos. 3,3V para dispositivos externos e *Vin*, este pino oferece a mesma tensão na qual o controlador está sendo alimentado.

No projeto foram utilizadas as portas 5V e GND para alimentar o sistema de comando das pontes H e o módulo HC-06 que fará a comunicação do microcontrolador com o *Smartphone*.

Para interligação do microcontrolador com as pontes H fez-se o uso das saídas em PWM (~), onde portas 5~, 6~ configuram o lado 1 e 10~, 11~ configuram o lado 2, mais

detalhes serão fornecidos nos tópicos a seguir.

Em ANEXO está o código fonte produzido para o projeto, o código define os pinos de saída e os comandos de entrada para que o aplicativo funcione. Os comandos de entrada são as letras configuradas no aplicativo *roboboy*, as quais são as seguintes:

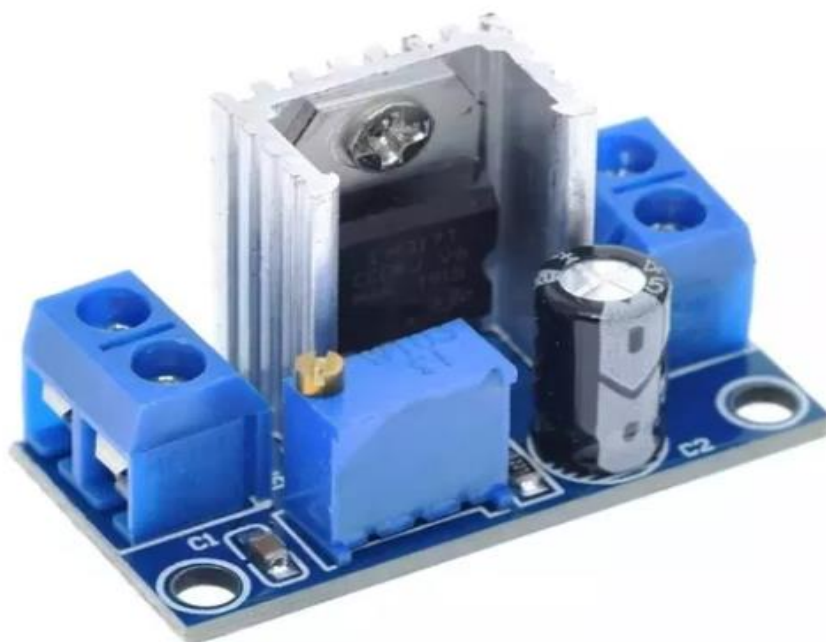
- F: Frente
- D: Frente, mais devagar
- B: Trás
- L: esquerda
- R: direita
- S: parada

A velocidade qual o microcontrolador se comunica com o módulo *Bluetooth*[®] é de 9600bits, ou seja a cada segundo que passa o microcontrolador se comunica 9600 vezes com o módulo HC-06.

b) Modulo *Step Down*

Observando que o *Arduino*[®] Uno somente pode receber em sua entrada externa uma tensão de 7V a 12V, foi utilizado um Módulo Step Down para rebaixamento de tensão de entrada. Como o alternador selecionado produz cerca de 14V e isso é acima do que *Arduino*[®] suporta e podendo assim causar sobreaquecimento na placa *Arduino*[®] ou até mesmo deixa-la instável, o módulo utilizado no projeto foi o Lm317 Dc-dc *Step Down* regulador de tensão ajustável.

Figura 3.4 - Módulo Lm317 Dc-dc Step Down



Fonte: Autor, 2023

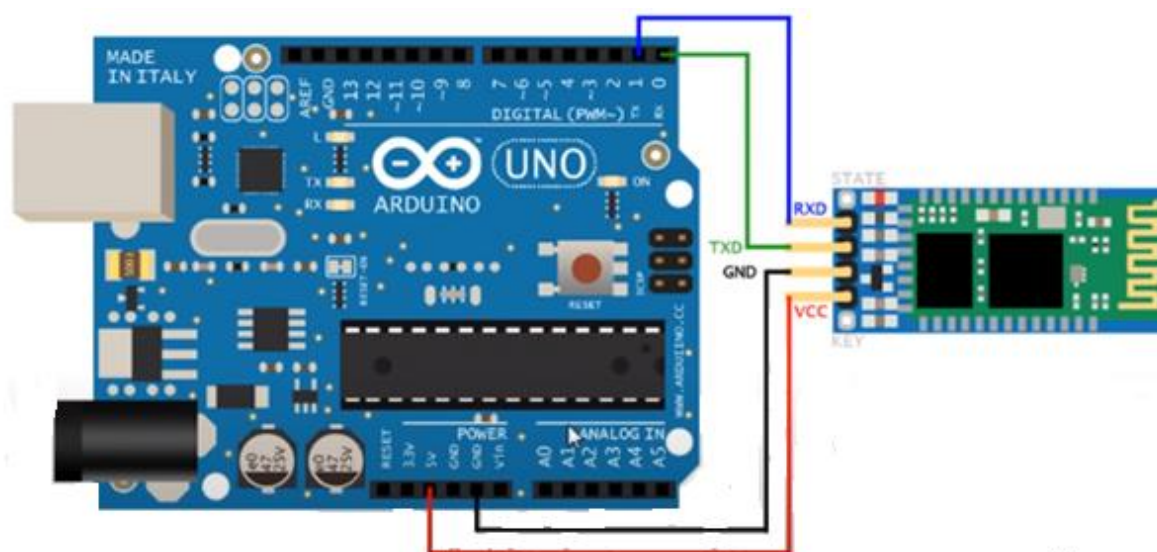
O módulo Lm317 é facilmente encontrado em sites como o mercado livre, esse módulo permite uma tensão de entrada de 4,2V até 40V em corrente contínua, possui tensão de saída ajustável entre 1,2V à 37V e corrente máxima de saída de 2,2A.

c) Módulo HC-06

No projeto houve o emprego de um módulo de comunicação *Bluetooth*[®], HC-06, este módulo permite que microcontrolador interprete sinais vindos de uma interface que pode ser instalada no celular. O módulo HC-06 é apenas um receptor de sinal, não podendo enviar sinal de mesma forma.

Se o módulo HC-06 envia a letra F para o microcontrolador, este escreve em suas portas uma tensão de saída. De acordo com a letra enviada o microcontrolador converte em Bits. Este valor pode variar de 0 a 255 Bits. É referente a tensão de saída nas portas ou seja quando o valor recebido for 0 Bit a porta PWM irá fornecer 0V. Quando o valor recebido for 255 Bits a porta PWM fornecerá 5V.

Figura 3.5 - Esquema de ligação do módulo HC-06



Fonte: Autor, 2023

Este módulo de comunicação recebe sinais via *Bluetooth*[®], encaminha para o *Arduino*[®] e este aciona uma porta de saída digital que contralam as pontes H, o HC-06 se comunica com o *Arduino*[®] através das portas RX e TX presentes no *Arduino*[®] e também no módulo, sendo estas de portas de 3,3V. A figura 6 mostra o esquema de ligação do módulo HC-06.

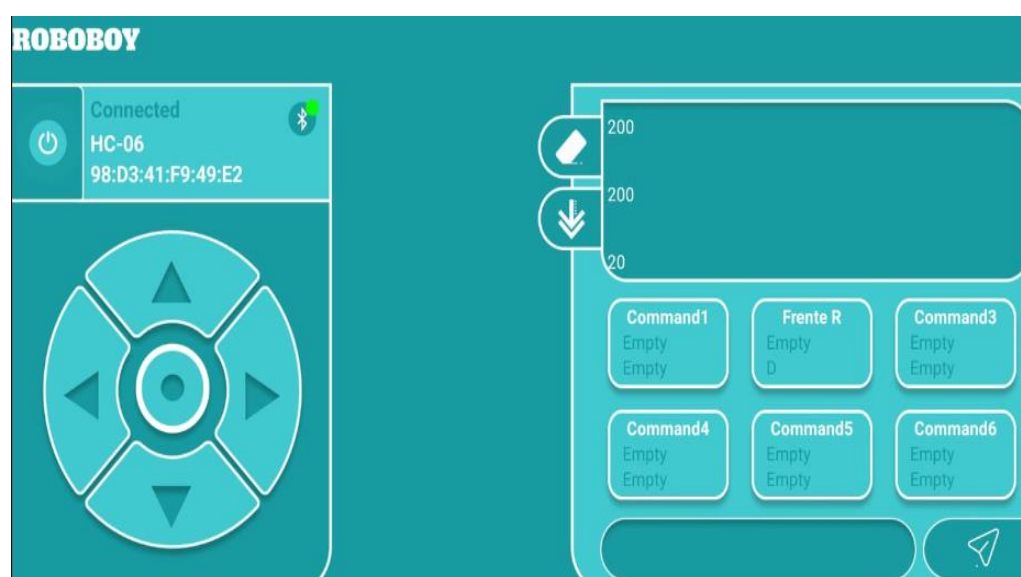
O módulo HC-06 possui quatro pinos, todos os quais devem estar conectados ao *Arduino*[®] UNO para funcionar. O pino VCC recebe a tensão de entrada do módulo e assim é conectado ao pino de 5V do *Arduino*[®]. O pino terra do módulo é GND, que se conecta ao pino terra do *Arduino*[®]. Em outras palavras, serve como linha de base contra a qual todas as outras tensões são avaliadas. Os pinos RXD e TXD no módulo são os pinos de recepção e transferência, respectivamente. O pino RXD do módulo recebe dados seriais do dispositivo mestre *smartphone* e depois os passa para o pino TX do *Arduino*[®]. O pino RXD do módulo está diretamente conectado ao pino TX do *Arduino*[®]. O pino TXD no módulo é conectado diretamente ao pino RX no *Arduino*[®].

d) Software *Arduino Bluetooth*[®] Controller

Para o projeto foi utilizado o software *Arduino Bluetooth*[®] Controller, software de fácil instalação para celulares que possuem *android* e é de fácil aplicação caso celular possua *Bluetooth*[®], o aplicativo funciona da seguinte forma, ao pressionar um botão no

mesmo, este envia uma letra, esta letra pode ser configurada no programa que é implementado no *Arduino*[®]. Ao pressionar um botão no aplicativo este envia um sinal ao modulo HC-06, que o interpreta e envia uma comunicação serial ao *Arduino*[®], cada letra enviada ao módulo é um código diferente que o módulo entrega ao *Arduino*[®], até que um novo comando seja enviado este fica executando o comando anterior.

Figura 3.6 - Interface Software *Arduino*[®] *Bluetooth*[®] *Controller*



Fonte: Autor, 2023

A figura 3.6 mostra a interface do aplicativo que pode ser configurado no celular.

e) Ponte H – BTS7960

A ponte H – BTS7960 foi escolhida para o projeto por gerir correntes da saída de até 43A, pode operar com uma tensão de alimentação de 6 á 27Vdc, pode controlar facilmente um motor que consuma até 43A em corrente continua e possui controle de direção e velocidade PWM.

Figura 3.7 - Ponte H – BTS7960



Fonte: Autor, 2023

A tabela 3.2 a seguir mostra os pinos de ligação da ponte BTS7960 com o microcontrolador :

Tabela 3.2 - função dos pinos de controle de entrada, Ponte H-BTS7960

Numero do Pino	Função	Descrição
1	RPWM	Nível direto ou sinal PWM, ativo alto
2	LPWM	Nível reverso ou sinal PWM, ativo alto
3	R_EN	Entrada de habilitação de acionamento direto, desabilitação ativa alta/baixa
4	L_EN	Entrada de habilitação de acionamento reverso, desabilitação ativa alta/baixa
5	R_IS	Acionamento direto saída de alarme de corrente lateral
6	L_IS	Acionamento reverso saída de alarme de corrente lateral
7	Vcc	Microcontrolador de fonte de alimentação +5V
8	GND	Microcontrolador de fonte de alimentação comum

Fonte: Autor, 2023

A partir da tabela 3.2 é possível inferir quais pinos de entrada serão acionados para que o cortador execute as funções determinadas, quando tivermos alguma fonte de tensão ou

bateria, o *Arduino*[®] será alimentado e por sua vez as 4 pontes H também, ficando em modo stand by, caso o circuito de força seja alimentado o cortador executará as funções determinadas.

A entrada de tensão das pontes H podem ser interligas, contanto que o condutor que as interligue suporte a corrente consumida pelos motores, a alimentação será em B+ e B- como mostra na figura 10, sendo B+ o positivo(12V) e B- o negativo(Terra). As saídas serão em M+ e M- respectivamente, M+ sendo o positivo conectado aos motores e M- o Terra, também conectado aos motores, cada ponte H com um motor.

3.3.2 Circuito de potência

Optou-se por instalar um alternador veicular para suprir a demanda dos motores elétricos. O alternador escolhido foi o alternador da marca *Wapsa*[®]. Este é utilizado em veículos da marca e modelo: *Ford*[®] – ESCORT e possui capacidade de geração de 55A a 14V.

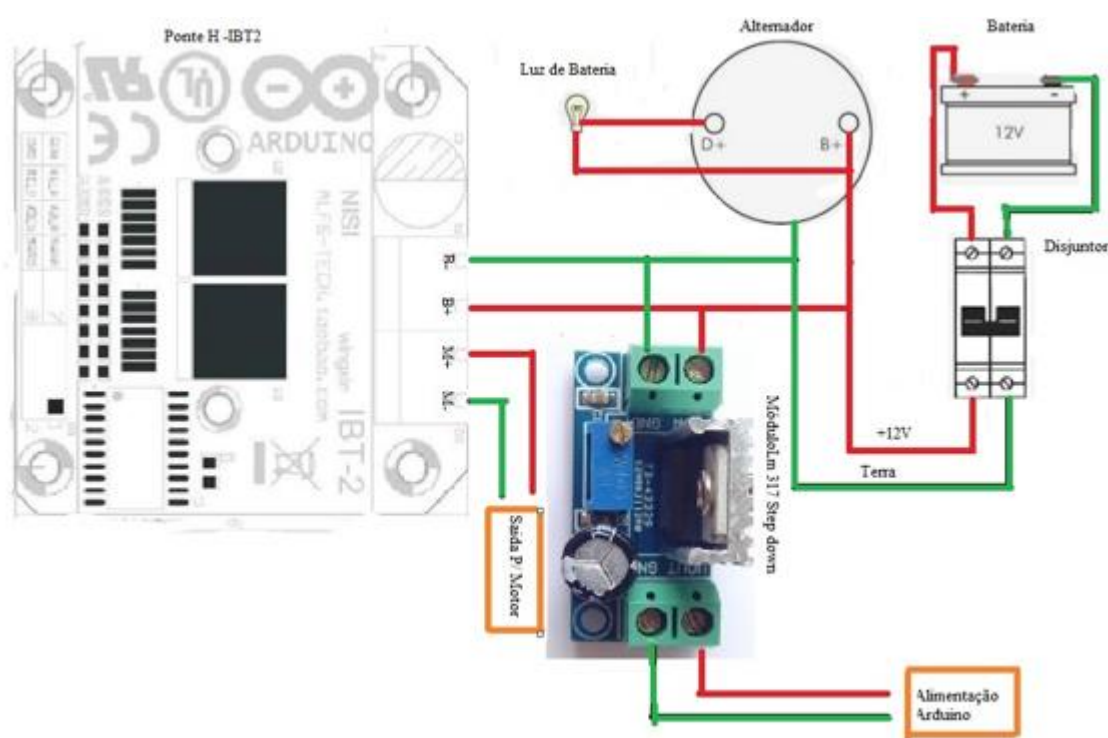
Figura 3.8- Alternador Veicular WAPSA 55A



Fonte: Autor, 2023

A figura 3.8 apresenta o alternador utilizado no projeto, porem este gera um tensão instável, não acionando o *Arduino*® e as pontes H, desta forma a tensão fica oscilando sendo necessário o acoplamento de uma bateria, esta podendo ser de baixa capacidade, apenas estando ligada ao alternador em paralelo para que a tensão fique estável, desta forma todos os componentes funcionam perfeitamente.

Figura 3.9 - Esquema de ligação bateria com o alternador



Fonte: Autor, 2023

A bateria escolhida foi da marca Júpiter de 7ah, 12v, muito utilizada em motocicletas de baixa cilindrada. A figura 3.9 representa a ligação da bateria ao alternador, porem um disjuntor bipolar de 20ah foi utilizado como chave liga e desliga do sistema de potência e comandos, alimentado pela bateria em sua entrada, na saída estão acoplados, o alternador, as cargas das pontes H e a alimentação do arduino na qual passa pelo conversor *Dc-dc Step Down*. O disjuntor tem como principal função de interromper a tensão que magnetiza o alternador. Ele também interrompe positivo e negativo de forma que a bateria não fique

descarregando. O disjuntor neste projeto tem a finalidade apenas como chave, não executando sua função habitual.

Assim que a partida é dada no motor a combustão, este rotaciona o alternador e inicia-se a geração de eletricidade, porem não é uma tensão estável, quando o disjuntor é ligado o alternador passa a carregar a bateria e desta forma tem-se uma tensão estável. Para desligar o cortador primeiramente desliga-se o disjuntor e depois a chave de ignição acoplada ao motor, ela por sua vez corta a ignição do motor desligando o cortador. Para liga-lo novamente primeiramente liga-se a chave de ignição, a partida pode ser feita por meio de uma cordinha na qual é puxada para dar a partida no motor a combustão, após, rearme o disjuntor, assim as cargas são ligadas depois que o motor a combustão está em movimento, evitado que haja uma maior dificuldade para faze-lo ligar pelo fato das cargas estarem acopladas. A figura 3.9 mostra como deverá ser aligação de entrada e saída de força da ponte H-IBT2, lembrando que esse esquema é padrão para os motores de tração do cortador. Tambem é mostrado na figura o esquema de alimentação do módulo Lm317 – Step down, este módulo alimentará o microcontrolador *Arduino*[®].

3.3.3 Estrutura mecânica desenvolvida

Para a adaptação estrutural mecânica, primeiramente atentou-se em verificar em qual rotação o motor a combustão trabalha, observando mais atentamente ao cortador foi possível observar os seguintes dados de informação.

Figura 3.10 – Dados técnicos do motor a combustão



Fonte: Autor, 2023

Observada a figura 10 verifica-se que o motor a combustão, do cortador, possui rotação de aproximadamente 3000 RPM, a partir desta informação foi possível estabelecer uma relação de polias, onde no eixo motor a combustão recebeu um polia de alumínio de 230mm de diâmetro e o eixo do alternador uma de 100mm de diâmetro também em alumínio.

Aplicado a equação 3.1 tem-se:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad \text{Equação 3.1}$$

Aplicando a equação 3.1 com os dados dispostos, como RPM da polia motora e diâmetros das polias motora e movida, tem-se a equação em 3.2.

$$\frac{3000}{x} = \frac{100}{230} \quad \text{Equação 3.2}$$

Onde x é igual a 6900 RPM.

Sendo assim a polia movida do alternador terá uma rotação média de 6900 RPM. Rotação suficientemente para gerar 14V em corrente contínua, nos terminais do alternador.

A figura 3.11 ilustra a foto da montagem da polia motora no eixo do motor.

Figura 3.11 - Fixação da polia Motora



Fonte: Autor, 2023

A figura 3.12 mostra como ficou a fixação da polia movida no alternador e também do alternador no chassi do cortador.

Figura 3.12 - Fixação da polia motriz e alternador no chassi



Fonte: Autor, 2023

O próximo passo foi a confecção de chapas para acoplar as rodas aos motores elétricos.

Figura 3.13 - Chapas para fixação do conjunto de rodas



Fonte: Autor, 2023

Após a confecção das chapas, foram adquiridas polias para a montagem dos sistemas mecânicos de cada roda, atentando-se para que a relação de polias deixe o cortador com mais velocidade que um corador normal, podendo assim a velocidade ser ajustada por PWM, desta forma foram compradas rodas da máquina Trapp de 150mm de diâmetro para incrementar ao cortador e também foram adquiridas 8 polias, 4 de 50mm de diâmetro e 4 de 80mm de diâmetro. A montagem foi feita conforme as imagens:

Figura 3.14- Conjunto motor de tração e roda



Fonte: Autor, 2023

Figura 3.15 - vista fronta conjunto motor de tração e roda



Fonte: Autor, 2023

Após a montagem das polias, ligou-se o conjunto e foi observado que a roda deu 50 voltas em um 1 minuto, observando que a polia de 50 mm de diâmetro também está acoplada ao mesmo eixo da roda que é de 150mm de diâmetro. Desta forma é possível calcular quantas RPM o motor desenvolve, visto que o mesmo não vem especificado.

Aplicando a equação 3.3 tem-se:

$$\frac{n1}{n2} = \frac{D2}{D1} \quad \text{Equação 3.3}$$

Com a equação 3.4 é possível inferir a RPM do motor, ou seja velocidade na qual o motor rotacionará, visto a polia da roda tem 50mm de diâmetro e apresenta 80RPM.

$$\frac{x}{80} = \frac{50}{80} \quad \text{Equação 3.4}$$

Assim constatou-se que a rotação do motor de vidro elétrico é de 50rpm, desta forma pode-se ajustar a velocidade do cortador por meio do programa implementado no microcontrolador, este programa ajusta a velocidade por meio da tensão de saída classifica a velocidade sendo de 0 a 255 bits, onde 0 é classificado com parado e 255 a velocidade total que o motor alcança com a tensão aplicada pela fonte.

Se a configuração de saída for 255 bits nas portas PWM o cortador andará rápido de mais, o programa foi ajustado para trabalhar com 180 bits, gerando assim aproximadamente 36 RPM na roda do cortador.

3.4 CUSTOS DO PROJETO

Para melhor elencar os custos do projeto foi elaborada uma tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Custos do projeto

Material	Custo
----------	-------

Cortador de grama <i>Husqvarna</i> [®] Modelo – LC140P	R\$1000,00
Alternador marca <i>Wapsa</i> [®] utilizado em carros da <i>Ford</i> [®] Modelo Escort	R\$140,00
4 Motores de vidro elétrico <i>Chevrolet</i> [®] Modelo Astra Usados	R\$150,00
4 Pontes H 43A BTS7960 –IBT2, Marca <i>Infineon</i> [®]	R\$60,00
Modulo Lm317 Dc-dc Step-Down <i>Artschip</i> [®]	R\$19,00
Modulo <i>Bluetooth</i> [®] HC-06, Genérico	R\$30,00
Disjuntor 20A curva C	R\$30,00
Bateria 7Ah, Marca <i>Júpiter</i> [®]	R\$120,00
4 Chapas de aço com 3mm de espessura, 180mm x 110mm	R\$50,00
4 Polias tipo “V” Diam. 80mm, em alumínio	R\$100,00
4 Polias tipo “V” Diam. 50mm, em alumínio	R\$60,00
Polia tipo “V” Diam. 230mm, em alumínio	R\$50,00
Polia tipo “V” Diam. 100mm, em alumínio	R\$31,00
4 Correias A-16	R\$54,00
Correia A-48	R\$25,00
4 Rodas de 150mm de Diam. Usadas em máquina de cortar grama modelo <i>Trapp</i> [®]	R\$150,00
3 Metros de fio 1x2,5mm vermelho	R\$3,00
3Metros de fio 1x2,5mm verde	R\$7,00
Serviço de Torno	R\$1300,00

Fonte: Autor, 2023

Observando os custos do projeto, é constatado um valor total de R\$ 3379,00. Não é um valor barato, neste valor ainda não está sendo considerado o custo do microcontrolador e sem contar que o cortador de grama foi adquirido por metade do valor de mercado, porem o projeto em questão vai utilizado de forma proveitosa e será pagável com o decorrer do tempo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente havia-se medido a corrente dos motores elétricos que seriam acoplados as rodas, porém com acréscimo de polias para a transferência do movimento a corrente praticamente aumentou em mais de 100%. Como são 4 motores do mesmo modelo, foi retirado como base apenas um, este por sua vez consome cerca de 1,6A, com o acréscimo das polias este mesmo motor passou a consumir cerca de 5A. A idéia inicial era utilizar um estator com volante magneto, utilizado em motocicletas de baixa cilindrada como alternador, porém o mesmo gera apenas 7A, o que estava previsto para o projeto passou a ser desatualizado e não atenderá a demanda, visto que os 4 motores consomem cerca de 20A, para um estator que gera apenas 7A.

Os testes práticos mostraram que o cortador não se mostrou eficiente para o corte de grama em terrenos acidentados, com o acréscimo das polias nos motores e o consumo de 5A em cada motor, resultou em uma média de consumo de 20A. Desta forma os motores de ímãs permanentes não são eficientes para essa função, o teste realizado em terreno plano constatou que os mesmos sofrem aquecimento e podem vir a queimar por efeito Joule muito facilmente por estarem trabalhando com uma corrente muito acima da nominal.

As rodas acrescentadas ao projeto são de material emborrachado em seu entorno, facilitando para que o cortador patine em superfícies não planas e que exija tração, porém era o que estava no alcance para a realização do projeto.

Os sistema *Bluetooth*[®] implementado mostrou-se bem eficiente, visto que o *smartphone* possui um alcance de aproximadamente 10 metros do cortador mantendo um sinal de comunicação estável, se levando em consideração o custo da obtenção do módulo HC-06 para esta finalidade.

Os testes de rotação e de sentido de rotação das rodas foram feitos primeiramente com as rodas girando livremente, uma marcação foi feita em uma das rodas e contados quantas voltas a mesma dava em um minuto, a partir deste dado estabeleceu-se uma relação de velocidade, visto que para estar na velocidade máxima os motores de tração deveriam receber tensão total, porém com tensão total, o cortador andarà rápido demais, assim entra o circuito PWM. O Circuito PWM entende velocidade em bits, sendo 0 bit tensão de saída 0V e 255bits, tensão de saída máxima. Como o cortador com 255 bits para a saída em PWM ficou rápido demais para o corte de grama, foi definida uma velocidade padrão de 180bits, onde o mesmo atinge 36RPM em movimento real. Uma segunda velocidade foi definida

caso o cortador encontre algum obstáculo ou grama pesada, definida em 140 bits ou 27 RPM.

O módulo *Step Down* foi ajustado para a tensão 9V permitindo assim que o arduino opere confortavelmente. Este mesmo alimenta o *Arduino*[®] que por sua vez alimenta o módulo de comunicação *Bluetooth*[®] e também comanda os módulos ponte H.

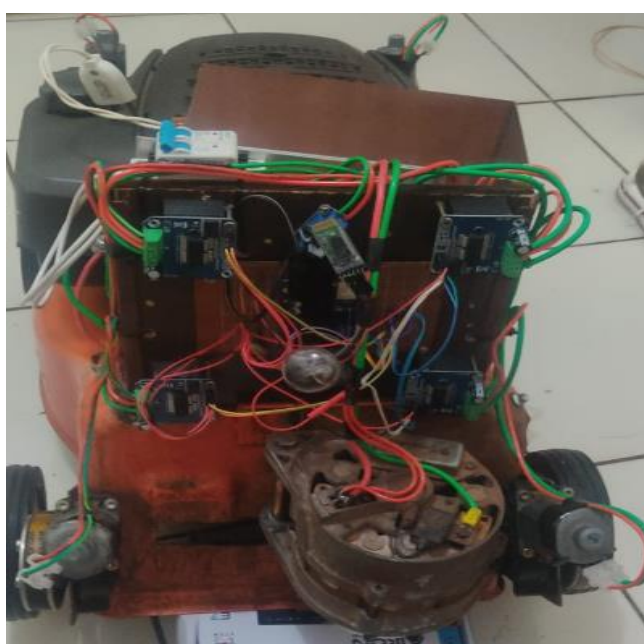
Alimentando o *Arduino*[®], as 4 pontes H receberão 5V vcc em seus terminais 7 como mostra a tabela 3.3, se estiverem interligadas com os 5V do arduino. Receberão também o GND que é a referência para que os comandos funcionem no pino 8, isso se estiverem interligadas ao GND do *Arduino*[®].

Os pinos 3 e 4 das 4 pontes H também precisam ser ligados aos 5V do *Arduino*[®], essas portas habilitam para que os motores possam rotacionar em ambos os sentidos. Os pinos 5 e 6 das pontes H não precisam ser ligados, visto que esses pinos emitem um sinal caso as pontes H estejam perto de sua capacidade total de funcionamento, esses pinos servem para proteção das pontes H, mas não é necessidade de conecta-los pois os motores vão demandar no máximo 20% da capacidade de corrente suportada pelas pontes H.

Caso o comando dado para o cortador seja ir para frente os pinos de numeração 1, que são os pinos RPWM receberão tensão. Se o comando for para ir para trás os pinos de numeração 2 LPWM é que serão habilitados, enquanto RPWM não receberá tensão.

Observando o cortador pela parte traseira, figura 4.1.

Figura 4.1 - vista traseira do Cortador



Fonte: Autor, 2023

Observando a figura 4.1 constata-se a lateral esquerda do cortador, classificado como lateral 1, a qual contempla um motor dianteiro em um traseiro, que trabalham em sincronia. Ainda observando o cortador pelo mesmo referencial tem-se os dois motores da lateral direita, motor dianteiro e traseiro, classificado como lateral 2.

Caso a SETA P/ ESQUERDA seja pressionada, o cortador rotacionará para a esquerda acionando as duas saídas da lateral 1 em LPWM e as duas saídas da lateral 2 em RPWM. A mesma idéia ocorre caso a SETA P/ DIREITA seja pressionada, o cortador rotacionará para a direita acionando as duas saídas da lateral 1 em RPWM e as duas saídas do lateral 2 em LPWM.

Se a opção FRENTE R. for acionada as pontes H da lateral 1 e da lateral 2 serão acionadas também em RPWM e se o BOTÃO CENTRAL for pressionado, nem RPWM e nem LPWM receberão tensão para acionamento.

A seguir observa-se a tabela 4.1 na qual pode-se observar as saídas acionadas por cada botão.

Tabela 4.1- Saídas ativadas para cada botão pressionado

Circuito Transmissor		Circuito Receptor
Botão pressionado	Letras enviadas	Saídas ativadas PWM
SETA P/ CIMA	F	5 e 10
SETA P/ ESQUERDA	L	6 e 10
SETA P/ DIREITA	R	5 e 11
BOTÃO CENTRAL	S	Nenhum
SETA P/ BAIXO	B	6 e 11
FRENTE R.	D	5 e 10

Fonte: Autor, 2023

Como exemplo, tem-se o acionamento do botão SETA P/ CIMA, quando este é pressionado a letra F é recebida no receptor, o receptor por sua vez envia para o microcontrolador como uma comunicação serial, o microcontrolador entende que essa comunicação serial é a letra F e por sua vez ativa as portas PWM 5 e 10. Quando se aciona a SETA P/ CIMA o microcontrolador acionará em nível alto as saídas, apresentando aproximadamente 3,52V nas entradas RPWM de cada motor da lateral 1 e lateral 2, como em cada saída tem 2 motores, ambos sincronizados para o mesmo sentido, o cortador irá se

locomover para frente.

Quando se pretende virar para esquerda ou para direita, o mesmo envia tensão para as saídas 6 e 10 ou 5 e 11, fazendo com que o cortador rotacione para os dois sentidos respectivamente. Caso o BOTÃO CENTRAL seja precionado nenhuma tensão é enviada nas saídas fazendo com que o cortador pare imediatamente.

Se o botão SETA P/ BAIXO for precionado as saídas 6 e 11 receberão 3,52V, nas portas LPWM enquanto as saídas 5 e 10 não receberão nenhuma tensão, desta forma o cortador andarรก em marcha ré, até que o BOTÃO CENTRAL seja precionado para a parada do movimento.

Se o botão FRENTE R. for precionado o cortador tambem acionará as portas 5 e 10 porem não receberá 3,04V em RPWM nas pontes H da lateral 1 e 2. Esta tensão será proporcional a tensão de saída das pontes H par os motores. Caso haja algum obstáculo ou grama mais alta que dificulte o corte o operador poderá precionar este botão para que o cortador se desloque mais devagar.

Em anexo pode-se observar código elaborado para o projeto, onde, a figura 4.2 apresenta as portas de saída do microcontrolador.

Figura 4.2 - Portas de saída do microcontrolador

```
// Define os pinos de utilização do Driver BTS7960.
#define motorA1 5
#define motorA2 6
#define motorB1 10
#define motorB2 11
```

Fonte: Autor, 2023

Verificando a figura 4.2 observa-se as portas de saída 5 e 6, estas são responsáveis por alimentar a lateral 1 do cortador, como já comentado anteriormente, e a 10 e 11 a lateral 2, lembrando que independentemente de qual saída seja acionada o cortador sempre acionará dois motores ao mesmo tempo.

Logo após observa-se a figura 4.3 que apresenta as portas de saídas do microcontrolador e a taxa de comunicação com a qual o microcontrolador se comunica com o módulo Hc-06.

Figura 4.3 - Definição dos pinos de saída do microcontrolador

```
void setup() {
    // Inicializa as portas como entrada e saída.
    pinMode(motorA1, OUTPUT);
    pinMode(motorA2, OUTPUT);
    pinMode(motorB1, OUTPUT);
    pinMode(motorB2, OUTPUT);

    // Inicializa a comunicação serial em 9600 bits.
    Serial.begin(9600);
}
```

Fonte: Autor, 2023

Observando a figura 4.3, as portas do controlador definidas como saídas, se as saídas não forem definidas o microcontrolador não entenderá que estas serão as saídas de tensão, a figura também apresenta a velocidade de comunicação ou taxa de transmissão, que normalmente é 9600 bits por segundo.

A figura 4.4 apresenta o *void loop*, ou ciclo de repetição.

Figura 4.4 - Ciclo de repetição

```
void loop() {

    if (Serial.available() > 0) {
        state_rec = Serial.read();
        state = state_rec;
    }
}
```

Fonte: Autor, 2023

O *void loop* é responsável por criar um ciclo de repetição, as instruções dentro do mesmo ficam se repetindo. O *Arduino*® fica procurando uma leitura, quando o módulo envia uma instrução, o microcontrolador interpreta essa instrução e verifica se é maior que zero, caso seja ele armazena, e fica repetindo essa leitura até uma nova instrução.

A figura 4.5 apresenta o controle de velocidade, algumas velocidades fixas são implementadas, as mesmas podem variar de acordo com a finalidade.

Figura 4.5 - Controle de velocidade

```
// Altera a velocidade de acordo com valores especificados.  
if (state == '0') {  
    vSpeed = 0;  
}  
else if (state == '1') {  
    vSpeed = 100;  
}  
else if (state == '2') {  
    vSpeed = 140;  
}  
else if (state == '3') {  
    vSpeed = 180;  
}  
else if (state == '4') {  
    vSpeed = 200;  
}  
else if (state == '5') {  
    vSpeed = 230;  
}  
else if (state == '6') {  
    vSpeed = 255;  
}
```

Fonte: Autor, 2023

Como a velocidade do cortador pode variar de 0 a 255 bits, conforme o valor recebido pela porta serial 0 a 6. O microcontrolador converte em *vSpeed*, assim cada valor recebido infere em uma tensão de saída.

A figura 4.6 representa as saídas acionadas, quando o cortador precisar se deslocar para o sentido frente.

Figura 4.6 - Saídas acionadas quando o estado F for selecionado

```
// Se o estado recebido for igual a 'F', o carro se movimenta para frente.
if (state == 'F') {
    analogWrite(motorB1, 180);
    analogWrite(motorA1, 180);
    analogWrite(motorA2, 0);
    analogWrite(motorB2, 0);
}
```

Fonte: Autor, 2023

A figura 4.6 encontrada no anexo elenca função selecionada no aplicativo *Roboboy*, onde nesta função o cortador se deslocará para frente, motorB1 e motorA1 são as saídas acionadas, 10 e 5 respectivamente, essas saídas receberão 180 bits, convertendo em tensão de saída para a ponte H, onde tem-se aproximadamente 9,88V. Lembrando que motorB1 são os dois motores do lado direito e motorA1 são os dois motores do lado esquerdo, ambos sempre sincronizados para o mesmo lado.

Já a função D mostrada na figura 4.7 apresenta a mesma função para ir para frente porém devagar.

Figura 4.7 - Saídas acionadas função D

```
else if (state == 'D') { // Se o estado recebido for igual a 'D', o carro se movimenta para Frente, mais devagar.
    analogWrite(motorB1, 140);
    analogWrite(motorA1, 140);
    analogWrite(motorA2, 0);
    analogWrite(motorB2, 0);
}
```

Fonte: Autor, 2023

Caso esta função seja selecionada aplicará menos tensão do que a função F, ela acionará as portas 10 e 5 também, mas terá tensão de saída nas pontes H, com cerca de 7,68V, desta forma entende-se que o cortador terá um obstáculo maior pela frente e precisará ir mais devagar.

Se a letra enviada for a letra L, conforme a figura 4.8, o cortador entenderá que precisa virar pra esquerda.

Figura 4.8 - Saídas acionadas em L.

```
else if (state == 'L') { // Se o estado recebido for igual a 'L', o carro se movimenta para esquerda.
    analogWrite(motorA1, 0);
    analogWrite(motorA2, 180);
    analogWrite(motorB1, 180);
    analogWrite(motorB2, 0);
}
```

Fonte: Autor, 2023

Se essa função for precissonada o cortador se rotacionará para a esquerda, acionando os dois motores da lateral 1, saída (motorA2) em sentido anti – horário e a saída da lateral 2 (motorB1) em sentido horário.

Igualmente se a letra R for selecionada, figura 4.9, o cortador rotacionará para a direita.

Figura 4.9 - Saídas acionadas em R

```
else if (state == 'R') { // Se o estado recebido for igual a 'R', o carro se movimenta para direita.
    analogWrite(motorA1, 180);
    analogWrite(motorA2, 0);
    analogWrite(motorB1, 0);
    analogWrite(motorB2, 180);
}
```

Fonte: Autor, 2023

Se a opção for selecionada, acionará os motores da lateral 1 (motorA1) em sentido horário e os motores da lateral 2 em sentido anti-horário, desta forma o cortador se rotacionará para a direita.

A figura 4.10 mostra as saídas acionadas quando o comando B for enviado.

Figura 4.10 - Saídas acionadas comando B.

```
else if (state == 'B') { // Se o estado recebido for igual a 'B', o carro se movimenta para trás.
    analogWrite(motorA1, 0);
    analogWrite(motorB1, 0);
    analogWrite(motorB2, 180);
    analogWrite(motorA2, 180);
}
```

Fonte: Autor, 2023

Caso essa opção seja selecionada o cortador se locomoverá para trás, os dois motores da lateral 1 (motorA2), serão rotacionados em sentido anti- horário, assim também ocorrerá para os dois motores da lateral 2 (motorB2), estes também serão rotacionados em sentido anti-horário, tracionando o cortador para trás.

E a última opção de comando, a função S figura 4.11.

Figura 4.11 - Saídas acionadas comando S

```
else if (state == 'S') { // Se o estado recebido for igual a 'S', o carro permanece parado.
    analogWrite(motorA1, 0);
    analogWrite(motorA2, 0);
    analogWrite(motorB1, 0);
    analogWrite(motorB2, 0);
}
```

Fonte: Autor, 2023

Nesta função o cortador permanecerá parado. Após o acionamento de algum outro comando, pode-se utilizar esse comando para fazer a parada do cortador, nenhuma das saídas receberá tensão, permanecendo assim imóvel.

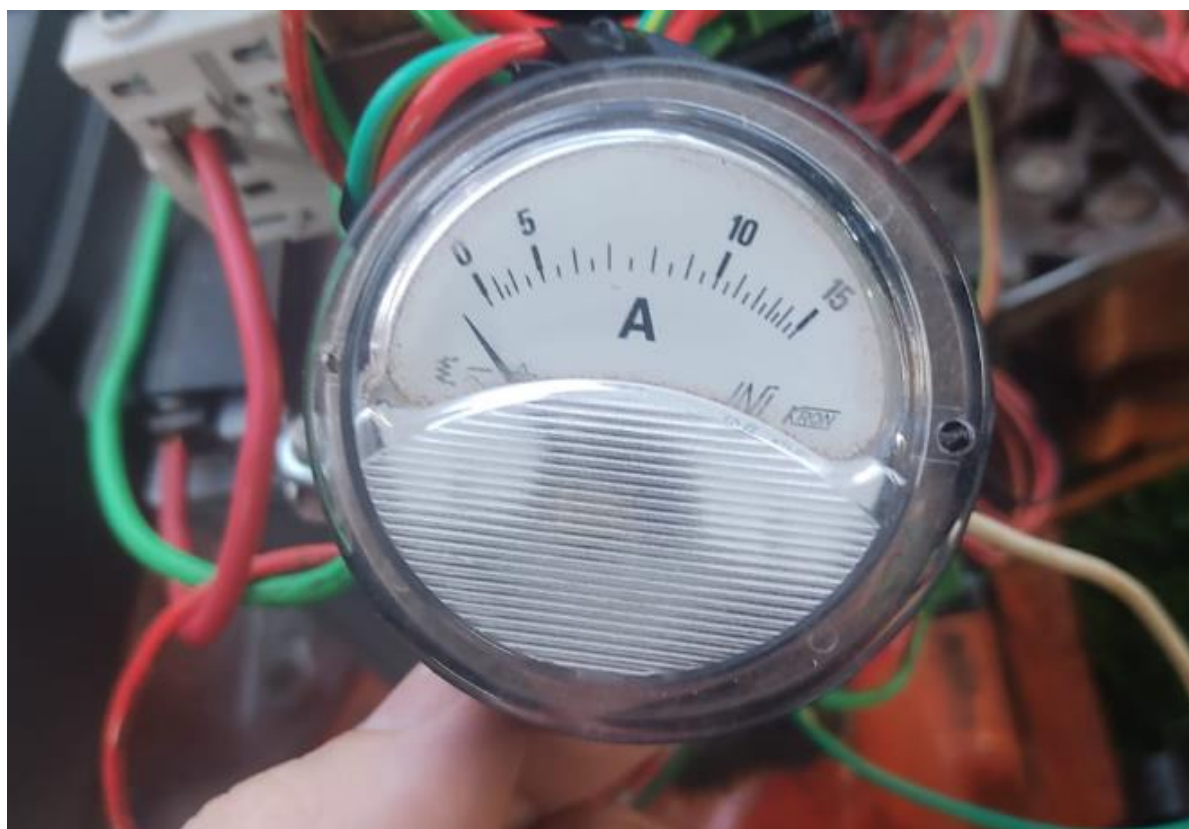
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cortador de grama funcionou perfeitamente nos testes práticos em terrenos planos, as duas velocidades ajustadas pelo circuito PWM também se mostraram adequadas para a finalidade.

A construção da parte mecânica demandou demasiado tempo, devido a dificuldade para criar um sistema de redução que atendesse aos motores de vidro elétrico.

Um galvanômetro analógico da marca Kron[®] foi utilizado nos testes para medir a corrente dos motores de tração de acordo com a figura 5.1.

Figura 5.1 - Galvanômetro utilizado



Fonte: Autor, 2023

O galvanômetro utilizado possui escala que vai de 0 a 15A em corrente contínua ligado em série com um dos motores de tração.

Na figura 5.2 é possível constatar a corrente consumida por um dos motores de tração em terreno plano.

Figura 5.2 - Corrente consumida por um dos motores de tração



Fonte: Autor, 2023

Observando a corrente em um dos motores, que foi de aproximadamente de 5,5A, com o cortador em movimento. É possível dizer que o sistema atende a 2ª Lei de Kirchhoff na qual estipula que a soma dos potenciais elétricos em um circuito fechado deve totalizar zero. Essa regra é derivada do princípio da conservação de energia, onde toda a energia fornecida ao circuito é completamente utilizada pelos componentes presentes naquele mesmo circuito.

Portanto :

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \quad \text{Equação 5.0}$$

A equação 5.0 permite entender que a somatória das correntes de um circuito é igual a corrente total do circuito. Desta forma pode-se inferir que se em um motor de tração o consumo foi de 5,5A, e como são motores idênticos, a corrente total do circuito será de 22A.

O alternador proposto para o projeto atende a demanda de consumo do cortador, como o alternador utilizado produz cerca de 55A e os motores de tração consomem cerca de 22A, tem-se uma sobra de potencial.

A figura 5.3 apresenta como ficou a montagem final do cortador.

Figura 5.3- Montagem final do cortador



Fonte: Autor, 2023

O sistema *Bluetooth*[®] implementado no mesmo possui boa eficiência e comandos precisos, porém atende em um raio de apenas 10 metros. Quando o cortador ultrapassa a distância de 10 metros os comandos dados começam a não ser interpretados pelo cortador.

O cortador de grama cumpriu seu objetivo, o de eliminar o esforço do operador ao empurrar a máquina pelo terreno além de ter apenas um combustível como base, possui boa robustez tanto na parte mecânica como também em sua eletrônica possibilitando a utilização em sua função real, deixando de ser apenas um protótipo.

6 TRABALHOS FUTUROS

O projeto ainda abre uma janela para diversas possibilidades de melhorias futuras, visto que o mesmo ficou um tanto quanto pesado, cerca de 45,6kg.

Motores de Scooter podem ser implementados, diminuiriam o peso do cortador, diminuiriam o consumo de corrente, forçando menos o alternador.

A bateria poderia ser substituída por um sistema regulador de tensão, diminuindo peso, tornando o cortador mais ágil.

As rodas também poderiam ser substituídas por rodas em chapa de aço, melhorando a tração do cortador em terrenos acidentados.

O alternador pode ser substituído por um mais leve, veículos produzidos atualmente possuem alternadores mais eficientes, na qual melhorariam o cortador no quesito peso, como o cortador demanda cerca de 22A é possível ir mais afundo no mercado e procurar algo que tenha geração de aproximadamente 25A, resultando em menos desperdício de potência e também diminuindo peso do cortador.

O estudo para implementação de um sistema de GPS, também não é descartado, essa opção deixaria o cortador autônomo, esse sistema funciona com a instalação de sensores ultrassônicos, a qual identificam obstáculos, e o controle pode ser feito por qualquer aparelho que acesse a internet.

ANEXO A – Código desenvolvido para o microcontrolador

```
// Define os pinos de utilização do Driver BTS7960.
#define motorA1 5
#define motorA2 6
#define motorB1 10
#define motorB2 11

// Variáveis Úteis
int i = 0;
int j = 0;
int state_rec;
int vSpeed = 255; // Define velocidade padrão 0 < x < 255.
char state;

void setup() {
    // Inicializa as portas como entrada e saída.
    pinMode(motorA1, OUTPUT);
    pinMode(motorA2, OUTPUT);
    pinMode(motorB1, OUTPUT);
    pinMode(motorB2, OUTPUT);

    // Inicializa a comunicação serial em 9600 bits.
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {

    if (Serial.available() > 0) {
        state_rec = Serial.read();
        state = state_rec;
    }

    // Altera a velocidade de acordo com valores especificados.
    if (state == '0') {
        vSpeed = 0;
    }
    else if (state == '1') {
        vSpeed = 100;
    }
    else if (state == '2') {
        vSpeed = 140;
    }
    else if (state == '3') {
        vSpeed = 180;
    }
    else if (state == '4') {
        vSpeed = 200;
    }
}
```

```

else if (state == '5') {
    vSpeed = 230;
}
else if (state == '6') {
    vSpeed = 255;
}
// Se o estado recebido for igual a 'F', o carro se movimenta para frente.
if (state == 'F') {
    analogWrite(motorB1, 180);
    analogWrite(motorA1, 180);
    analogWrite(motorA2, 0);
    analogWrite(motorB2, 0);
}
else if (state == 'D') { // Se o estado recebido for igual a 'D', o carro se movimenta para Frente,
mais devagar.
    analogWrite(motorB1, 140);
    analogWrite(motorA1, 140);
    analogWrite(motorA2, 0);
    analogWrite(motorB2, 0);
}
else if (state == 'B') { // Se o estado recebido for igual a 'B', o carro se movimenta para trás.
    analogWrite(motorA1, 0);
    analogWrite(motorB1, 0);
    analogWrite(motorB2, 180);
    analogWrite(motorA2, 180);
}

else if (state == 'L') { // Se o estado recebido for igual a 'L', o carro se movimenta para esquerda.
    analogWrite(motorA1, 0);
    analogWrite(motorA2, 180);
    analogWrite(motorB1, 180);
    analogWrite(motorB2, 0);
}
else if (state == 'R') { // Se o estado recebido for igual a 'R', o carro se movimenta para direita.
    analogWrite(motorA1, 180);
    analogWrite(motorA2, 0);
    analogWrite(motorB1, 0);
    analogWrite(motorB2, 180);
}
else if (state == 'S') { // Se o estado recebido for igual a 'S', o carro permanece parado.
    analogWrite(motorA1, 0);
    analogWrite(motorA2, 0);
    analogWrite(motorB1, 0);
    analogWrite(motorB2, 0);
}
    Serial.println(vSpeed);
    Serial.println (state);
    // delay (100);
}

```

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Mayb. **Qualidade de Software**. 1.ed. Rio de Janeiro: SESES, 2015.
- BEARD, J.B; STEPHEN, T. Cockerham. An assessment of water use by turfgrasses. **Turfgrass Water Conservation**. Univ. of California Division of Agriculture & Natural Resources, 1985. [http:// www.turfgrassod.org/trc/statistics.html](http://www.turfgrassod.org/trc/statistics.html) (acesso em 16/05/2023 às 14:00).
- BERGVELD, H.J. **Battery Management Systems: Design by Modelling**. Technische Universiteit Eindhoven, 2001.
- BUNETTI, Franco. **Motores a Combustão Interna**. 1.ed. São Paulo: Blucher, 2012.
- CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 5.ed. Porto Alegre: AMGH,2013.
- FITZGERALD, A.E; Jr, Charles Kingsley; Umans, Stephen D. **Máquinas Elétricas**. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- FRANCESCHI, Alessandro de; MIGUEL, Guilhrme Antonello. **Elementos de Máquinas**. Santa Maria: Rede e-Tec brasil, 2014.
- FUSCO, Vicent F. **Teoria e técnicas de antenas**. Porte Alegre: Bookman, 2007.
- HAYKIN, Simon; MICHAEL, Moher. **Sistemas Modernos de Comunicação Wireless**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- JR. John J. Uicker; PENNOCK, Gordon R.; SHIGLEY, Joseph E. Theory of **Machines and Mechanisms**. New York: Oxford University, 2016.
- LAMBERTS, Roberto; ENEDIR, Ghisi; PEREIRA, Cláudia Donald; BATISTA, Juliana Oliveira. **Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia**. 2.ed. Florianópolis: UFSC, 2010.
- MAGRANI, Eduardo. **A internet das coisas**. Rio de Janeiro: FGV Editora,2018.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais: de acordo com norma brasileira NBR 5419:2015**. 9. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MARTELLI, Rafael. **Automação Industrial**. Indaial: UNIASSELVI, 2012. MICHAEL, McRoberts. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

NOGUEIRA, Jurandyr Santos. **Eletrônica digital básica**. Salvador: EDUFBA, 2011.

OLIVEIRA, Cláudio Luís Vieira; HUMBERTO, Augusto Piovesana Zanetti; NABARRO, Cristina Becker Matos; GONÇALVES, Júlio Alberto Vansan. **Aprenda Arduino – Uma abordagem prática**. Duque de Caixas: Kaltzen Editora, 2018.

OLIVEIRA, Francisco Carlos de Mattos Brito; OLIVEIRA, Fernando Antônio de Mattos Brito. **Interação humano computador**. 2.ed. Fortaleza, CE: EdUCE, 2015.

OLIVIO, Amauri; **Elementos de máquinas**. Londrina: Educacional S.A, 2017.

PETRUZELLA, Frank D. **Motores elétricos e acionamentos**. Porto Alegre: AMGH, 2013.

RODRIGUES, Rodrigo. **Controle e automação da produção**. Porto Alegre: SAGAH, 2016.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Automação Industrial**. 4.ed. Salvador, 2001.

SOUZA, Sérgio Augusto. **Ensaio Mecânicos de materiais metálicos. Fundamentos teóricos e práticos**. São Paulo: Edgar Blucher, 1982.

TILMANN, Carlos Antonio da Costa. **Motores de Combustão Interna e seus Sistemas**. Pelotas: Rede e-Tec Brasil, 2013.

WILAMOWSKI, Bogdan M; IRWIN, J. David. **Fundamentals of industrial Electronics**.
CRC, 2011.