

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS
GERAIS-CEFET/MG CAMPUS DIVINÓPOLIS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

ISLA MENDES GUIMARÃES

ACELERADOR ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO
APLICADO A UM VEÍCULO MINI BAJA

DIVINÓPOLIS

2015

ISLA MENDES GUIMARÃES

ACELERADOR ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO

APLICADO A UM VEÍCULO MINI BAJA

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Colegiado de Graduação em Engenharia Mecatrônica como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Áreas de integração: Mecânica, Eletrônica, Computação.

Orientador: Prof. Mestre Alan Mendes Marotta

DIVINÓPOLIS

2015

ISLA MENDES GUIMARÃES

ACELERADOR ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO

APLICADO A UM VEÍCULO MINI BAJA

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Colegiado de Graduação em Engenharia Mecatrônica como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Áreas de integração: Mecânica, Eletrônica, Computação.

Orientador: Prof. Mestre Alan Mendes Marotta

Comissão Avaliadora:

Professor M. Alan Mendes Marotta
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA – CEFET MG

Professor Dr. João Carlos de Oliveira
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA – CEFET MG

Professor Dr. Luíz Claudio Oliveira
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - CEFET MG

DIVINÓPOLIS

2015

Resumo

A implementação de sistemas eletrônicos na indústria automobilística está em constante evolução. Alguns fatores podem ser apontados como determinantes dessa busca. Dentre eles estão: a competitividade mercadológica que impulsiona a busca pela excelência quanto à atuação do veículo. Além de uma busca por um veículo adaptável a deficientes físicos e que ofereça maior segurança ao motorista. Um automóvel capaz de corrigir falhas, realizar manobras e fornecer informações quanto às condições do carro e facilitando a direção. Sendo assim, a proposta sugere o projeto e elaboração de um acelerador eletrônico similar ao sistema já existente no mercado. Contudo, será um projeto de baixo custo aplicado ao veículo Mini-Baja. E para a finalidade almejada, pretende-se utilizar um microcontrolador de baixo custo, programado para gerar uma modulação por largura de pulso (PWM), que irá comunicar-se com o servo motor, através de comunicação serial. Além de estar acoplado a um módulo Bluetooth que possibilitará ao operador um controle remoto da aceleração. Um segundo microcontrolador receberá a informação e a transmitirá ao servo motor que, por sua vez, acionará a borboleta de aceleração. Um sensor óptico, também estará acoplado ao motor a fim de medir a variação de aceleração real. Assim, ao acionar o pedal de aceleração o sensor resistivo enviará um sinal analógico que será convertido em PWM, e finalmente, comunicará ao motor afixado a borboleta de aceleração.

Palavras-chave. Acelerador Eletrônico, PWM; Mini-Baja; Servo-motor.

Abstract

The implementation of electronic systems in the automobile industry is constantly evolving. Some factors can be pointed out as determinants, among them are: the marketing competitiveness that drives the pursuit of excellence as the performance of the vehicle; the search for an adaptive vehicle to disabled people and the search for a vehicle that offers greater safety to the driver, being able to correct maneuvers failures and provide information about the car's condition and facilitating direction. Thus, the proposal suggests the design and development of a similar electronic throttle to the existing system on the market. However, it will be a low-cost design applied to the Mini Baja vehicle. And for the desired purpose, we intend to use a low-cost microcontroller, programmed to generate a pulse width modulation (PWM), which will communicate with the servo motor, through serial communications. In addition to being connected to a Bluetooth module that will allow the operator a remote control acceleration. A second microcontroller receive the information and to transmit to the servo motor, in turn, trigger the butterfly. An optical sensor is also coupled to the motor to measure variation in actual acceleration. Thus, when operating the throttle pedal the resistive sensor sends an analog signal that is converted to PWM, and finally, report to the motor attached to throttle plate. The use of PWM eliminates the need for an A / D converter.

Keywords. Electronic Throttle, PWM; Mini-Baja; Servo Motor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Exemplo de volante acelerador e freios acoplados. Google imagens	03
Figura 2	Interruptor ótico. Datasheet TCR 5000	09
Figura 3	Pedal acelerador. Fonte: Próprio autor.....	17
Figura 4	Sensor ótico TCR 5000. Datasheet TCR 5000.....	18
Figura 5	Circuito esquemático da placa de circuito impresso. Software PROTEUS-ISIS	20
Figura 6	Circuito PCB da placa de circuito impresso. Software PROTEUS-ARES	20
Figura 7	Suporte para o servo motor. Fonte: Próprio autor	21
Figura 8	Mini servo motor. Google imagens.....	22
Figura 9	Módulo Bluetooth. Google imagens.....	23
Figura 10	Fluoxograma. Fonte: Próprio autor.....	24
Figura 11	Exemplo de sensor ótico por barreira. Google imagens.....	26
Figura 12	Suporte para o sensor. Fonte: Próprio autor	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Modos de interrupção referente a função attachmentinterrupt ...	19
Tabela 2	Custos de produção do acelerador proposto.....	27

LISTA DE NOTAÇÕES E ACRÔNIMOS

Letra Latinas

In	Unidade de medida – polegadas
Kg	Unidade de medida – kilograma
Lbs	Unidade de medida - libra força
M	Unidade de medida – metros
Ms	Unidade de tempo - milissegundos
GHz	Unidade de frequência – Giga Hertz
MHz	Unidade de frequência – Mega Hertz

Acrônimos

CADU	Veículo autônomo da UFMG
CAN	Rede que permite a comunicação entre microcontroladores se comuniquem.
ECU	Unidade de Controle Eletrônico
GFK	Empresa especializada em pesquisas de mercado
LED	Diodo emissor de luz
PWM	Modulação por largura de pulso
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

Resumo	iv
Cap.1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Definição do Problema.....	1
1.2 Motivação.....	1
1.3 Objetivos do Trabalho.....	4
1.4Objetivos específicos	4
1.5Estado da Arte	5
1.6 Escopo do Trabalho	5
Cap.2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.2 Fundamentação Teórica.....	7
2.3.1 Acelerador Eletrônico.....	7
2.3.2 Sensor.....	9
2.3.2.1 Sensor Óptico.....	10
2.3.2.2 Encoder.....	10
2.3.3 Modulação por Largura de Pulso.....	11
2.3.4 Servo Motor.....	12
2.3.5 Arduino.....	14
2.3.6 <i>Bluetooth</i>	15
2.3.7 Interface Serial.....	17
2.3.8 Motor Carburado de Quatro Tempos.....	17
2.3.9 Mini Baja.....	18
Cap.3. METODOLOGIA	19
3.1 Códigos.....	19
3.1.1 Código Emissor.....	22
3.1.2Código Receptor.....	25
3.4 Bluetooth	26
Cap4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
Cap.5. CONCLUSÕES	29
Cap.6. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	29
Cap.7. REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO	30

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

O capítulo a seguir é composto de quatro tópicos, partindo da definição do problema. Em seguida, expõe o que levou essa escolha, os objetivos gerais e específicos a serem atingidos e finaliza com a síntese dos capítulos posteriores.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O presente Trabalho de Conclusão de Curso aborda o desenvolvimento de um acelerador eletrônico de baixo custo aplicado a um veículo mini baja, permitindo o acionamento também através de um dispositivo com tecnologia *Bluetooth*. O problema a ser tratado são as desvantagens que o cabo do acelerador traz, dentre elas estão aceleração brusca, trancos, dentre outros. O projeto integra os seguintes eixos de mecânica, instrumentação, eletrônica e computação.

1.2 MOTIVAÇÃO

São crescentes as aplicações eletrônicas no setor automobilístico. O conceito, *drive-by-wire*, no qual o presente trabalho é baseado, substitui o sistema mecânico de aceleração por um eletrônico. Dentre as vantagens do dispositivo estão: controle total da aceleração, melhoria do desempenho, economia de combustível, devido à otimização do torque do motor, aceleração suave, resultado da ausência de cabo e redução do nível de gases poluentes. Este último é um ponto muito discutido e um alvo importante de pesquisas, devido ao impacto ambiental resultante da emissão de gases provenientes da combustão.

Segundo a *GFK, empresa especializada em pesquisa de mercado, em um estudo acerca da influência que a mudança de atitude e comportamento dos consumidores tem sobre a escolha de um veículo, o meio ambiente é uma preocupação para o consumidor, principalmente para o brasileiro. E a economia de combustível proporcionada pelo acelerador eletrônico atende a essa preocupação. Além do mais, segundo um estudo realizado pela empresa **Cisco Customer Experience Report e publicado em 14 de maio de 2013, 47% dos consumidores globais consideram que a adoção de tecnologia engrandece

*Fonte: <https://gfk.com/br/news-and-events/press-room/press-releases/paginas/estudo-mundial-da-gfk-aponta-tendencias-dos-consumidores-na-escolha-de-automoveis-.aspx>; acessado em 08/04/2014.

**Fonte: <http://newsroom.cisco.com/release/1184392/Consumers-Desire-More-Automated-Automobiles-According-to-Cisco-Study>; acessado em 08/04/2014.

a reputação da marca. E 57% tráfegariam em um carro que dispense motorista, no Brasil esse índice foi de 96%.

A pesquisa, realizada com 1500 consumidores da Alemanha, Brasil, Canadá, China, Estados Unidos, França, Índia, Japão, Reino Unido e Rússia, indica que os consumidores estão propensos à inserção de tecnologia nos automóveis. Os entrevistados afirmaram, ainda, que desejam customização, segurança, economia de tempo e custos, possibilidades presentes no acelerador eletrônico proposto no trabalho.

Além das vantagens previamente citadas esse sistema representa a primeira etapa no percurso para desenvolver um veículo autônomo, haja vista que as montadoras estão investindo em pesquisas e desenvolvendo protótipos a fim de lançar no mercado um carro que possa ser inteiramente controlado por tecnologia. Como revelou o Salão de Frankfurt, realizado em setembro de 2013, algumas pesquisas já estão próximas deste escopo. Lá, foram exibidos dois protótipos equipados com tecnologia de direção autônoma, desenvolvidos pelos sistemistas Valeo e Bosch. Além do protótipo Classe S *Intelligent Drive da Mercedes-Benz*, que foi a principal vitrine de direção autônoma. Embora, recentemente, ao lançar o Classe S 2014, a montadora tenha revelado que decidiu não capacitá-lo como autônomo, e perdendo a possibilidade de lançar o primeiro veículo autônomo ao público, devido à existência de limitações técnicas no sistema.

No entanto, essa busca pelo veículo inteligente não é recente, ela teve início em 1977, no Japão. E, desde os anos 90, universidades europeias, asiáticas e americanas têm desenvolvido estudos nessa área. Posteriormente, em 2003, a Organização Central do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DARPA) criou o desafio DARPA *Grand Challenge* de veículos autônomos, cuja primeira edição ocorreu em 2004, cujos participantes deveriam criar um veículo autônomo capaz de tráfegar em terrenos severos. Dentre os participantes, está o *Spirit of Berlin*, um veículo de passeio modificado para drive-by-wire. No Brasil, também têm sido realizados projetos nesse sentido, dentre eles estão o CADU, veículo autônomo desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento de Veículos Autônomos da UFMG

(PDVA/UFGM) e o CaRINA, veículo autônomo elétrico, desenvolvido por pesquisadores da USP de São Carlos. E ambos também empregam o sistema drive-by-wire.

Neste dispositivo, o cabo que transmite o movimento do pedal do acelerador à borboleta de aceleração é eliminado. Assim, sensores localizados no pedal transmitem a solicitação do motorista a uma central eletrônica que comanda o movimento da borboleta de aceleração, possibilitando controle total da aceleração. O sensor comumente utilizado é o potenciômetro, devido ao baixo custo; estão sendo desenvolvidos também pedais com sensores magnéticos de relutância variável e de efeito hall, porém são caros.

A vantagem em se ter o acelerador por pedal é que o efeito da mola permite o retorno da pedaleira para a posição de velocidade zero. Ou seja, ocorre uma desaceleração do veículo, resultando em um freio motor que permite a regeneração da energia cinética do veículo, com conseqüente carga da bateria. (SANTOS ET AL, 2010). No entanto, o acelerador também pode ser empregado no volante, juntamente com um freio manual, para veículos adaptados para deficientes físicos. Esse tipo de modificação é muito utilizado no setor de adaptações automotivas para deficientes em que o acelerador é empregado em diferentes localizações e formatos no veículo, como apresentado na Figura 1.



Figura 1: Acelerador e freio em forma de aro sobre o volante. Fonte: Google/imagens

Um fator muito importante seria que o trabalho pudesse incrementar o projeto do veículo *off-road*, Mini- Baja. Outras instituições já fazem uso de eletrônica embarcada como é o caso do Paraibaja, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), para o qual foi desenvolvido um painel eletrônico tanto para que o motorista tenha um retorno preciso em relação às condições do carro quanto para que os alunos pudessem desenvolver o conhecimento de instrumentação. Assim como o Paraibaja, outras equipes têm feito aplicações de eletrônica embarcada nos veículos, como a equipe da Universidade Federal de Santa Catarina e a Uri-Baja, da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e do Alto das Missões (URI).

1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.3.1. Objetivo geral:

Desenvolver e testar um acelerador eletrônico de baixo custo para um veículo mini baja, que possa ser acionado remotamente.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Desenvolveu-se um código para o micro controlador *Arduino* para que ele receba o sinal do sensor de força resistivo ou do *bluetooth* e o reenvie para um segundo micro controlador.
- Um segundo micro controlador foi programado para receber o sinal proveniente do primeiro e envia-lo ao servo motor e também receber os pulsos do sensor óptico referentes a rotação do motor carburado.
- Acoplar o servo motor e o sensor óptico no motor carburado.

1.5. ESTADO DA ARTE

Este tópico, compreende a revisão literária que expõe um pequeno apanhado do que tem sido pesquisado e desenvolvido no setor acadêmico relativo ao tema aqui abordado. Logo adiante, o tópico metodologia narra os procedimentos utilizados para a finalidade proposta e por último a fundamentação teórica aborda as principais teorias envolvidas com este trabalho.

1.6. ESCOPO DO TRABALHO

O trabalho está dividido em uma breve revisão de literatura que aborda artigos referentes ao tema, seguido pela metodologia empregada no desenvolvimento do trabalho. Acompanhada pelos resultados, conclusão e perspectivas de continuação que aborda possíveis rotas para o prosseguimento do projeto.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Marcelino et al, (2010) propõe o controle de velocidade utilizando modulação por largura de pulso para um veículo Mini Baja adaptado para um motor elétrico.

Caruso, (2007), e Santos et al, (2010), apresentam um acelerador eletrônico para o acionamento da aceleração de um veículo elétrico, apresentando vantagens como confiabilidade, robustez e baixa manutenção. Ele utiliza um inversor de tensão, que é obtido por meio da geração de um sinal de PWM de malha aberta, utilizando um microcontrolador *Attiny 13* da Empresa *Atmel Corporation*. Ele recebe o sinal de um potenciômetro, que está acoplado ao pedal acelerador, para acelerar ou desacelerar.

Camargos, (2011) desenvolve um pedal acelerado capacitivo, com o intuito de eliminar o contato que existe no pedal resistivo, entre o ponteiro e a trilha resistiva, evitando o desgaste e a redução da vida útil do pedal. No entanto, ele constata uma maior suscetibilidade a interferência de umidade relativa e temperatura. Porém, alega maior robustez e baixo custo, apesar de não fazer comparações de preço.

2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Camargo (2011), o pedal do acelerador, como amplamente conhecido, converte um deslocamento angular em sinal elétrico e transmite à unidade central de processamento. Ele pode ser transmitido de diversas formas, fornecendo um sinal PWM proporcional à posição do pedal, mas com amplitude fixa eliminando a necessidade de um conversor A/D.

O pedal resistivo é amplamente utilizado na indústria automobilística devido à simplicidade de funcionamento e o baixo custo. Atualmente utilizam-se dois potenciômetros que trabalham concomitantemente, porém em faixas de amplitudes diferentes, mas proporcionais entre si. Assim a verificação de ambos possibilita garantir que a posição enviada está correta e a detecção de falhas, o que não é possível com apenas um sensor. E há ainda o pedal global, que possui uma eletrônica de condicionamento de sinal associado, ao contrário dos antes citados. Além de tornar configurável a faixa de trabalho permite sinais de saída mais complexos, como o PWM.

2.1.1. Acelerador Eletrônico

De acordo com (CAMARGO, 2011), *drive-by-wire* é apenas uma aplicação da tecnologia conhecida como *X-bywire*, sendo que a letra X simboliza as diversas aplicações deste sistema e a quantidade quase infinita de ações que podem ser feitas *by wire*. O *X-by-wire* consiste em substituir um comando essencialmente mecânico por um eletromecânico, que é gerenciado por uma unidade de processamento para executar as tarefas solicitadas.

No primeiro acelerador eletrônico, os cabos que transmitem o comando do pedal até o motor são substituídos por um circuito com um potenciômetro, que envia sinais elétricos de maneira diretamente proporcional à intensidade com que o motorista pisa no acelerador, este sinal é processado de forma a controlar a posição da borboleta eletrônica e a quantidade de combustível a ser injetado. Em sua grande maioria, o sensor de posição a ser utilizado é de origem resistiva, ou seja, um potenciômetro acoplado ao pedal de acelerador. (CAMARGO, 2011)

Caruso (2011) utiliza um potenciômetro ligado a um circuito microprocessado que controla o PWM.

(SANTOS et AL, 2010) desenvolveram um acelerador eletrônico com base em um micro controlador (Caruso e Grandinetti, 2008), que faz a conversão do sinal analógico do potenciômetro em um sinal digital, gerando pulsos de aceleração e desaceleração para o PWM. Esta forma de aceleração além de ser opcional, funcionando em conjunto com o acelerador manual, é semelhante à forma de aceleração dos veículos a combustão.

O pedal de acelerador, principal dispositivo utilizado para transmitir a informação de velocidade desejada pelo motorista, tem como princípio de funcionamento converter a posição do angular pedal em um sinal elétrico, para que assim possa ser gerenciado pela unidade central de processamento também conhecida como ECU. Este sinal elétrico pode ser transmitido de varias formas, fornecendo um sinal DC com amplitude proporcional a posição do pedal; do tipo PWM (*Pulse Width Modulation*), com a largura de pulso proporcional a posição do pedal, mas que possui uma amplitude fixa, o que descarta a utilização de um conversor A/D para o condicionamento do sinal; do tipo CAN (*Controller Area Network*), que é um tipo de protocolo de comunicação muito utilizado no meio automotivo. (CAMARGO, 2011)

O *drive-by-wire* surgiu a partir da tecnologia *fly-by-wire*, conceito introduzido pela NASA em 1972, em que os comandos de voo utilizam sinais elétricos para operar os controles, substituindo os sistemas mecânicos de cabos de aço. O resultado foi que o limite para manobras foi ampliado, além de permitir que sistemas automáticos evitem a perda de controle. Assim, o acelerador eletrônico, foi desenvolvido para a Fórmula 1, sendo primeiramente utilizado pela McLaren, e atualmente equipa diversas marcas, como: a linha Fiat Palio, o Alfa Romeo 166, o Dodge Dakota turbo diesel e caminhões como o Troller, o Bongo da Kia.

2.1.2. Sensor

Um sensor muda seu comportamento sob a ação de uma grandeza física podendo fornecer direta ou indiretamente um sinal que indica essa grandeza e convertendo uma quantidade física em um sinal elétrico. (Dally, Riley e McConnel, 1993).

Segundo Rosário (2005), o sensor de operação indireta altera suas propriedades, como resistência, capacitância ou a indutância, sob a ação de uma grandeza, de forma mais ou menos proporcional.

As características de um sensor são:

- Linearidade: está relacionada à fidelidade da resposta do sensor ao estímulo, é o grau de proporcionalidade do sinal gerado e a grandeza física.
- Faixa de atuação: Intervalo em que pode ser utilizado sem causar imprecisão ou danos físicos ao sensor.
- Resolução: grau de precisão de leitura.
- Range: limite superior e inferior.

2.1.3. Sensores Óticos

De acordo com Rosário (2005), eles são constituídos de um emissor e um receptor de luz. O receptor pode ser um fotodiodo, foto-transistor ou um resistor sensível à luz (LDR - *light dependent resistor*). O emissor mais comumente utilizado é o LED, porém poderia ser uma lâmpada. Existem três funcionalidades:

O sensor pode atuar por:

- Reflexão: o objeto reflete a luz emitida para o receptor;
- Barreira: o objeto bloqueia a passagem de luz e a saída do sensor muda;
- Modo emissor-receptor: o objeto interrompe a propagação de luz entre ambos e a saída muda.

Além disso, eles ainda:

- Não necessitam contato mecânico para sensoriamento;
- Chaveamento seguro;
- Insensíveis a vibrações e choques;
- Exigem limpeza e isolamento de pó e umidade;
- Requerem alinhamento.

2.1.4. Interruptor Óptico

Segundo, Pinto (2011), o dispositivo possui um emissor (led infravermelho) e um receptor (foto transistor) em um mesmo encapsulamento.

O foto transistor é excitado pela luz em sua base, embora alguns possam receber corrente na base também.

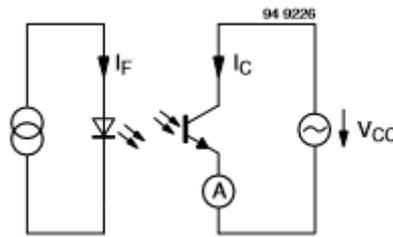


Figura 2: Interruptor óptico.

2.1.5. Modulação por Largura de Pulso

A modulação por largura de pulso (PWM - *Pulse Width Modulation*), é uma técnica em que o sinal de entrada determina a porcentagem de tempo em que o pulso ficará em nível alto em cada ciclo, sendo fixo o período do ciclo.

Dentre as principais técnicas de controle da velocidade do motor de indução, a de PWM (ANALOG DEVICES, 1994) é a mais comumente utilizadas. A PWM de malha aberta é a mais simples de ser implementada, satisfazendo quando a velocidade de saída não necessita de grande precisão. (LUCENA et AL, 2009).

A modulação por largura de pulso, ou PWM (*Pulse Width Modulation*), consiste basicamente em variar a largura de uma série de pulsos em função de um sinal de entrada. É esse sinal de entrada que carrega a informação a ser transmitida. (PRADO, 2011)

(MONTGOMERY, 2008 P 21) esclarece que a saída corresponde a uma série de pulsos de liga e desliga, porém o período de cada ciclo é fixo e o que varia é a porcentagem do tempo ligado e do tempo desligado, ou seja, a largura dos pulsos.

Segundo (PRADO, 2011), controlando a porcentagem do tempo ligado e desligado de cada pulso do sinal, pode-se controlar o valor da alimentação entregue a uma carga, sem que ocorram perdas devido à queda de tensão, como ocorre em sistemas resistivos.

A geração PWM discreta, otimizada e sincronizada é usada para controle de velocidade de motores AC, em malha aberta, para a geração de correntes quase senoidais no motor. A geração de corrente senoidal pelo uso da modulação PWM, em cargas indutivas, é bastante difundida (ANALOG DEVICES, 1994).

Lucena, (2009) elaborou um projeto de controle de velocidade de MIT à Modulação por Largura de Pulso (Pulse Width Modulation - PWM), em malha aberta, mantendo a relação tensão por frequência constante, com o microcontrolador PIC. Este projeto já foi uma atualização de seu projeto intitulado Controle de Motor de Indução Trifásico usando Geração PWM Discreta, Otimizada e Sincronizada (1998), que utilizou controle de velocidade com o microcontrolador 80C31, que é da família 8051.

Caruso, (2007), desenvolveu um circuito para desenvolver sinais analógicos de controle para o acionamento de um módulo de PWM que controlava a velocidade de MIT em sinais digitais, ou seja, um conversor Analógico/Digital com o microcontrolador ATtiny13 de 8 pinos.

2.1.6. Servo Motor

Os motores CA possuem algumas vantagens em relação aos motores CC: são mais leves, têm um custo menor, baixo índice de manutenção e sua construção são mais simples e robusta (SALERNO, CAMACHO e OLIVEIRA FILHO, 2003).

Segundo Bajersky e Abella (2010) o motor do servo motor ao ser alimentado faz girar uma série de engrenagens redutoras (caixas de redução) que aumentam o torque do motor permitindo a movimentação de objetos acoplados ao eixo de forma muito precisa. Devido a combinação destas engrenagens redutoras obtém-se um aumento no torque do motor. Se o motor fosse ligado diretamente ao eixo de controle, para movimentar a mesma carga, seu tamanho físico deveria ser várias vezes maior do que os empregados nos servos.

O servo motor trabalha entre 0° e 180° , ele assume determinada posição de acordo com o sinal de entrada. O controle de posição é realizado por um circuito eletrônico e um potenciômetro que formam um esquema de

realimentação. Assim, aplicado um sinal ele mantém a posição até que o sinal mude.

O sistema interno de realimentação faz com que o servo gire em uma determinada posição em resposta a um determinado trem de impulsos. O potenciômetro de *feedback*, que está conectado mecanicamente ao eixo do servo motor, funciona como sensor (encoder absoluto) que indica a posição do eixo uma vez que a sua resistência varia em função do ângulo de rotação do motor. O circuito eletrônico compara o valor da resistência do potenciômetro com os impulsos que recebe pela linha de controle, ativando o motor para corrigir qualquer diferença que exista entre ambos. Isto é, o potenciômetro permite ao circuito de controle verificar a todo o momento o ângulo de rotação do servo motor. Se o eixo estiver no ângulo correto, o motor não gira. Se o circuito verificar que o ângulo não é o correto, então o motor irá girar, no sentido adequado, até alcançar o ângulo correto. A comparação entre o valor do potenciômetro e a largura dos impulsos e as correções necessárias, são partes de um processo de controle conhecido por controle em malha fechada.

O sinal aplicado ao servo é o PWM, dessa forma o ângulo de rotação é definido pela duração do pulso, o tempo em que ele permanece em nível lógico alto.

A largura mínima e máxima do impulso depende do tipo do servo motor. No entanto, e no caso geral, se o servo motor receber na sua entrada pulsos com a duração de 1.5 ms, o seu eixo roda até ficar estável no centro do intervalo de rotação, a que corresponde o ângulo de 90°. Se receber pulsos com a duração de 1ms, roda, no sentido anti-horário, até atingir o limite do intervalo de rotação correspondente a 0°. Se receber pulsos com a duração de 2ms, roda, no sentido horário, até atingir o outro limite do intervalo de rotação correspondente a 180° ou um pouco mais.

Se a duração do pulso se encontra na faixa de 1.0 ms a 1.5 ms, o ângulo estará entre 0° e 90°, se a duração estiver entre 1.5 ms e 2.0 ms, o ângulo resultante estará entre 90° e 180°. Além desse critério, os pulsos precisam ser enviados a cada 20 ms, para um funcionamento correto do motor.

De acordo com Araújo, (2011), servo motor é uma máquina que recebe um sinal de controle, verifica a posição original, e depois atua no sistema em busca da posição desejada. É um motor que não gira indefinidamente, pode fazer a rotação de 180 graus extremamente precisos. Ele é constituído por três partes principais: Sistema atuador, sensor e circuito de controle. O primeiro é um motor, geralmente de corrente contínua, e um conjunto de engrenagens que forma uma caixa de redução com uma relação longa, para aumentar o torque. O sensor é normalmente um potenciômetro acoplado ao eixo do servo, e através da sua resistência, é possível determinar a sua posição. E o circuito de controle é um circuito composto de componentes eletrônicos discretos ou circuitos integrados que tem a capacidade de receber o sinal do sensor e o sinal de controle e posicionar o motor no eixo da direção desejada.

2.1.7. Arduino

Santos (2009) afirma que esta é uma plataforma de *hardware* e *software* livre, desenvolvida em 2005 para fins educativos. A programação emprega uma linguagem própria baseada em C e C++. O microprocessador ATMEL, possui baixo custo referente as funcionalidades que possui. Pode ser utilizado em diversas plataformas, dentre elas Windows, Macintosh OS e Linux.

A mais recente placa do Arduino, a Uno, difere das versões prévias por não utilizar o chip FTDI, que conduz a USB para a serial. Em vez disso, ela utiliza um Atmega8U2, programado como um conversor USB para serial. Isso confere à placa muitas vantagens quando comparada à sua predecessora, a Duemilanove. Primeiro, o chip Atmega é muito mais barato que o chip FTDI, diminuindo o preço das placas. Segundo, e mais importante, ele permite que o chip USB tenha seu firmware atualizado, para que o Arduino seja exibido em seu PC como outro dispositivo, tal como um mouse ou joystick de jogos. Isso abre uma série de novas possibilidades para o Arduino. (MCROBERTS, 2011)

O *hardware* do Arduino suporta comunicação serial nos pinos 0 e 1 correspondentes a Rx e Tx (Rx-recepção, Tx-transmissão). Mas, é possível realizar a comunicação serial em outros pinos, inserindo a biblioteca *SoftwareSerial* que permite definir outros pinos como Tx e Rx. No entanto, apenas uma porta por vez, pode receber dados. A porta serial, UART, permite

que o microprocessador receba comunicação serial durante a execução de outras tarefas.

As saídas PWM do Arduino, possibilitam que escrevendo um valor entre 0 e 255 (correspondentes a 0% e 100% do *Duty Cycle*), a largura do pulso será relativa a esse valor.

2.1.8. Bluetooth

A tecnologia Bluetooth, para Bajersky e Abella (2010), permite a conexão sem cabos e sem fios, possui baixos consumo e alcance. Ela possibilita a formação de redes ad hoc, que dispensam um ponto de acesso em comum, e *Personal Area Networks* (PANs), que interliga aparelhos do próprio usuário em uma área pessoal, possibilitando uma atuação conjunta dos dispositivos. E dispensa a instalação de *softwares* de *drivers*. A grande vantagem do Bluetooth é que ele elimina a necessidade de protocolos de comunicação e também do uso de conversores para interfaces de comunicação diferentes.

O Bluetooth opera na faixa aberta ISM (*Industrial. Cientifical. Medical.*) que opera em uma frequência de 2.4 GHz, variando de 2400 a 2483.5 MHz. O esquema utilizado a fim de proteger o sinal contra interferências é o FH-CDMA (*Frequency Hopping- Code-Division Multiple Access*), ele divide a frequência em vários canais. *Frequency Hopping* é a mudança rápida de canal *que o dispositivo executa que resulta em uma largura estrita da banda de frequência, prevenindo contra interferência.*

A transmissão de dados acontece em modo full-duplex, a recepção e envio de dados são possíveis. Assim, ocorre a alternância entre os canais de recepção e de envio, que estão divididos em períodos de 625 μs, chamada de FH-TDD (Frequency Hopping-Time Division Duplex).

O padrão utilizado para conectar emissor e receptor é o SCO (*Synchronous Connection-Oriented*) e o ASC (*Asynchronous Connection-Less*) o padrão síncrono define um canal para mestre e outro para o escravo, caso ocorra perda dado não é possível retransmitir. O modo assíncrono utiliza os canais previamente livres, a integridade dos dados é garantida devido a

possibilidade de reenvio de pacotes. A taxa de transmissão é de 721 Kbps e do modo SCO é de 432 Kbps.

A rede formada durante a comunicação Bluetooth é chamada *Piconet*, em que o dispositivo que inicia a comunicação é o mestre e o outro é o escravo. Pode haver até sete escravos, que não comunicam entre si diretamente, necessitando passar pelo mestre primeiro, a troca entre o papel de mestre e escravo pode ocorrer a qualquer momento. *Scatternet* é a sobreposição de *Piconet*, que possibilita mais dispositivos ativos na rede.

O *clock* dos dispositivos *Bluetooth* é identificado pelo endereço de cada um. A sequência de *frequency hopping* é definida através da adição de offsets aos *clocks* dos dispositivos escravos para a sincronização com o mestre. É ele quem controla a transmissão e a distribuição da banda de acordo com a frequência entre os escravos.

*Bluetooth is an open standart that has benn embraced by over 1000 manufacturers of electronic appliances. It provides an ad-hoc approach for enabling various devices to communicate with one another within a nominal 10 meter range. Named after King Harald Bluetooth, the 10 (th) century Viking who united Denmark and Norway, the Bluetooth standart aims to unify the connectivity chores of appliance within the personal workspace of an individual (ROBERT, 2001).**

*Different countries have allocated various channels for Bluetooth operation. In the US and most of Europe, the FHSS 2.4 GHz ISM band is available for Bluetooth use. A detailed list of status is defined in the Bluetooth standard to support a wide range of applications, appliance, and potential uses of the Personal Area Network. Audio, text, data, and even video are contemplated in the Bluetooth standard (TRANTER et al, 2001). ***

*Bluetooth é uma plataforma aberta que foi aceita por mais de 1000 fabricantes de aparelhos eletrônicos. Ele oferece uma abordagem ad-hoc para permitir que vários dispositivos comuniquem entre si dentro de uma faixa 10 metros. Chamado assim devido ao rei Harald Bluetooth, que uniu Dinamarca e Noruega no décimo século Viking, a plataforma Bluetooth visa unificar as tarefas de conectividade do aparelho dentro do espaço de trabalho pessoal de um indivíduo.

* *Diferentes países têm diferentes canais alocados para a operação Bluetooth. Nos EUA e na maior parte da Europa, a banda de 2,4 GHz ISM FHSS está disponível para uso Bluetooth. Uma lista detalhada de estados está definida no padrão Bluetooth para suportar uma ampla gama de aplicações, dispositivo, e os usos potenciais da rede pessoal. Áudio, texto, dados, e até mesmo vídeo está contemplado no padrão Bluetooth.

2.1.9. Interface de Comunicação Serial

O transmissor/receptor assíncrono universal (UART – *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) é o elemento essencial de um sistema de comunicação serial com a função de transformar dados em formato serial para paralelo para a entrada, e dados do formato paralelo para serial para a saída (BOLTON, 2010).

A transmissão bit-serial converte a mensagem em um bit por vez através de um canal. Cada bit representa uma parte da mensagem. Os bits individuais são então rearranjados no destino para compor a mensagem original. Em geral, um canal irá passar apenas um bit por vez. A transmissão bit-serial é normalmente chamada de transmissão serial, e é o método de comunicação escolhido por diversos periféricos de computadores.* *

2.1.10. Motor Carburado de Quatro Tempos

Nos motores de quatro tempos a árvore das manivelas realiza duas voltas em um ciclo de trabalho, enquanto os pistões se movem dentro do cilindro, entre o ponto morto inferior e o superior, realizando os quatro tempos. Quem realiza a transmissão dos movimentos da árvore de manivelas para os pistões são as bielas.

2.1.11. Mini Baja

A competição de veículos mini Baja é regulamentada pela *SAE BRASIL, uma associação sem fins lucrativos que reúne pessoas físicas (engenheiros, técnicos e executivos) com o intuito de disseminar técnicas e conhecimentos relativos à tecnologia da mobilidade. Ela foi fundada em 1991 por executivos dos segmentos automotivo e aeroespacial, a fim de abrir as fronteiras do conhecimento para os profissionais brasileiros da mobilidade. Atualmente representa a mais importante sociedade de engenharia do Brasil.

Segundo o regulamento da competição Baja SAE BRASIL, ** “o veículo deve ter quatro ou mais rodas e ser capaz de transportar pessoas com até 1,90m (6ft 3in) de altura, pesando 113,4kg (250lbs)”.

Em relação às dimensões, a largura máxima deve ser de 1,62m (64 in), medida entre os pontos de maior largura, com os pneus apontando para frente. E o comprimento é irrestrito. Contudo os circuitos construídos para os Baja SAE baseiam-se em protótipos de 2,75m de comprimento. Veículos que excederem esta dimensão poderão ser incapazes de operar em alguns percursos. Caso isso ocorra, os mesmos serão excluídos do evento em questão.

“O veículo deve ser capaz de operar seguramente sobre terrenos acidentados, incluindo pedras, areia, troncos de árvore, lama, grandes

inclinações e lâminas de água em qualquer ou todas as combinações e em qualquer condição climática. O veículo deve ter tração suficiente para vencer os obstáculos e distância adequada do solo”.

“Os veículos devem ser equipados com um único motor do tipo Briggs&Stratton, 4 tempos, monocilíndrico, com potência de 10HP série 20 código 205432, 205437 ou 205332, refrigerado a ar”.

3. METODOLOGIA

Este capítulo narra como os procedimentos foram realizados, o motivo que levou a eles e os resultados obtidos. Inicia-se com a descrição programação do microcontrolador que receberá os comandos do pedal e via Bluetooth e segue com a programação do outro microcontrolador. Explica-se também a montagem eletrônica executada.

3.1. Códigos

Foram desenvolvidos dois códigos separados, um para atuar segundo o comando do pedal ou um comando via *Bluetooth*. E outro para receber esse comando já tratado, verificar se é válido e em seguida transmiti-lo para o servo motor e atuar de acordo com o dado de rotação enviado pelo sensor preso próximo ao eixo do motor. A fim de facilitar o entendimento, o código do pedal será denominado código receptor e o código emissor será o que do microcontrolador próximo ao motor.

3.1.1. Código Pedal – Código Emissor

O código descrito trabalha com duas possibilidades. Ele recebe o sinal do pedal resistivo ou via *Bluetooth*.

3.1.2. Sinais via pedal

Utilizou-se um pedal de máquina de costura como o apresentado abaixo:



Figura 3: Pedal acelerador.

Ele envia um valor de resistência para o microprocessador que converte em um dado binário (entre 0 e 1023). E depois em um valor de ângulo correspondente, em graus. O comando *map* é utilizado para realizar essa conversão e seus parâmetros são o valor recebido, faixa binária dentro da qual ele está e a faixa desejada. Esse dado é aquisitado dez vezes e realiza-se uma média para que o dado final não varie por ser um sinal analógico sujeito a variações.

3.1.3. Sinal via *Bluetooth*

O dado via *Bluetooth* pode ser enviado por um celular que possua tecnologia *Android* ou um notebook com *Bluetooth* e ambos necessitam de um *software* para emulador de terminal. Nesse caso, foi utilizado um *smartphone* com o aplicativo *Microcontroller BT* instalado.

O código também utiliza uma ferramenta conhecida como *checksum* para verificação de erro. Ele realiza a soma entre os dígitos do sinal e esse resultado passa a ocupar os dois últimos dígitos do dado final. Assim, o valor enviado possa a ter cinco dígitos. Esse valor está entre 0 e 18. Assim, o microcontrolador verifica se houve erro no envio do sinal, caso haja ele é desconsiderado. Esse procedimento será detalhadamente explicado no tópico seguinte.

3.1.4. Código Receptor

O segundo microprocessador receberá a posição angular a ser alcançada pelo servo motor, acrescida do *checksum*. Além dos pulsos emitidos pelo sensor óptico indicando a rotação do motor. Após verificar a disponibilidade da porta serial, ele verifica se o número treze chegou. Ele corresponde ao valor no código ASCII do *enter* ou ao último valor enviado pelo comando *Serial.print*. Dessa forma, caso esse valor seja recebido e o dado esteja completo, todos os *bytes* foram enviados.

Em seguida, ele verifica se os dígitos correspondem a números porque eles são armazenados em uma variável do tipo *char* que armazena números de -128 a 127. Esses números representam tanto os números de 0 a 9 como letras e outros caracteres. A próxima etapa é realizar a soma dos três primeiros *bytes* e comparar com o valor correspondente aos dois últimos *bytes* recebidos. Caso a soma seja igual será enviado ao servo motor, caso contrário o dado está corrompido.

Sinal enviado: 18009

Checksum: 09

3.2. Sensor

A placa de circuito impresso em que o sensor óptico reflexivo, apresentado na Figura 4, está inserido foi posicionada próximo ao eixo do motor. O sensor está localizado de frente para um adesivo reflexivo aderido ao suporte da correia. Ele é composto por um led que emite um feixe de luz infravermelha e uma foto transistor cujo coletor capta a luz.



Figura 4: TCR 5000-sensor óptico reflexivo.

Assim, quando o adesivo reflete a luz infravermelha a base da foto transistor é excitada. Dessa forma, a tensão no coletor também aumenta. Essa tensão é enviada ao pino digital dois do microcontrolador que entende como um sinal digital alto. Nos momentos em que a luz não é refletida a tensão no coletor é aproximadamente zero e obviamente o microcontrolador também recebe zero no pino dois. Esse sinal é utilizado para que a aceleração do motor seja rotação porque a cada ciclo que o eixo realiza representa um pulso. E a rotina que realiza essa função será tratada logo abaixo.

Quando ocorre uma mudança no estado do pino digital dois uma interrupção é acionada pelo comando `attachInterrupt(interrupt, função, modo)`. Os parâmetros dele são:

Interrupt: é um número que corresponde ao pino utilizado (0-porta digital 2; 1 porta digital 3).

Função: O nome da função que será executada quando ocorrer a interrupção.

Modo: Tipo de evento que aciona a interrupção, como mostra Tabela 1.

De forma simples, a cada mudança no estado da porta uma interrupção é gerada e aciona uma *void* definida dentro do próprio comando. Nela, uma variável é incrementada. Esse ciclo ocorre a cada segundo. Ao final, tem-se a aceleração em ciclos por segundo (Hz).

Tabela 1– Modo em que a interrupção externa é reconhecida.

LOW	Quando o valor lógico é zero.
CHANGE	Quando o valor lógico muda.
RISING	Quando varia de 0 para 1.
FOWLING	Quando passa de 1 para 0.

Uma placa de circuito impresso foi fabricada para cujo esquemático e o *layout* da placa no *software* Proteus, como as figuras abaixo mostram. Foram utilizados dois modelos de conectores de 15 pinos para representar o *Arduino* devido ao fato de não haver um pacote para o modelo no *Ares*, parte do *software* em que o *layout* da placa é criado.

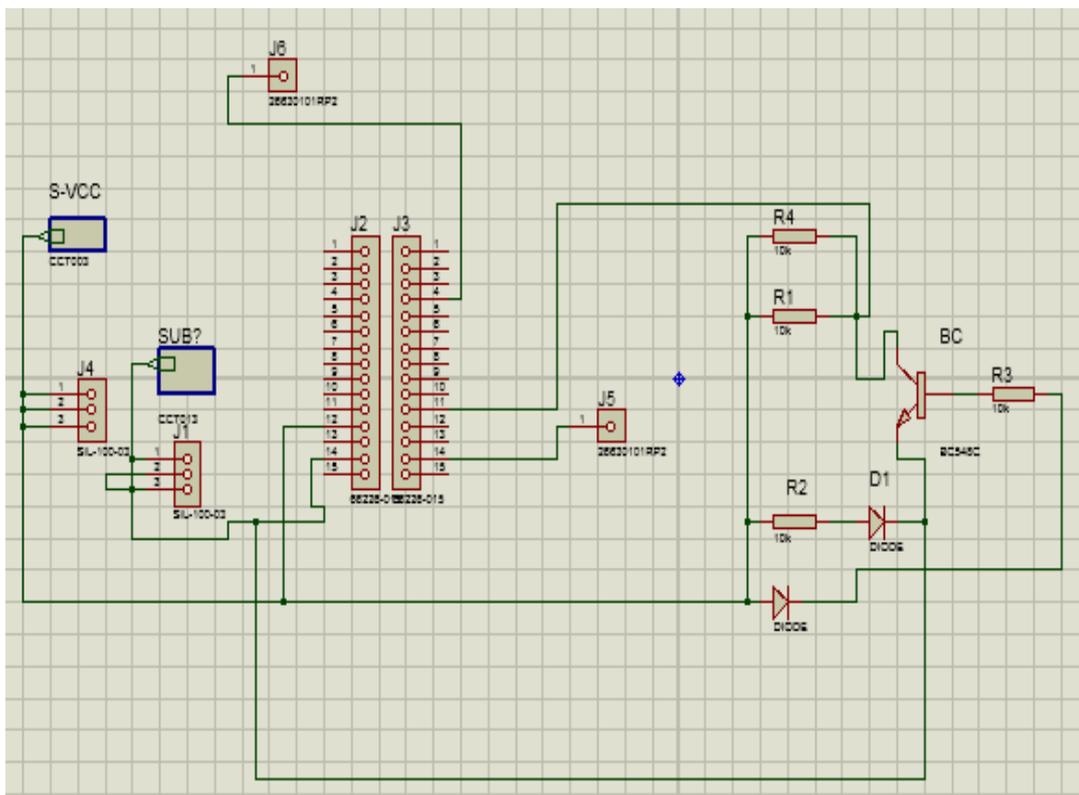


Figura 5: Esquemático do circuito composto pelo sensor e o microcontrolador receptor.

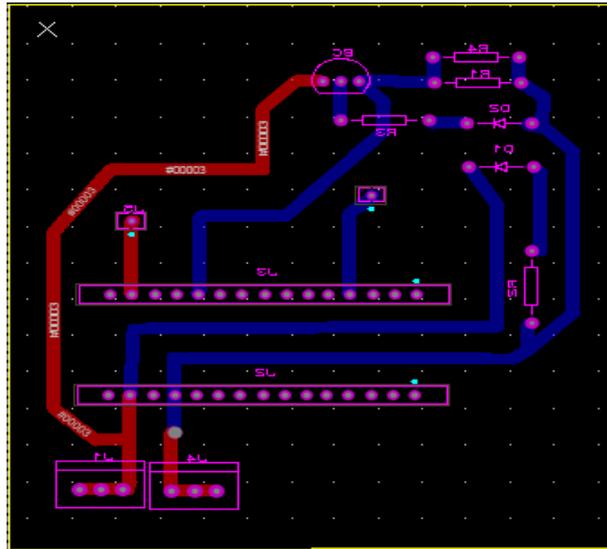


Figura 6: *Layout* da placa.

3.3. Suporte do Servo Motor

O servo motor foi preso a um suporte metálico, de galvalume, utilizando dois pregos pequenos presos às abas do servo motor e cola epóxi. E preso a ele um acessório com um formato de hélice com furos ao longo de seu perfil. Um fio metálico foi conectado em um desses furos e a borboleta de aceleração de forma que a ela desloque sob a ação do movimento do servo motor. O suporte foi afixado próximo s borboleta utilizando um parafuso do próprio motor e preso também por fios metálicos uma mangueira.

O suporte foi feito para encaixar no espaço disponível sem interferir no funcionamento do motor e para que o servo motor pudesse ficar na altura correspondente a borboleta de aceleração. Aplaca de zinco foi cerrada e conformada de forma que adquirisse a inclinação necessária para o encaixe. Ele pode ser visto na logo abaixo, na Figura 7.



Figura 7: Suporte do servo motor.

Os fios marrom e vermelho do servo motor foram ligados respectivamente ao GND e VCC do Microcontrolador, e o fio amarelo de controle a porta digital nove um sinal PWM.



Figura 8: Servo motor. Fonte: Google imagens.

3.4. Comunicação Serial

A comunicação é realizada interligando os pinos TX do primeiro ao RX do segundo, porque a comunicação será apenas do primeiro para o segundo. Os pinos GND e VCC do microcontrolador receptor foram ligados aos do emissor. A alimentação do emissor é fornecida por uma bateria conectada ao pino VIN e GND.

Na *void loop* o seguinte teste é realizado: se o operador está a mais de três minutos sem enviar um comando então a variável `val` recebe o valor zero e o motor volta para a posição 0°. O “comando” `millis()` informa retorna o tempo em milissegundos desde que o programa iniciou. Em seguida, há um novo teste iniciado pelo comando “`if`”, que verifica se a porta serial está disponível para que a variável “`inByte`” receba o presente na porta.

O passo seguinte consiste em verificar se os dados recebidos correspondem a números e também preencher as cinco posições do vetor “`buf`”. Três desses dígitos correspondem ao ângulo que o servo motor deve atingir e os outros dois são de verificação de erro. Quando “`inByte`” for igual a treze (valor correspondente ao comando “`enter`”), significa que a inserção do valor de ajuste foi finalizada. A partir desse ponto, as posições do vetor são zeradas, após o envio do valor de ajuste via serial.

3.5. Bluetooth

O módulo *Bluetooth* HC-06, mostrado na Figura 9, foi conectado ao microcontrolador emissor através dos pinos GND, VCC ao pino 3.3V, RX ao TX e TX ao RX. Ele foi pareado ao aparelho celular e em seguida o *software Micontroller BT* foi acionado e conectado ao dispositivo. O passo seguinte foi criar um *layout* e abrir o terminal para digitar o valor de ângulo para a aceleração.



Figura 9: HC-06- modulo *Bluetooth*.

Esse dispositivo utiliza a porta serial do computador para comunicar, por isso é necessário incluir a biblioteca *SoftwareSerial* que permite definir duas novas portas como pinos TX e RX, que são responsáveis pela comunicação serial. O microcontrolador utiliza os pinos 0 e 1 para essa função, o *Bluetooth* utilizaria os mesmos pinos o que ocasionaria conflito entre o envio e recebimento de dados entre o *Arduino* e o computador e entre o dispositivo e o microcontrolador.

O fluxograma apresentado abaixo ilustra o sistema como um todo:

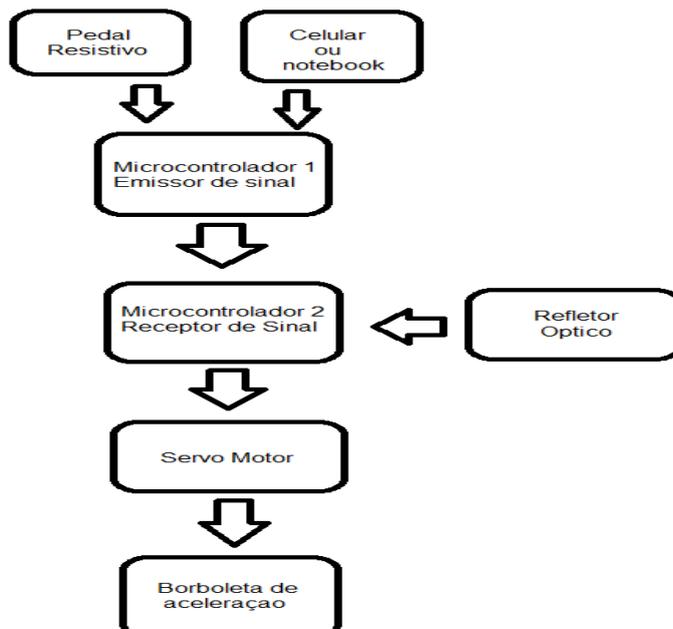


Figura 10: Fluxograma das partes comunicantes do sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Acelerador

O motor carburado está respondendo satisfatoriamente ao movimento angular do servo motor. Através do envio do ângulo pela porta digital PWM do microcontrolador a borboleta do carburador é deslocada promovendo a aceleração do motor.

A comunicação serial entre os microcontroladores também ocorre corretamente. O microcontrolador receptor não envia sinais incorretos para o servo motor. O *checksum* está funcionando em ambos os microcontroladores e caso haja erro entre o *checksum* enviado e o calculado para verificação, o sinal também é descartado. A seleção de caracteres também descarta caracteres diferentes de números.

Caso a aceleração enviada pela porta serial não seja atualizada a cada 3 minutos o servo motor retorna a posição zero. Presumindo, assim que houve alguma falha.

Não é necessário variar o servo até 180 graus para que a aceleração chegue ao nível máximo.

4.2. Sensor

O sensor responde a reflexão provocada pelo adesivo gerando um pulso, que incrementa a rotação (ciclos por segundo). E atualiza o valor no monitor serial a cada segundo.

No entanto, não foi possível testar o funcionamento diretamente no motor devido à queima de dois *Arduino Nano*, durante o teste que resultaram na queima do sensor em uso e do reserva. Devido a esse fato, utilizou-se o sensor antes empregado para a mesma função, mas que trabalha como interruptor ótico. A escolha pelo TCR 5000 ocorreu justamente em função de ele ser um refletor e não necessitar de uma barreira entre emissor e receptor. Isso porque a barreira teria de ocupar o suporte da correia no eixo, podendo ocasionar acidentes caso desprendesse durante a rotação do motor. No

entanto, utilizando uma fita de papel espesso presa por cola epóxi a esse suporte e utilizando o sensor semelhante ao apresentado na Figura 11, foi realizado um teste. Para isso utilizou-se o código abaixo, que realiza a contagem de pulsos durante um segundo. Assim, cada vez que a reflexão é interrompida um pulso é incrementado na variável: contador.

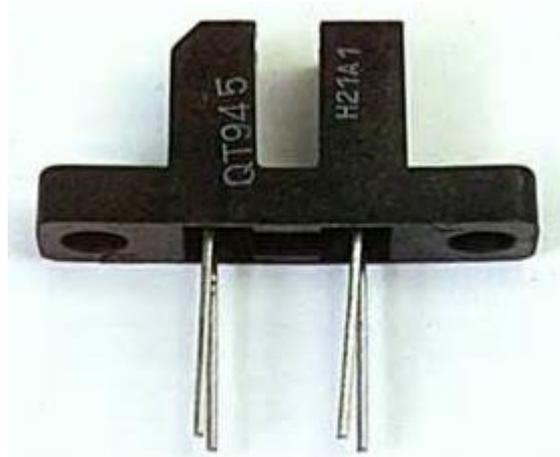


Figura 11: Interruptor óptico.



Figura 12: Sensor preso por suporte próximo ao eixo do motor.

Os dados obtidos pelo sensor óptico, em pulsos por segundo, estão apresentados no gráfico 1, na forma de rotações por minuto, para

uma melhor visualização. Como pode ser observado, há uma correlação linear entre o ângulo de giro do servo motor e a rotação do motor carburado, ao incrementar o ângulo, a rotação aumenta.

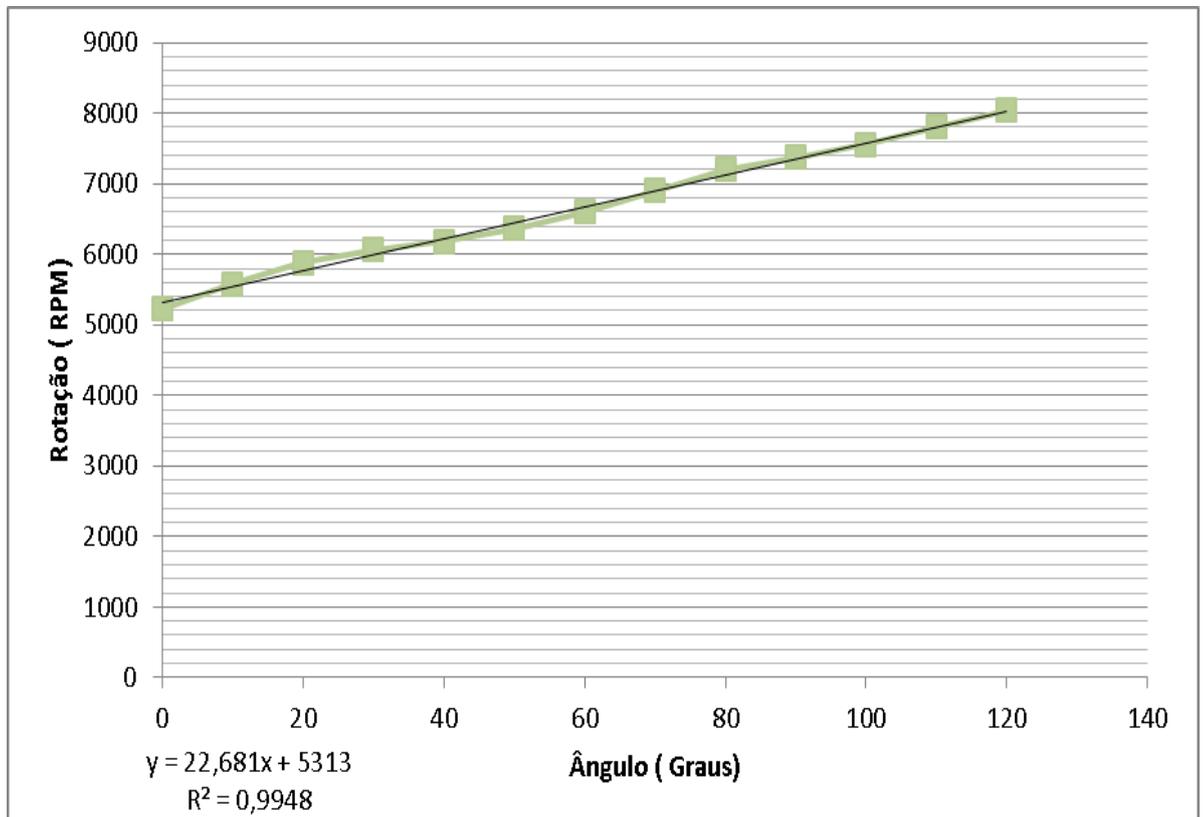


Gráfico 1 - Aceleração do motor em função do ângulo do Servo motor.

4.3. Módulo *Bluetooth*

O módulo *Bluetooth* está comunicando corretamente com o *smartphone*, recebendo as instruções corretamente. Através do *Microcontroller Bt* é possível fornecer diretamente a porcentagem de aceleração desejada entre 0 e 180, que é convertida em ângulo.

4.4. Comparação de preços

Tabela 2: Custos do acelerador eletrônico.

Componente	Preço (R\$)
Arduino Uno	R\$ 28,00
Arduino Nano	R\$ 21,00
Sensor de Força Resistivo	R\$ 28,00
Bluetooth	R\$ 15,00
Resistores	R\$ 1,00
Servo Motor	R\$ 7,00
Total	R\$ 97,00

O preço de um acelerador eletrônico no mercado varia em torno de R\$ 200,00 a R\$ 1100,00, de acordo com a marca e a qualidade. Logo, verifica-se que o valor está abaixo do valor de mercado e oferece outras possibilidades que os aceleradores convencionais não possuem.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se, que é possível construir um acelerador eletrônico de baixo custo utilizando um microcontrolador *Arduino* e um mini servo motor conectado a borboleta de aceleração. E que possibilite a comunicação remota. Apesar de o motor carburado ser bastante potente, a borboleta de aceleração pode ser deslocada ao mínimo movimento sendo o servo motor suficiente para deslocá-la. O fato de o servo motor manter a posição quando energizado é crucial devido à grande vibração provocada pelo motor carburado quando o mesmo está ligado.

Os testes realizados somente com o circuito do sensor e o microcontrolador indicam que é possível obter um resultado satisfatório com o sensor óptico reflexivo.

O sistema também pode ser empregado no controle de geração de energia, atuando em geradores assim como no processo de bombeamento de água.

6. Propostas Para Trabalhos Futuros

O trabalho pode prosseguir com a instrumentação de um veículo utilizando o microcontrolador emissor como uma UCE (Unidade de Comando Eletrônico) recebendo dados do carro, como o nível e temperatura do óleo de nível do combustível. E atuar também na frenagem.

E o microcontrolador receptor poderá analisar e atuar segundo as condições do motor detectando falhas. Também seria interessante utilizar uma malha de realimentação caso a aceleração não responda da forma esperada como na simulação de uma subida.

O sistema também pode ser adaptado para um gerador para um fornecimento de energia controlada; assim como para controlar a aceleração do avião da equipe de *aero design*. Além do prosseguimento nas etapas para um sistema autônomo tele controlável.

Recomenda-se que para a reprodução do projeto, o material utilizado para fixar o servo motor no motor carburado seja do mesmo tipo e espessura daqueles constituintes da estrutura do motor carburado, a fim de evitar deformações no suporte devido a intensa vibração do motor.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAJERSKI, I. ABELLA, V. D. B. Braço Robótico Com Controle Remoto Bluetooth. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul Faculdade de Engenharia – Faculdade de Informática Curso de Engenharia de Computação. Porto Alegre, 2010.

BOLTON, W. Mecatrônica Uma abordagem multidisciplinar. São Paulo: ARTMED, 2010.

CAMACHO, J. R.; H.; OLIVEIRA FILHO, A. S. Controle de Velocidade do Motor de Indução Trifásico Utilizando Microcontroladores para Aplicações em Baixa Potência. In: III Seminário Nacional de Controle e Automação, 2003, Salvador. Anais do III Seminário Nacional de Control e Automação. Salvador: Audio e Multimidia, 2003. v. 1. p. 105-110.

CAMARGO, Edmar. Desenvolvimento de um Pedal de Acelerador Capacitivo para Aplicações Automotivas. Universidade Estadual de Campinas Engenharia Mecânica. São Paulo/ SP, 2011. Banco de dados da biblioteca digital da UNICAMP. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000833338>.

CARUSO, José. CONTROLE DE VELOCIDADE DE UM MIT TRACIONANDO UM VEÍCULO ELÉTRICO. UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ – UNITAU. Taubaté, 2007.

LUCENA, S. E. MARCELINO, M. A.; GRANDINETTI. F. J. *Low-cost PWM speed controller for an electric Mini-Baja type vehicle* [Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering](#), Rio de Janeiro/ RJ. Banco de dados do Scielo. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S167858782007000100004&script=sci_arttext.

MCROBERTS. Michael. Arduino básico. São Paulo: Novatec, 2011.

PROJETO MINI BAJA COMO ESTUDO DE CASO PARA INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA. Anais do XXXIV COBENGE. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.

PINTO, L. F. T.; ALBUQUERQUE. R. O. Eletrônica Analógica, Centro Paula Souza, Governo De São Paulo, Fundação Padre Anchieta, 2011.

ROSÁRIO, J. M. Princípios de Mecatrônica. São Paulo: Pearson, 2005.

ROBERT. M., "Bluetooth: A Short Tutorial," *Wireless Personal Communications: Bluetooth Tutorial and Other Technologies*, Tranter, W. H et al., Eds. Kluwer Academic Publishers, 2001.

SANTOS, P. A.; GRANDINETTI. F. J; MARCELINO. M. A.; CARLESIMO. G. H Sistema de transmissão de um veículo elétrico Revista Ciências Exatas- Universidade de Taubaté, Taubaté/SP. Banco de periódicos UNITAU. Disponível em: <http://periodicos.unitau.br/ojs-2.2/index.php/exatas/article/viewFile/1305/883>.

SANTOS, N. P. Arduino Introdução e Recursos Avançados. 2009.

TRANter, W.H., WORNER, B.D., Reed, J.H., RAPPAPORT, T. S., and ROBERT, M., Eds., *Wireless Personal Communications: Bluetooth Tutorial and Other Technologies*, Kluwer Academic Publishers, 2001.

8. APÊNDICES

8.1 Código gravado no microcontrolado Emissor:

```
#include <Servo.h>

#include <SoftwareSerial.h>

int bluetoothTx = 3; // TX- do HC-06
int bluetoothRx = 2; // RX- do HC-06
SoftwareSerial bluetooth(bluetoothTx, bluetoothRx);

int val;

int potpin = 0; // pino analogico que receberá o sinal do pedal

int sum;

String inString = "";

void setup()

{
    Serial.begin(9600);
    bluetooth.begin(9600);
}

void loop()

{
    if(bluetooth.available())
    {
        val=bluetooth.read();

        delay(20);

        Serial.println(val);

        String s= String();

        s = s + val;

        while (s.length() < 3)

            s = '0'+s; // se o número for menor que 100 completa com
zeros.
```

```

char s0 = s.charAt(0);
char s1 = s.charAt(1);
char s2 = s.charAt(2);
sum = (s0 - 48 + s1 - 48 + s2 - 48);
String checksum = String(sum);
if (checksum.length() < 2) checksum = '0'+checksum;
    s = s + checksum;
    Serial.flush();
    Serial.println(s);
    delay(200);
}
else
{
    val=0;
    for (int vezes=0; vezes<10; vezes++)
        val+=analogRead(potpin);
        // Faz uma média de 10 valores medidos
        val=val/10;
        val = map(val, 0, 1023, 0, 180);
// mapeia o valor dentro da faixa de 0 a 180
    delay(100 );
    String s= String();
    s = s + val;
    while (s.length() < 3)
        s = '0'+s;
    // se o número for menor que 100 completa com zeros
    char s0 = s.charAt(0);
    char s1 = s.charAt(1);
    char s2 = s.charAt(2);
    sum = (s0 - 48 + s1 - 48 + s2 - 48);

```

```

    String checksum = String(sum);
    if (checksum.length() < 2)
        {checksum = '0'+checksum; }
    s = s + checksum;
    Serial.flush(); // apaga o buffer de entrada
    Serial.println(s);
    delay(20);
}
}

```

8.2. Código gravado no micro controlador cuja função é de receptor:

```

#include <Servo.h>

Servo myservo; // Cria um objeto servo

char buf[5], c1, c2, c3;

int ct=0, val=0, interval=3000000, flag, soma = 0,
checks = 0;

unsigned long currentMillis, previousMillis;

char inByte;

int encoderPinA = 2;

unsigned long atual, anterior;

volatile int state = HIGH;

volatile unsigned int pulsos = 0;

void setup() {
    // initialize both serial ports:
    Serial.begin(9600);

    pinMode (encoderPinA, INPUT);

    attachInterrupt (0, encoderA, RISING);

    anterior = micros();
}

```

```

pulsos=0;

myservo.attach(9);

// conecta o servo motor ao pino nove PWM

previousMillis = currentMillis;

}

void loop() {

    // Testar se passou um tempo (interval) sem receber
    comando => desativar o servo para posição neutro (sem
    acelerar)

    atual = micros();

    atual++;

    if (( atual - anterior) >= 1000000){

        Serial.println(pulsos);

        anterior=atual;

        pulsos=0;

    }

    currentMillis = millis();

    if (currentMillis - previousMillis > interval) {

        previousMillis = currentMillis;

        val=0;

        myservo.write( val);

    }

    if (Serial.available()) {

        inByte = Serial.read();

        if (inByte == 13) // fim do valor de ajuste

        {

            previousMillis = currentMillis;

            if (ct == 5)

```

```

{
    val =0;
    if (ct > 0) {
        if ( buf[0] >= '0' && buf[0] <= '9' )
        {
            c1 = buf[0];
            c1 -= '0';
            val = c1;
        }
    }
    if (ct > 1) {
        if ( buf[1] >= '0' && buf[1] <= '9' )
        {
            c2 = buf[1];
            c2 -= '0';
            val =  c1*10 + c2;
        }
    }
    if (ct > 2) {
        if ( buf[2] >= '0' && buf[2] <= '9' )
        {
            c3 = buf[2];
            c3 -= '0';
            val =  c1*100 + c2*10 + c3;
        }
    }
    String valor = String();

```

```

        valor = valor + val;

        soma = ( buf[0] - 48  + buf[1] - 48 + buf[2] -
48);

        checks = ( (buf[3] - 48)*10  + (buf[4] - 48));

        String checksum = String(checks);

        String s = String(soma);

        Serial.flush();

        myservo.write( val);

    }

    ct = 0;

} else

if (inByte <= 57)

{

    if (inByte >= 48)

    {

        if (ct < 5)

        {

            buf[ct] = inByte;

            ct++;

            buf[ct]='\0';

        }

        } else ct=0;

    }

}

Serial.write(inByte);

}

}

void encoderA()

```

```
{
```

```
    pulsos ++;
```