

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL  
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**FIDELES PINTO DE SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE VEÍCULO AUTÔNOMO QUE  
AUXILIE O CAFEICULTOR NO PROCESSO DE SECAGEM DE CAFÉ**

**CARATINGA  
2019**

**FIDELES PINTO DE SOUZA**  
**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE VEÍCULO AUTÔNOMO QUE  
AUXILIE O CAFEICULTOR NO PROCESSO DE SECAGEM DE CAFÉ**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Elétrica das Faculdades DOCTUM de  
Caratinga, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Elétrica.**

**Área de concentração: Automação e  
Robótica.**

**Orientador: Prof. MSc. Ricardo Botelho  
Campos**

**CARATINGA**

**2019**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

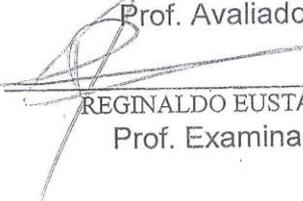
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE VEÍCULO AUTÔNOMO QUE AUXILIE O CAFEICULTOR NO PROCESSO DE SECAGEM DE CAFÉ, elaborado pelo(s) aluno(s) FIDELIS PINTO DE SOUZA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.**

Caratinga 05/12/2019

  
\_\_\_\_\_  
RICARDO BÓTELHO CAMPOS  
Prof. Orientador

VINICIUS MURILO LIMA RODRIGUES  
Prof. Avaliador 1

  
\_\_\_\_\_  
REGINALDO EUSTÁQUIO  
Prof. Examinador 2

## **Agradecimentos**

“Agradeço a Deus por me dar força, saúde e sabedoria, agradeço também a minha família que sempre esteve presente durante os meus estudos, e aos meus amigos da faculdade que sempre estiveram dispostos a me ajudar juntamente com meus professores”.

## ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Amperes

Ah – Amperes por hora

CI – Circuitos integrados

Cm – Centímetros

GND - *Ground*

HV – *high voltage*

KHertz - KiloHertz

LV – *low voltage*

MF – Micro Faraday

RISC – Computador com um conjunto reduzido de instruções

CISC – Computador com um conjunto complexo de instruções

V - Volts

Vcc – Tensão em corrente contínua

(...)

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Módulo bluetooth .....	15
FIGURA 2 - Plataforma Arduino uno .....	17
FIGURA 3 - Plataforma Arduino mega .....	18
FIGURA 4 - Sensor ultrassônico .....	19
FIGURA 5 - Sensor infravermelho E18-D80NK.....	21
FIGURA 6 - Plataforma monster shield .....	22
FIGURA 7 - Bússola digital.....	23
FIGURA 8 - Módulo relé .....	23
FIGURA 9 - Regulador de nível lógico .....	24
FIGURA 10 - Motores de vidro elétrico .....	25
FIGURA 11 - Bateria automotiva.....	25
FIGURA 12 - Regulador de tensão da série LM 78XX .....	26
FIGURA 13 - Esquema de ligação o regulador LM78XX .....	27
FIGURA 14 - Disposição do café no terreiro durante o dia .....	28
FIGURA 15 - Diagrama dos pinos das conexões lógicas.....	30
FIGURA 16 - Diagrama elétrico de todos os componentes.....	31
FIGURA 17 - Protótipo que se pretende construir.....	32
FIGURA 18 - Primeiro sistema de tração utilizado .....	33
FIGURA 19 - Novo sistema de tração .....	34
FIGURA 20 - Transmissão de tração entre o motor e o eixo .....	34
FIGURA 21 - Motores elétricos instalados com a bateria.....	35
FIGURA 22 - Montagem dos reguladores de tensão .....	36
FIGURA 23 - Conversor de nível lógico .....	37
FIGURA 24 - Reguladores de tensão, conversor de nível lógico, plataforma Arduino mega e plataforma monster shield.....	37
FIGURA 25 - Entradas e saídas de nível lógico da plataforma Arduino uno .....	38
FIGURA 26 - Calibração da bússola no sentido 1 .....	39
FIGURA 27 - Calibração da bússola no sentido 2.....	40
FIGURA 28 - Percurso utilizado como exemplo .....	40
FIGURA 29 - Calibração do sensor ultrassônico pela borda do terreiro.....	41
FIGURA 30 - Plataformas monster shield .....	42
FIGURA 31 - Módulo relé .....	43

FIGURA 32 - Teste do protótipo em cima do café.....	44
FIGURA 33 - Atuação do sensor infravermelho no fim do sentido1 .....	45
FIGURA 34 - Protótipo orientado pela bússola no sentido 2.....	46
FIGURA 35 - Problemas encontrados no sistema de tração.....	47
FIGURA 36 - Montagem final do protótipo .....	48

## RESUMO

Durante o processo de secagem de café é muito importante que o grão seja revolvido respeitando alguns critérios que garantam a qualidade do produto, principalmente nos primeiros dias após a colheita o que de fato garante a qualidade do produto, esse processo apesar de ser muito importante ainda é feito na maioria das vezes com ferramentas manuais, artesanais e exigem um esforço físico de quem as executa. Tendo em vista auxiliar o agricultor nesse processo, o presente trabalho tem por objetivo construir um protótipo de um robô capaz auxiliar o agricultor em partes do processo de secagem de café de forma autônoma, observar possíveis problemas através de testes feitos em campo e verificar ainda se é possível controlar a direção e velocidade do robô através de componentes eletrônicos de baixo custo. Os códigos do programa proposto, usam algumas bibliotecas de comunidades *open source*. Após os testes realizados em campo foram observados que o protótipo foi capaz de revolver o café, mas apresentou problemas mecânicos no sistema de tração, e problemas de componentes eletrônicos que dificultaram a conclusão do protótipo.

**Palavras-chave:** Robô. Bússola. *Shields*.

## ABSTRACT

During the coffee drying process, it is very important that the beans are revolved respecting some criteria that guarantee the quality of the product, especially in the first days after the harvest, which in fact guarantees the quality of the product. It is most often done with hand tools, handcrafted and require a physical effort from those who perform them. In order to assist the farmer in this process, the present work aims to build a prototype of a robot able to assist the farmer in parts of the coffee drying process autonomously, to observe possible problems through field tests and also to verify if It is possible to control the direction and speed of the robot through low cost electronic components. The proposed program codes use some open source community libraries. After field tests it was observed that the prototype was able to turn the coffee, but presented mechanical problems in the traction system, and electronic components problems that made the prototype difficult to complete.

**Keywords:** Robot. Compass. *Shields*.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 OBJETIVO GERAL</b> .....	12
<b>2.1 Objetivos Específicos</b> .....	12
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS</b> .....	12
<b>3.1 Classificação da Pesquisa Quanto aos Meios</b> .....	12
<b>3.2 Tratamento dos Dados</b> .....	13
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
<b>4.1 Robôs</b> .....	14
<b>4.2 Shields</b> .....	14
4.2.1 Módulo <i>bluetooth</i> .....	15
4.2.2 Plataforma Arduino .....	15
4.2.3 Sensor ultrassônico .....	18
4.2.4 Sensor infravermelho .....	20
4.2.5 <i>Shields</i> para motores .....	21
4.2.7 Módulos relé .....	23
<b>4.2.8 Regulador de nível lógico</b> .....	24
<b>4.3 Motores Elétricos</b> .....	24
<b>4.4 Bateria</b> .....	25
<b>4.5 Reguladores de Tensão</b> .....	26
<b>4.6 Sistema de Secagem de Café</b> .....	27
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	28
<b>6 DESENVOLVIMENTO</b> .....	33
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	49
<b>7.1 Sugestão de trabalhos futuros</b> .....	52
<b>8 REFERÊNCIAS</b> .....	53
<b>9 APÊNDICES</b> .....	58

## CONTINUAÇÃO DO SUMÁRIO

9.1 Apêndice A - Código utilizado no teste final .....	58
--	----

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de secagem do grão de café é essencial para que a qualidade do mesmo seja mantida. No trabalho de secagem do grão em terreiros, o agricultor utiliza muitas das vezes ferramentas manuais. Acontece que durante o dia, no modo convencional utilizado, o trabalhador precisa ficar exposto ao sol por um longo período de tempo, sem contar ainda outros fatores que podem ser prejudiciais como as questões da postura e esforço físico.

Como o avanço tecnológico tem aumentado de forma significativa nos últimos anos, principalmente na área da automação, executar tarefas de forma autônoma vem sendo muito utilizado na indústria ou até mesmo no campo, onde as máquinas são capazes de decidir, através de comando previamente estabelecidos, como realizar determinados trabalhos sem a necessidade da intervenção do homem.

O desafio da implementação de novas tecnologias no campo se associa ao fato de ser necessário reduzir custos das máquinas, para tentar tornar possível a aquisição financeira destes produtos.

Atualmente já existem robôs autônomos capazes de executar pequenas tarefas do dia-a-dia como limpar a casa ou até mesmo cortar a grama, o que facilita muito a vida das pessoas. Implementar o uso máquinas autônomas no campo também seria de grande contribuição para o produtor rural, principalmente na agricultura do café onde o uso de uma máquina capaz de revolver o café de forma autônoma poderia diminuir o trabalho feito de forma manual.

Tendo em vista a necessidade de agilizar, facilitar e aumentar a qualidade do processo de secagem do grão, “seria possível o uso de um robô autônomo capaz de revolver o café?”. Diante deste fato, aponta-se como hipótese: “é possível construir um protótipo que tenha capacidade autônoma equipado com uma ferramenta para revolver o grão, e essa automação pode ser realizada utilizando dispositivos de pequeno valor comercial”.

O seguinte trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um robô autônomo com uma rota preestabelecida, utilizando componentes eletrônicos de baixo custo e equipado com uma ferramenta capaz de revolver o café em terreiros cimentados. Não se tem por intenção descrever de forma detalhada todas as etapas para

construção das partes estruturais e mecânicas do robô, e nem automatizar todo o processo de secagem do grão de café.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Desenvolver um protótipo de um veículo autônomo utilizando o controlador ATMEGA 328 e ATMEGA 2560, e *shields* capazes de fazer leitura de trajetórias e reconhecimento de obstáculos. Configurar ainda uma rota pré-estabelecida para que o protótipo possa se mover de forma autônoma e acoplar ao mesmo uma ferramenta que seja capaz de revolver o café.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- a) Controlar a velocidade e direção de um protótipo movido por motores elétricos, através da plataforma Arduino.
- b) Automatizar a rota do robô utilizando sensores ultrassônicos, a plataforma Arduino e uma bússola eletrônica.
- c) Desenvolver pelo menos um percurso em escala reduzida para o robô seguir de forma autônoma.

## **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS**

### **3.1 Classificação da Pesquisa Quanto aos Meios**

Foram utilizados para embasamento teórico da pesquisa livros voltados a linguagem de programação, livros de automação, manuais, projetos de pesquisa e sites acadêmicos como *scielo.org* e *google acadêmico*. Ainda foram utilizados para complemento de estudo a folha de dados de alguns componentes como os *datasheets*, o que tornou suficiente os dados relacionados a pesquisa para embasamento teórico.

### **3.2 Tratamento dos Dados**

Após a escolha do tema foram descritos alguns tipos de robôs autônomas já existentes no mercado, além de como eles estão presentes na sociedade atual. No referencial da pesquisa foram descritos componentes que serão utilizados na montagem de protótipos. Após essa análise foram feitas considerações sobre o uso de um protótipo autônomo que poderia ser guiado por sensores e bússola através da plataforma de controle Arduino.

Para analisar se realmente é possível usar um robô autônomo para auxiliar o agricultor a revolver o café será utilizado o método de pesquisa experimental onde será desenvolvido um protótipo e feitos testes em campo. O mesmo deve ser capaz de seguir pelo menos um percurso em escala reduzida, no terreno revolvendo o café com uma ferramenta acoplada ao protótipo.

## **4 REFERENCIAL TEÓRICO**

Como marco teórico pode ser citado um trecho da obra dos autores André, Inamasu e José (2008, p.128), onde os autores descrevem que “a automação de tarefas vem no sentido de trazer conforto e redução da jornada de trabalho”, ainda em outro trecho da obra descrevem que “dentro das áreas de pesquisa de sistemas autônomos uma que se enfatiza é a área de veículos não tripulados. Robôs móveis foram desenvolvidos e podem operar autonomamente em diferentes ambientes, tais como no ar, água e no espaço externo” (ANDRÉ, INAMASU, JOSÉ, 2008).

E reforça o interesse do uso desse tipo de veículo na agricultura afirmando que “existe um aumento contínuo no interesse de pesquisas sobre veículos terrestres não tripulados, especialmente para uso nas áreas militar, agrícola e transporte terrestre” (ANDRÉ, INAMASU, JOSÉ, 2008). Tendo como base as ideias descritas acima que enfatizam o uso de máquinas autônomas na agricultura, e para complemento de estudo no desenvolvimento de um protótipo de um robô autônomo, capaz de revolver café em terrenos cimentos, serão abordados os seguintes temas descritos a seguir.

## 4.1 Robôs

O surgimento da palavra robô segundo (MATARIC',2007, p.17) “resulta da combinação das palavras tchecas *rabata*, que significa “trabalho obrigatório” e *robotnik*, que significa “servo””. De fato, nos dias atuais a utilização de máquinas autônomas tem aumentado gradativamente por serem capazes de decidir como realizar determinadas tarefas conforme descreve (MATARIC', 2007, p.17) “Um robô é um sistema autônomo que existe no mundo físico, pode sentir o seu ambiente e pode agir sobre ele para alcançar alguns objetivos”.

Para verificar se é possível automatizar o processo de secagem de café com uso de um robô, será construído um protótipo que conforme descreve (ENRIQUE, *et al*, 2006, p.3) “O protótipo de um produto ou componente é a parte essencial no seu processo de desenvolvimento, pois possibilita que a análise de sua forma e funcionalidade seja feita numa fase anterior à produção”.

## 4.2 Shields

Os circuitos integrados chamados *shields* segundo (LUÍZ, 2015, p.144) “são placas de circuito impresso que utilizam a padronização geométrica e de pinos para alimentar e se comunicar com os periféricos adicionados, aumentando as funcionalidades disponíveis”.

Para (BANZI, p.31, 2015) “Há pouco tempo, trabalhar com hardware significava criar circuitos do zero” ainda segundo (BANZI, 2015, p.3):

Com o surgimento de novas tecnologias e processadores digitais, essas funções antes implementadas por fios, foram substituídas por softwares. Os softwares são mais fáceis de modificar do que o hardware, basta pressionar algumas teclas, e você poderá alterar radicalmente a lógica de um dispositivo e testar duas ou três versões no mesmo período de tempo que seria necessário para soldar alguns resistores.

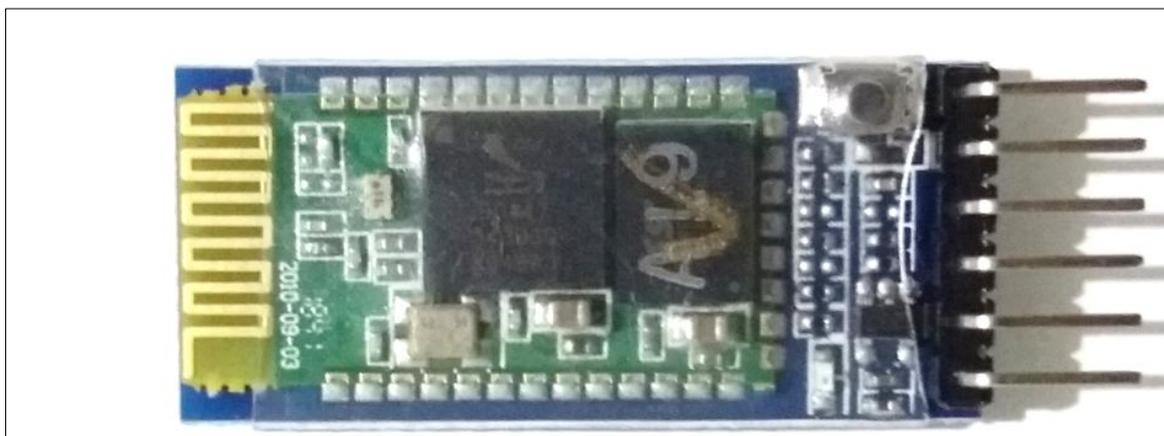
Por serem de fácil utilização com outros periféricos conforme visto anteriormente, serão utilizados vários *shields* para controle do protótipo, como módulos *bluetooth*, sensores infravermelhos e ultrassônicos, bússola digital, plataforma *monster shield*, plataformas Arduino, um regulador de nível lógico e

módulo relé. A seguir são descritos todos os componentes que serão utilizados no protótipo e suas principais características de operação.

#### 4.2.1 Módulo *bluetooth*

O módulo *bluetooth* HC-06 tem várias aplicações como transmitir e receber informações através da comunicação *bluetooth* e pode ainda ser utilizado em controle remoto de projetos segundo o fabricante (GUANGZHOU, 2019) traduzido para a língua portuguesa. Na Figura 1 pode ser visto o módulo *bluetooth* que será utilizado no projeto

FIGURA 1 - Módulo *bluetooth*



Fonte: Autor, 2019

#### 4.2.2 Plataforma Arduino

O Arduino é uma pequena placa microcontroladora contendo um plugue de conexão USB (*Universal Serial Bus*), que permite a ligação com um computador, além de contar com um conjunto de pinos de conexão, que torna possível a ligação de dispositivos eletrônicos externos, como motores, relés, sensores luminosos, diodos a laser, alto-falantes, microfones e outros (MONK, 2017).

A capacidade de controlar vários processos ao mesmo tempo torna o uso desse tipo de plataforma muito comum em protótipos. A plataforma Arduino uno tem seis entradas analógicas e quatorze entradas digitais onde os sinais elétricos

recebidos por essas portas através de sensores podem ser convertidos em comandos através de programação, e é alimentado com tensão em corrente contínua (Vcc) que pode variar entre 7Vcc a 9Vcc Monk (2013).

Essa plataforma recebe e envia comandos através da linguagem de programação que segundo (MARIA *et al*, p.05) “Uma linguagem de programação serve como meio de comunicação entre o indivíduo que deseja resolver um determinado problema e o computador escolhido para ajudá-lo na solução”. Para (LUIZ, *et al*, 2019, p. 93) “A linguagem de programação utilizada no Arduino é baseada na linguagem C, desenvolvida nos anos 1970 pela *Bell Laboratories* e que é muito tradicional e conhecida, porém com alguns facilitadores para interpretação humana”.

A linguagem de programação é interpretada através de um microcontrolador que segundo (SOUZA, *et al*, 2018, p.124) “São a evolução dos microprocessadores, por incluir muitos periféricos no mesmo chip, a custos acessíveis para permitir a automação de dispositivos e equipamentos”.

A interface de programação da plataforma é um software livre Segundo (BANZI, 2015, p.17) “O software do Arduino, conhecido como *Integrated Development environment* (IDE), é gratuito. Você pode baixa-lo no site ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc))”.

O processador série ATmega 328 para Monk (2015, p. 41) “é o microcontrolador utilizado no Arduino Uno, e seu antecessor é o Duemilanove”. Esses dispositivos são muito rápidos quanto a capacidade de processamento segundo o fabricante (MEGA AVR, 2018, p.1) ”Alcançam taxas de transferência da CPU aproximando-se de um milhão de instruções por segundo (MIPS) permitindo ao projetista do sistema otimizar o consumo de energia versus a velocidade do processamento”. Na Figura 2 pode ser visto a plataforma Arduino uno que será utilizada.

FIGURA 2 - Plataforma Arduino uno



Fonte: Autor, 2019

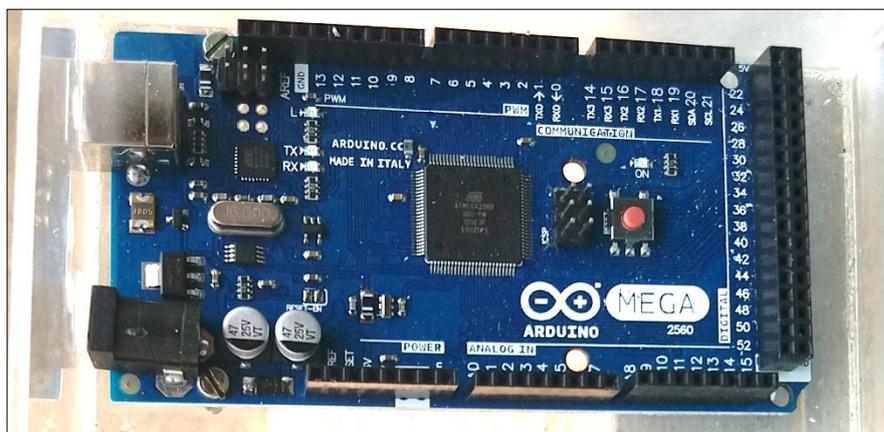
Conforme visto acima essa plataforma dispõe várias entradas e saídas analógicas e digitais é capaz de receber sinais de vários sensores e ao mesmo tempo processar e enviar comandos.

Além dessa plataforma será utilizado ainda um Arduino MEGA 2560, que conforme descreve (LUIZ e ADAMSHUK, 2015, p.131) “é um microcontrolador de baixo custo de 8 *bits* baseado em arquitetura RISC de 100 pinos”.

O processador que essa plataforma utiliza é o ATmega 2560 que segundo o fabricante (ATMEL, 2014) “A arquitetura resultante é mais eficiente em termos de código e ao mesmo tempo alcança taxas de transferência até dez vezes mais rápidas que os microcontroladores CISC convencionais”.

As fontes de alimentação do Arduino uno e mega estão em uma faixa de operação de 7V a 12V, ou seja, podem ser ligados em um mesmo circuito segundo (LUIZ e ADAMSHUK, 2015, p.131). Na Figura 3 pode ser visto o Arduino mega que será utilizado:

FIGURA 3 - Plataforma Arduino mega



Fonte: Autor, 2019

#### 4.2.3 Sensor ultrassônico

Segundo (LUIZ E AUGUSTO, 2015, p.149) “ esse sensor emite um sinal ultrassônico que reflete em um objeto e retorna ao sensor, permitindo calcular a distância do objeto em relação ao sensor, adotando como base o tempo da trajetória do sinal. Esse tipo de sensor tem funcionamento parecido com radar ou sonar sendo capaz de detectar um objeto ou obstáculo à sua frente, através de ondas sonoras de alta frequência acima de 18 kiloHertz (kHertz) que são produzidas pelo próprio sensor, refletidas no obstáculo e recebidas pelo mesmo.

A distância entre o obstáculo e o sensor é calculada a partir do tempo em que o sensor envia o sinal até um obstáculo e o recebe de volta e a comunicação é feita através dos pinos TX E RX (SYNACORP, 2019). O cálculo da distância entre o sensor e um objeto a sua frente pode ser descrito pela equação:

$$D = (T \times V) \div 2 \quad (1)$$

Onde D é a distância calculada entre o sensor e o obstáculo, T é o tempo em que a onda sonora demora para ser enviada e recebida novamente e V é a velocidade do som no ar que segundo (YOUNG, 2008, p. 147) a 20º Celsius é de aproximadamente 344 metros por segundo (m/s). Abaixo podem ser vistas as especificações desse tipo de sensor segundo o fabricante, na Tabela 1:

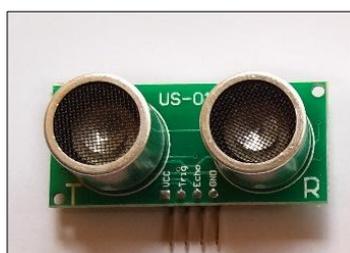
TABELA 1-Especificações do módulo ultrassônico US-015

DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS
Resolução até	0.5 milímetros
Distância de captação	2 centímetros a 4 metros
Tensão de alimentação	5 volts DC
Corrente de operação	2,2 mA
Modo de comunicação	GPIO
Temperatura de operação	0 a + 70° Celsius
Ângulo de detecção	< 15°
Detecção de precisão	0,1 Cm + 1%
Tamanho	45 mm x 20 mm x 1,2 mm

Fonte: Synacorp Trading & Service, 2019

Como visto acima esse tipo de sensor ultrassônico é capaz de identificar obstáculos à sua frente com distâncias de até quatro metros de forma precisa. Para auxiliar a forma com que o protótipo irá se orientar no terreno serão utilizados além de outros sensores, um sensor ultrassônico mostrado na Figura 4 a seguir.

FIGURA 4 - Sensor ultrassônico



Fonte: Autor, 2019

#### 4.2.4 Sensor infravermelho

O sensor infravermelho reflexivo industrial E18-d80nk é composto de um emissor e um receptor infravermelhos, com capacidade de detecção de obstáculo os entre 3 centímetros (cm) até 80 cm. A distância de captação pode ser regulada através de um potenciômetro variável existente na parte de trás do sensor, sendo que o sinal enviado e recebido é convertido em uma saída digital, caso exista alguma barreira na frente do sensor, ele envia um sinal de saída alto igual a um, caso não haja nenhum obstáculo na frente do sensor o sinal de saída será sempre baixo ou zero (SYNACORP, 2019).

Como um dos detectores de obstáculo e para auxiliar na orientação do protótipo no terreno será utilizado um sensor infravermelho industrial E18d80nk. Os detalhes técnicos desse tipo de sensor podem ser vistos na Tabela 2 mostrada a seguir:

TABELA 2-Especificações técnicas do sensor infravermelho E18-D80NK

Tensão de operação	5 Volts
Corrente de operação	10 – 15 mA
Corrente de saída	100 mA
Alcance	3 – 80 cm ajustável
Tempo de resposta	< 2 segundos
Temperatura de operação	-25°C a 55°C
Dimensões	L = 45 mm x d = 18 mm
Peso	20 g

FONTE: Synacorp, 2019

Conforme visto na tabela acima esse sensor pode ser alimentado com uma fonte de 5Vcc e opera com uma corrente de 10mA a 15mA, por ter um consumo de energia elétrica baixo e ter um tempo de resposta menor que 2 segundos serão utilizados quatro sensores infravermelhos, um deles pode ser visto na Figura 5:

FIGURA 5 - Sensor infravermelho E18-D80NK

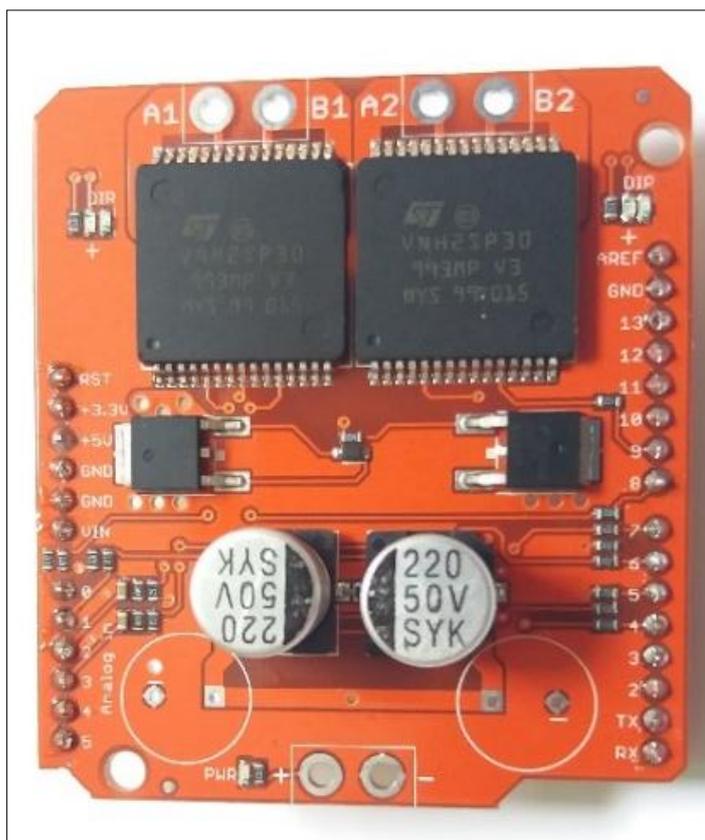


Fonte: Autor, 2019.

#### 4.2.5 Shields para motores

Utilizar *shields* em projetos que são necessários fazer o controle da velocidade dos motores pode evitar problemas nos componentes dos circuitos lógicos. Segundo (LUÍZ, *et al*, 2016, p.192) “Essas placas permitem isolar o circuito do motor dos demais do projeto e também do próprio Arduino, evitando, dessa maneira, danos”.

O módulo *monster shield* é um a plataforma com várias entradas e saídas analógicas e digitais, sendo capaz de controlar a velocidade e o sentido de rotação de até dois motores através de sinais de pulso (PWM) de forma distinta e pode ser acoplada ao Arduino. A tensão de alimentação pode ser de 5,5vcc até 16vcc e corrente máxima de operação de até 30A, sendo conectados um dos motores aos pinos A1, B1 e o segundo aos pinos A2 e B2, segundo o fabricante (STMICROELETRONICS, 2008). A seguir na Figura 6 pode ser visto uma plataforma *monster shield*:

FIGURA 6 - Plataforma *monster shield*

Fonte: Autor, 2019

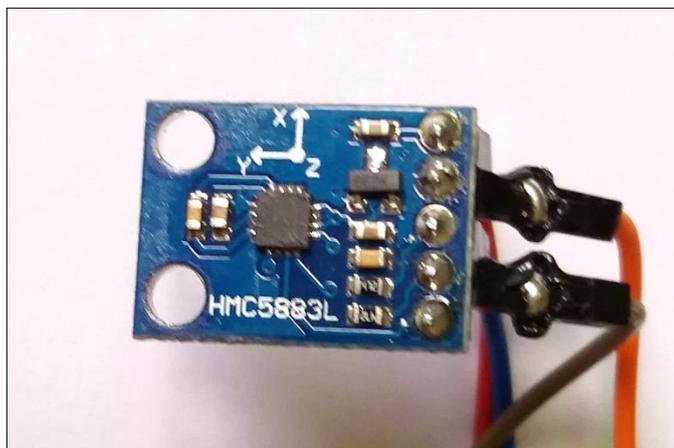
#### 4.2.6 Bússola digital

Para (JORGE, 2016, p. 16) “A navegação de um robô móvel consiste na capacidade que este apresenta em se movimentar num determinado ambiente”. No sistema de navegação de um robô segundo (APARECEIDA, *et al*, 2014, p.161) “é necessário que os robôs sejam equipados com dispositivos de percepção capazes de fornecer algum tipo de informação de seu entorno”.

Ainda conforme descreve (APARECEIDA, *et al*, 2014, p.61) “é necessário determinar a posição e orientação do robô com relação a algum referencial fixo no mundo”. Nesse caso será utilizado uma bússola digital do modelo HC 5883L onde segundo o fabricante (HONEYWELL, 2013) é um “sensor magnético de baixo campo com uma interface digital para aplicação de magnetometria de baixo custo”.

Essa bússola é alimentada com tensão de 5Vcc e faz conexão com outros controladores através da comunicação I2c (HONEYWELL 2013). Na Figura 7 pode ser visto o sensor utilizado:

FIGURA 7 - Bússola digital



Fonte: Autor, 2019

#### 4.2.7 Módulos relé

Segundo a folha de dados fornecida pelo fabricante (Serial Link Comunicações & Serviços, 2011) um módulo relé pode ser usado para “Acionamento de cargas através de microcontroladores”. O sinal lógico de acionamento do módulo pode ser de nível alto 5Vcc ou nível baixo 0Vcc onde o módulo atua com as portas NA (Normalmente Aberto) ou NF (Normalmente Fechado) dependendo da aplicação, o circuito de nível lógico pode ainda se alimentado por uma fonte externa de 12Vcc (Serial Link Comunicações & Serviços, 2011). Na Figura 8 pode ser visto o módulo relé que será utilizado.

FIGURA 8 - Módulo relé



Fonte: Autor, 2019

#### 4.2.8 Regulador de nível lógico

Os reguladores de nível lógico Segundo o fabricante (FAIRCHILD,2005) “são particularmente adequados para aplicações de baixa tensão e baixa corrente, como pequeno controle de servo motor, drivers de porta MOSFET de potência e outras aplicações de comutação”. Na Figura 9 pode ser visto o regulador de nível lógico que será utilizado.

FIGURA 9 - Regulador de nível lógico



Fonte: Autor, 2019

#### 4.3 Motores Elétricos

Segundo Chapman (2013), motores elétricos são máquinas que convertem energia elétrica em energia mecânica. Para que o robô possa se movimentar no terreno serão utilizados dois motores elétricos de corrente contínua, cada um com tensão de 12 Volts em corrente contínua (Vcc), e aproximadamente 2A e torque de aproximadamente 9,23Nm segundo (MABUCH MOTOR, 2013). Esses tipos de motores podem ser visualizados a seguir na Figura 10:

FIGURA 10 - Motores de vidro elétrico



Fonte: Autor, 2019

#### 4.4 Bateria

As pilhas e baterias são muito utilizadas nos dias atuais como fontes alternativas de energia elétrica, enquanto as pilhas são formadas por dois eletrodos e um eletrólito as baterias podem ser definidas como um conjunto de pilhas que podem ser ligadas em série ou paralelas (CARNEIRO, R. L., et al, 2017). Quanto a classificação pode ser do tipo primárias, que são descartadas após o uso e as secundárias que podem ser recarregadas muito utilizadas em veículos (CARNERO, R. L., et al, 2017). Como fonte de energia para o protótipo será utilizada uma bateria de 12Vcc e 45 amperes por hora (ah) que pode ser vista na Figura 11 a seguir:

FIGURA 11 - Bateria automotiva

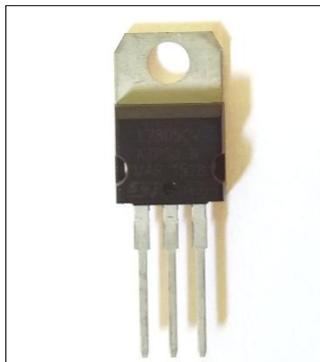


Fonte: Autor, 2019

## 4.5 Reguladores de Tensão

Segundo (CESAR e CHOUEI, 2014, p.103) “Os circuitos integrados (CI) reguladores de tensão fornecem na saída uma tensão fixa a partir de uma tensão de entrada não regulada, que pode ser positiva ou negativa”. Ainda segundo (CESAR E CHOUEI, 2014, p.103) “Para fontes simétricas com tensão de saída fixa, os circuitos integrados mais utilizados são os da série 78XX e 79XX, que são fabricados para tensões de saída desde +3,3Vcc até +-24Vcc, com correntes de saída de 100mA até 3A”. Como a alimentação dos sensores e controladores do protótipo apresentam tensões diferentes da bateria de 12Vcc, serão utilizados os reguladores de tensão do modelo LM 7805 e LM 7809, com saídas fixas de tensão respectivas de 5Vcc e 9Vcc. A seguir na Figura 12 podem ser vistos os reguladores que serão utilizados:

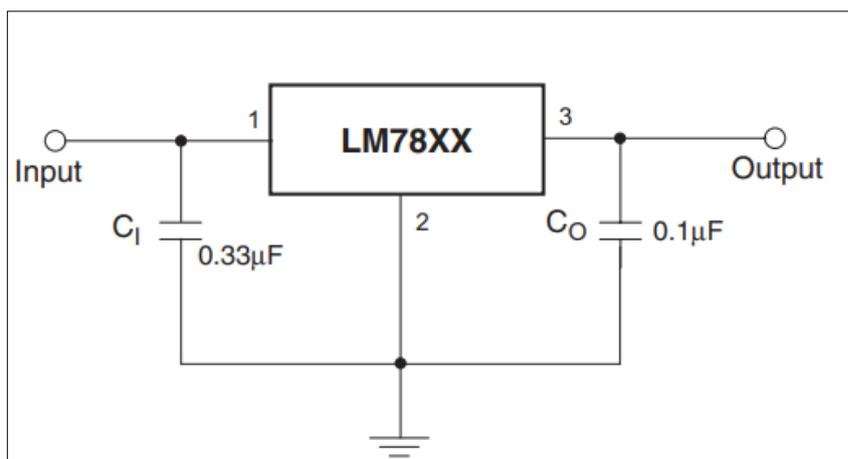
FIGURA 12 - Regulador de tensão da série LM 78XX



Fonte: Autor, 2019

O reguladores de tensão com saídas fixas das série LM78XX deve ser montado em um circuito acompanhado de dois capacitores eletrolíticos, um de 0.33 microfarads (mf) na entrada e um de 0.1 mf na saída conforme descreve o fabricante (Fairchild, 2006) e pode ser visto na Figura 13 mostrada a seguir:

FIGURA 13 - Esquema de ligação o regulador LM78XX



Fonte: Fairchild, 2006

#### 4.6 Sistema de Secagem de Café

No sistema de secagem inicial do café é necessário segundo (MAGNO, *et al*, 2016, p.35) “Esparramar o café no terreiro em camadas de 2 a 3 cm de espessura e iniciar o revolvimento imediato”. Isso se deve ao fato que o grão ainda tem muita água em seu interior que pode ocasionar fermentação do café e perda de qualidade. O grão ainda precisa ser revolvido pelo menos uma vez por hora durante todo o dia principalmente nas primeiras etapas do processo de secagem (MAGNO, *et al*, 2016).

Na Figura 14 a seguir pode ser visto um terreiro cimentado onde são feitos os processos de secagem do café. Ainda pode ser visto como o café precisa ser espalhado no terreiro e ainda a maneira com que ele precisa ser revolvido com ferramentas manuais, durante o dia.

FIGURA 14 - Disposição do café no terreiro durante o dia



Fonte: Manual do café, 2016

Conforme visto na figura acima todo o café do terreiro está sendo revolvido em uma mesma direção, o que de fato pode ser comparado com um movimento sempre em linha reta em duas direções diferentes.

## 5 METODOLOGIA

Os métodos utilizados na realização do trabalho foram de pesquisas em livros voltados a linguagem de programação, automação, robótica, prototipagem e eletrônica, além de *datasheets* e artigos acadêmicos. Foram realizadas também pesquisa de campo onde testes foram realizados para observar possíveis problemas que poderiam ser encontrados no projeto.

A alimentação da plataforma arduino uno é feita através da entrada Vcc com uma tensão de 9Vcc e o primeiro componente utilizado nessa plataforma foi o módulo *bluetooth* que será responsável por enviar e receber informações de comandos entre a plataforma arduino e um aparelho de celular.

Esse módulo é alimentado com tensão de 5Vcc e se comunica através dos pinos TX e RX, conforme descreve (GUANGZHOU, 2019). Na plataforma arduino foram utilizados os pinos 4 e 3 para se comunicar com esse módulo sendo conectados a eles respectivamente os terminais TX e RX.

Foi utilizado ainda um converso de nível lógico entre a conexão do módulo *bluetooth* e a plataforma arduino. Conforme descreve o fabricante (FAIRCHILD,2005) possui 4 entradas e 4 saídas sendo que as portas Lv1,2,3 e 4 são portas de entrada lógica de 3,3Vcc e alimentadas com tensão de 3,3Vcc pelos terminais Lv e Gnd. As portas Rv1,2,3 e 4 se comunicam com tensão em nível lógico de 5Vcc e as portas Rv e Gnd são alimentadas por 5Vcc.

O *shield* do sensor ultrassônico se comunica através dos pinos ECHO e TRING e é alimentado com tensão de 5Vcc (SYNACORP, 2019), a comunicação entre esse sensor e o arduino foram feitas através das portas digitais 9 ao pino ECHO e 8 ao pino TRING.

O sensor infravermelho é alimentado com uma tensão de 5Vcc e tem comunicação digital sendo capaz de enviar sinais do tipo alto ou baixo segundo Synacorp (2019), esse comando é enviado através de uma única saída. Foram utilizados quatro sensores infravermelhos conectadas as entradas respectivas dos terminais do arduino uno 13, 12, 11 e 10.

A ponte h *monster shield* pode ser conectada diretamente a plataforma arduino pois as disposições dos seus pinos são ideais para esse tipo de ligação, sendo que a alimentação lógica dessa plataforma é de 5Vcc. São utilizados para conectar os motores os terminais A1 e B1 no motor do lado esquerdo e A2 e B2 do lado direito segundo (STMICROELETRONICS, 2008). Esse modelo será utilizado para controlar a velocidade e direção dos motores de vidro elétrico no protótipo, que por sua vez vão ser responsáveis de tracionar o robô.

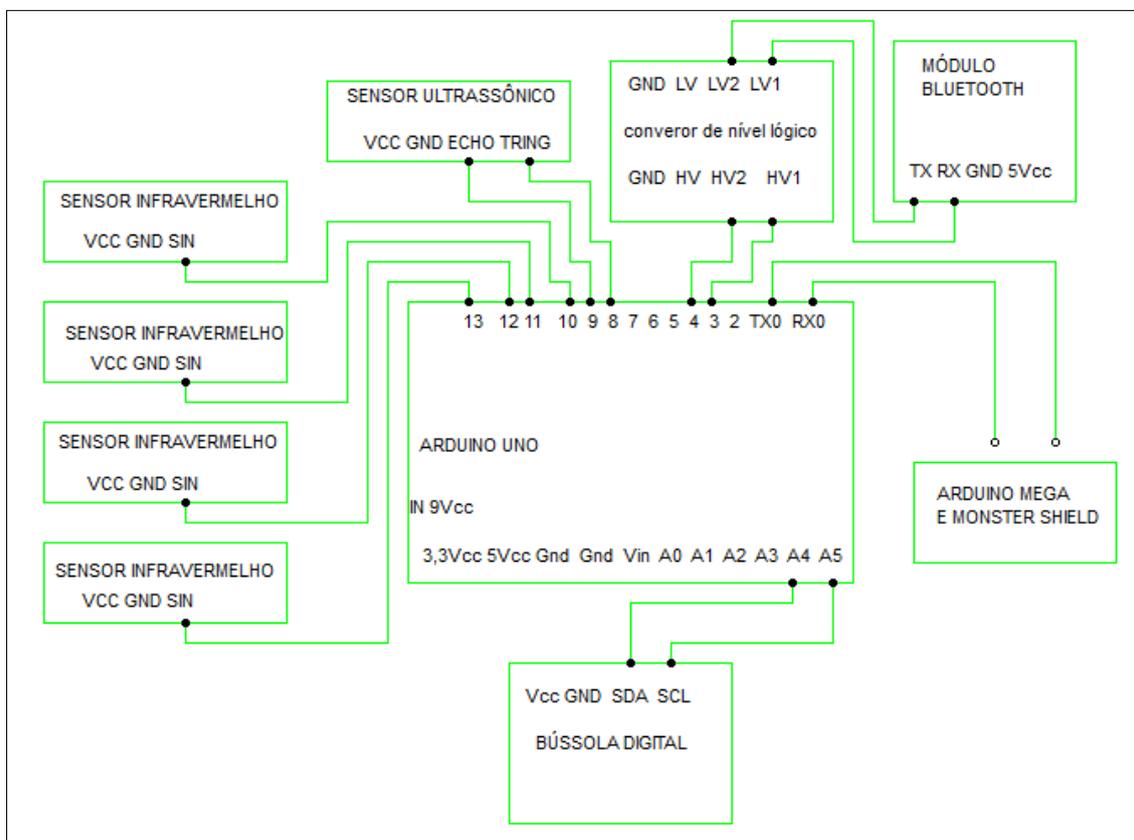
A bússola digital HMC 5883L será utilizada na orientação do protótipo que precisa de pelo menos um ponto fixo no planeta para ser capaz de navegar em uma rota pré-estabelecida segundo (APARECEIDA, *et al*, 2014, p.61). Esse sensor dispõe de quatro portas sendo que duas são Gnd e Vcc que são as entradas de tensão de 5Vcc, e duas portas sendo uma a SCL e SDA responsáveis pela

comunicação I2C, conforme descreve Honeywell (2013). As conexões essa bússola e o arduino são feitas através dos pinos SCL conectado ao pino analógico A5 do arduino uno e SDA conectado ao pino A4 do arduino.

O módulo relé será responsável de acionar os motores elétricos de corrente contínua após os *drivers monster shield* apresentarem problemas, esse módulo é alimentado com tensão de 12 Vcc segundo (Serial Link Comunicações & Serviços, 2011) e cada relé pode ser acionado separadamente através das portas de entrada de sinal IN1, IN2, IN3, IN4, IN5, IN6, IN7 e IN8.

A conexão entre os relés e a plataforma arduino será feita através dos pinos 2 e 4 do arduino uno. Os detalhes da conexão lógica de todos os componentes eletrônicos podem ser vistos no Figura 15:

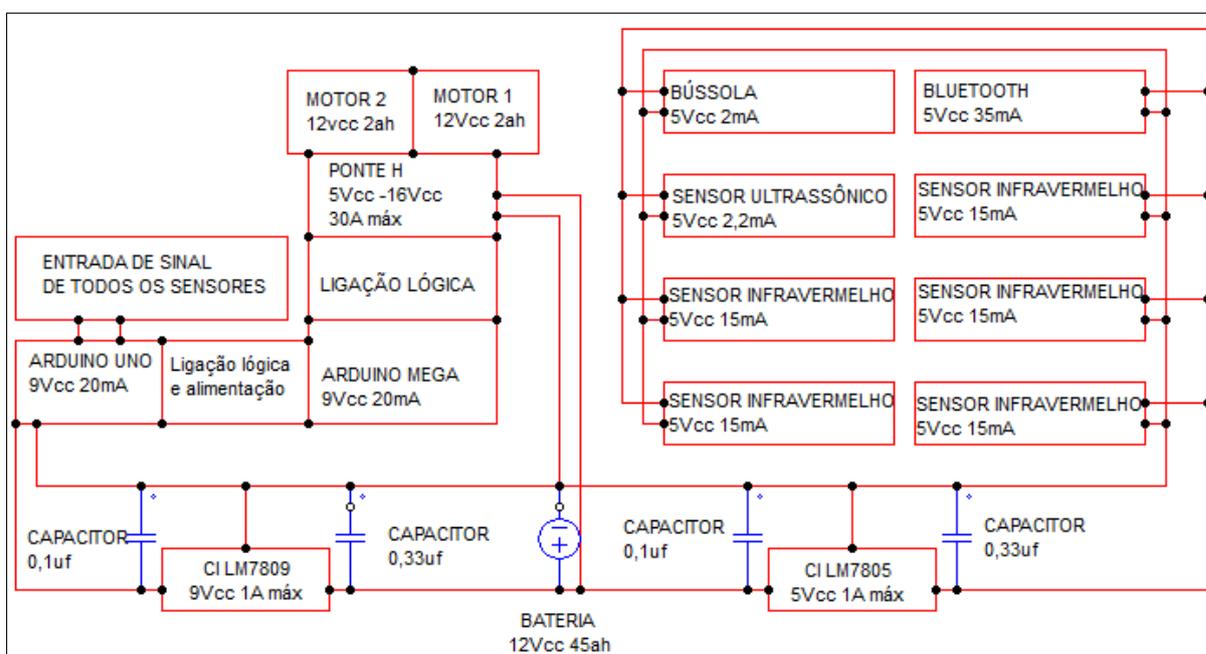
FIGURA 15 - Diagrama dos pinos das conexões lógicas



Os motores de vidro elétrico vão fazer parte do sistema de tração do protótipo, esses motores serão acoplados a um sistema de esteiras. A conexão dos motores a fonte de energia é feita por dois fios que serão alimentados pela bateria automotiva de 12Vcc através da plataforma controladora *mosnter shield*.

Os reguladores de tensão da série LM 7809 e LM 7805 conforme descreve (FAIRCHILD, 2006), serão utilizados para regular a tensão de saída da bateria que é de 12Vcc para 9Vcc e 5Vcc respectivamente. Essa regulação se torna necessária pois os sensores e módulos utilizados operam com tensão de 5Vcc e as plataformas arduino com tensão de 9Vcc. Na Figura 16 pode ser visto o diagrama elétrico de todos os componentes que serão utilizados no protótipo

FIGURA 16 - Diagrama elétrico de todos os componentes



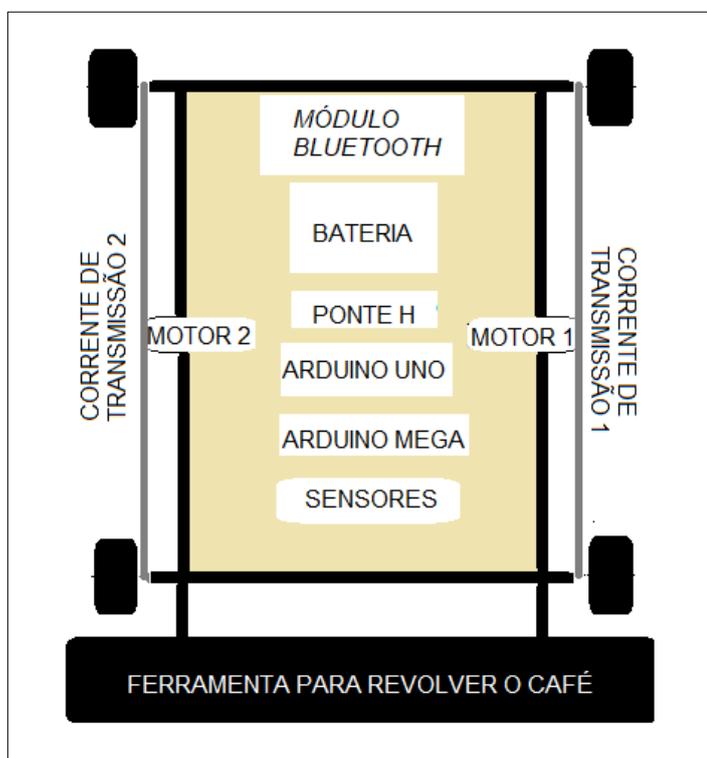
Fonte: Autor, 2019

Conforme visto anteriormente o componente LM 7809, regula a tensão da bateria de 12Vcc para 9Vcc alimentando as plataformas Arduino uno e mega, e o circuito integrado LM 7805, regula a tensão de entrada para 5Vcc que alimenta os sensores e *shields*.

O modelo de protótipo que se pretende construir é composto de um chassi de metal com quatro rodas independentes e duas correntes que conectam o sistema de

tração entre os eixos dianteiro e traseiro. Os detalhes dos componentes que se pretende utilizar podem ser vistos na Figura17:

FIGURA 17 - Protótipo que se pretende construir



Fonte: Autor, 2019

Conforme visto na figura anterior serão utilizados para controle do protótipo sensores, motores elétricos e plataformas controladoras. Para a construção da parte estrutural serão utilizadas chapas de metalão soldadas além de rodas e um sistema de tração feito a partir de correntes simples que irão impulsionar as quatro rodas do protótipo ao mesmo tempo.

Uma ferramenta para revolver o café será colocada na frente do protótipo afim de revolver o café e diminuir a quantidade do grão na frente do robô, que poderia comprometer o deslocamento do mesmo no terreno.

## 6 DESENVOLVIMENTO

Para verificar se é possível revolver o café de forma autônoma foi desenvolvido um protótipo que é a melhor forma de observar e corrigir os problemas encontrados com o robô conforme descreve (MATARIC', 2007, p.17). Para construir o robô foram definidos o tipo de chassi que seria utilizado e o sistema de tração das rodas, visto que o robô deve ter a capacidade de se deslocar de um ponto até o outro em cima do café com o mínimo de escorregamento, o que poderia comprometer o processo de secagem do grão.

Na Figura 18 pode ser visto uma das rodas utilizadas no primeiro protótipo e como era o sistema de tração:

FIGURA 18 - Primeiro sistema de tração utilizado



Fonte: Autor, 2019

Através de alguns testes realizados com o robô da imagem acima mesmo antes da ligação dos motores e da parte elétrica concluiu-se que esse modelo não ofereceu tração quase nenhuma em cima do café visto que as rodas eram muito estreitas e ao passar em cima do grão escorregavam muito, tornando a utilização dessas rodas um processo inviável. Para melhoria dos problemas encontrados na

tração definiu-se um novo modelo que utilizasse esteiras emborrachadas, feitas a partir de correntes com aba e pinhões de moto, tornando a aderência com o solo muito maior. Na Figura 19 pode ser visto o robô com o novo sistema de tração.

FIGURA 19 - Novo sistema de tração



Fonte: Autor, 2019

Conforme visto acima, esse modelo de esteira apresenta maior aderência por sua superfície de contato com o solo ser maior que protótipo anterior, cada esteira tem tamanho de 90 centímetros no total e 72 parafusos fixando as borrachas a corrente, cada borracha tem tamanho médio de 8 centímetros de comprimento e 2,5 centímetros de largura. Os pinhões que sustentam as correntes foram fixados nos eixos de 4 cubos de bicicleta que por sua vez foram soldados ao chassi. Na Figura 20 podem ser vistos mais detalhes da parte mecânica das correntes:

FIGURA 20 - Transmissão de tração entre o motor e o eixo



Fonte: Autor, 2019

Conforme visto na figura acima foram utilizados dois sistemas de transmissão através de correntes do lado esquerdo e direito, o que está situado entre as coroas

vermelhas é o que movimenta o eixo do cubo transmitindo força do motor para as correntes, o segundo que está fixado no cubo através do pinhão proporciona o movimento do cubo dianteiro através das esteiras, juntamente com o cubo traseiro.

O próximo passo na montagem do protótipo foi a instalação dos motores de vidro elétrico alimentados por uma tensão de 12Vcc e corrente de até 2ª conforme descreve o fabricante (MABUCH MOTOR, 2013). Foram realizados testes com esses motores no protótipo alimentados por uma bateria automotiva para comprovar se eles teriam a potência necessária para movimentar o robô e realizar o trabalho desejado, a seguir na Figura 21 podem ser vistos os motores instalados juntamente com a bateria:

FIGURA 21 - Motores elétricos instalados com a bateria



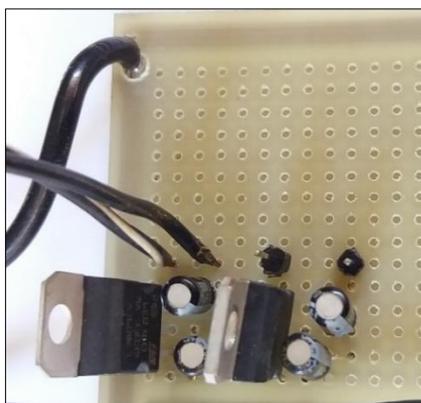
Fonte: Autor, 2019

Conforme visto na figura anterior a parte mecânica das correntes e motores ficaram concluídas e após a realização de alguns testes no terreiro cimentado onde o robô foi controlado manualmente através da plataforma Arduino, plataforma *monster shield* e o módulo *bluetooth* foi comprovado o funcionamento parcial do robô.

Para alimentar os circuitos de tensão menor que a da fonte foram utilizados reguladores de tensão conforme descreve (CESAR E CHOUERI, 2014, p.103) visto que a bateria utilizada apresenta uma tensão de saída de 12Vcc e alguns

componentes como a plataforma Arduino e sensores são alimentados com tensão de 9Vcc e 5Vcc para essa conversão utilizou-se dois reguladores de tensão do modelo LM 7809 que apresenta uma saída 9Vcc e LM 7805 com saída de 5Vcc e quatro capacitores eletrolíticos sendo dois de 0,33mf e dois de 0,1mf conforme descreve o fabricante (FAIRCHILD, 2016). Na Figura 22 podem ser vistos a montagem dos reguladores de tensão e dos capacitores eletrolíticos.

FIGURA 22 - Montagem dos reguladores de tensão



Fonte: Autor, 2019

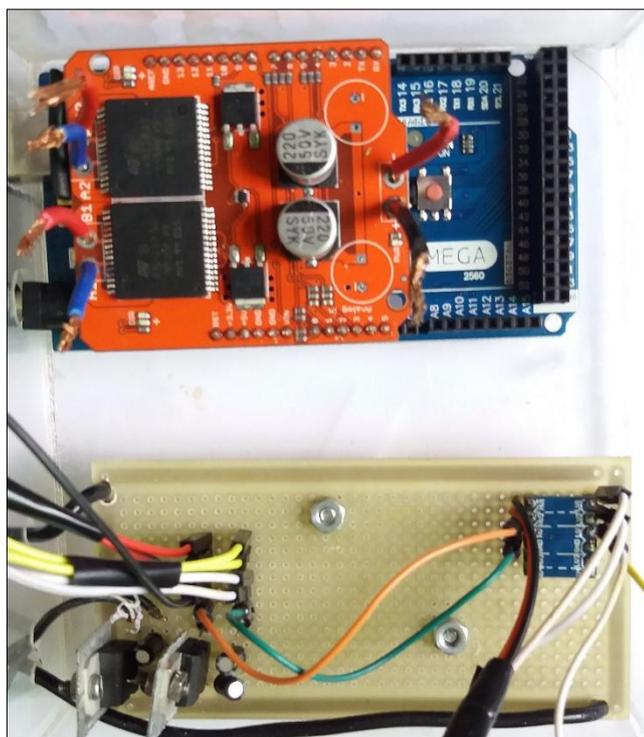
Após a montagem dos reguladores conforme visto acima, foram soldados a placa perfurada fios para conexão dos componentes bem como um conversor de nível lógico 3,3Vcc – 5Vcc bidirecional, que por sua vez fará a comunicação serial entre o Arduino e um módulo bluetooth. A seguir na Figura 23 podem ser vistos mais detalhes desse conversor.

FIGURA 23 - Conversor de nível lógico



Fonte: Autor, 2019

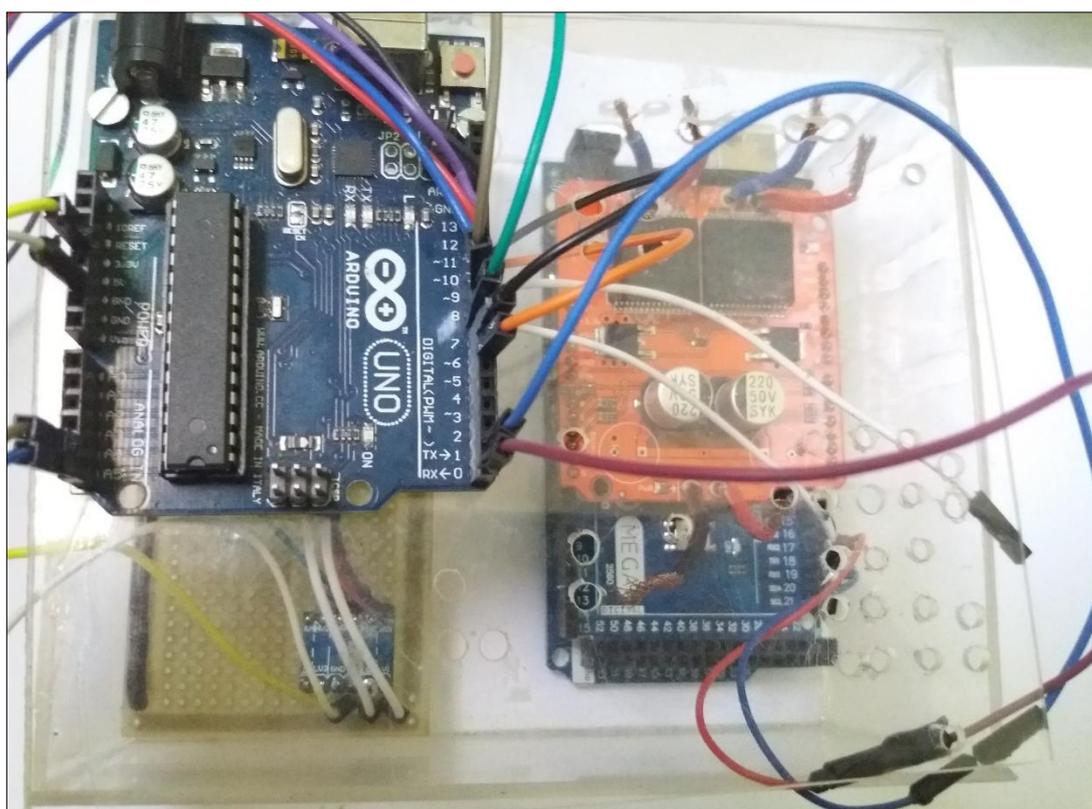
Conforme visto acima existem 4 portas disponíveis para conversão de nível lógico, serão utilizadas apenas 2 portas para comunicação serial entre o módulo *bluetooth* e o Arduino. Na Figura 24 podem ser vistos os reguladores de tensão, o conversor de nível lógico e a plataforma Arduino mega que será utilizada para enviar informações a plataforma controladora de velocidade *monster shield* e receber informações através da comunicação serial com o Arduino uno.

FIGURA 24 - Reguladores de tensão, conversor de nível lógico, plataforma Arduino mega e plataforma *monster shield*

Fonte: Autor, 2019

A plataforma *monster shield* mostrada na figura acima foi diretamente acoplada ao Arduino mega, visto que as ligações dessa plataforma são apropriadas para utilização em Arduinos conforme descreve (STMICROELETRONICS, 2008). Após essas montagens foram feitas as ligações elétricas dos sensores ultrassônicos, infravermelho, bússola e *bluetooth* onde esses componentes foram conectados aos terminais de 5Vcc, e podem ser vistos na Figura 25.

FIGURA 25 - Entradas e saídas de nível lógico da plataforma Arduino uno



Fonte: Autor, 2019

Após a conexão de todos os componentes foram feitos testes separadamente de cada um, onde foram observados erros nas medições do sensor ultrassônico, que foi substituído por um sensor infravermelho. Na calibração da bússola digital HMC 5883L apresentada pelo fabricante (HONEYWELL, 2013) que precisa ser utilizada para orientar a direção do robô conforme descreve (APARECEIDA, *et al*, 2014, p.61), foram observados também problemas na calibração.

O valor apresentado pela bússola apontava a direção do norte magnético do planeta de forma correta, mas as outras coordenadas, sul, leste e oeste apresentaram erros nos ângulos em relação ao norte magnético. Por causa desse

problema a calibração da bússola foi feita de forma manual no programa utilizado, onde duas direções desejadas foram escolhidas para a bússola orientar o robô. Na Figura 26 a seguir pode ser vista como foi feita a calibração da primeira direção do percurso.

FIGURA 26 - Calibração da bússola no sentido 1



Fonte: Autor, 2019

Conforme visto na figura anterior a leitura do azimute aferida pela bússola digital e a plataforma Arduino foi entre  $239^\circ$  e  $241^\circ$ . Ainda nessa figura do lado esquerdo podem ser visualizadas as bordas do terreiro que vão servir de limite para o percurso do robô.

Para calibragem em uma direção contrária ao sentido inicial a bússola foi girado em  $180^\circ$  e os valores aferido por ela foram de aproximadamente  $137^\circ$  e  $138^\circ$ . A seguir na Figura 27 podem ser visualizados mais detalhes.

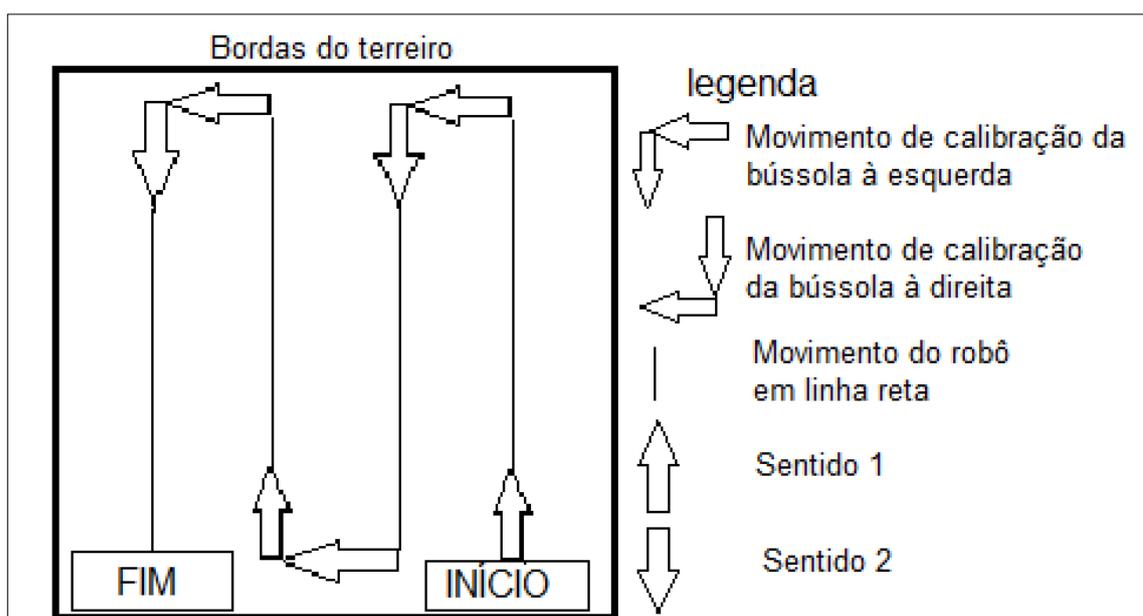
FIGURA 27 - Calibração da bússola no sentido 2



Fonte: Autor, 2019

Para planejar a rota do robô foi criado um percurso tendo como referência inicial a Figura 22 apresentada pelo autor (MAGNO, *et al*, 2016) onde pode ser visto a disposição do café no terreiro, a Figura 20 que representa o sentido inicial do robô e a Figura 21 que representa o segundo sentido. O percurso que foi utilizado pode ser ilustrado através da Figura 28.

FIGURA 28 - Percurso utilizado como exemplo



Fonte: Autor, 2019

Conforme visto na figura anterior o percurso que o robô deverá seguir tem início no canto inferior esquerdo do trajeto, nesse primeiro trecho a bússola esta aferindo valores entre  $239^{\circ}$  e  $241^{\circ}$ . Se o robô se movimenta para a esquerda o valor se torna menor que  $239^{\circ}$  então é enviado através da plataforma arduino um sinal para que o motor do lado direito reduza a velocidade. Se o protótipo se deslocar para um valor acima de  $241$  graus, o motor do lado esquerdo reduz a velocidade até o protótipo voltar a andar em linha reta.

Ao chegar ao fim do sentido 1 na borda do terreiro, o sensor infravermelho atua desligando o motor da esquerda e mantendo o motor da direita ligado até a bússola calibrar no sentido 2. Quando isso acontece os dois motores são acionados novamente, mas os valores aferidos pela bússola agora são entre  $137^{\circ}$  e  $140^{\circ}$ , ou seja, esses valores indicam que o robô está em linha reta no sentido 2.

Se os valores aferidos pela bússola no sentido 2 forem menores que  $137^{\circ}$ , o motor do lado direito reduz a velocidade, e se o ângulo for maior que  $139^{\circ}$  o motor do lado esquerdo é quem reduz a velocidade. Quando o robô chega ao fim do sentido 2 novamente o sensor infravermelho atua e o robô dessa vez, gira para a direita, quando a bússola calibra na direção entre  $239^{\circ}$  e  $241^{\circ}$ , o robô volta aos comandos do sentido 1 novamente.

Após a definição do percurso foi instalado um sensor infravermelho capaz de detectar um objeto na frente do robô conforme descreve (SYNACORP, 2019) onde a distância entre o robô e o fim do terreiro será ajustada através do próprio sensor. Na Figura 29 a seguir pode ser visto como foi feita esse ajuste.

FIGURA 29 - Calibração do sensor ultrassônico pela borda do terreiro

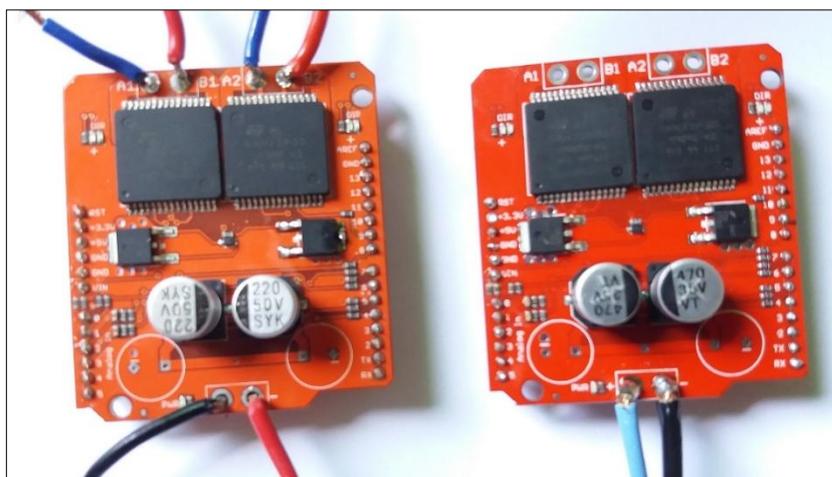


Conforme visto anteriormente o sensor infravermelho, de cor amarela situado acima da ferramenta que vai revolver o café mantém uma distância entre a frente do protótipo e o terreiro, ou seja ele apenas vai ser acionado se essa distância for menor.

Após a instalação dos componentes eletrônicos foram feitos alguns testes no protótipo, onde o mesmo apresentou problemas na plataforma *monster shield* que segundo o fabricante (STMICROELETRONICS, 2008) tem capacidade de suportar uma tensão de até 16Vcc e 30A sendo que os motores que essa plataforma iria controlar segundo (MABUCH MOTOR, 2013) tem consumo de 12Vcc e até 2A.

Esse circuito foi ainda substituído por outra plataforma *monster shield* que apresentou problemas nos canais de saída, e componentes diferentes da primeira plataforma apesar do modelo ser igual. As duas plataformas utilizadas podem ser vistas na Figura 30.

FIGURA 30 - Plataformas *monster shield*



Fonte: Autor, 2019

Conforme visto anteriormente as plataformas mostradas na Figura 26 apresentaram vários problemas, então foram utilizados para receber informações da plataforma Arduino e controlar os motores, um módulo relé de oito canais que pode ser usado para esse tipo de aplicação conforme descreve (Serial Link Comunicações & Serviços, 2011). Com a substituição desses componentes optou-se por utilizar apenas uma plataforma Arduino visto que para comandar o módulo relé são necessários menos canais de entradas e saídas de sinais. Esse módulo foi

utilizado para controlar o sentido de rotação dos motores a partir das informações enviadas pelos sensores infravermelhos e a bússola digital para a plataforma Arduino uno. Na Figura 31 pode ser visto o módulo relé utilizado.

FIGURA 31 - Módulo relé



Fonte: Autor, 2019

Com a substituição de todos os componentes com problemas e o fim da montagem parcial do protótipo foi feito no terreiro cimentado um local de tamanho menor que um terreiro convencional para testes de desempenho do robô.

Para fazer um teste de desempenho do robô foram utilizados quatro sacos de café secos e em casca, visto que no mês de novembro não se encontra grãos de café maduros vindo diretamente da lavoura e nem mesmo muita quantidade do grão estocada.

Esse café foi espalhado uniformemente no terreiro cimentado, em um local onde os testes foram realizados em escala reduzida. A altura do grão adequada para a seca de café e para os testes ficou entre 2cm e 3cm conforme descreve (MAGNO, *et al*, 2016, p.35).

O código utilizado na plataforma arduino para controlar os movimentos do robô foi desenvolvido em uma IDE gratuita segundo (BANZI, 2015, p.17). Os detalhes do *sketch* utilizado nesse teste podem ser vistos no Apêndice A. Na Figura 32 pode ser visto o robô seguindo o primeiro percurso no café.

FIGURA 32 - Teste do protótipo em cima do café



Fonte: Autor, 2019

Na figura acima o robô estava se orientando pela bússola executando os comandos referentes ao primeiro sentido do percurso. Além do teste visto na figura anterior ainda pode ser visto outros testes de desempenho realizados em cima do grão de café na Figura 33 a seguir onde é possível ver o momento em que o sensor infravermelho atua na borda do terreiro e direciona o protótipo na direção contrária à primeira.

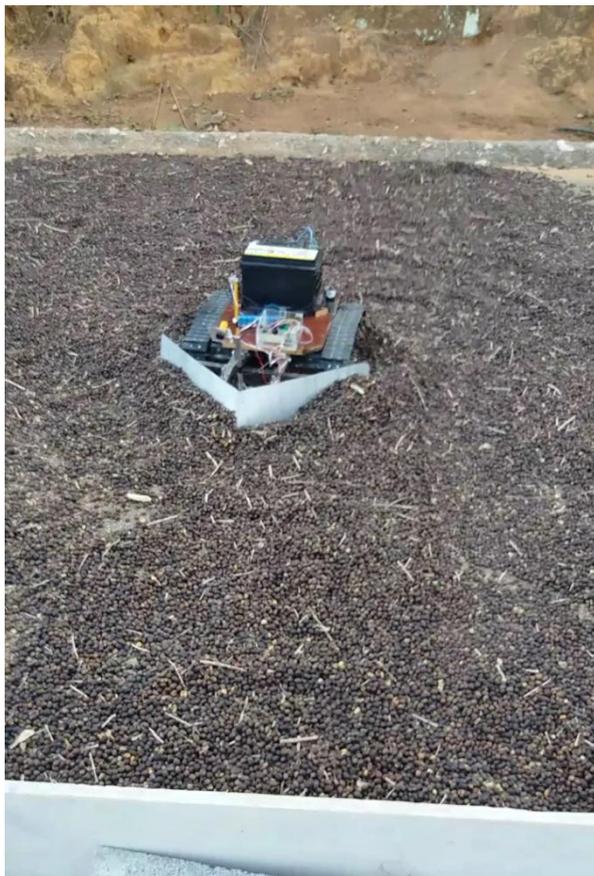
FIGURA 33 - Atuação do sensor infravermelho no fim do sentido1



Fonte: Autor, 2019

Conforme visto na figura anterior o robô foi testado no terreiro orientado pela bússola e um sensor infravermelho, onde a bússola foi capaz de manter o robô em uma direção quase constante e o sensor infravermelho atuou quando a ferramenta que estava revolvendo o café se aproximou da borda do terreiro. Na Figura 34 a seguir pode ser visto o robô orientado no sentido 2.

FIGURA 34 - Protótipo orientado pela bússola no sentido 2



Fonte: Autor, 2019

Após ser concluído o teste apresentado anteriormente o protótipo mostrou uma boa aderência no grão por motivos de utilizar um sistema de tração com esteira e o robô pesar cerca de 24 quilogramas, possibilitando assim o deslocamento de um ponto até o outro do terreiro em cima do café, sem o problema do protótipo escorregar muito.

Observou-se também um problema no sistema de tração quando o robô fez a primeira curva à esquerda os grãos de café entraram dentro da corrente que proporciona o movimento do lado esquerdo do robô, o que impediu os motores de continuarem funcionando corretamente. Na Figura 35 mostrada a seguir podem ser vistos os grãos de café dentro do das correntes do lado esquerdo do protótipo que proporcionaram problemas no sistema mecânico e elétrico.

FIGURA 35 - Problemas encontrados no sistema de tração

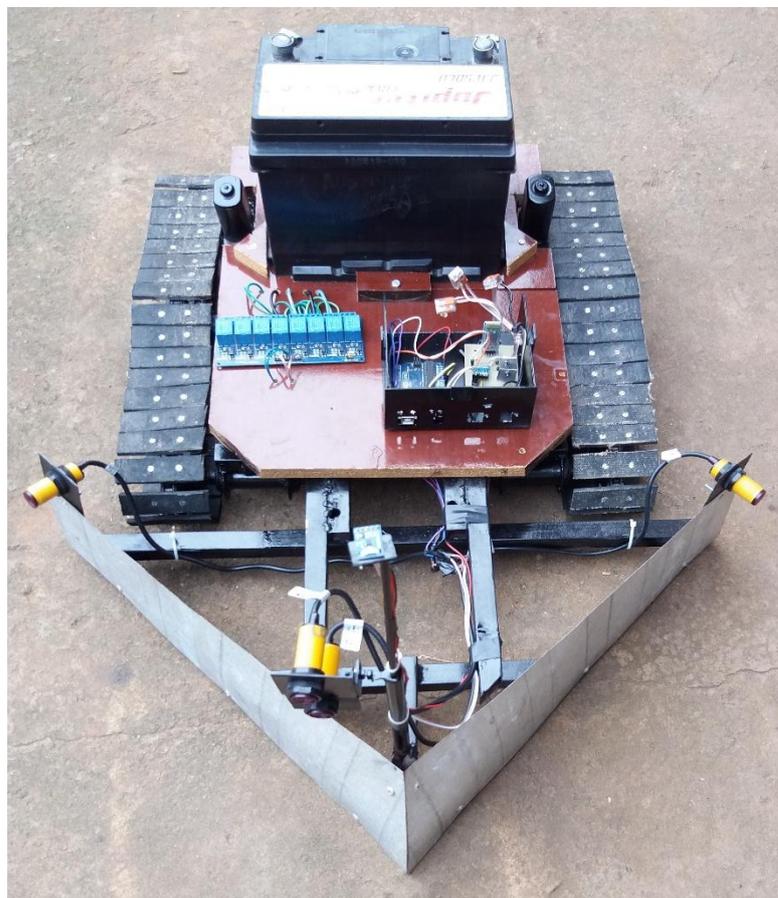


Fonte: Autor, 2019

Os problemas encontrados no sistema de tração vistos na figura anterior interromperam os testes, mas foi possível perceber durante o trajeto que o robô percorreu, que é possível utilizar um veículo autônomo para revolver café sendo necessárias ainda melhorias no sistema mecânico.

Ainda foram instalados no protótipo mais três sensores ultrassônicos afim de evitar que o robô saia do terreiro ou acerte algum obstáculo, esses sensores são capazes de detectar um objeto e desviar o robô da trajetória caso ele se aproxime muito do obstáculo. A montagem final do protótipo com todos os componentes utilizados pode ser vista na Figura 36 mostrada a seguir.

FIGURA 36 - Montagem final do protótipo



Fonte: Autor, 2019

Conforme visto na figura anterior foram instalados dois sensores ultrassônicos na parte da frente do protótipo, logo acima desses sensores foi colocada a bússola digital em uma plataforma de plástico para evitar interferência nas leituras desse componente. Ainda foram instalados também dois sensores infravermelhos nas bordas da ferramenta que revolve o café, protegendo assim as laterais do robô de possíveis impactos com a borda do terreiro ou obstáculos. A plataforma Arduino uno e os reguladores de tensão estão situados do lado direito do módulo relé, e logo atrás a bateria automotiva de 12Vcc.

A descrição de todos os componentes elétricos e mecânicos que foram utilizados na construção do protótipo além dos preços de cada um, podem ser vistos na Tabela 3 mostrada a seguir.

TABELA 3-Descrição de todos os materiais e componentes utilizados

<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>PREÇO R\$</b>
Bateria automotiva	1 unidade	250
Motores de vidro elétrico	2 unidades	70
Arduino mega	1 unidade	50
Sensores ultrassônicos	2 unidades	20
Sensor infravermelho	4 unidades	100
Reguladores de tensão	2 unidades	7
Capacitores	4 unidades	3
Módulo ponte H	2 unidades	150
Parafusos de 2 milímetros com porca	150 unidades	20
Corrente com abas	1,5 metros	230
Borracha automotiva	1,5 metros	0
Bussola eletrônica	1 unidade	27
Metalão	3 metros	00
Caixas de cubos	4 unidades	00
Placa de circuito perfurada	1 unidade	10
Plataforma Arduino uno	1 unidade	50
Regulador de nível lógico	1 unidade	13
Carregado de bateria	1 unidade	170
<b>Total</b>		<b>1.170</b>

Fonte: Autor, 2019

## 7 CONCLUSÃO

O processo de secagem de café em terreiros utilizado atualmente pode comprometer a qualidade do grão e conseqüentemente o valor final do produto. Esse sistema ainda exige um grande esforço do trabalhador quando feito de forma manual, apesar de ser o sistema mais utilizado atualmente.

A construção de protótipos requer muita atenção, muitos detalhes devem ser avaliados, qualidade dos materiais e o funcionamento de todas as peças e componentes foram testados diversas vezes. Construir um protótipo de um veículo autônomo que possa revolver café é um processo lento pois devem se adequar as partes mecânicas com o sistema de controle. Ainda devem ser feitos vários testes até que os componentes e sensores atuem de forma correta a orientar o protótipo e serem capazes de executar o trabalho com o mínimo de erros possíveis.

A construção de um chassi, que seja adequado ao protótipo para revolver o café passou por várias modificações, visto que o frame teve de se adequar ao sistema de tração. As principais dificuldades foram adequar o sistema de tração ao chassi, projetar um programa para controlar o protótipo junto com todos os sensores e adequar uma plataforma que fosse capaz de controlar a velocidade dos motores utilizados.

As rodas utilizadas no primeiro modelo de tração não foram adequadas para o robô se mover em cima do café e foram substituídas por um sistema de tração feito a partir de esteira. Essa modificação é muito trabalhosa pois a esteira possui vários elos emborrachados que devem ser montados individualmente, esse sistema de tração ainda precisa de melhorias visto que o grão de café quando passa por dentro das esteiras interrompe o sistema de tração.

Uma preocupação recorrente, foi a necessidade de manter o robô dentro de uma trajetória fixa, pois os sistemas de navegação atualmente utilizados não são adequados para navegar em cima do café. Optou-se por tentar resolver esse problema utilizando uma bússola e um sistema de tração por esteiras.

Criar modelos, ou modos, de percursos se faz necessário tanto em trabalhos futuros quanto no modelo atual visto que no modelo atual foi utilizado apenas uma rota específica pré-estabelecida, e o café no sistema de secagem em terreiros precisa ser revolvido de várias maneiras diferentes.

Calibrar os sensores de direção necessita de um processo iterativo de tentativas seguidas, para chegar a valores ideais de direcionamento do robô proposto. As interferências percebidas ao direcionar a bússola em vários sentidos diferentes, foram corrigidas através da programação onde foram utilizados os valores aferidos pela bússola nos testes de capô para definir os comandos da trajetória.

A opção por usar *shields* prontos se justifica pela rapidez, baixo custo de execução de protótipos como o proposto aqui e facilidade de utilização, visto que esses componentes vêm de fábrica com bibliotecas fáceis de ser entendidas e utilizadas. Outra vantagem desses circuitos prontos são os pinos de conexão que são apropriados para a ligação de várias plataformas ao mesmo tempo.

De forma negativa, os *shields*, como já estão prontos, quando apresentam defeitos, não justifica a reparação do mesmo, e fica mais viável a aquisição de um novo em bom estado. O valor de mercado desses *shields* é muito baixo em relação aos componentes individuais que compõem o *shield*.

Foram encontrados vários problemas com as plataformas *monster shield*, que apesar de serem respeitados os limites de tensão e corrente estabelecidos pelo fabricante, não foram capazes de suportar a carga dos motores do protótipo, que trabalham com tensão e corrente bem abaixo dos limites da plataforma. Essa plataforma foi substituída pelo módulo relé que apresentou melhores resultados no acionamento dos motores.

Nos testes realizados em campo em uma escala reduzida o protótipo apresentou um bom desempenho quanto a manter uma direção fixa no trajeto pré-estabelecido. Ainda foi observado que os sensores ao se aproximar da borda do terreiro atuaram de forma correta e a bússola corrigiu a direção do protótipo em cima do café.

O frame do robô ainda precisa ser adaptado para que os componentes eletrônicos possam ficar em locais que sejam mais adequados. Como o protótipo quando está operando fica exposto ao tempo, a chuva por exemplo poderia prejudicar o funcionamento dos componentes eletrônicos ou até mesmo a parte estrutural do chassi que não são resistentes a água.

O sistema de tração apresentou um bom desempenho, mas pelo café entrar dentro da corrente quando o protótipo fez a primeira curva para o lado esquerdo interrompeu o movimento das esteiras do robô. Diante desse problema nota-se a necessidade de adaptar ainda o sistema de tração no modelo atual afim de evitar que o café possa causar problemas mecânicos.

## 7.1 Sugestão de trabalhos futuros

Substituir os motores elétricos por motores a combustão interna, como motores de motocicleta. Talvez esse tipo de motores possa ser mais fácil de adaptar ao chassi e ainda sendo utilizado combustível como meio de alimentar esses motores, seria mais confiável que os motores elétricos que por sua vez dependem da utilização de baterias que podem descarregar mais facilmente.

Tentar utilizar um protótipo maior com duas ou mais ferramenta acoplada a ele, o que de fato poderia otimizar o processo de secagem, diminuir o tempo de cada ciclo em que o café precisa ser revolvido e com isso um único robô poderia ser utilizado em vários terreiros durante o dia.

Testar outros tipos de sistemas de posicionamento como o sistema de posicionamento global e sistema de posicionamento local entre outros. Tendo em vista avaliar de fato qual o melhor tipo de sistema poderia ser utilizado para controlar protótipos autônomos em cima do café.

Desenvolver um sistema auto recarregável das baterias através do uso de um painel fotovoltaico para geração própria (robô) de energia, com isso as baterias do protótipo poderiam ser recarregadas durante o dia ao mesmo tempo em que o robô estivesse executando o trabalho no terreiro.

Testar e criar outros modos de trajetória, por exemplo, vai e volta, modo aleatório, ou um sistema que orientasse a percurso do protótipo através da direção do sol, utilizando um sensor de luminosidade.

Colocar um sensor de humidade que possa detectar a presença de chuva ou umidade excessiva, com esse recurso poderiam ser evitados problemas com os componentes eletrônicos do robô que não podem ficar expostos, pois não são resistentes a água.

## 8 REFERÊNCIAS

ANDRÉ, Rubens Tabile, INAMASU, Ricardo Y, JOSÉ, Arthur Vieira Porto. Robótica na agricultura de precisão. *In: YASSUSHI, Ricardo Inamasu, et al. Agricultura de Precisão: um novo olhar.* 1. ed. São Carlos: Editora Cubo, 2011. 120-125. Disponível em:

<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/914939/1/Proci11.00256.PDF>>.

Acesso em: 25 de fevereiro de 2019.

APARECIDA, Roseli F. Romero, PRESTES Edson, OSÓRIO Fernando, WOLF Denis. *Robótica Móvel.* 1.ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2014. p.299. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2642-8/cfi/6/10!/4/2/2@0:100>>. Acesso em 27 de setembro de 2019.

ATMEL. *Datasheet: Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V.* Atmel Corporation, 2014. Disponível em:<[http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf)>. Acesso em 14 de outubro de 2019.

BANZI, Máximo, SHIOLIN Michael. *Primeiros passos com Arduino: A plataforma de prototipagem eletrônica open Source.* 2.ed. São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2015. 232p. Disponível em:<[https://books.google.com.br/books?id=otfECQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=otfECQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)>. Acesso em: 4 de maio de 2019.

CARNEIRO, R. L., *et al.* Aspectos essenciais das baterias de chumbo-ácido e princípios físico-químicos e termodinâmicos do seu funcionamento: *Revista Virtual de Química*, Bauru, v.9, n.3, p.889-911, maio/junho de 2017. Disponível em <<http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v9n3a06.pdf>>. Acesso em: 23 de abril de 2019.

CESAR, Eduardo Aves Cruz, CHOUERI Salomão Júnior. *Eletrônica analógica básica: controle e processos industriais*. 2. ed. São Paulo: Editora Érica LTDA. 2014. 121p. Disponível em <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518466/cfi/3!/4/4@0.00:0.00>>. Acesso em: 08 de agosto de 2019.

CHAPMAN, Stephan J. *Fundamentos de Máquinas Elétricas*. 5. ed. Porto Alegre. AMGH Editora Ltda, 2013. 698p.

FAIRCHILD. *Datasheet: LM78XX/LM78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator*: fairchild semiconductor. 2006. Disponível em: <<http://hades.mech.northwestern.edu/images/6/6c/LM7805.pdf>>. Acesso em: 16 de setembro de 2019.

FAIRCHILD. *Datasheet: BSS138 N-Channel Logic Level Enhancement Mode Field Effect Transistor*: Fairchild semiconductor. 2005. Disponível em: <[https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=305](https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id_attachment=305)>. Acesso em: 7 de maio de 2019.

GUANGZHOU HC INFORMATION TECHNOLOGY CO. Ltd. *Datasheet: Módulo bluetooth HC-06*. Disponível em: <<https://www.olimex.com/Products/Components/RF/BLUETOOTH-SERIAL-HC-06/resources/hc06.pdf>>. Acesso em: 02 de maio de 2019.

HENRIQUE, Carlos Ahrens, *et al* : *Prototipagem rápida: Tecnologias e aplicações*. 1.ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA., 2006. 239p. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521215059/cfi/263!/4/4@0.00:0.00>>. Acesso em: 2 de setembro de 2019.

HONEYWELL. *Datasheet: 3-Axis Digital Compass IC HMC5883L*. 2013. Disponível em: <[https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/HMC5883L\\_3-Axis\\_Digital\\_Compass\\_IC.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/HMC5883L_3-Axis_Digital_Compass_IC.pdf)> . Acesso em 25 de agosto de 2019.

JORGE, Nuno Ferreira Pinto. *Implementação e teste de solução de navegação de robôs móveis com base no sistema NXT/EV3 da LEGO*. 2016. p.95. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica). Universidade do Porto, Portugal,

2016. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/86171/2/158142.pdf>>. Acesso em 9 de agosto de 2019.

LUIZ, Sergio Stevan Jr., ADAMSHUK, Rodrigo Silva. *Automação e instrumentação industrial com Arduino: teoria e projetos*. 1.ed. São Paulo: Erica, 2015. 196p. disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518152/cfi/2!/4/4@0.00:0.00>>. Acesso em: 8 de setembro de 2019.

LUÍZ, Cláudio Vieira Oliveira, AUGUSTO Humberto Piovesana Zanetti. *Arduino descomplicado: Como elaborar projetos de eletrônica*. 1. ed. São Paulo: Érica, 2015. 289p. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518114/cfi/288!/4/2@100:0.00>>. Acessado em: 13 de agosto de 2019.

LUIZ, Flávio Puhl Júnior, *et al.* *Robótica*. 1.ed. Porto Alegre: Sagah Educação S.A, 2019. 276p. disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595029125/cfi/275!/4/4@0.00:0.00>>. Acesso em: 22 de outubro de 2019.

MAGNO, Carlos de mesquita, *et al.* *Manual do Café: Colheita e preparo (coffea arábica L)*. Belo Horizonte, EMATER-MG, 2016 52p. Disponível em: <[http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes\\_tecnicas/livro\\_colheita\\_preparo.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/livro_colheita_preparo.pdf)>. Acesso em: 03 de abril de 2019.

MANDOW, A., GÓMEZ-DE-GABRIEL, J. M., MARTINEZ, J. L., MUÑOZ, V. F., OLLERO, A., GARCIA-CEREZO, A. The autonomous mobile robot aurora for greenhouse operation. Spain, v.3, n.4, p.18-28, dez./jan. 1996. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/2078/a09c133745da15cc66d9db5ad9dcb40bbd4b.pdf>>. Acessado em: 23 de abril de 2019.

MARIA, Ana de Alencar, SIRINEU, Simão Toscani. *Implementação de linguagens de programação: compiladores*. 2. ed. Porto Alegre: Sagra luzzatto, 2001. 216p.

MATARIC´. J. Maja: *Introdução a robótica*. 1.ed. São Paulo: Unesp/Blucher, 2014. 368p. disponível em:

<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208549/cfi/367!/4/2@100:0.00>>. Acesso em: 6 de julho de 2019.

MEGA AVR. Data sheet: MICROCHIP ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P. Microchip Technology Inc, 2018. Disponível em <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATmega48A-PA-88A-PA-168A-PA-328-P-DS-DS40002061A.pdf>> Acesso em: 4 julho de 2019.

MONK, Simon: *Programação com Arduino: Começando com sketches*. 1.ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 2013. 148p.

MONK, Simon: *Programação com Arduino: Começando com sketches*. 2.ed. Porto Alegre: Click Editoração Eletrônica Ltda., 2017. 745p. disponível em:< <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=B6wsDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT197&dq=livro+Arduino&ots=FoCilpPHOR&sig=EbsJSrx-C4hy2IWcPPjr-iy-zq0#v=onepage&q&f=true>>. Acesso em: 08 de março de 2019.

MONK, Simon. *Programação com arduino II: Passos avançados com sketches*. 2.ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 2015. 258p. disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582602973/cfi/0!/4/2@100:0.00>>. Acesso em: 26 de agosto de 2019.

NOBLE, Joshua. *Programing intetactiveity*. 2.ed. United States of America: O'Reilly Media, Inc, 2012, 728p. Disponível em: <http://my.safaribooksonline.com>. Acesso em: 03 de março de 2019.

SANDI. L. Franz A., HEMERLY. Elder M., LAGES. Walter F. *Sistemas Para Navegação de Guiagem de Robôs Móveis Autônomos*. São José dos Campos, v.9, n.3, p. 107-118, out./nov. 1998. Disponível em: <<http://www.sba.org.br/revista/vol9/v9a201.pdf>>. Acesso em: 20 de abril de 2019.

SERIAL LINK COMUNICAÇÕES & SERVIÇOS. *Manual técnico*. Módulo de Relê, 2011. Disponível em:

<[https://www.seriafink.com.br/lab/Arduino/Datasheet\\_Modulo\\_Rele\\_4\\_Canais\\_Serial\\_Link.pdf](https://www.seriafink.com.br/lab/Arduino/Datasheet_Modulo_Rele_4_Canais_Serial_Link.pdf)>. Acesso em: 19 de setembro de 2019.

SOUZA, Elmo Dutra da Silva Filho, *et al.* *Eletrônica*. 1.ed. Porto Alegre: Sagra, 2018. 142p. disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595026117/cfi/1!/4/4@0.00:0.00>>. Acesso em: 13 de agosto de 2019.

STMICROELECTRONICS. *Datasheet*. VNH 2SP30 Automotive fully integrated H-bridge motor driver. 2008. Disponível em: <<http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Dev/Arduino/Shields/10832.pdf>>. Acesso em: 20 de abril de 2019.

SYNACORP TRADING E SERVICES. *Datasheet*. US-015 High Accuracy Ultrasonic Sensor. Disponível em: <<http://synacorp.my/v3/en/ultrasonic-sensors/957-us-015-high-accuracy-ultrasonic-sensor.html>>. Acesso em: 17 de abril de 2019.

SYNACORP TRADING E SERVICES. *Datasheet*. Sensor infravermelho industrial SN-E18-D80NK. Disponível em: < <http://synacorp.my/v3/en/light-infrared-sensor/820-sn-e18-d80nk-adjustable-infrared-sensor-3-80cm.html> >. Acesso em: 20 de abril de 2019.

YOUNG & FREEDMAN. *Termodinâmica e Ondas: física III*. 12. ed. São Paulo. Pearson Education do Brasil Ltda, 2014. 329p.

## 9 APÊNDICES

### 9.1 Apêndice A - Código utilizado no teste final

```
#define pino2 2
#define pino4 4

#include <Wire.h>
#include <MechaQMC5883.h>

MechaQMC5883 qmc;

int contador;
#define sensorf 12
#define sensord 11
#define sensore 10
#define sensorv 10

int x, y, z;
int azimuth;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(sensorf, INPUT);
  pinMode(sensord, INPUT);
  pinMode(sensore, INPUT);
  pinMode(sensorv, INPUT);

  Wire.begin();
  contador = 0;
  qmc.init();

  pinMode(pino2, OUTPUT);
  pinMode(pino4, OUTPUT);

  digitalWrite(pino2, HIGH);
  digitalWrite(pino4, HIGH);
}

void loop()
{
  qmc.read(&x, &y, &z, &azimuth);
  bool sensorfrente = digitalRead (sensorf);
  bool sensordireita = digitalRead (sensord);
  bool sensoresquerda = digitalRead (sensore);
  bool sensorvira = digitalRead (sensorv);

  if ((sensorfrente) && (contador == 0))
  {
    if ((azimuth > 230) && (azimuth < 250) && (sensordireita) &&
        (sensoresquerda))
```

```

{
    delay(100);
    digitalWrite(pino2, LOW);
    digitalWrite(pino4, LOW);
}
else
{
    if (!sensordireita)
    {
        digitalWrite(pino2, LOW);
        digitalWrite(pino4, HIGH);
        delay(100);
    }
    if (!sensoresquerda)
    {
        digitalWrite(pino2, HIGH);
        digitalWrite(pino4, LOW);
        delay(100);
    }
    if ((azimuth > 250) && (azimuth < 360) && (sensordireita) &&
(sensoresquerda)) // INDO PRA DIREITA
    {
        delay(100);
        digitalWrite(pino2, LOW);
        digitalWrite(pino4, HIGH);
    }
    else
    {
        if (!sensordireita)
        {
            digitalWrite(pino2, LOW);
            digitalWrite(pino4, HIGH);
            delay(100);
        }

        if ((azimuth < 230) && (azimuth > 150) && (sensordireita) &&
(sensoresquerda))
        {
            delay(100);
            digitalWrite(pino2, HIGH);
            digitalWrite(pino4, LOW);
        }
        else
        {
            if (!sensoresquerda)
            {
                digitalWrite(pino2, HIGH);
                digitalWrite(pino4, LOW);
                delay(100);
            }

        }
    }
}
}
}
}

```

```

if ((!sensorfrente) && (contador == 0))
{
    digitalWrite(pino2, LOW);
    digitalWrite(pino4, HIGH);
    contador = 1;
}

if ((contador == 1) && (sensorfrente))
{
    if ((azimuth > 126) && (azimuth < 146) && (sensordireita) &&
(sensorfrente))
    {
        delay(100);
        digitalWrite(pino2, LOW);
        digitalWrite(pino4, LOW);
    }
    else
    {
        if (!sensordireita)
        {
            digitalWrite(pino2, LOW);
            digitalWrite(pino4, HIGH);
            delay(100);
        }
        if (!sensoresquerda)
        {
            digitalWrite(pino2, HIGH);
            digitalWrite(pino4, LOW);
            delay(100);
        }

        if ((azimuth > 146) && (azimuth < 230) && (sensordireita) &&
(sensorfrente)) // INDO PRA DIREITA
        {
            delay(100);
            digitalWrite(pino2, LOW);
            digitalWrite(pino4, HIGH);
        }
        else
        {
            if (!sensordireita)
            {
                digitalWrite(pino2, LOW);
                digitalWrite(pino4, HIGH);
                delay(100);
            }

            if ((azimuth > 0) && (azimuth < 126) || (azimuth > 250) &&
(azimuth < 360) && (sensordireita) && (sensoresquerda))
            {

```

```
        delay(100);
        digitalWrite(pino2, HIGH);
        digitalWrite(pino4, LOW);
    }
    else
    {
        if (!sensoresquerda)
        {
            digitalWrite(pino2, HIGH);
            digitalWrite(pino4, LOW);
            delay(100);
        }
    }
}

}

}

}

if ((!sensorvira) && (contador == 1))
{
    digitalWrite(pino2, HIGH);
    digitalWrite(pino4, LOW);
    contador = 2;
    delay(100);
}
if ((contador == 2) && (azimuth > 230) && (azimuth < 250))
{

    contador = 0;
    delay(200);
}
delay(100);
}
```

Fonte: Autor, 2019