

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

ANDRADA CASSIO MAIA

**ELABORAÇÃO DE PROTÓTIPO SELETOR DE GRÃOS DE CAFÉ, BASEADO EM
SENSOR DE CORES RGB PARA SE DETERMINAR O INÍCIO DA COLHEITA.**

CARATINGA

2019

**ANDRADA CASSIO MAIA
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**ELABORAÇÃO DE PROTÓTIPO SELETOR DE GRÃOS DE CAFÉ, BASEADO EM
SENSOR DE CORES RGB PARA SE DETERMINAR O INÍCIO DA COLHEITA.**

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

**Área de concentração: novas
tecnologias.**

**Orientador: M.sc Ricardo Botelho
Campos.**

CARATINGA

2019



FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA

FOLHA DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ELABORAÇÃO DE PROTÓTIPO SELETOR DE GRÃOS DE CAFÉ, BASEADO EM SENSOR DE CORES RGB PARA SE DETERMINAR O INÍCIO DA COLHEITA, elaborado pelo aluno ANDRADA CASSIO MAIA, foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceita pelo curso de Engenharia Elétrica das Faculdades Integradas de Caratinga, como Requisito parcial da obtenção do título de:

BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Caratinga, 5 de dezembro de 2019

M.sc Ricardo Botelho Campos- Orientador

Prof. Examinador 1

Prof. Examinador 2

Faculdades Doctum de Caratinga

AGRADECIMENTOS

Não posso citar o nome de todos aqueles a quem devo gratidão, sob pena de ser injusto, então agradeço especialmente a confiança depositada na minha proposta de projeto pelo Mestre Ricardo Botelho Campos, orientador dessa monografia. Obrigado por me manter motivado durante todo o decorrer dessa graduação que contribuiu não somente com o meu crescimento profissional, mas também pessoal. Posso dizer com toda certeza que você foi mais que um docente.

Um adágio popular cuja autoria eu desconheço, diz que para se conhecer uma pessoa verdadeiramente é necessário que se coma um saco de sal com ela. O importante em nossa vida não é conhecer totalmente uma pessoa, mas sim conhecer as suas principais características comportamentais, ou seja, aquelas que dizem respeito ao seu caráter, característica essa que nos proporcionou confiança mútua, uma amizade sincera e verdadeira, sou grato!

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Plataforma Arduino ATmega328.....	22
Figura 2- Sensor RGB TCS34725.....	23
Figura 3- Circuito Fritzing para leitura de cores do sensor TCS34725.....	24
Figura 4- Motor de passo Nema 23.....	25
Figura 5- Driver controlador A4988.....	25
Figura 6- Impressão em 3D.....	26
Figura 7- Tubo distribuidor de grãos.....	27
Figura 8- Parte complementar do funil.....	28
Figura 9- Encaixe lateral do sensor de cor RGB TCS34725.....	28
Figura 10- Slot de compartimento dos grãos.....	29
Figura 11- Canaleta de seletividade.....	29
Figura 12- Readaptação da parte estrutural do funil e tubo distribuidor	30
Figura 13- Vista frontal do protótipo seletor.....	31
Figura 14- Estrutura interna do eixo central do protótipo seletor	32
Figura 15- Fixação dos motores de passo	32
Figura 16- Placa de conexão dos fios.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Testes pelo método de contagem de tempo 1.....	34
Tabela 2- Resultados obtidos pelo método de classificação por contagem de tempo 1.....	34
Tabela 3- Testes pelo método de contagem de tempo 2.....	35
Tabela 4- Resultados obtidos pelo método de classificação por contagem de tempo 2.....	35
Tabela 5- Orçamento para a construção do protótipo.....	36

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

EMATER- Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural

mm- milímetros

Kg- quilogramas

PLA- Polímero sintético termoplástico

PVC- Policloreto de Vinil

MAIA, A. C. ELABORAÇÃO DE PROTÓTIPO SELETOR DE GRÃOS DE CAFÉ BASEADO EM SENSORES DE CORES RGB, PARA SE DETERMINAR O INÍCIO DA COLHEITA. Caratinga, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Caratinga, 2019.

RESUMO

O presente trabalho de pesquisa tem como objetivo elaborar um protótipo que seja capaz de identificar e separar as mais variadas cores dos grãos de café, sejam elas de colorações; esverdeadas, avermelhadas, amareladas e alaranjadas, através da utilização de um sensor de cores RGB acoplado a um dispositivo mecânico automatizado impresso em 3D. De acordo com uma ampla pesquisa realizada, constatou-se a inexistência de uma ferramenta de auxílio, para se determinar ou orientar na tomada da decisão de se iniciar ou não a colheita dos grãos de café, bem como; definir com precisão e clareza em qual quadra ou determinada área de plantio deve se iniciar a mesma. Neste contexto, objetivando demonstrar o uso da eletrônica e da automação na identificação de cores através da utilização do sensor de cor RGB, o presente trabalho de pesquisa tem como objetivo a construção de um protótipo que seja capaz de identificar e separar as mais variadas cores dos grãos de café. Evidencia-se que, a elaboração de uma ferramenta que possa vir a ser utilizada como parâmetro para a tomada da decisão supracitada, possa contribuir com a redução da incidência dos grãos verdes e o aumento dos frutos “cerejas”, evitando-se assim o comprometimento dos atributos físicos, químicos, sensoriais e de inocuidade dos grãos, o que evidentemente contribuiria com os cafeicultores e com o mercado cafeeiro.

Palavras-Chave: Microcontrolador. Sensor de luminosidade. Seletividade de grãos. Automação.

MAIA, A. C. ELABORAÇÃO DE PROTÓTIPO SELETOR DE GRÃOS DE CAFÉ BASEADO EM SENSORES DE CORES RGB, PARA SE DETERMINAR O INÍCIO DA COLHEITA. Caratinga, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Caratinga, 2019.

ABSTRACT

This research work aims to develop a prototype that is able to identify and separate the most varied colors of coffee beans, whether they are colorings; greenish, reddish, yellowish and orange using an RGB color sensor coupled with an automated mechanical device printed in 3D. According to a large research carried out, it was found that there is no aid tool to determine or guide the decision to start or not to harvest the coffee beans, as well as; define precisely and clearly in which block or given planting area it should begin. In this context, aiming to demonstrate the use of electronics and automation in color identification through the use of the RGB color sensor, this research work aims to build a prototype that is able to identify and separate the most varied colors from coffee beans. It is evident that the elaboration of a tool that could be used as a parameter to make the aforementioned decision can contribute to the reduction of the incidence of green grains and the increase of “cherries” fruits, thus avoiding the commitment physical, chemical, sensory and harmlessness attributes, which would evidently contribute to coffee farmers and the coffee market.

Keywords: Microcontroller. Light sensor. Grain selectivity. Automation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Apresentação.....	12
1.2 Objeto de estudo.....	13
1.3 Hipótese.....	13
1.4 Objetivos.....	14
1.4.1 Objetivo geral	14
1.4.2 Objetivos específicos.....	14
1.5 Justificativas.....	14
1.6 Tratamento dos dados.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 Desenvolvimento do fruto do café.....	16
2.2 Colheita precoce dos frutos.....	17
2.3 Recomendações técnicas para início da colheita.....	17
2.4 Classificação e preços de comercialização dos grãos.....	18
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS.....	19
3.1 Classificação da pesquisa quanto aos fins.....	19
3.2 Classificação da pesquisa quanto aos meios	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 Descrição técnica de hardwares e softwares utilizados.....	22

4.1.2	Plataforma Arduino UNO R3 ATmega328P	22
4.1.3	Linguagem de programação.....	23
4.1.4	Sensor De Cor RGB TCS34725.....	23
4.1.5	Motor de passo.....	24
5	DESENVOLVIMENTO.....	26
5.1	Partes estrutural do funil e tubo distribuidor de grãos.....	27
5.1.2	Slot de compartimento dos grãos.....	29
5.1.3	Canaleta de seletividade dos grãos.....	29
5.2	Considerações iniciais de readaptação de peças.....	30
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
6.1	Realização dos testes.....	34
7	CONCLUSÕES.....	37
7.1	Trabalhos futuros.....	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O Brasil é o maior produtor e exportador de grãos de café do mundo e sua cafeicultura tem importância significativa na economia de vários Países. As características dos grãos do café, bem como as etapas de produção; colheita, processamento, secagem e armazenamento, são apontados como fatores que influenciam na qualidade que estão diretamente ligadas a lucratividade no ato de sua venda.

No mercado cafeeiro, os cuidados que antecedem à colheita dos grãos de café, são de suma importância, visto que dão origem às características ligadas a qualidade final da bebida, tais como: doçura, amargor e acidez, elementos esses presentes que conferem os mais variados aromas e sabores ao café. No mercado consumidor, existe uma crescente exigência quanto à qualidade da bebida, origens e formas de preparo dos grãos.

Para se obter uma bebida altamente apreciável, faz-se necessário, a separação dos frutos verdes e imaturos dos frutos denominados; cerejas. Identifica-se que os principais fatores que afetam a qualidade dos grãos, estão correlacionados a; colheita precoce dos frutos e a secagem dos grãos sem que seja realizada a separação dos frutos por estágio de maturação, levando em consideração que a umidade dos grãos é distinta e o tempo de secagem é diferenciado para cada estágio.

De acordo com uma ampla pesquisa realizada, constatou-se a inexistência de uma ferramenta de auxílio, para se determinar ou orientar na tomada da decisão de se iniciar ou não a colheita dos grãos de café, bem como; definir com precisão e clareza em qual quadra ou determinada área de plantio deve se iniciar a mesma. Neste contexto, objetivando demonstrar o uso da eletrônica e da automação na identificação de cores através da utilização do sensor de cor RGB, o presente trabalho de pesquisa tem como objetivo a construção de um protótipo que seja capaz de identificar e separar as mais variadas cores dos grãos de café.

Evidencia-se que, a elaboração de uma ferramenta que possa vir a ser utilizada como parâmetro para a tomada da decisão supracitada, possa contribuir com a redução da incidência dos grãos verdes e o aumento dos frutos “cerejas”, evitando-se assim o comprometimento dos atributos físicos, químicos, sensoriais e de inocuidade dos grãos, o que evidentemente contribuiria com os cafeicultores e com o mercado cafeeiro.

1.2 Objeto de estudo

Com base na temática abordada e nos desafios encontrados e evidentemente na busca de contribuir com novos métodos a serem aplicados aos cafeicultores, o presente trabalho de pesquisa tem como objetivo elaborar um protótipo que seja capaz de identificar e separar as mais variadas cores dos grãos de café, sejam elas de colorações; esverdeadas, amareladas, avermelhadas e alaranjadas, através da utilização do sensor de cores RGB acoplado a um dispositivo mecânico automatizado impresso em 3D.

É neste contexto que a presente pesquisa se empenha em saber: a utilização da ferramenta a ser desenvolvida contribuiria com os cafeicultores e com o mercado cafeeiro? Poderia essa ferramenta vir a ser uma referencial como normativa ou recomendações técnicas das mais renomadas instituições reconhecidas pela excelência na área de ensino, pesquisas e transferência de tecnologias em café?

1.3 Hipótese

A hipótese levantada nessa pesquisa é de que o desenvolvimento de uma ferramenta automatizada, acoplada a um dispositivo sensorial RGB, capaz de fazer a leitura e a separação das mais variadas cores dos grãos de café como amostragem antes de se iniciar a colheita dos frutos, contribua nos quesitos; melhor qualidade da bebida e melhores preços no comércio dos grãos cerejas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral é a construção de um protótipo capaz de fazer a separação dos grãos de café por suas respectivas cores, selecionando os grãos cerejas dos demais.

1.4.2 Objetivos específicos

- I. Construir um protótipo que faça a separação dos grãos por suas respectivas cores, sendo elas de coloração; esverdeadas, alaranjadas, amareladas e avermelhadas,
- II. Compreender o funcionamento do microcontrolador a ser utilizado;
- III. Estabelecer a linguagem de programação a ser utilizado no projeto;
- IV. Desenvolver um algoritmo capaz de interpretar e processar os dados do sensor de cor RGB TCS34725, bem como; comandar os motores de passo a serem utilizados no projeto;
- V. Avaliar os erros e acertos na separação dos grãos;

1.5 Justificativas

Evidencia-se que o momento ideal de colheita ocorre quando há grandes quantidades de grãos “cerejas” e baixa porcentagem de frutos verdes. Implica-se que, percentuais maiores desses grãos são considerados desfavoráveis a produção de um café de qualidade, uma vez que o lote desses no momento de sua classificação apresentarão um considerável número de grãos defeituosos que serão deletérios à qualidade do produto.

Além disso, a inclusão de tecnologias nos setores de agronegócios de controle de qualidade é capaz de complementar e até mesmo substituir o trabalho manual. Portanto, justifica-se na necessidade dos produtores de café uma ferramenta de auxílio para classificação ou separação de pequeno porte, voltado para o controle de qualidade de seus produtos.

1.6 Tratamento dos dados

No capítulo 1, foi feita uma breve introdução do referido tema, juntamente com o objeto de estudo, o levantamento das hipóteses, os objetivos gerais e específicos, bem como a justificativa e os procedimentos metodológicos e técnicos desta pesquisa.

O capítulo 2, trata-se do referencial teórico desse trabalho, e tem o objetivo central de fornecer embasamento científico dos autores, fornecendo assim o conhecimento necessário para a posterior prática do projeto.

No capítulo 3, são abordados os procedimentos metodológicos e técnicos da pesquisa, tais como a classificação desta pesquisa quanto aos seus meio e fim.

No capítulo 4, são abordados os materiais e métodos aplicados no desenvolvimento do protótipo. Este capítulo faz a descrição de todos os *hardwares* e *softwares* utilizados.

No capítulo 5, são abordados o desenvolvimento deste trabalho. O capítulo tem como objetivo, demonstrar os métodos utilizados na montagem do protótipo seletor.

No capítulo 6 são apresentados os resultados e discussões através da coleta de dados obtidos durante a realização dos testes de seletividade dos grãos.

O capítulo 7, são apresentadas as conclusões e as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desenvolvimento do fruto do café

Oyama (2014), define um fruto de café como uma drupa, formada pela polpa, epiderme ou exocarpo, e a mucilagem ou mesocarpo, que é uma substância açucarada e gelatinosa, que forma uma camada média de 0,5 mm de espessura e cobre os dois grãos enfrentados por sua face plana. As amêndoas ou grãos de café dos quais a bebida é extraída, são cobertos por duas camadas; uma chamada pergaminho ou endocarpo que é dura e frágil e a segunda uma membrana fina denominada de película prateada.

Estudos sobre o desenvolvimento e crescimento que o fruto do café sofre até atingir o estágio de maturação, mostraram que este é alcançado em média na 32ª semana após a floração no cafeeiro. Este período é afetado pela altitude, clima, entre outros fatores externos. O processo é dividido em três etapas, no qual o estado de maturação do grão é indicado em função do tempo decorrido após o florescimento. (AFONSI, 2008).

Segundo Oyama, Jorge & Gomes (2011) após a sua floração, o café leva em média 32 semanas para atingir o estado ótimo de maturação. O processo de desenvolvimento de frutos de café é dividido em três etapas;

- No primeiro estágio que vai do florescimento até a oitava semana o crescimento é muito lento e os frutos verdes lembram a cabeça de um fósforo.
- No segundo estágio, entre a nona e a vigésima sexta semana, o crescimento é mais rápido, os frutos começam a ganhar peso e a cor permanece verde, entretanto, apresentando mudança de tonalidades do verde intenso para o verde-cana.
- O terceiro estágio, que vai da semana 27 a 32, muda de verde para vermelho, ou conforme a cultivar, de verde para amarelo adquirindo sua maturidade fisiológica.

2.2 Colheita precoce dos frutos

Quando a colheita acontece de forma precoce com grandes quantidades de grãos imaturos, ocorrem perdas qualitativas tais como; bebida, sabor e aroma, além dos prejuízos quantitativos, pois serão necessária uma quantidade maior de grãos para se obter uma saca de café de 60 kg beneficiada, levando em consideração que esses frutos não adquiriram tamanho e maturidade se comparado aos grãos graúdos que são os cerejas. (MESQUITA, et.al, 2016).

Para Anastácio, Medeiros, & Freitas (2015), os frutos maduros em completo desenvolvimento, favorecem para que a bebida se torne apreciável sem que haja a perda das características de aroma, acidez, corpo e doçura, elementos esses que conferem os mais variados sabores ao café. Entretanto, as principais dificuldades para se obter exclusivamente os grãos “cerejas” com baixo percentual de grãos ainda imaturos, deve-se ao fato de que os grãos de café possuem irregularidades em seu estágio de maturação que ocorrem de forma distinta para cada unidade de grão.

“O cafeeiro, por possuir mais de uma floração, caracteriza se por apresentar em uma mesma planta e ao longo de toda a colheita frutos em diferentes estados de maturação. No início da colheita predominam frutos verdes e cereja e no final, frutos secos. Se por um lado nas colheitas tardias os frutos secos podem ter sofrido alguma fermentação indesejável, nas colheitas antecipadas os frutos verdes irão resultar em defeito verde e preto, depreciando o aspecto, o tipo e a bebida do café” (BORÉM, REINATO, FARIA, & SILVA, 2006, p. 1).

2.3 Recomendações técnicas para início da colheita

As recomendações técnicas dos extensionistas da EMATER-MG (Empresa de Assistência técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais), são de que seja realizado uma amostragem dos grãos de café antes de se iniciar a colheita. Para que seja considerado satisfatório, o número de grãos seguido das etapas ao final da separação e anotação, seja de que a porcentagem dos grãos verdes, apresentem quantidades inferiores a 20%. (MESQUITA, et al., 2016, p. 12).

Escolher quatro plantas que seja representativa de cada gleba ou talhão, colher os frutos da mesma, retirar 1 litro do café colhido, separar os grãos por estágio de maturação e fazer a anotação da quantidade de frutos obtidos em cada fase. (MESQUITA, et al., 2016, p. 12).

2.4 Classificação e preços de comercialização dos grãos

Segundo Moreira (2015, p.19), “Os preços de comercialização da maioria dos produtos são determinados pela qualidade apresentada, sendo esta, de fundamental importância na conquista de novos mercados”. De acordo com a normativa nº8 do ministério de Agricultura, Pecuária e abastecimento (BRASIL, 2013), os grãos são classificados pelo número de defeitos. Os objetivos fundamentais da classificação são de conhecer a qualidade do café a ser comercializado.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS

3.1 Classificação da pesquisa quanto aos fins

As pesquisas podem ser ordenadas de várias maneiras, o mais comum é partir do ponto de vista da sua natureza, segundo o modo de abordagem do problema, conforme o intuito e do ponto de vista das condutas técnicas. Conforme a natureza das pesquisas, as mesmas podem ser ordenadas como:

- Pesquisa Aplicada: seu objetivo é promover conhecimento para a aplicação prática orientando às respostas de problemas específicos.
- Pesquisa Básica objetiva: gerar conhecimentos criativos de grande importância para o progresso da ciência sem que haja aplicação prática presumida. (SILVA, 2001)

Neste trabalho será realizada uma pesquisa aplicada por meio da construção de um protótipo funcional que fará a separação dos grãos de café por cores.

3.2 Classificação da pesquisa quanto aos meios

Para alcançar os objetivos propostos, o meio utilizado foi o estudo de caso, por considerar que atende as várias características desta pesquisa, como o fato de ser um estudo, onde o intuito é obter uma visão extensa do problema em questão. Yin (2001) considera o método de estudo de caso apropriado para assuntos que são considerados praticamente novos, uma vez que, em sua opinião, a pesquisa empírica tem as seguintes características distintivas:

- Examinar ou perguntar sobre um fenômeno contemporâneo em seu ambiente real;
- As fronteiras entre o fenômeno e seu contexto não são claramente evidentes
- Várias fontes de dados são usadas;
- Tanto um único caso, quanto vários casos podem ser estudados;

Yin (2001), também indica que o método do estudo de caso é uma metodologia rigorosa que:

- É adequado investigar fenômenos que buscam responder como e por que eles ocorrem.
- Permite estudar um tópico específico.
- É ideal para o estudo de tópicos de pesquisa nos quais as teorias existentes são inadequadas.
- Permite estudar os fenômenos a partir de múltiplas perspectivas e não da influência de uma única variável.
- Permite explorar de forma mais profunda e obter um conhecimento mais amplo sobre cada fenômeno, o que permite o surgimento de novos sinais sobre os problemas que possa surgir.
- Desempenhar um papel importante na pesquisa, por isso não deve ser usado apenas como a exploração inicial de um fenômeno particular.

Em relação ao seu propósito, a pesquisa realizada através do método de estudo de caso pode ser: descritiva, se o que se pretende é identificar e descrever os diferentes fatores que influenciam o fenômeno estudado e exploratório, se por meio deles o objetivo é alcançar uma aproximação entre as teorias inscritas no referencial teórico e a realidade em estudo.

Marconi e Lakatos (2011) afirmam que a finalidade de uma pesquisa é descobrir respostas para as questões que são levantadas, partindo de um problema que deve ser respondido e as hipóteses levantadas podem ser confirmadas ou invalidadas. O presente estudo irá utilizar-se da pesquisa exploratória para o andamento desta pesquisa.

De acordo com Lakatos e Marconi (2011, p.188), “as pesquisas exploratórias são compreendidas como investigações de pesquisa empírica cujo objetivo é a formulação de questões ou de um problema, com tripla finalidade: desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente, fato ou fenômeno para a realização de uma pesquisa futura mais precisa ou modificar e clarificar conceitos”.

Em estudos exploratórios, são abordados campos pouco conhecidos onde o problema, que só pode ser vislumbrado, precisa ser esclarecido e delimitado. Este último é precisamente o objetivo de um tipo de pesquisa exploratória. As investigações exploratórias geralmente incluem extensas revisões de literatura e consultas com especialistas. Os resultados desses estudos geralmente incluem a delimitação de um ou vários problemas científicos na área sob investigação e que requerem um estudo mais aprofundado (GIL, 2008).

As Investigações Exploratórias pretendem reunir os conhecimentos existentes relacionados ao problema de decisão e, portanto, de investigação, fornece a partir dessa perspectiva um panorama global da situação. A partir desta posição, eles trabalham com dados de uma fonte secundária.

Elas também lidam com tudo relacionado ao entendimento do problema de decisão, por isso focam em questões como: a análise de sintomas manifestos, a revisão de problemas anteriores para encontrar relações com o problema atual, a identificação de variáveis emergentes (dependente e independente, intrínseca e extrínseca, controlável e não controlável) para determinar às causas do problema (definição do problema), o teste de hipóteses, as necessidades de informação, o teste da ideia de novos produtos (prova de conceito), etc. Dessa perspectiva, eles trabalham com informações primárias (OLIVEIRA, 2011).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrição técnica de *hardwares* e *softwares* utilizados

4.1.2 Plataforma Arduino UNO R3 ATmega328P

O modelo escolhido para realizar o desenvolvimento do protótipo foi o Arduino ATmega328P conhecido popularmente como Arduino UNO R3. Esta plataforma possui uma quantidade aceitável de memória para o armazenamento dos códigos de programação desse projeto. De acordo com a citação feita por Mc Roberts (2011, p.22):

Em termos práticos, um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. [...]. O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software.

No presente trabalho, esse dispositivo pode ser considerado como a pedra fundamental do projeto, levando-se em consideração que este microcontrolador será o responsável por executar os comandos de todos os *hardwares* como motores e sensores do protótipo. Através da Figura 1, é possível observar todos os componentes que compõem a estrutura física dessa plataforma de prototipagem.

Figura 1- Plataforma Arduino ATmega328



Fonte: Próprio autor (2019)

4.1.3 Linguagem de programação

A linguagem C criada por Dennis Ritchie da Bells Labs em 1972, é considerada uma linguagem de nível intermediário. Essa linguagem necessita que o programa fonte gerado pelo programador seja compilado e processado por outro programa conhecido como montador (*linker*), o qual gera o programa em linguagem de máquina para gravação da memória do microcontrolador (CORTELETTI, 2006)

As vantagens de se programar em linguagem C se tornam evidentes pelos fatos de os compiladores oferecerem bibliotecas, ou seja, códigos que contém definições e funções prontas para o usuário utilizar em seu código. No presente projeto, optou-se pelo uso da linguagem C na programação do microcontrolador pelo conhecimento da linguagem, além das vantagens devido ao fato do compilador oferecer bibliotecas prontas de quase todos os componentes a serem utilizados no projeto, tornando mais fácil a sua programação.

4.1.4 Sensor De Cor RGB TCS34725

O sensor de cor TCS34725 conforme Figura 2, é um sensor de luminosidade e utiliza seu *chip* para detectar o nível de cor RGB de objetos colocados à frente do sensor. O *chip* é composto por uma matriz de fotodiodos 3X4 que são compostos de filtros vermelho, verde e azul, além de possuir filtro IR oferecendo maior precisão em suas medições. Este sensor apresenta ainda, a capacidade de ajustes no nível de ganho e tempo de integração, o que possibilita a aquisição de dados de maior confiabilidade mesmo em diferentes níveis de iluminação. (ALLDATASHEET, 2016)

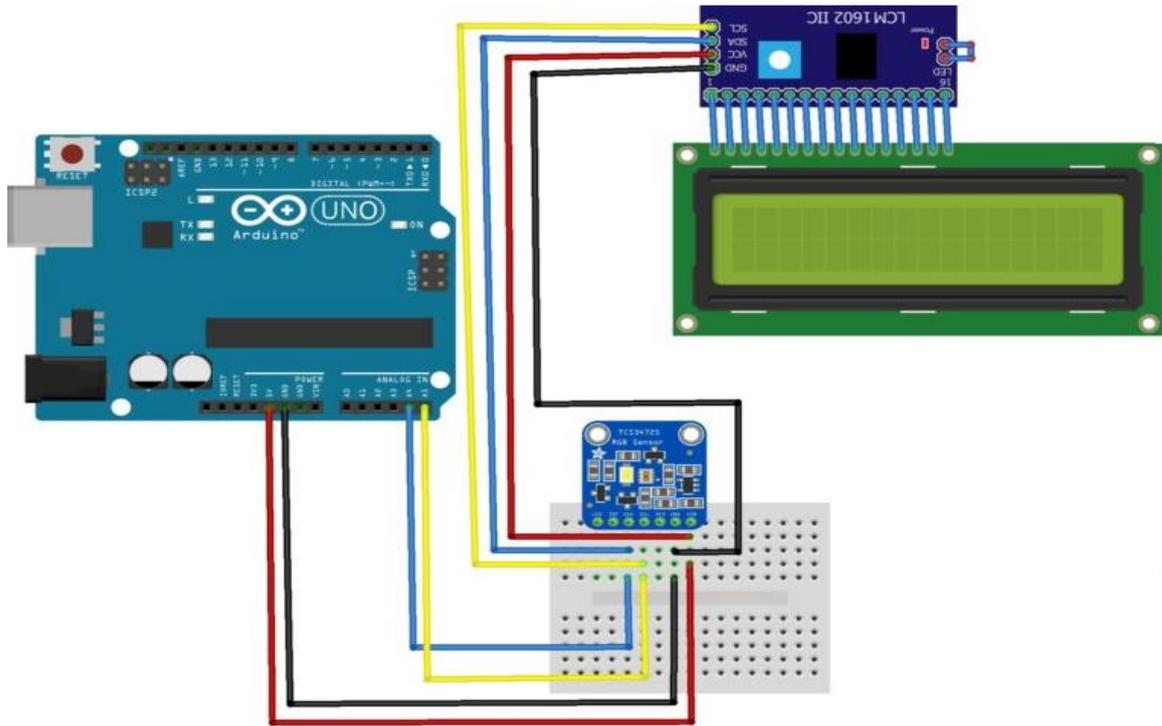
Figura 2- Sensor TCS34725



Fonte: Próprio autor (2019)

. Através do Circuito *Fritzing* conforme a Figura 3, é possível ver a ligação entre o Arduino e os módulos acoplados a ele para se obter os valores de cada cor ou tonalidade.

Figura 3- Circuito *Fritzing* para leitura de cores do sensor TCS34725



Fonte: Baú da eletrônica (2017)

4.1.5 Motor de passo

Motores de passo são dispositivos mecânicos eletromagnéticos, síncrono e sem escovas que trabalham a partir do deslocamento angular dos pontos de retenção entre o rotor e o estator, normalmente no ângulo de 1,8 grau. Para Brites & Santos (2008, p. 3) “O ponto forte de um motor de passo não é a sua força (torque), tampouco sua capacidade de desenvolver altas velocidades, mas sim a possibilidade de controlar seus movimentos de forma precisa”.

Para o desenvolvimento deste trabalho, serão utilizados dois motores de passo bipolares Nema 23, conforme Figura 4. Este modelo foi escolhido devido a sua exatidão nos movimentos e facilidade de controle.

Figura-4 Motor de passo Nema 23

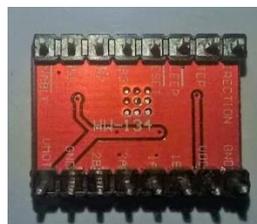


Fonte: Próprio autor (2019)

4.1.5 Drive controlador A4988

Segundo ALLEGRO MICROSYSTEMS (2016), o controle básico do motor de passo é feito por meio de dois pinos do microcontrolador, ligados aos pinos *STEP* (passo) e *DIR* (direção) do módulo A4988 conforme Figura 5. Este módulo é controlado pelo *chip* Allegro A4988 e pode ser alimentado com tensões entre 3 e 5.5V. Para o motor, permite alimentação externa de 8 à 35V, além de funcionar como amplificador de corrente e tensão, o *driver* auxilia no controle do motor.

Figura 5- Driver controlador A4988

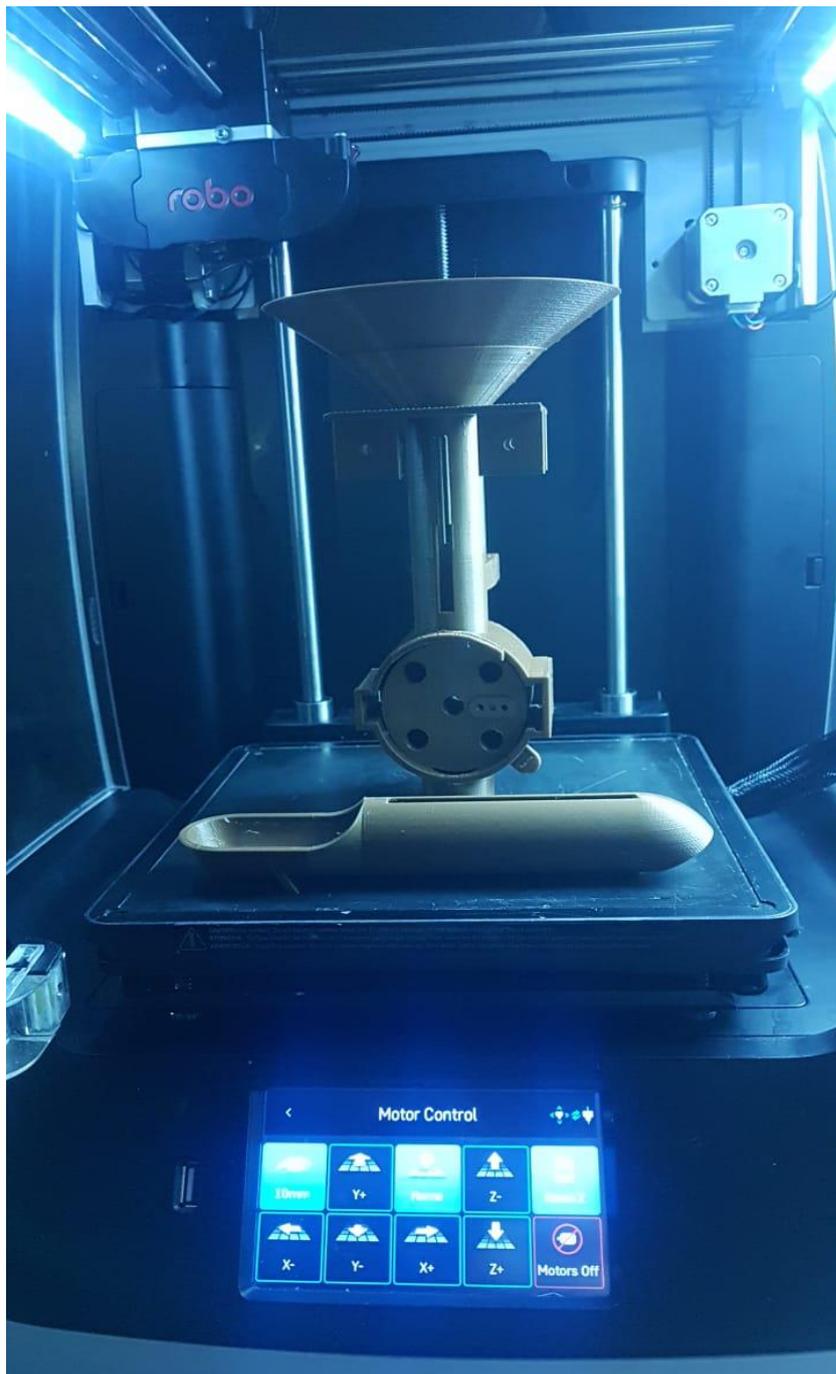


Fonte: Próprio autor (2019)

5 DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do protótipo, optou-se por fazer a impressão em 3D de alguns componentes que são uma readaptação de um classificador e separador de M&M'S® desenvolvido por (IVC, 2017), conforme Figura 6.

Figura 6- Impressão em 3D



Fonte: Próprio autor (2019)

O mesmo foi construído tendo como material base o PLA na cor dourada. Este material sintético é originado de fontes naturais renováveis e sua aplicação é comumente utilizada na aplicação de protótipos. Entretanto, é preciso ressaltar que devido a diferença geométricas na comparação entre os referidos confeitos de chocolates e os grãos de café, obrigatoriamente fizeram com que a estrutura tivesse que ser completamente remodelada antes de sua impressão.

5.1 Partes estrutural do funil e tubo distribuidor de grãos

Esta estrutura conforme Figura 7, tem o objetivo de encaminhar os grãos de café através de um tubo distribuidor até o seu *slot* de compartilhamento e foi reprojeta para ser fixada em uma base de forma a ficar suspensa.

Figura 7- Tubo distribuidor de grãos



Fonte: Próprio autor (2019)

Devido ao tamanho da peça, parte do funil que compõe essa estrutura foi impressa separadamente, conforme Figura 8.

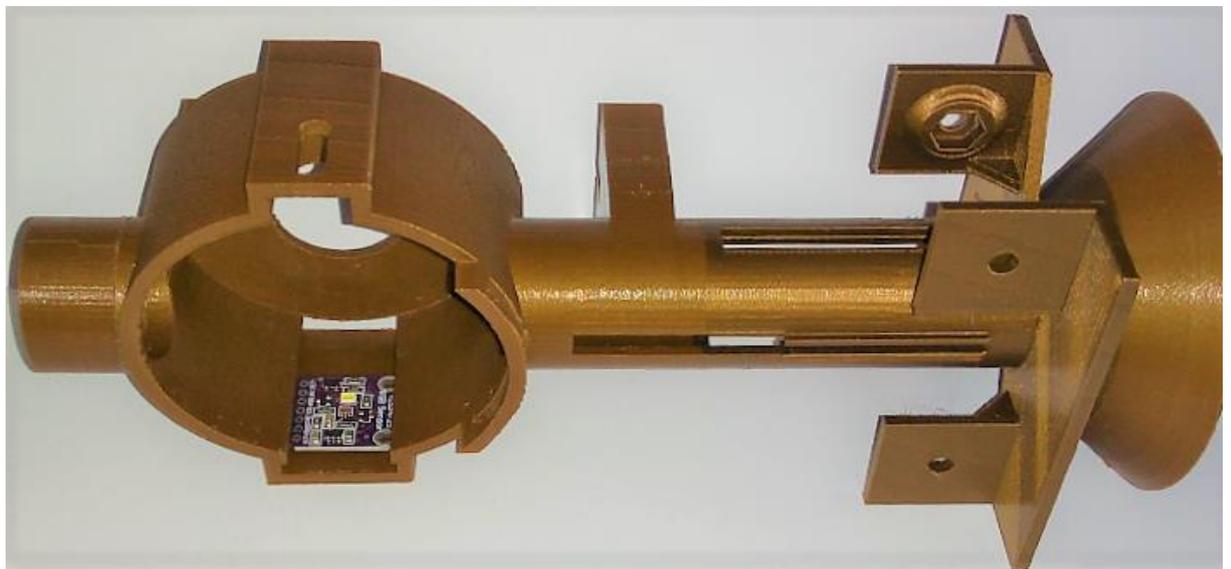
Figura 8- Parte complementar do funil



Fonte: Próprio autor (2019)

Na estrutura, é possível notar que há encaixe lateral conforme Figura 9 para alojar o sensor de cor RGB TCS34725. Este sensor será responsável por fazer a leitura colorimétrica dos grãos de café.

Figura 9- Encaixe lateral do sensor de cor RGB TCS34725



Fonte: Próprio autor (2019)

5.1.2 Slot de compartimento dos grãos.

Esta estrutura, conforme Figura 10, possui quatro slots de compartimento de 18x18 mm, que receberão os grãos de café. Cada *slot* foi reprojetoado de forma a receber uma única unidade de grão por vez, evitando assim possíveis falhas que pudessem comprometer o projeto.

Figura 10- *Slot* de compartimento dos grãos



Fonte: Próprio autor (2019)

5.1.3 Canaleta de seletividade dos grãos.

Esta estrutura denominada canaleta de seletividade conforme Figura 11, tem por finalidade atuar juntamente a um motor de passo de forma a separar os grãos por suas respectivas cores nos recipientes que serão utilizados.

Figura 11- Canaleta de seletividade



Fonte: Próprio autor (2019)

5.2 Considerações iniciais de readaptação de peças

Ao dar início a montagem do protótipo, já foi possível perceber algumas características indesejáveis no material impresso. Primeiramente, notou-se que a peça de funil e tubo distribuidor de grãos conforme supracitado na Figura 8, haviam sido impressas parcialmente e posteriormente coladas para formar o conjunto da peça como um todo, o que conseqüentemente resultou no cisalhamento desta estrutura de sustentação. A princípio é preciso ressaltar que ao receber as peças impressas que foram terceirizadas, não se pôde notar essas características.

Contudo, optou-se por dar continuidade no projeto já impresso, e utilizou-se parte da canaleta de seletividade descrita na Figura 11 para que fosse adaptada como tubo distribuidor. Para garantir que não houvesse futuras avarias nas partes adaptadas, um pedaço de cano de PVC de 17mm foi introduzido dentro da estrutura, através da Figura 12 é possível notar que houve um aumento no comprimento da peça devido a essa nova readaptação.

Figura 12- Readaptação da parte estrutural do funil e tubo distribuidor



Fonte: Próprio autor (2019)

5.3 Montagem do protótipo seletor

Posteriormente as correções necessárias, deu-se início a montagem do protótipo. O conjunto das peças impressas juntamente com os *hardwares* foram montados em uma estrutura de MDF. A Figura 13 mostra o protótipo após a sua montagem.

Figura 13- Vista frontal do protótipo seletor



Fonte: Próprio autor (2019)

A Figura 14, mostra em detalhes, o posicionamento do motor de passo que foi fixado na estrutura de MDF, antes de alojar o *slot* de compartimento dos grãos conforme Figura 9, adaptou-se o sensor RGB no encaixe lateral da estrutura impressa em 3D.

Figura 14- Estrutura interna do eixo central do protótipo seletor



Fonte: Próprio autor (2019)

Através da Figura 15 é possível observar o posicionamento dos dois motores de passos utilizados no projeto.

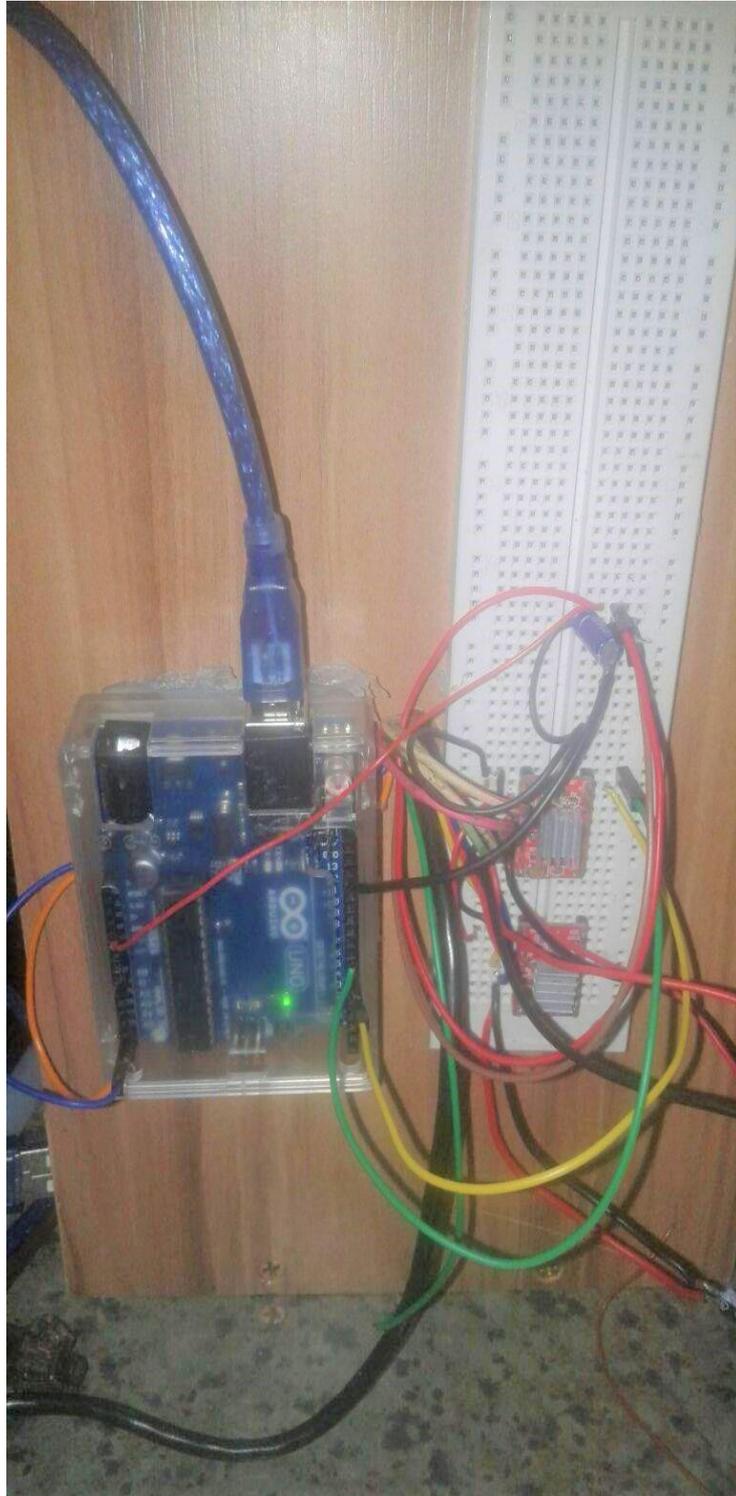
Figura 15- Fixação dos motores de passo



Fonte: Próprio autor (2019)

A Figura 16, mostra em detalhes a posição do microcontrolador Atmega328P ao lado de uma placa *protoboard* utilizada para fazer a ligação dos fios do sensor RGB TCS3425 bem como os *drivers* para fazer o controle dos motores de passo.

Figura 16- Placa de conexão dos fios



Fonte: Próprio autor (2019)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Realização dos testes

Para a realização dos testes iniciais foram selecionadas cem unidades de grãos em diferentes estágios de maturação conforme a tabela 1.

Tabela 1- Testes pelo método de contagem de tempo 1

<i>Cores correspondentes ao grau de maturação dos grãos selecionados</i>	<i>Quantidade de grãos selecionados para a realização dos testes</i>
<i>Esverdeados</i>	5
<i>Alaranjados</i>	35
<i>Avermelhados</i>	60
<i>Total de amostras</i>	100 grãos

Fonte: Próprio autor (2019)

A Tabela 2, mostra os resultados obtidos através do método de classificação por contagem de tempo. Foram realizados cinco testes.

Tabela 2- Resultados obtidos pelo método de classificação por contagem de tempo 1

<i>Número de testes</i>	<i>classificação por contagem de tempo em minutos e segundos.</i>	<i>Percentual de acertos</i>	<i>Percentual de erros</i>
1	3 minutos e 58 segundos	88%	12%
2	4 minutos e 33 segundos	84%	16%
3	4 minutos e 27 segundos	87%	13%
4	4 minutos e 50 segundos	82%	18%
5	4 minutos e 22 segundos	82%	16%

Fonte: Próprio autor (2019)

Em todos os testes supracitados, o percentual de erros foi referente as cores de grãos alaranjadas. Em todos os casos, o leitor de cores RGB entendeu que para essa coloração a destinação final através da canaleta de seletividade se dava junto as cores avermelhadas.

Conforme abordado no referencial teórico deste trabalho, os grãos de café conforme o seu cultivar adquirem a coloração avermelhada ou amarelada ao atingirem seu completo grau de maturidade fisiológica. Baseado nessas informações, considerou-se ambos os grãos como “cerejas”. Entretanto, é preciso ressaltar que os grãos amarelados não possuem durante o seu estágio de maturação a coloração alaranjada. Diante dessas informações, os testes realizados com os grãos esverdeados e amarelados foram realizados de maneira distinta conforme Tabela 3.

Tabela 3- Testes pelo método de contagem de tempo 2

<i>Cores correspondentes ao grau de maturação dos grãos selecionados</i>	<i>Quantidade de grãos selecionados para a realização dos testes</i>
<i>Esverdeados</i>	5
<i>Amarelados</i>	95
<i>Total de amostras</i>	100 grãos

Fonte: Próprio autor (2019)

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos através do método de classificação por contagem de tempo para as novas cores correspondentes ao grau de maturação que são os grãos amarelados e esverdeados. Considerou-se para esta classificação a mesma quantidade de cem unidades de grãos.

Tabela 4- Resultados obtidos pelo método de classificação por contagem de tempo 2

<i>Número de testes</i>	<i>classificação por contagem de tempo em minutos e segundos.</i>	<i>Percentual de acertos</i>	<i>Percentual de erros</i>
1	5 minutos e 27 segundos	100%	0%
2	5 minutos e 46 segundos	100%	0%
3	6 minutos e 12 segundos	100%	0%
4	5 minutos e 19 segundos	100%	0%
5	5 minutos e 21 segundos	100%	0%

Fonte: Próprio autor (2019)

Para a classificação dos grãos esverdeados e amarelados o percentual de erros para todos os testes foi de 0%. Atribui-se a quantidade de acertos devido ao fato

do sensor RGB reconhecer com precisão a cor predominante da cor verde no sensor (G).

A Tabela 5, apresenta a descrição dos materiais utilizados e seus respectivos valores para a construção do protótipo. É necessário ressaltar que não estão inclusos nos valores, a mão de obra para a montagem do equipamento, bem como as horas de programação do microcontrolador que em conjunto de todos os *hardwares* são responsáveis pelo funcionamento da ferramenta que faz a separação dos grãos de café.

Tabela 5- Orçamento para a construção do protótipo

Item	Descrição	Quantidade	Preço Total
1	Conjunto de Peças impressas em 3D	1	230,00
2	Plataforma Arduino ATmega328	1	30,00
3	Motor de passo bipolar	2	160,00
4	Sensor de cor RGB TCS34725	1	35,90
5	Drivers A4988	2	32,00
6	Jumpers PCT C/40 Unidades	1	16,90
7	Placa protoboard	1	24,90
8	Madeira de reciclagem	-	
9	Cano de PVC	-	
			529,70

Fonte: Próprio autor (2019)

7 CONCLUSÕES

Através dos resultados apresentados na seção 6.1, pode se afirmar que; o objeto de estudo, o objetivo geral e os objetivos específicos desse trabalho foram atingidos com sucesso. Posteriormente a amostragem dos grãos, a hipótese levantada nas iniciais desse trabalho de que a elaboração de uma ferramenta pudesse vir a ser utilizada como parâmetro para a tomada da decisão de se iniciar a colheita com o percentual mínimo de grãos imaturos puderam ser validadas diante do percentual de acertos durante o processo de classificação dos grãos.

Através da observação de algumas variáveis durante a execução do protótipo tais como; o decorrer do tempo gasto para a classificação dos grãos, levantaram a questão de que novas formas estruturais de projeto impresso podem favorecer para que o processo de classificação se torne mais célere.

7.1 Trabalhos futuros

Para a realização de trabalhos complementares a serem realizados para estabelecer melhores resultados pretende-se;

- Criar um novo modelo impresso em 3D que seja capaz de classificar quantidade maiores de grãos de café utilizando vários sensores RGB acoplados em um único dispositivo.
- Verificar a ideia de se acoplar uma lente nos sensores RGB para possibilitar uma melhor precisão de leitura dos grãos de café.

REFERÊNCIAS

ALLDATASHEET. Sensor RGB TCS34725. Disponível em: <<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/894928/AMSCO/TCS34725.html>> Data de acesso 30/09/2019.

ALLEGRO MICROSYSTEMS. DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection. Allegro MicroSystems Website, Dallas, p. 33, 2016. Disponível em: Acesso em:< <https://www.allegromicro.com/en/Products/Motor-Drivers/Brush-DC-Motor-Drivers/A4988.aspx>> Data de acesso: 16/11/2019

ANASTÁCIO, H.A., MEDEIROS, J. C., & FREITAS, J.S (2015). *PROCEDIMENTOS DE COLHEITA DE CAFÉ. EMBRAPA. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Livro_Cafe_na_Amzonia_2015.pdf.*

AFONSI, Eduardo Lauriano. Uso de índices fenológicos em modelos de previsão de produtividade do cafeeiro. Orientador: Dr. José Laercio Favarin. 2008. 105 p. Tese de Doutorado (Agronomia) - Universidade de São Paulo, Picacicaba, 2008.

ARDUINO.CC *Microcontrolador ATmega328P.* Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUnoSMD>. Acesso em 25/09/2019.

BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R. *Qualidade do café despulpado submetido a diferentes processos de secagem. Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa, n. 9, p. 25-31, 2006.*

BORGES, Fernanda Barbosa; JORGE, José Tadeu; NORONHA, Regina. *Influência da idade da planta e da maturação dos frutos no momento da colheita na qualidade do café. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 22, n. 2, p. 158-163, 2002.*

Brites, F. G., & Santos, V. P. (2008). *Motor de Passo.* Centro Tecnológico Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niteroi- RJ. Fonte:

<http://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k81119.pdf>

Circuito sensor de cor RGB TCS34725/ disponível em: <http://blog.baudaeletronica.com.br/wpcontent/uploads/2017/08/displayi2c_SensorRGB_bb-768x570.jpg> Data de acesso:30/09/2019.

CORTELETTI, D. *Introdução a programação de microcontroladores microchip PIC*. SENAI-RS, outubro 2006.

IVC, 2017. *Skittles M & M's Sorting Machine*. Disponível em: <https://beta.ivc.no/wiki/index.php/Skittles_M&M%27s_Sorting_Machine> acesso em 22/08/019.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Metodologia científica*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

McROBERTS, Michael. *Arduino Básico*. São Paulo: Editora Novatec LTDA.2011.

MESQUITA, Carlos Magno de *et al*. *MANUAL DO CAFÉ COLHEITA E PREPARO*. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 52 p.

MOREIRA, Rodrigo Victor. *CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM DO CAFÉ NATURAL SUBMETIDO A DIFERENTES TIPOS DE SECAGEM*. 2015. 117 p. Programa de pós-graduação (Engenharia Agrícola) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, Lavras-MG, 2015.

OLIVEIRA, Silvio Luiz. *Tratado de Metodologia Científica: Projetos de pesquisas, TGI, TCemC, Monografias, Dissertações e Teses*. 2º ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning. 2004.

OYAMA, PI de C.; JORGE, LA de C.; GOMES, C. C. Sistema de Visão Computacional para Classificação de Grãos de Café por Cor e Forma. In: Embrapa Instrumentação- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: WORKSHOP DE VISÃO COMPUTACIONAL, 7., 2011, Curitiba. Anais... Curitiba: Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2011. p. 202-207., 2011.

OYAMA, Pedro Ivo de Castro. Método para classificação de café em grãos por imagens digitais pelo uso de atributos selecionados de morfologia, cor e textura. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2014.

Patsko, L. F. (2006). *Tutorial Controle De Motor de Passo*. Fonte: https://maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_motor_de_passo.pdf> Data de acesso: 19/11/2019/

SILVA, Edna Lúcia; MENEZES, *Ester Muszkat*. *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. 3. ed. rev. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

Souza, J. J. (2011). *Motores de Passo*. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ , Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial Ponta Grossa. Fonte: <https://jhonathanjs.files.wordpress.com/2012/11/trabalho-motor-de-passo1.pdf>> Data de acesso: 19/11/2019/

YIN, Robert. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman. 2001.