

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA

MARIANA EMER DE QUEIROZ

**ELABORAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE ESTEIRA SELETORA
POR COR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2017

MARIANA EMER DE QUEIROZ

**ELABORAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE ESTEIRA SELETORA
POR COR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – TCC do Curso Superior de Engenharia Eletrônica, do Departamento Acadêmico de Eletrônica - DAELN - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira em Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Rodrigues da Cunha
Coorientador: Prof. Me. Leonardo Faria Costa

CAMPO MOURÃO

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO INTITULADO

ELABORAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE ESTEIRA SELETORA POR COR

Por

Mariana Emer de Queiroz

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 11 de Agosto de 2017 ao Curso Superior de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. A Candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. André Luis Regis Monteiro
(UTFPR)

Prof. Lucas Ricken Garcia
(UTFPR)

Prof. Márcio Rodrigues da
Cunha (UTFPR)
Orientador

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na
Coordenação do Curso

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, que me deu força para chegar até aqui, aos meus pais e ao meu irmão que sempre me apoiaram e acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que iluminou meu caminho, guiou os meus passos e me permitiu chegar onde estou apesar dos diversos obstáculos enfrentados ao longo da vida.

Ao meu pai Edson Luiz Ramalho de Queiroz, pelo exemplo de pai, pelas batalhas diárias, pelo incentivo nas horas difíceis e por não medir esforços para que eu pudesse concluir meus estudos.

À minha mãe Barbara Cristina Emer de Queiroz, pelo amor incondicional, companheirismo e ensinamentos proporcionados durante todos esses anos, os quais fizeram de mim uma pessoa melhor.

Ao meu irmão Gabriel Emer de Queiroz, que mesmo longe sempre esteve ao meu lado me encorajando e me incentivando a não desistir do meu sonho.

Às minhas amigas, que posso chamar de irmãs, Carla Carolina da Cunha e Gabrielly Franco Garcia, que me deram bons conselhos, me apoiaram nas decisões tomadas, me carregaram nos momentos mais difíceis e me auxiliaram em diversas circunstâncias. Tornando-se assim parte da família.

Ao meu amigo Bruno Schuavab Penha, pela paciência, insistência e amizade.

Aos professores que me orientaram nesse trabalho, Márcio Rodrigues da Cunha e Leonardo Faria Costa, pela atenção, dedicação e pelos ensinamentos ministrados.

Aos demais professores dessa instituição pelo conhecimento transmitido e auxílio prestado durante toda a trajetória acadêmica.

As pessoas que foram essenciais na minha permanência em Campo Mourão, as quais me fizeram rir enquanto a vontade era de chorar, que estenderam a mão quando os obstáculos se aproximavam, tornando-se assim grandes amigos, que vou levar para sempre comigo.

RESUMO

Queiroz, M. E. de. **ELABORAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE ESTEIRA SELETORA POR COR.** 2017. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

O escopo deste trabalho é a elaboração de um protótipo de esteira seletora por cor, que visa tornar tal separação mais eficiente do que quando feita de forma manual. Para isso, o projeto foi elaborado considerando o acoplamento de três elementos: um *dispenser* com servomotor de 180°, onde os confeitos são inicialmente depositados um por vez; a esteira com um motor CC de 12 V, para movimentação do conjunto, e com um sensor TCS230, responsável pelo reconhecimento da cor; e os potes, que são rotacionados de acordo com a identificação da cor dos doces, através do movimento realizado por um servomotor de 180°. Foram utilizados confeitos coloridos da marca M&M's® como objetos-teste. Todos esses itens foram controlados por um microcontrolador Atmega328, utilizando um algoritmo inicialmente para cadastro do RGB dos confeitos e posteriormente tais informações foram colocadas no código final. Com a utilização desse algoritmo, os testes foram realizados e foi possível observar a influência da luz na detecção, por isso optou-se pela utilização da lâmpada fluorescente. Com base em tais resultados, passou-se a realizar testes para determinar os erros, acertos e a quantidade de confeito separada por minuto. Os experimentos foram realizados com dois sensores de reconhecimento de cor com a mesma configuração. Ao usar o primeiro sensor obteve-se uma porcentagem de acertos de 94% e uma velocidade de separação de 17 confeitos por minuto. Já ao realizar os mesmos testes com o segundo sensor aumentou a quantidade de acertos para 99,4%, e a velocidade de separação manteve-se em 17 confeitos por minuto. Essa diferença nos resultados entre os sensores 1 e 2, podem ter sido ocasionada por algum problema na matriz de fotodiodos do sensor, uma vez que o comportamento do sensor divergia em cada um dos casos. Relacionando todas as características é possível considerar o protótipo construído como sendo funcional.

Palavras-chave: Separação Por Cor, TCS230, Servomotor, Confeitos.

ABSTRACT

Queiroz, M. E. de. **ELABORATION AND IMPLEMENTATION OF A PROTOTYPE COLOR MAT SELECTOR**. 2017. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

The present work focuses on the elaboration of a prototype of a color selective mat, which aims to make such separation more efficient than when done manually. For this, the project was elaborated considering the coupling of three elements: a dispenser with 180° servomotor, where the confections are initially deposited one at a time; The treadmill with a DC motor of 12 V (drives the set) and with a sensor TCS230 (responsible for color recognition); And the pots, which are rotated according to the color identification of the sweets, through the movement performed by a 180° servomotor. Colored candies of the brand M&M's® were used as test objects. All of these items were controlled by an Atmega328 microcontroller, using an algorithm initially to register the RGB of the confectionery and subsequently such information was placed in the final code. With the use of this algorithm, the tests were performed and it was possible to observe the influence of light on the detection, so we chose to use the fluorescent lamp. Based on such results, tests were performed to determine the errors, correctness and the amount of confection separated per minute. The experiments were performed with two color recognition sensors with the same configuration. When using the first sensor, a percentage of hits of 94% and a separation rate of 17 confections per minute were obtained. Already in carrying out the same test with the sensor increased the number of hits to 99.4%, and the speed of separation was maintained in 17 confections per minute. This difference in results between sensors 1 and 2 could have been caused by some problem in the sensor photodiode array, since the behavior of the sensor differed in each case. Relating all the possible characteristics and considered as prototype built as being functional.

Key-words: Color Sorting, TCS230, Servomotor, Confectionery.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Taxa de erro para cada altura do sensor com relação a esteira	47
Tabela 2 – Amostras utilizando a luz natural do ambiente	51
Tabela 3 – Valores estatísticos referente aos acertos com luz natural	53
Tabela 4 – Amostras utilizando lâmpada fluorescente	53
Tabela 5 –Valores estatísticos referentetes aos acertos com lâmpada fluorescente	54
Tabela 6 – Porcentagem erros e acertos na separação.....	57
Tabela 7 –Valores estatísticos referente aos acertos.....	57
Tabela 8 – Amostras dos confeitos separados em um minuto	59
Tabela 9 – Amostras utilizando luz natural do ambiente	60
Tabela 10 – Valores estatísticos referente aos acertos com luz natural	61
Tabela 11 – Amostras utilizando lâmpada fluorescente	61
Tabela 12 – Valores estatísticos dos acertos com lâmpada fluorescente	62
Tabela 13 –Porcentagem de erros e acertos na separação.....	63
Tabela 14 –Valores estatísticos referentes aos acertos.....	64
Tabela 15 – Amostras dos confeitos separados em um minuto	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esteira de transporte na indústria	14
Figura 2 – Diferentes cores das etapas de maturação do café	15
Figura 3 – Espectro eletromagnético.....	18
Figura 4 – Classes de cones presentes nos olhos humano	19
Figura 5 – Modulação por largura de pulso (PWM) de um sinal.....	21
Figura 6 – Movimento para o funcionamento do motor	22
Figura 7 – Estruturas que compõem um motor CC	24
Figura 8 – Controle do servomotor por PWM.....	25
Figura 9 – Sensor de cor TCS230.....	27
Figura 10 – Diagrama de blocos TCS230	28
Figura 11 – Vista superior do transdutor do sensor TCS230	28
Figura 12 – Resposta espectral do TCS230.....	29
Figura 13 – Unidades que podem compor um microcontrolador.....	31
Figura 14 – Estruturas externa do Atmega328 com suas pinagens	32
Figura 15 – Arquitetura interna do Atmega328.....	33
Figura 16 – Espaços de amostras para o Knn	34
Figura 17 – Dispenser de doces.....	37
Figura 18 – Representação da esteira	38
Figura 19 – Reprodução dos potes	39
Figura 20 – Protótipo final	39
Figura 21 – Fluxograma de apoio ao algoritmo	42
Figura 22 – Diagrama de funcionamento do projeto	42
Figura 23 – Esquemático da placa de potência.....	43
Figura 24 – Esquemático referente a placa de controle	44
Figura 25 – Dispenser antes e depois da substituição da peça	46
Figura 26 – Chaveamento PWM	49
Figura 27 – Gráficos de setores para os erros e acertos com luz natural I	55
Figura 28 – Gráficos de setores para os erros e acertos com lâmpada fluorescente I	55
Figura 29 – Gráfico de irradiância por comprimento de onda para diferentes meios luminosos	56

Figura 30 – Gráfico de setores reunindo erros e acertos	58
Figura 31 – Gráficos de setores para os erros e acertos com luz natural II	62
Figura 32 – Gráficos de setores para os erros e acertos com lâmpada fluorescente II	63
Figura 33 – Gráfico de setores reunindo erros e acertos II	64

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
GND	Terra
H	<i>High</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
KNN	<i>K-NearestNeighbors</i>
L	<i>Low</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
OE	<i>Output Enable</i>
OUT	<i>Output</i>
PROM	<i>Programmable Read Only Memory</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RGB	<i>Red, Green e Blue</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
ROM	<i>Read Only Memory</i>
TAOS	<i>Texas Advanced Optoelectronic Solutions</i>
THz	Tera Hertz
UC	Unidade de Controle
ULA	Unidade Lógica e Aritmética

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω	Ohm
μs	Microsegundos
$^{\circ}$	Graus
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
cm	Centímetros
Hz	Hertz
K	Kelvin
Kbytes	Quilobytes
Kg	Quilograma
kHz	Quilo Hertz
km/s	Quilômetros por segundo
MHz	Mega Hertz
MS	Milisegundos
Nm	Nanômetro
pF	Pico Faraday
V	Volts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2.3 JUSTIFICATIVA	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 CORES.....	18
3.2 MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO	20
3.3 MOTORES	22
3.3.1 Motores CC	23
3.3.2 Servomotor.....	25
3.4 SENSOR	25
3.4.1 Sensor TCS230.....	27
3.5 MICROCONTROLADOR.....	30
3.6 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	33
3.6.1 Knn (K-Nearest Neighbors)	34
4 MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1 PESQUISA.....	35
4.2 DESENVOLVIMENTO.....	35
4.2.1 Construção das Partes do Protótipo.....	36
4.2.1.1 Dispenser de Confeitos	36
4.2.1.2 Estrutura da Esteira.....	37
4.2.1.3 Composição dos Potes.....	38
4.2.2 Montagem do Protótipo	39
4.2.3 Velocidade da Esteira	40
4.2.4 Algoritmo de Comandos	41
4.2.5 Esquema Elétrico	43
4.2.6 Planejamento para os Testes.....	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO	46
5.1.1 Correção no <i>Dispenser</i>	46
5.1.2 Adaptação nos Potes	47
5.1.3 Ajustes no Sensor	47
5.1.4 Controle da Velocidade da Esteira	48
5.2 REALIZAÇÃO DOS TESTES I.....	50
5.2.1 Análise da Influência da Luz.....	51
5.2.1.1 Testes com Luz Natural.....	51
5.2.1.2 Testes com Lâmpada Fluorescente	53
5.2.1.3 Comparação entre Iluminação I e II	54
5.2.2 Erros e Acertos na Separação	57
5.2.3 Quantidade de Confeitos por Minuto.....	59
5.3 REALIZAÇÃO DOS TESTES II	60
5.3.1 Teste Utilizando a Luz Natural	60
5.3.2 Teste Utilizando a Lâmpada Fluorescente	61
5.3.2.1 Comparação Entre a Luz Natural e a Lâmpada Fluorescente.....	62
5.3.3 Erros e Acertos nos Testes	63

5.3.4 Separação por Minuto	65
6 CONCLUSÃO	67
6.1 TRABALHOS FUTUROS	68
REFERÊNCIAS.....	69
ANEXO A.....	72
ANEXO B.....	73

1 INTRODUÇÃO

Desde a transição do processo de manufatura para a produção mecânica, conhecida como revolução industrial, a sociedade tornou-se tão dependente da tecnologia em seu dia-a-dia que é difícil imaginar a vida sem o auxílio das máquinas (BUENO *et. al.*, 2011).

Atualmente na indústria, equipamentos como esteiras para transporte são encontradas em várias etapas de produção e nas mais diversas áreas de atuação, tais como nas indústrias alimentícias (Figura 1), farmacêuticas, automobilísticas, entre outras.

Figura 1 - Esteiras de transporte na indústria.



Fonte: Adaptado de LÜDERS (2016).

De acordo com Yamamoto *et. al.* (2014), tais esteiras são elementos tão importantes que são consideradas a espinha dorsal da indústria, pois tornam o processo mais rápido e reduzem a mão de obra.

Com o avanço da tecnologia, a necessidade de identificar os produtos através de sua cor foi inevitável. Esse método é muito utilizado nos setores farmacêuticos e alimentícios, para assegurar que, no primeiro caso, os encapsulamentos de comprimidos estejam com a cor apropriada e que o mesmo não tenha sofrido nenhuma interferência na produção, e no segundo, para separação de grãos impróprios para o consumo (CORSICO *et. al.*, 2014).

De acordo com a revista Alimentos & Bebidas (2015), a separação por cor é essencial na indústria alimentícia, pois os alimentos são itens com um grande apelo visual, tratando-se de uma ferramenta de avaliação física, de qualidade, validade, deterioração ou contaminação do produto. O café é um dos itens que necessitam

dessa seleção, pois seu grau de maturação e seu produto final dependem da sua coloração, essa variação na cor é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Diferentes cores das etapas de maturação do café.



Fonte: Adaptado de JUNIOR (2009).

Segundo Alimentos & Bebidas (2015), garantir a qualidade dos produtos é um desafio e a dificuldade aumenta quando o método é executado por olhos humanos, os quais acabam selecionando de forma heterogênea as cores dos produtos. Já as máquinas são mais precisas, pois estabelecem um padrão de uniformidade visual.

Outro obstáculo enfrentado é o tempo gasto com esse processo, pois o procedimento requer rapidez e experiência por parte dos funcionários, ao contrário de utilizar mecanismos de controle programáveis, que operam com um gasto menor de tempo na execução das mesmas funções (ALIMENTOS & BEBIDAS, 2015).

Segundo Bender (2003), para estabelecer uma uniformidade de tons através do controle programável, muitas vezes a comparação entre amostras são usadas. Essa aferição é feita quando uma cor assemelha-se ou difere-se da outra. Muitas vezes considerando para isso, conceitos de aprendizagem de máquina (inteligência artificial) e a distância através da métrica euclidiana.

De acordo com Araújo Júnior *et. al.* (2003), a automação torna-se vantajosa quando os instrumentos utilizados, como o sensor e o controlador, trazem benefícios como alto rendimento, precisão na leitura das variáveis e uma maior duração dos instrumentos.

Porém, tal processo tem algumas dificuldades e desafios, tais como a necessidade de coordenar e controlar o processo de forma contínua e por profissionais capacitados, a calibração frequente dos equipamentos usados, as manutenções preventivas e corretivas das máquinas e a garantia de que os

materiais estão operando nas condições previamente determinadas pelos fabricantes (ARAÚJO JÚNIOR *et. al.*, 2003).

Com base na temática abordada e nos desafios encontrados, um trabalho de pesquisa e desenvolvimento dentro dessa área do conhecimento é pertinente para a aplicação e integração dos conceitos trabalhados ao longo do curso de Engenharia Eletrônica.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Projetar, implementar e construir um protótipo de esteira seletora de objetos através do reconhecimento de cores, para assim melhorar a eficiência de processos que necessitem de tal seletividade.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar tal objetivo, algumas metas ou objetivos específicos são listados a seguir:

- Determinar a velocidade em que a esteira irá funcionar;
- Construir um protótipo funcional da esteira classificadora de objetos por cores;
- Elaborar um algoritmo para interpretar e processar os dados do sensor de cor e comandar o servomotor; e
- Avaliar os erros e acertos na separação.

2.3 JUSTIFICATIVA

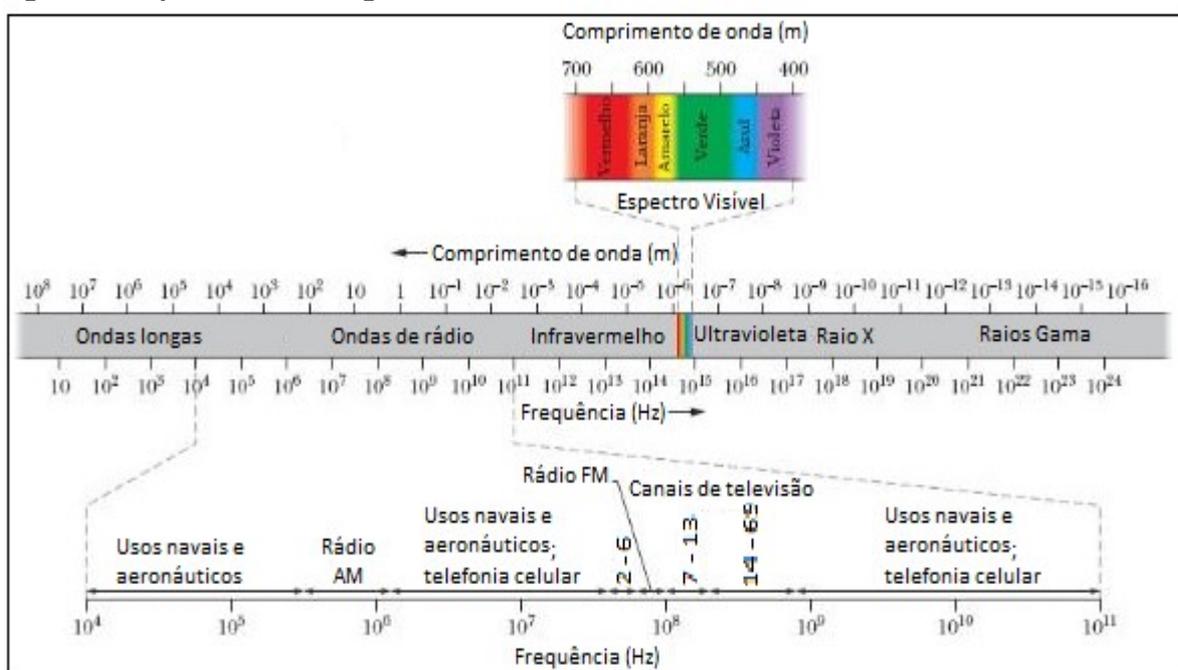
O presente trabalho justifica-se em função da necessidade de um controle mais específico e avaliação da qualidade dos processos aplicados principalmente na indústria alimentícia (separação de grãos), farmacêutica (classificação do encapsulamento dos comprimidos) e automobilística (padronização de peças). Para tal, a pesquisa acerca de sensores que sejam efetivos é fundamental para que o processo de classificação seja mais eficiente e com uma menor margem de erro por parte do sensor.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CORES

Existem diversas ondas eletromagnéticas que não se encaixam na parte visível do espectro, tais como as de raio-X, raios gama, infravermelho, entre outras. Já as cores, estão em um intervalo que é possível ser visto pelos olhos humanos. Com base nisso, tem-se que um raio luminoso é uma onda de campo eletromagnético e o estudo da luz visível é um ramo do eletromagnetismo. Utilizando tais informações pode-se analisar o espectro de ondas eletromagnéticas e o arco-íris de Maxwell conforme apresentado na Figura 3 (HALLIDAY *et. al.*, 2011).

Figura 3 - Espectro eletromagnético.

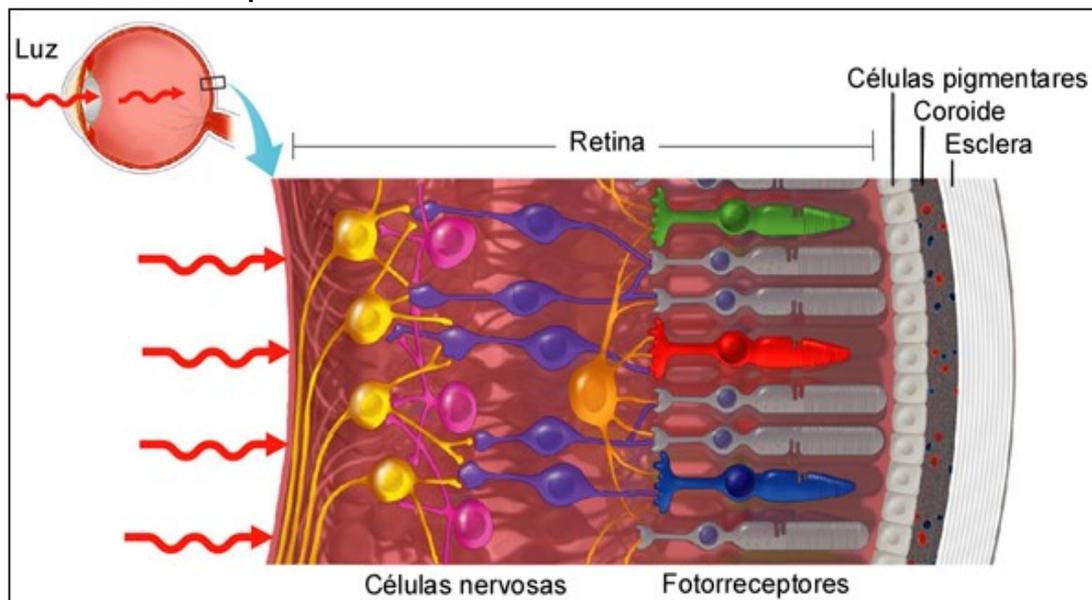


Fonte: Adaptado de HALLIDAY (2011).

De acordo com Acharya *et. al.* (2005), as cores são importantes informações visuais e funcionam através da reflexão da luz, a qual é absorvida pelo sistema visual e este é encarregado da percepção das cores. A luz refletida é responsável por diferentes quantidades de absorção nas três classes de cones, conforme apresentado na Figura 4, que são células que possuem a capacidade de identificar cores e estão presentes nos olhos humanos.

Já os bastonetes, outras células fotorreceptoras presente nos olhos, reconhecem a intensidade luminosa a qual o sistema visual está submetido. A interpretação dessa absorção é de responsabilidade do sistema nervoso e a partir dessas informações tem-se a percepção das cores (ACHARYA *et. al.*, 2005).

Figura 4 - Classes de cones presentes nos olhos humano.



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA *et. al.* (2014).

Segundo o dicionário Ferreira (200, p.185), “cor é a sensação que a luz provoca no órgão de visão humana e depende, primordialmente, do comprimento de onda das radiações”. Isso quer dizer que a coloração do objeto não é uma propriedade do item em si, visto que existe de acordo com o sentido do observador e é determinada pela frequência de onda que o mesmo reflete.

De acordo com Halliday *et. al.* (2011), dentro do limite visível do espectro, cada tonalidade encontra-se entre uma faixa específica de frequência que vai de 480 a 790 THz e comprimento de onda que varia de 380 a 740 nm, conforme mostrado no Quadro 1. A ligação existente entre ambas as grandezas, é relacionada pela Equação 1 abaixo.

$$c = \lambda \cdot f \quad \text{Eq.(1).}$$

Onde λ é o comprimento de onda, f a frequência e c é a velocidade de propagação da luz, que é uma constante e possui valor de aproximadamente 300 km/s.

Quadro 1 - Faixa de frequência e comprimento de onda do espectro visível.

Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência (THz)
Vermelho	~625- 740	~480-405
Laranja	~590- 625	~510- 480
Amarelo	~565- 590	~530- 510
Verde	~500- 565	~600-530
Ciano	~485- 500	~620-600
Azul	~440- 485	~680-620
Violeta	~380- 440	~790-680

Fonte: Adaptado de CAVALHEIRO (2016).

Isaac Newton, ao realizar o experimento do prisma no ano de 1672, observou que a luz branca pode ser refratada em componentes coloridos, e os mesmos quando justapostos fazem a síntese aditiva e resultam novamente na luz branca. Com isso, é possível afirmar que a cor branca é a superposição de todas as cores do espectro. Já o preto é formado pela ausência total de feixes luminosos, pois os tons não são refletidos pelo anteparo e sim absorvidos (SANTOS, 2016).

Conforme a teoria desenvolvida por Thomas Young no século 19, todas as cores perceptíveis pela visão são uma combinação linear de uma base de cores. Trata-se de um sistema aditivo de cores, que é representado pelas cores vermelho, verde e azul, os quais são chamados de RGB (*Red*, *Green* e *Blue*). Imagens tipicamente coloridas, particularmente aquelas usadas em sistemas de imagem digital, como em monitores e câmeras de vídeo, são compostas por esse modelo de cores, pois a partir da combinação tricromática é possível formar diversas outras cores (ACHARYA *et. al.*, 2005).

Segundo o mesmo autor, cada cor é formada por 8 bits, com isso é possível obter 16.777.216 tons diferentes. Apesar de ser muito utilizado, o RGB não é exatamente igual à visão humana, sendo que a não uniformidade das cores é uma de suas maiores limitações.

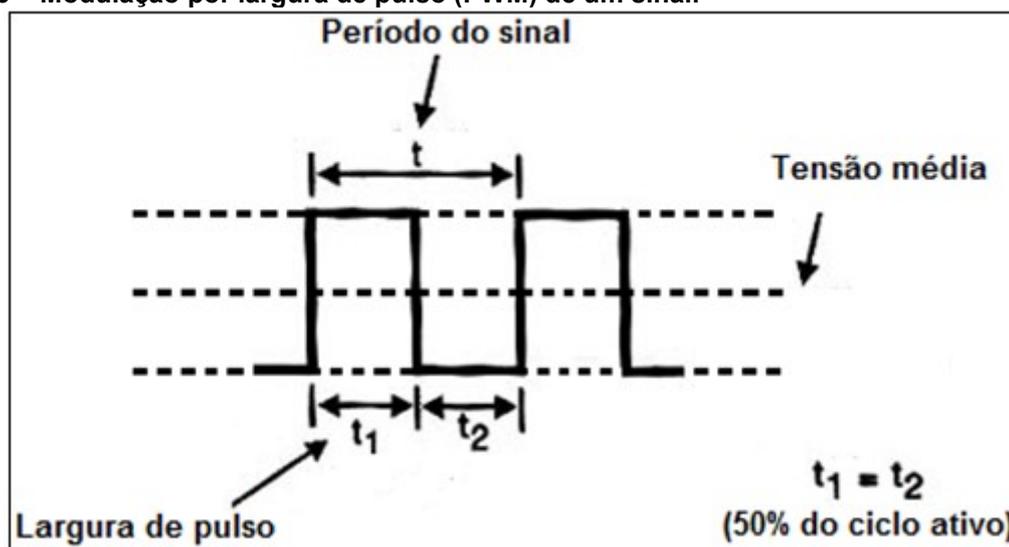
3.2 MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO

De acordo com Corsico *et. al.* (2014), o circuito PWM (*PULSE-WIDTH MODULATION* – MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO) é o chaveamento de saída de um circuito digital com dois níveis de sinais, sendo um mínimo e um máximo (ativo), através de pulsos que se repetem. A largura de pulso é definida pelo tempo em que o nível do sinal permanece em alta, já o intervalo entre os pulsos é

definido pelo tempo em que o mesmo está em baixa. A somatória de ambos define o período e conseqüentemente uma frequência de controle.

Na Figura 5, as características do chaveamento do PWM são mostradas, sendo: t_1 a largura de pulso do sinal, t_2 o intervalo entre pulsos ativos, t é o período de duração do sinal.

Figura 5 – Modulação por largura de pulso (PWM) de um sinal.



Fonte: Adaptado de BRAGA (2014).

O ciclo ativo de um sinal PWM refere-se à porcentagem do tempo em que o sinal permanece em alta e é determinado através da Equação 2.

$$\text{Ciclo ativo} = \frac{t_1}{t} \cdot 100 \quad \text{Eq.(2).}$$

Onde t é o período do sinal e t_1 a largura de pulso.

Já a tensão média (potência média) corresponde ao ciclo ativo vezes a tensão máxima referente ao sinal e pode ser representada pela Equação 3. Ou seja, se durante um segundo o circuito está exibindo nível máximo durante metade do tempo e o nível mínimo no restante, é possível afirmar que seu ciclo de trabalho está em 50%, quanto mais tempo o pulso permanece em alta, maior é seu ciclo de trabalho.

$$\text{Tensão média} = \frac{\text{ciclo ativo}}{100} \cdot V_{max} \quad \text{Eq.(3).}$$

Sendo V_{max} referente à tensão máxima do sinal.

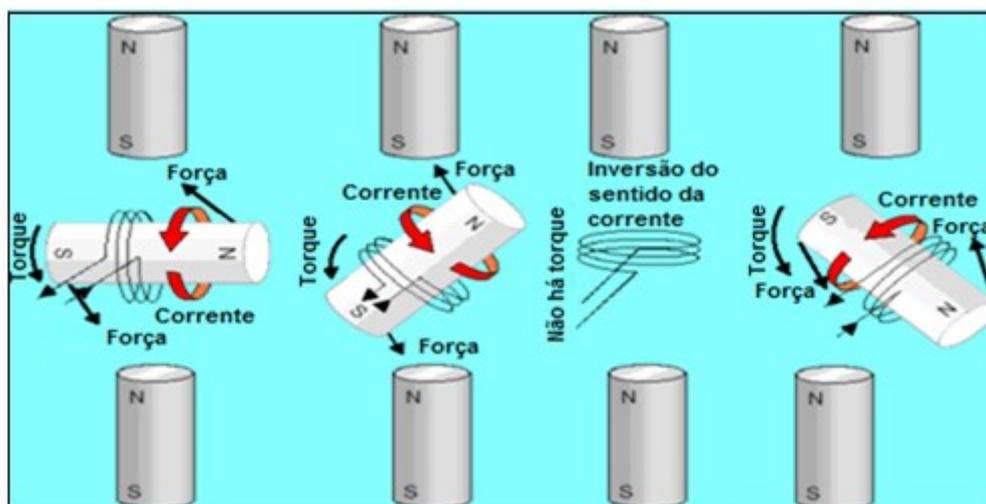
3.3 MOTORES

De acordo com Bernardes *et. al.* (2015), motores elétricos são dispositivos que convertem energia elétrica em energia mecânica. A ação do motor se baseia em uma força magnética chamada de torque, sendo que o estator (circuito indutor) produz um campo elétrico fixo para que o rotor (circuito induzido) inicie um movimento ao ser percorrido por uma corrente elétrica.

Esse princípio de funcionamento foi publicado primeiramente por Hans Christian Orsted em 1820, ao analisar o comportamento de uma bússola colocada ao redor de um fio condutor e observar que a agulha girava mudando de direção. Michael Faraday, em 1821, criou um aparelho para comprovar o efeito de rotação eletromagnética, o qual permite observar a rotação de um fio em torno de um ímã e vice-versa.

Segundo Netto (2004), uma bobina que rotaciona em torno de dois ímãs permanentes compõem um motor simples. Ambos os pólos da bobina (Norte e Sul) atraem-se pelos ímãs que estão fixos em cada uma das extremidades. A bobina rotaciona para aproximar-se o máximo possível do pólo, porém ao chegar nessa posição, a corrente inverte o sentido e seus pólos são repelidos. Este movimento se repete continuamente e é responsável pelo funcionamento do motor (Figura 6).

Figura 6 - Movimento para o funcionamento do motor.



Fonte: Adaptado de NETTO (2004).

Motores não produzem e sim convertem diferentes tipos de energia em atividade mecânica. Atualmente existem motores elétricos com as mais diversas formas e tamanhos.

Com o desenvolvimento de áreas como a eletricidade e o eletromagnetismo foi possível projetar motores que são alimentados diretamente pela rede, chamados de motores de corrente alternada CA, e outros que utilizam um dispositivo para converter a corrente vinda da rede elétrica, chamados de motores de corrente contínua CC.

Segundo Rêgo Segundo *et. al.* (2015), o motor CA tem como vantagem o custo inferior e, além disso, não necessita de um circuito auxiliar para alimentação em todos os casos, apenas se for necessário dar partida no motor, porém, em contrapartida, não consegue manter o torque constante.

Já o motor CC possui um alto torque quando relacionado ao seu tamanho, controle com grande precisão e flexibilidade devido à alta quantidade de valores de ajuste de velocidade e, seu custo apesar de mais elevado compensa em determinados casos (RÊGO SEGUNDO *et. al.*, 2015).

3.3.1 Motores CC

Nos motores de corrente contínua o princípio de funcionamento de atração e repulsão entre ímãs e bobinas visto na Figura 6 é mantido. Este rotaciona buscando sempre um equilíbrio do todo. A velocidade do giro do motor é determinada pela força que o mesmo deve realizar para movimentar um sistema.

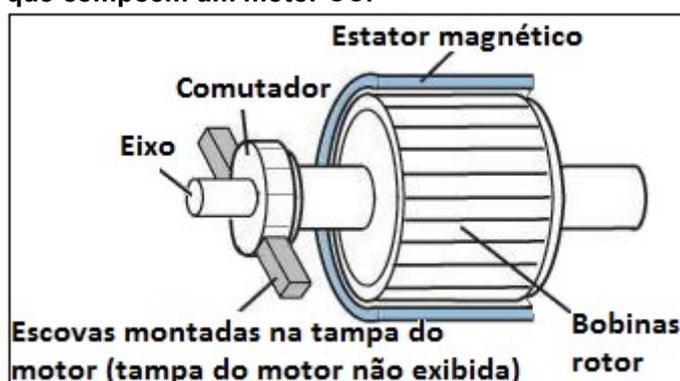
De acordo com Fuentes (2005), um motor elétrico CC é composto pelos seguintes elementos:

- Estator: trata-se de uma parte fixa do motor, onde estão presentes as sapatas polares (lâminas justapostas), em torno delas formam-se as bobinas;
- Rotor: representa a parte móvel do motor, é conectado ao eixo que transmite o movimento, possui um pacote de lâminas onde são acopladas as bobinas as quais têm seus terminais conectados ao comutador;

- Comutador: é o elemento que conecta as bobinas do rotor utilizando para isso escovas de carvão à fonte de energia elétrica, o que permite o deslocamento do motor sem que haja curto-circuito do mesmo;
- Escovas: Geralmente são de carbono ou grafite, e elas têm como função transportar a energia da fonte para os contatos do comutador e para as bobinas do rotor. Necessita de troca por estar em atrito constante;
- Eixo: trata-se da parte girante do motor, é ele que é acoplado para realizar o movimento da máquina.

O motor CC e sua composição especificada acima são apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Estruturas que compõem um motor CC.



Fonte: ORIENTAL MOTOR DO BRASIL (2014).

Os motores atuais presentes no mercado podem ser de diversos tipos, como os sem escovas, com ímãs permanentes e até os de relutância variável. Podem apresentar diversos tamanhos e uma grande faixa de variação de tensões, resultando em um valor médio. Esse princípio vale também para a velocidade, onde uma rotação é relacionada a uma tensão e uma corrente, que determinam a força que o motor deve realizar (BRAGA, 2014).

Portanto, ao escolher qual o motor mais eficiente para seu projeto deve-se levar em consideração seu tamanho (relacionado à potência), sua velocidade de rotação (a força que ele deve fazer) e por fim o torque que o mesmo realiza.

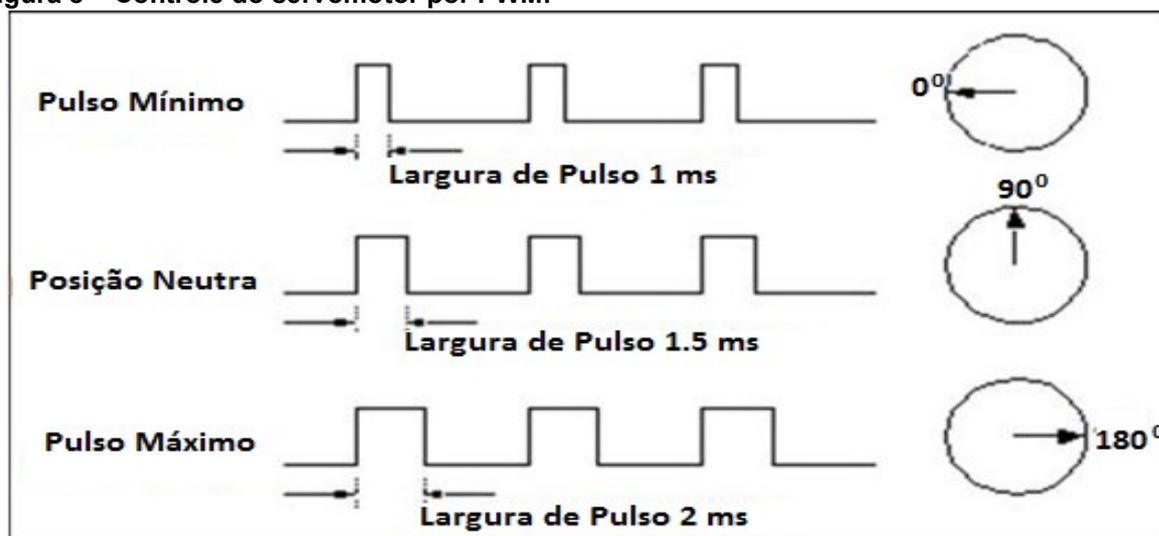
3.3.2 Servomotor

Segundo Ottoboni (2002), o servomotor é uma máquina síncrona composta por duas partes, sendo uma delas o estator (fixo) e a outra o rotor (móvel). Tem como propriedades torque constante, precisão com relação à posição e controle sobre a rotação. Funciona com corrente contínua e desloca o eixo segundo comandos externos. Possui três fios em sua configuração, sendo dois para a alimentação e um para controle.

A maior precisão em relação ao torque e um deslocamento definido são obtidos devido às engrenagens do equipamento estarem contidas em uma caixa de redução.

Utiliza-se para seu controle o PWM, onde para determinar a posição do eixo principal três características básicas devem ser consideradas: a largura mínima do pulso, a largura máxima do pulso e a taxa de repetição (frequência), conforme observado na Figura 8. A partir da variação das larguras de pulso é possível obter uma determinada posição (CORSICO et. al., 2014).

Figura 8 – Controle do servomotor por PWM.



Fonte: Adaptado de ALMEIDA (2016).

3.4 SENSOR

De acordo com Wendling (2010), sensores são equipamentos eletrônicos que respondem a um estímulo físico ou biológico de maneira específica e

mensurável analogicamente. Tratam-se de dispositivos sensíveis a diversos fatores, tais quais: pressão, luminosidade, presença, posição, cor, entre outros.

O sinal de saída do sensor é um sinal elétrico, que deve ser manipulado para ser processado pelo controlador, portanto, é necessário usar uma interface para realizar essa leitura (WENDLING, 2010).

Existem diversas características com relação aos sensores que devem ser analisadas ao determinar qual deles é mais indicado para atuar em cada projeto. Essas propriedades são:

- Tipos de saída: podem ser de dois tipos: digital ou analógico. Sendo que o primeiro determina se um valor pré-determinado foi atingido, já o segundo possui uma saída contínua, sendo um sinal praticamente igual ao obtido na entrada (WENDLING, 2010);
- Sensibilidade: trata-se da razão entre as informações de entrada e saída do sinal, ou seja, quando o mesmo possui uma pequena variação com relação à grandeza medida (THOMAZINI *et. al.*, 2005);
- Exatidão: refere-se ao grau de concordância de um valor com sua medida alvo, ou seja, quanto mais próximo do valor estabelecido mais exatidão o processo tem (LIMA JUNIOR *et. al.*, 2012);
- Precisão: é o grau de dispersão da medida quando obtidas várias vezes nas mesmas condições, ou seja, número de pontos repetidos obtendo resultado próximo (LIMA JUNIOR *et. al.*, 2012);
- Estabilidade: flutuação obtida na saída do sensor, considerando que se a variação for muito alta o controlador pode ser prejudicado (THOMAZINI *et. al.*, 2005);
- Custo: deve ser considerado e relacionado com sua eficiência, para então determinar se o valor pago equivale à qualidade do equipamento (THOMAZINI *et. al.*, 2005).

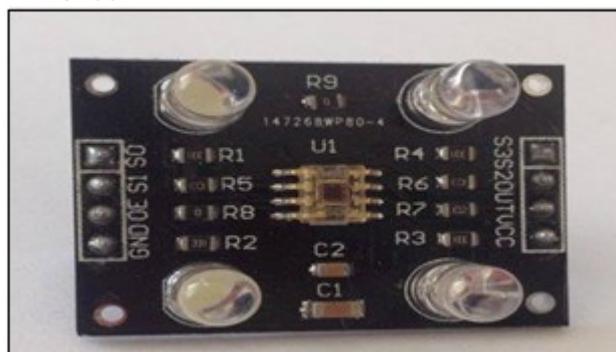
Segundo Joh *et. al.* (2006), apesar dos olhos humano terem a capacidade de distinguir as mais diversas cores, a forma como cada pessoa descreve tais colorações é diferente. Isso torna a descrição verbal inadequada, quando a aplicação requer uma detecção precisa e um gerenciamento de cores.

Tendo em vista tal problemática e de porte das propriedades dos sensores, vistas anteriormente, tem-se como solução a descrição de cores em termos numéricos, utilizando para esse processo um dispositivo como o sensor de cor, que determina o tom através do método RGB.

3.4.1 Sensor TCS230

Ao considerar fatores como a forma de resposta, a resolução, o baixo custo e a disponibilidade, o sensor de cor que apresenta um maior benefício foi o TCS230, conforme mostrado na Figura 9. Fabricado pela TAOS (*Texas Advanced Optoelectronic Solutions*), possui 4 LEDs (*Light Emitting Diode* – Diodo Emissor de Luz), os quais iluminam o objeto a ser identificado; uma matriz de fotodiodos, resistores, capacitores e 8 pinos.

Figura 9 - Sensor de cor TCS230.



Fonte: Autoria Própria.

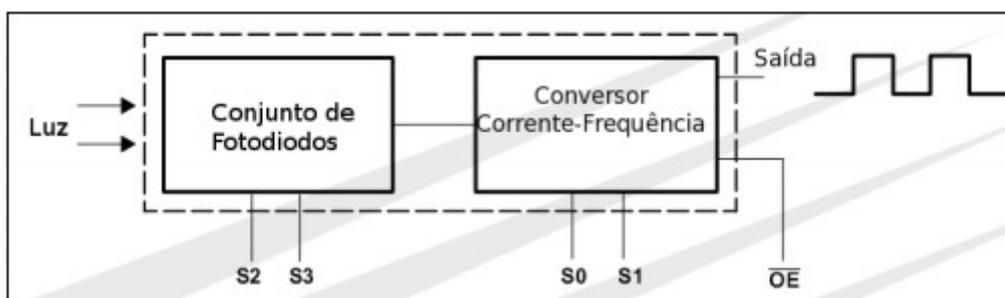
Trata-se de um sensor com conversores de luz-frequência programáveis que combina fotodiodos de silício com um conversor de corrente por frequência, distribuídos em um único chip. Obtêm-se como saída uma onda quadrada com ciclo de trabalho de 50%, sendo a frequência diretamente proporcional à intensidade da luz. Suas entradas e saídas são digitais, o que permite uma interface direta com o microcontrolador (TAOS, 2008).

Segundo a Taos (2008), outra propriedade do sensor é que ele é composto por 64 fotodiodos sendo 16 deles com filtros vermelhos, 16 com filtros azuis, 16 com filtros verdes e 16 sem filtro. São distribuídos de forma uniforme pelo sensor.

Essas quatro cores são entrelaçadas para minimizar o efeito da não uniformidade da irradiância incidente. Outra característica desse sensor é que todos

os fotodiodos da mesma cor são conectados em paralelo. O funcionamento do sensor através do seu diagrama de blocos encontra-se apresentado na Figura 10.

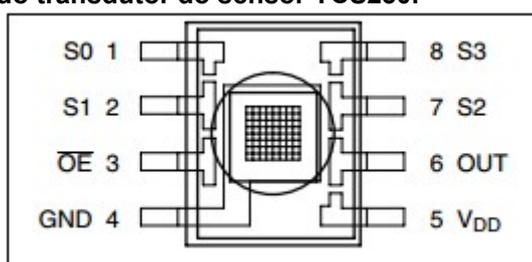
Figura 10 - Diagrama de blocos do TCS230.



Fonte: ZILLI (2010).

O transdutor usado no sensor possui 8 pinos em seu encapsulamento, sendo esses: S_0 , S_1 , S_2 , S_3 , \overline{OE} , GND, OUT, V_{DD} , conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Vista superior do transdutor do sensor TCS230.



Fonte: TAOS (2008).

Seus pinos de entrada e saída são digitais, ou seja, permitem uma interface direta com o microcontrolador. O conjunto de filtros é selecionado pelos pinos S_2 e S_3 do transdutor, conforme mostrado no Quadro 2. Considerando que L (*Low*, em inglês) representa o nível lógico baixo e H (*High*, em inglês), o nível lógico alto.

Quadro 2 - Configuração das Cores dos Fotodiodos.

S_2	S_3	Tipos de Filtro
L	L	Vermelho
L	H	Azul
H	L	Branco (sem filtro)
H	H	Verde

Fonte: Adaptado de ZILLI (2010).

Já a configuração para ajuste com relação ao nível de frequência é controlada pelos pinos S_0 e S_1 (Quadro 3), sabendo que 100% é a frequência máxima que o sensor pode atingir.

Quadro 3 - Ajuste do nível de frequência.

S ₀	S ₁	Escala de saída de frequência (f ₀)
L	L	Circuito desligado
L	H	2%
H	L	20%
H	H	100%

Fonte: Adaptado de ZILLI (2010).

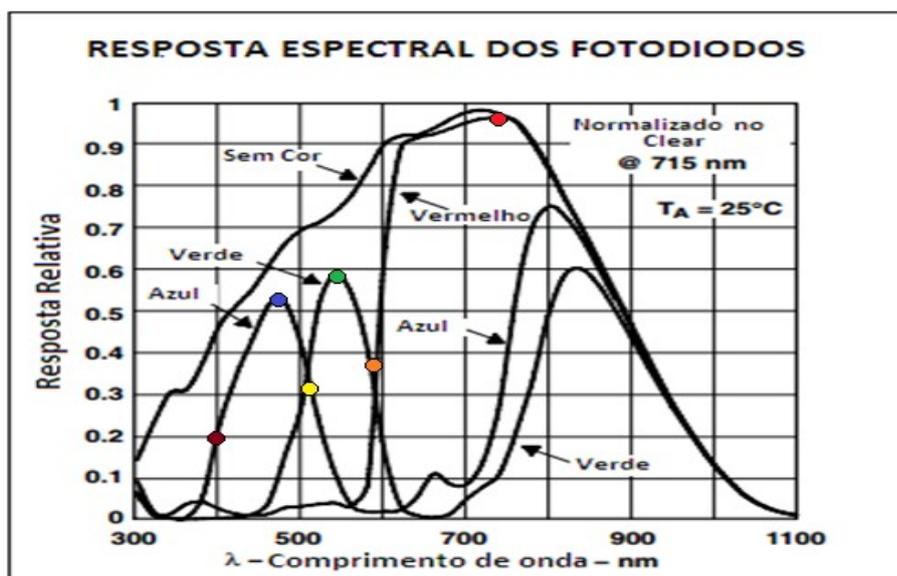
O pino \overline{OE} (*Output Enable*, em inglês) é responsável pelo desligamento do transdutor do sensor, para uma economia no consumo de energia. Assim, quando o pino está desligado, ele fica em alta impedância, permitindo o compartilhamento múltiplo na mesma linha de entrada do microcontrolador (TAOS, 2008).

Uma característica importante é a saída obtida no transdutor quando relacionada ao comprimento de onda incidente. Considera a frequência normalizada para o *clear* (sem filtro) em 715 nm e uma temperatura ambiente de 25°C.

A Resposta Espectral do Fotodiodos representada na Figura 12, pode ser associada ao Espectro Visível das Cores e seus Comprimentos de Onda, conforme apresentado no Quadro 1, pois suas respostas se aproximam de forma significativa.

Segundo Corsico *et. al.* (2014), as comparações entre ambos resultam em uma boa resposta do azul no comprimento de onda de 480 nm, do verde em 550 nm e do vermelho com cerca de 730 nm.

Figura 12 - Resposta espectral do TCS230.



Fonte: Adaptado de TAOS (2008).

Utilizando a combinação dos filtros e suas intensidades, é possível detectar outras colorações, como o amarelo pela combinação de médias proporções de

verde e azul e uma alta intensidade luminosa de branco na faixa de 510 nm. O laranja é a união do azul em baixa e do vermelho e verde em média intensidade na faixa de 590 nm. Já a baixa intensidade luminosa com uma quantidade pequena de vermelho, verde e azul, resulta em uma cor escura próxima ao marrom, localizada em 400 nm (CORSICO *et. al.*, 2014).

Tendo em vista a teoria das cores RGB, três valores sendo o primeiro de R (*red*), o segundo de G (*green*) e o terceiro de B (*blue*) são combinados com as diferentes intensidades das cores (sem filtro) para obter tonalidades distintas. A medição é feita da seguinte maneira: quatro diodos emissores de luz branca iluminam o objeto a ser identificado. A partir disso, a luz refletida é enviada ao sensor TCS230.

As informações obtidas são enviadas ao microcontrolador onde o software utilizado mede a frequência da onda para cada um dos canais R, G e B. Ou seja, serão três valores distintos, um para cada variável.

O reconhecimento da cor é feito através da proximidade do objeto ao transdutor, portanto, o sensor deve ser colocado dentro de um anteparo escuro e aproximado ao máximo do objeto a ser detectado, evitando interferência dos feixes de luz nas análises. Assim, o mesmo receberá apenas os raios refletidos com a cor do objeto que está se aproximando.

3.5 MICROCONTROLADOR

Um computador integrado em um único *chip* é chamado de microcontrolador. É composto por itens como processador (Unidade Lógica e Aritmética – ULA, Unidade de Controle – UC e Registradores), dispositivos de comunicação serial, memória, temporizadores, periféricos de entrada e saída, entre outras estruturas importantes.

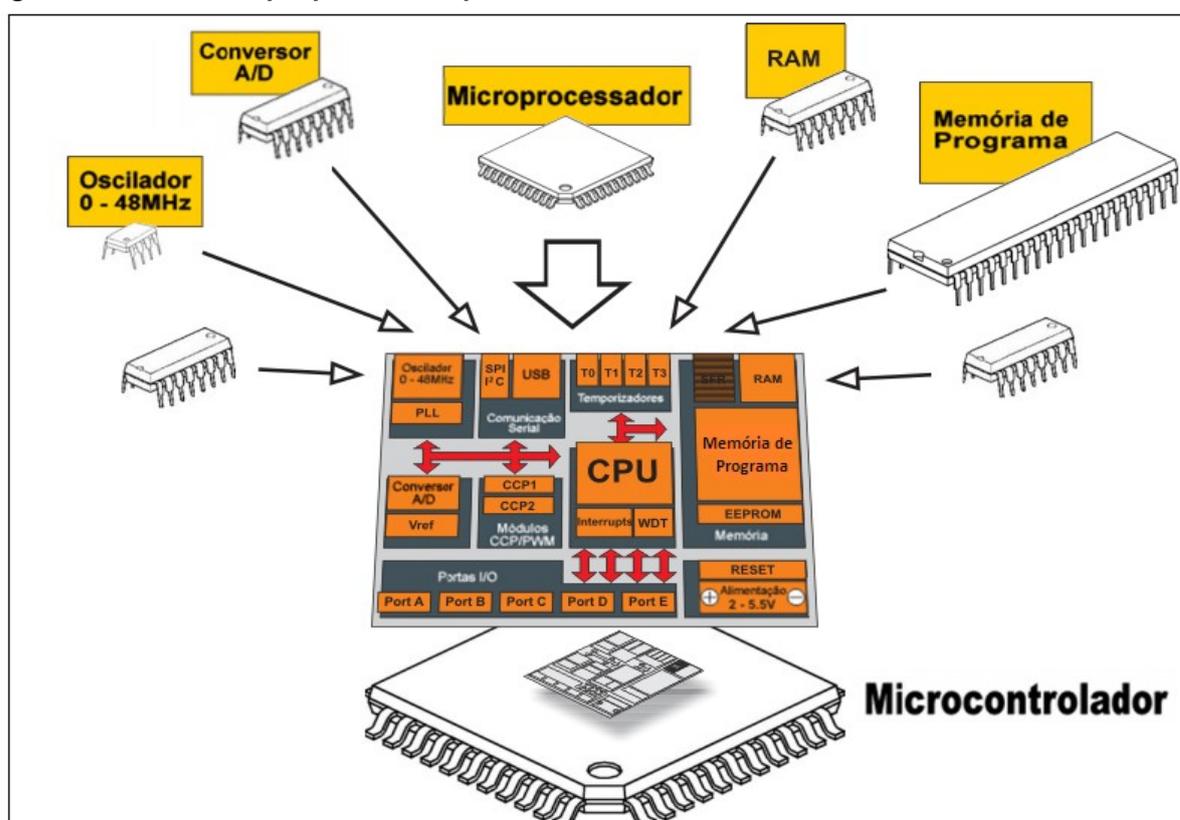
É uma evolução dos circuitos digitais, que podem ser utilizados para executar diferentes tarefas específicas, como sistemas de controle e sensoriamento, com um menor custo e de forma mais compacta (PENIDO *et. al.*, 2013). Atualmente, existem diversos modelos e fabricantes, portanto, não é um dispositivo de difícil aquisição.

De acordo com Penido *et al.* (2013), internamente os microcontroladores dividem-se em alguns blocos, sendo estes:

- CPU (*Central Processor Unit* ou Unidade de Processamento Central) que interpreta as instruções de programas;
- Memória PROM (*Programmable Read Only Memory* ou Memória Programável Somente de Leitura) onde são gravadas as instruções;
- Memória RAM (*Random Access Memory* ou Memória de Acesso Aleatório) memoriza as variáveis utilizadas;
- Portas I/O (*Input/Output* ou Entrada/Saída) controlam dispositivos externos ou recebe impulsos de sensores;
- Conjunto de dispositivos auxiliares ao funcionamento, como gerador de *clock*, contadores, entre outros.

Na Figura 13, é possível observar os blocos e componentes que podem estar presentes em um microcontrolador.

Figura 13 - Unidades que podem compor um microcontrolador.



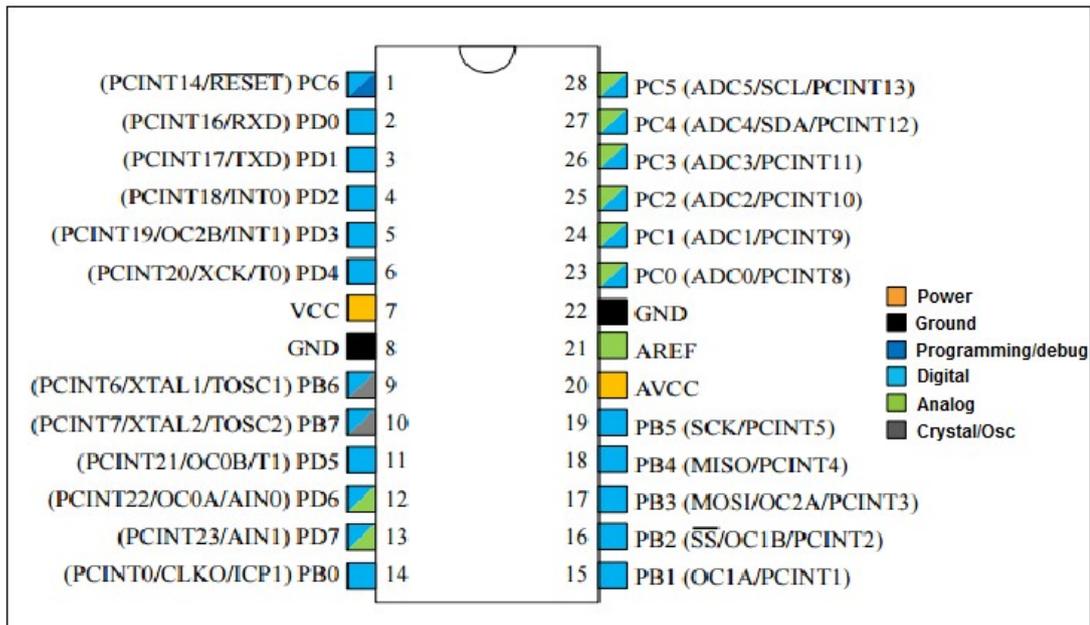
Fonte: Adaptado de BOSCO JUNIOR (2012).

O Atmega328 é um dos microcontroladores mais clássicos existentes, trata-se de um microcomputador contendo memória flash ISP 32KB, 32 registradores, contadores com modos de comparação, interrupções internas e externas,

temporizador com oscilador interno e conversor analógico/digital de 6 canais (ATMEL CORPORATION, 2016).

Possui 8 bits baseado em RISC (*Reduced Instruction Set Computer* ou Computador com Conjunto Reduzido de Instruções) e 28 pinos em sua configuração, sua estrutura externa e suas pinagens podem ser vistas na Figura 14.

Figura 14 - Estrutura externa do Atmega328 com suas pinagens.

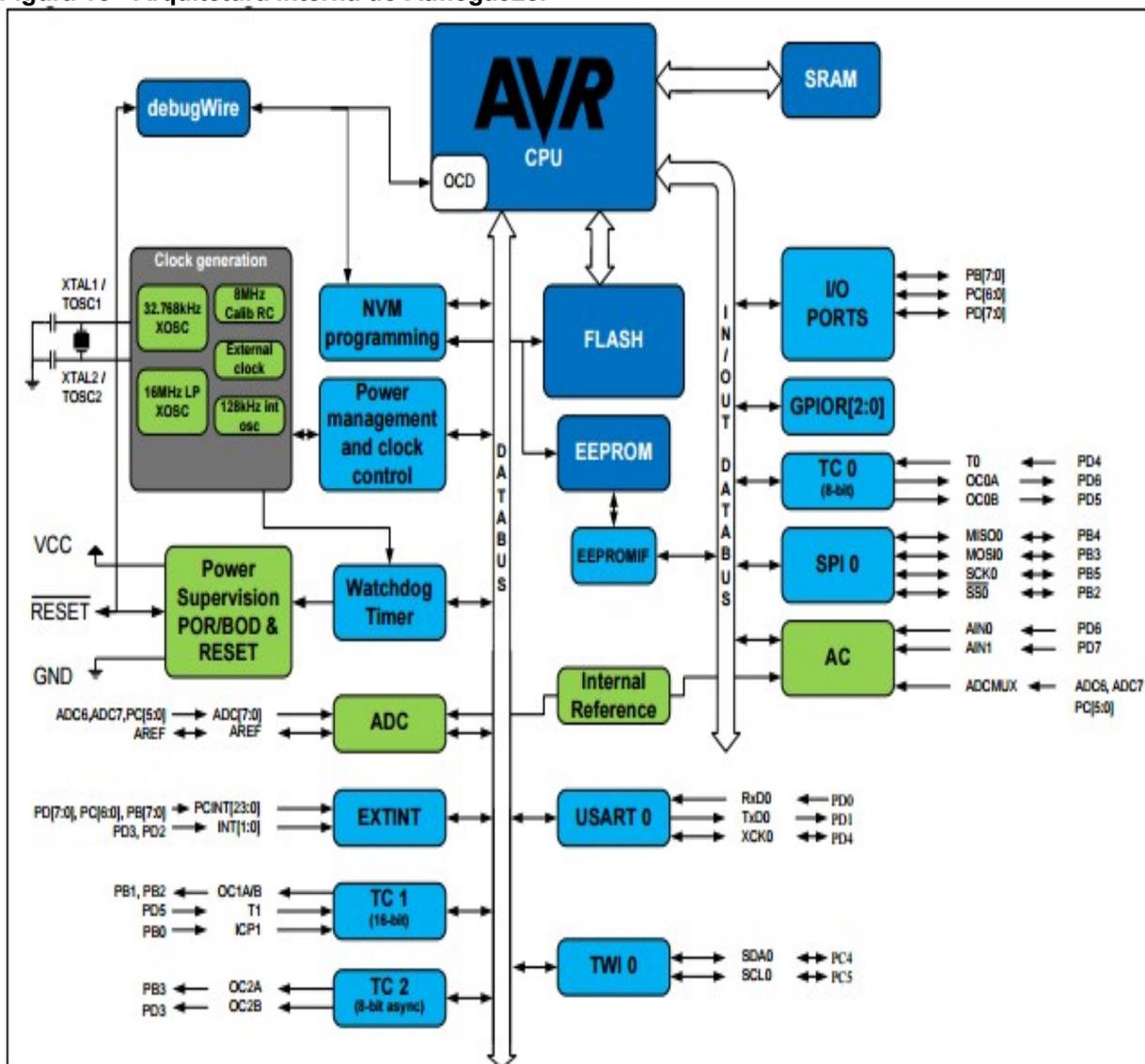


Fonte: Adaptado de ATMEL CORPORATION (2016).

Segundo Souza (2013), internamente o Atmega328, conforme mostrado na Figura 15, possui as seguintes características:

- Possui 10 bits de resolução;
- 3 Timers;
- 113 instruções (maioria em um único clock);
- 32 registros de uso geral;
- 23 Pinos I/O;
- Utiliza linguagem de programação em C ou em Assembly;
- 1 Comparador Analógico;
- 6 Canais de PWM.

Figura 15 - Arquitetura interna do Atmega328.



Fonte: Adaptado de ATMEL CORPORATION (2016).

O microcontrolador Atmel328 tem como vantagens: a facilidade com relação à sua programação; possui um vasto suporte de hardware e software e utiliza para comunicação linguagem C ou *Assembly*.

3.6 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

“Definimos a IA (Inteligência Artificial) como o estudo de agentes que recebem percepções do ambiente e executam ações” (RUSSEL *et. al.*, 2009). De forma mais clara, inteligência artificial é a busca por mecanismos computacionais que se aproximem da capacidade do ser humano de pensar e executar tais pensamentos.

Tendo como partida tais conceitos, diversos métodos foram desenvolvidos para levar a máquina a resolver problemas. É possível citar como principais: a resolução de problemas por busca, raciocínio probabilístico, tomada de decisões e aprendizagem de máquina.

3.6.1 Knn (K-Nearest Neighbors)

O Knn ou *K-Nearest Neighbors* (K vizinhos mais próximos) é um método de inteligência artificial que utiliza o conceito de aprendizagem de máquina utilizando para isso instâncias mais próximas. Trata-se de um algoritmo simples para realizar a classificação baseado no princípio de analogia, através do treinamento de um conjunto de vetores n-dimensionais (LIMA, 2012).

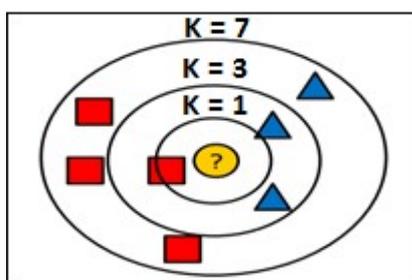
Esse treinamento é feito a partir de um mapeamento de entradas que resultam em uma dada saída, ou seja, são apresentadas ao conjunto respostas corretas para treinar o grupo.

Segundo Lima (2012), para a utilização do método Knn três itens devem ser considerados, sendo eles:

- Exemplos obtidos a partir do treinamento;
- Um método para calcular a distância entre dois pontos obtidos com o treinamento; e
- Definir o número de vizinhos mais próximos que serão utilizados no algoritmo (K).

O espaço de amostras para definir qual o K que deve ser utilizado pode ser visto na Figura 16. Onde, deseja-se descobrir o elemento central, aplicando para tal descoberta o método de aprendizagem de máquina Knn, para isso, é feita a comparação entre os elementos mais próximos de acordo com valor de K escolhido.

Figura 16 - Espaços de amostras para o Knn.



Fonte: Adaptado de LIMA (2012).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 PESQUISA

Para iniciar o projeto, uma pesquisa acerca da importância da separação de grãos por cor na indústria alimentícia tornou-se fundamental, bem como a busca por um sensor de cor que atendesse as necessidades do mesmo.

Para isso, foi necessária a compreensão de fatores como as configurações do equipamento e seu funcionamento, de forma a considerar a porcentagem da frequência em que o sensor tem uma melhor resposta, efetuando a combinação dos filtros usados e normalizando os resultados.

Segundo Nasser (2016), para a determinação da qualidade do produto final obtido, a homogeneidade por parte da cor dos grãos no geral é uma característica fundamental.

Outros itens relevantes que tiveram que ser entendidos foram: servomotores e suas particularidades, a configuração interna do microcontrolador e a integração entre o conjunto de dispenser, esteira e potes.

Para realizar tais pesquisas foram utilizados como suporte trabalhos que objetivaram tal separação, além de artigos e outras publicações na área de pesquisa.

4.2 DESENVOLVIMENTO

Para dar início ao projeto foram reunidos e observados diversos trabalhos que tinham como objetivo a separação de objetos através de suas cores. Ao analisar cada um deles e buscando um conjunto com uma melhor funcionalidade decidiu-se unir diversas propostas. Cada parte foi desenhada separadamente no Software *Solid Works*, e no final todas elas foram unidas em um só projeto para uma melhor análise de sua funcionalidade. Elas foram divididas em: um dispenser de confeitos, uma esteira com um sensor de cor e potes giratórios.

Tendo um ponto de partida pronto, levantou-se a questão sobre como todos os elementos seriam integrados e as medidas de cada um deles. Nesse momento, a

busca por materiais tornou-se o foco do trabalho, priorizando o uso de elementos leves, resistentes e de fácil manuseio.

Tendo tais propostas delineadas, o próximo passo foi a construção de cada uma das partes, seguida da junção de todos os itens e por último a criação de um código para executar todos os comandos necessários para o funcionamento do protótipo. Outro importante fator foi a determinação da velocidade de funcionamento da esteira.

4.2.1 Construção das Partes do Protótipo

4.2.1.1 Dispenser de Confeitos

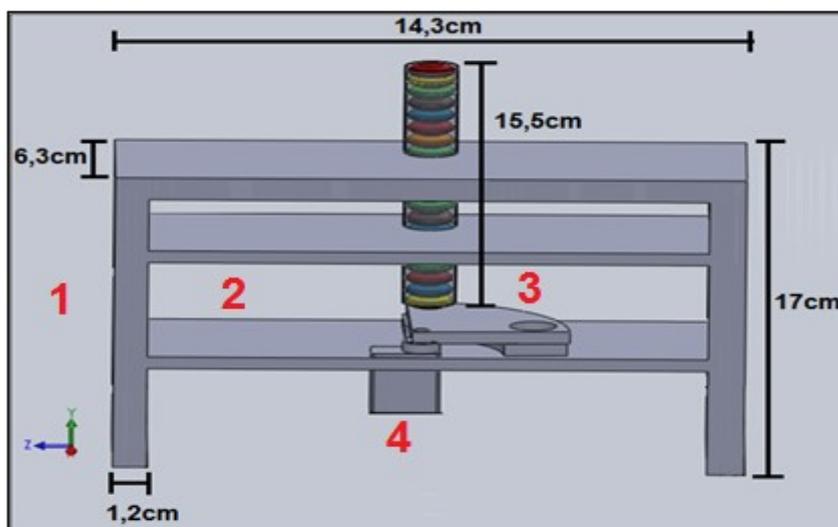
A construção desse item foi baseada no projeto apresentado por Nedelkovski (2016), onde todo o processo de separação é realizado apenas por essa estrutura. Porém, para esse trabalho sua função foi de armazenar e depositar os confeitos na esteira.

Sua composição é dada, basicamente, por uma estrutura de madeira com duas prateleiras colocadas de forma que a primeira delas funcione como sustentação para um tubo plástico transparente, onde os confeitos foram dispostos, e a segunda como um mecanismo de depósito desses objetos teste na esteira, utilizando para isso uma peça de madeira de 90° fixada ao servomotor.

Na Figura 17, apresentam-se representados os elementos que compõem o *dispenser*, juntamente com suas medidas pré-estabelecidas. Essas dimensões foram baseadas no projeto de Nadelkovski (2016), porém algumas alterações foram necessárias para melhor adaptação ao presente trabalho.

Como essa estrutura foi elaborada para ser fixada na parte interna da esteira, seu tamanho precisou ser adaptado.

Figura 17 – Dispenser de confeitos.



Legenda: 1: estrutura, 2: prateleiras, 3: peça giratória e 4: servomotor
 Fonte: Adaptado de NADELKOVSKI (2016).

4.2.1.2 Estrutura da Esteira

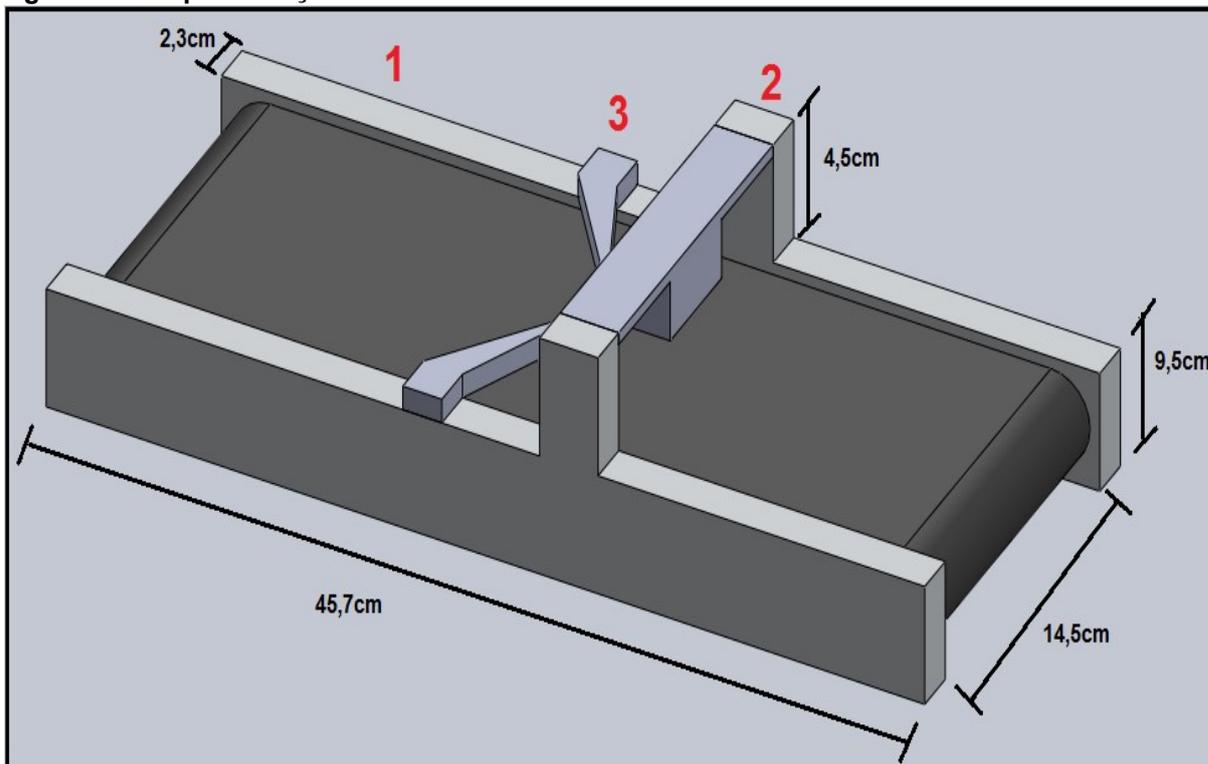
A geometria da esteira seguiu como exemplo inicial o projeto de Viecelli *et. al.* (2009). Ambos os trabalhos apresentam como projeto esteiras que selecionam objetos, elas são compostas por uma armação de madeira com quatro lados e roletes em ambas as extremidades.

Tendo tal estrutura pronta nesse trabalho, foram instalados rolamentos nas laterais e uma braçadeira para sustentar o motor. Os roletes foram envolvidos por um tecido resistente de cor escura e um motor CC de 12V foi colocado em uma das extremidades para movimentar a esteira.

A detecção da coloração do confeito foi realizada por meio de um sensor de cor TCS230 fixado em uma caixa escura localizada a 10 cm do fim da esteira. Ela foi colocada a tal distância para possibilitar que o confeito chegue ao pote antes do próximo M&M's® ser reconhecido. Antes dele, duas ripas afinam a passagem, permitindo que apenas um confeito passe por vez e que o mesmo percorra exatamente no meio do sensor para certificar-se que a detecção fosse feita. A Figura 18 representa toda a parte estrutural da esteira citada anteriormente.

Seu comprimento foi pensado para possibilitar a execução de todas as etapas sem que um processo prejudicasse o outro. Já sua largura foi elaborada para possibilitar o encaixe do dispenser e a construção dos potes.

Figura 18 – Representação da esteira.



Legenda: 1: Estrutura da esteira, 2: Local fixado o sensor TCS230 e 3: Pás de estreitamento.
 Fonte: Adaptado de VIECELLI (2009).

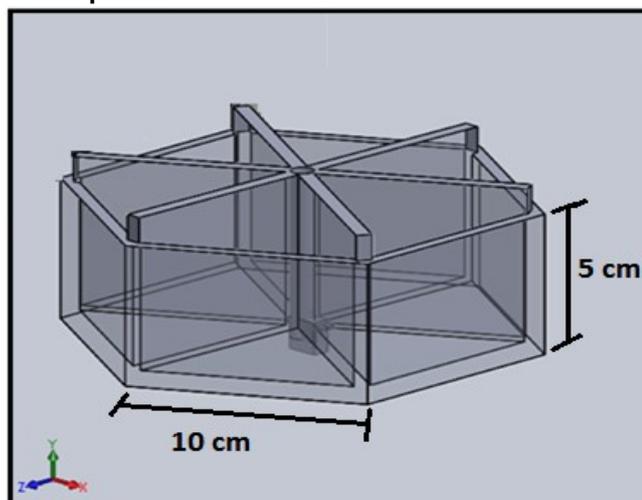
4.2.1.3 Composição dos Potes

Ao pensar no conjunto da separação, faltava um item onde os confeitos seriam colocados depois de realizada a detecção das cores. Baseando-se nisso e na quantidade de cores de confeitos vindos no pacote decidiu-se elaborar um hexágono dividido em seis compartimentos, cada um com 60°.

O material usado para sua confecção foi o poliestireno, por ser um material leve e resistente. Já as medidas de cada um dos lados foi calculada para que os potes se encaixassem no comprimento da esteira, o que tornou-se importante para não derrubar os confeitos fora da esteira na hora de levá-lo aos potes.

Inicialmente a rotação seria realizada por meio da utilização de um servomotor de 360°, onde cada uma das seis cores de confeitos teria um compartimento próprio. As medidas e a configuração dos compartimentos encontram-se apresentadas na Figura 19.

Figura 19 – Reprodução dos potes.

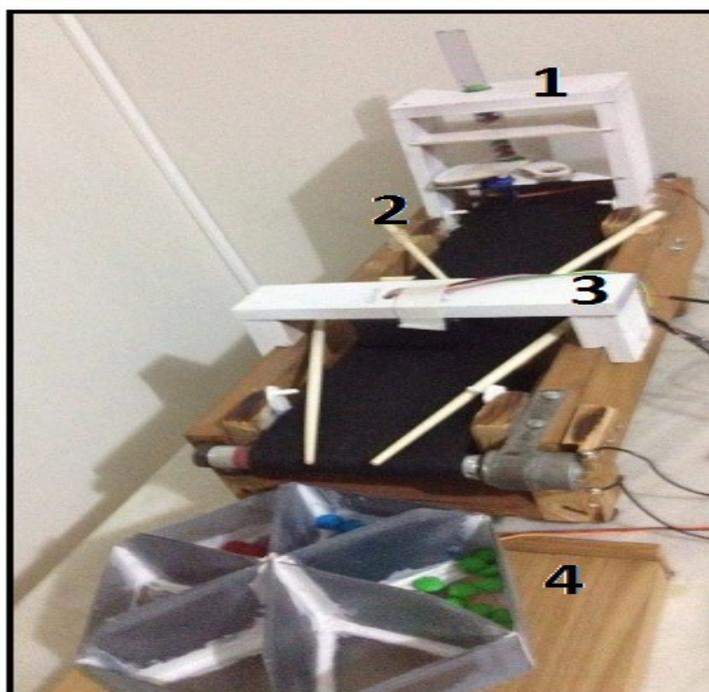


Fonte: Autoria Própria.

4.2.2 Montagem do Protótipo

A montagem do protótipo seguiu os seguintes passos: inicialmente o *dispenser* foi fixado na parte superior da esteira, garantindo uma altura que não prejudicasse a queda dos confeitos. Feito isso, foram colocados os potes na parte inferior da mesma, certificando-se assim, que o primeiro pote estivesse na posição 0° do servomotor. A montagem final do protótipo foi apresentada na Figura 20.

Figura 20 – Protótipo final.



Legenda: 1: *Dispenser*, 2: Esteira, 3: Sensor TCS230 e 4: Potes.
Fonte: Autoria Própria.

4.2.3 Velocidade da Esteira

Para obter a velocidade máxima que a esteira pode atingir alguns critérios foram considerados, sendo eles: o material transportado (confeito de chocolate de 0,8 g cada, ou seja, peso desprezível para o tamanho da esteira), o material utilizado para a fabricação da correia (tecido leve), o raio das polias de alumínio usadas no rolete (1 cm) e o número de rotações por minuto realizadas pelo motor em máxima potência já colocada na esteira (2060 rpm).

Ao substituir todas essas informações, resultou-se na Equação 4. Essa foi deduzida (Anexo A) e utilizada para determinar a velocidade máxima de rotação da esteira.

$$V = RPM \cdot (2 \cdot \pi \cdot Rp) \quad \text{Eq. (4).}$$

Considerando, **RPM** como as rotações por minuto referentes à potência máxima do motor; π uma constante cujo valor aproximado é 3,1415; **Rp** o raio das polias e V a velocidade em m/min.

Para chegar a uma resposta, a Equação 4 foi utilizada substituindo todas as informações coletadas dando origem a Equação 5. Já o seu resultado foi exibido abaixo, na Equação 6.

$$V = 2060 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 0,01) \quad \text{Eq.(5).}$$

$$V = 129,43 \text{ m/min} \quad \text{Eq.(6).}$$

Portanto, tem-se que a velocidade de rotação da esteira corresponde a 129,43 m/min. Para realizar uma melhor análise desse resultado, decidiu-se então, obter a quantidade de voltas dadas por minuto. Para isso, a extensão total da esteira mais roletes (108 cm) foi considerada. através da Equação 7.

$$\text{Quantidade de voltas} = \frac{V}{c} \quad \text{Eq. (7).}$$

Sabendo que v é a velocidade obtida na Equação 6 em m/min e c é o comprimento total da esteira em metros. A substituição desses valores é vista na Equação 8 e sua resposta na Equação 9.

$$\text{Quantidade de voltas} = \frac{129,43}{1,08} \quad \text{Eq.(8).}$$

$$\text{Quantidade de voltas} = 119,84 \text{ voltas/min} \quad \text{Eq.(9).}$$

Para uma melhor análise da resposta obtida, converteu-se a unidade de minutos em segundos, dividindo assim o número de voltas por 60 conforme a Equação 10. Tendo como resultado final a Equação 11, esse valor encontrado refere-se a quantidade de voltas realizada pelo motor em velocidade máxima.

$$\text{Quantidade de voltas} = \frac{119,84}{60} \quad \text{Eq.(10).}$$

$$\text{Quantidade de voltas} = 1,997 \text{ voltas/s} \quad \text{Eq.(11).}$$

4.2.4 Algoritmo de Comandos

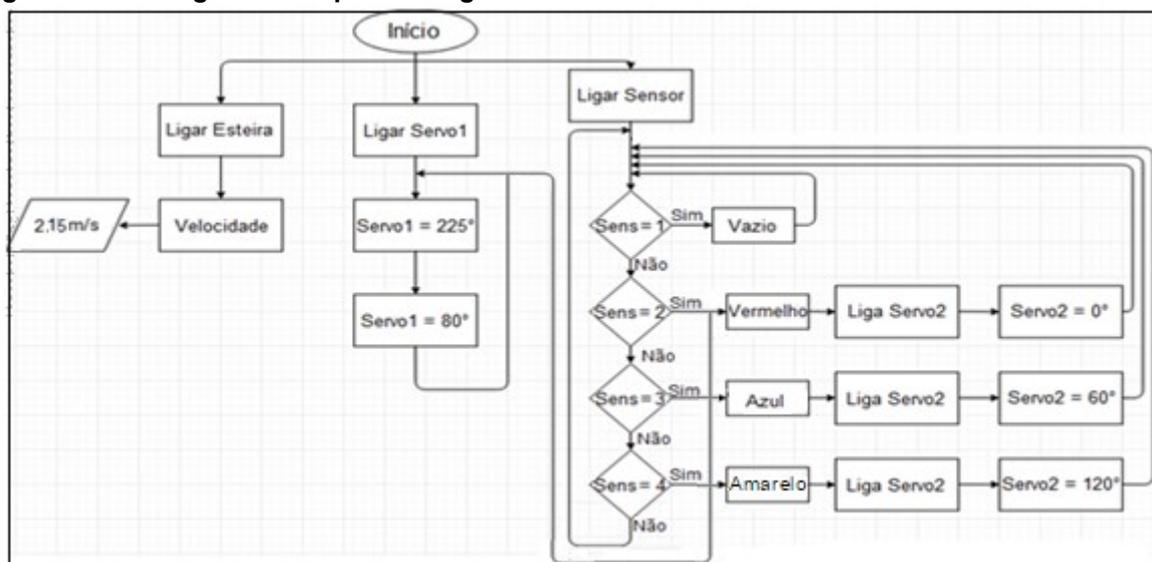
O processamento dos dados do transdutor, o controle do tempo para a liberação dos confeitos na esteira, a mensagem enviada para que o servomotor realize a rotação em uma angulação correta e a regulagem da velocidade de funcionamento da esteira, foram realizados com o uso do microcontrolador Atmega328, através da elaboração de um código utilizando linguagem de programação C. O algoritmo seguiu a seguinte sequência:

- Comandar inicialmente a angulação do servomotor 1 (localizado no *dispenser*) responsável pela rotação da peça que deposita os confeitos na esteira;
- Controlar a velocidade da esteira de acordo com os valores obtidos nos cálculos, juntamente com a regulagem através do circuito PWM implementado no microcontrolador feita posteriormente;

- Reconhecer as cores dos confeitos conforme calibrações das amostras feitas anteriormente aplicando o método de aprendizagem de máquina Knn; e
- Rotacionar os compartimentos utilizando o servomotor 2 de acordo com a identificação de cada cor realizada pelo sensor, sabendo que o sensor tem um tempo de resposta de 0,2 s e que enquanto ele não detectar um confeito, o *dispenser* não libera o próximo.

Os processos realizados pelo algoritmo estão apresentados na Figura 21.

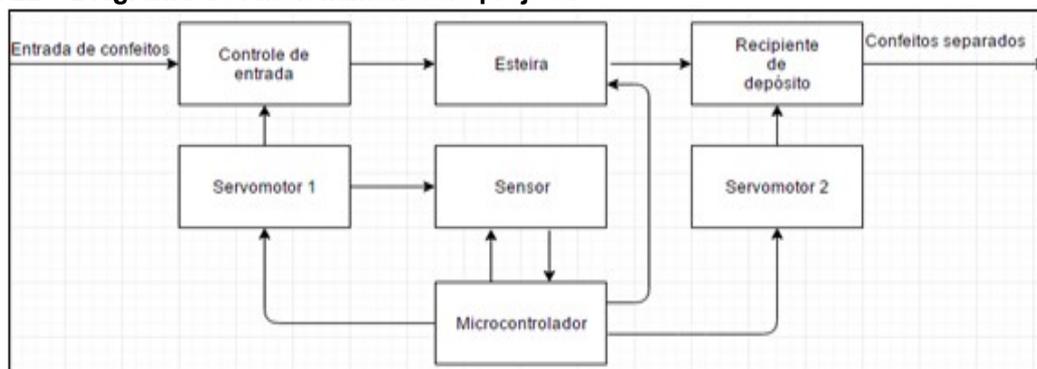
Figura 21 - Fluxograma de apoio ao algoritmo.



Fonte: Autoria Própria.

O diagrama de blocos que explica o processo de funcionamento do projeto encontra-se apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Diagrama de funcionamento do projeto.



Fonte: Autoria Própria.

Inicialmente os confeitos são depositados no tubo transparente, o servomotor 1 realiza a rotação da peça e tem-se assim o controle de entrada dos confeitos. O M&M's® percorre pela esteira até chegar ao sensor, onde sua cor é identificada.

Feito esse reconhecimento, imediatamente o microcontrolador envia ao mesmo tempo um sinal ao servomotor 2 (para rotacionar o pote de acordo com a cor detectada) e para o servomotor 1 (para liberar o próximo confeito). Esse processo impede que haja dois M&M's® sendo identificado ao mesmo tempo, o que ocasionaria um transtorno com relação a rotação dos potes.

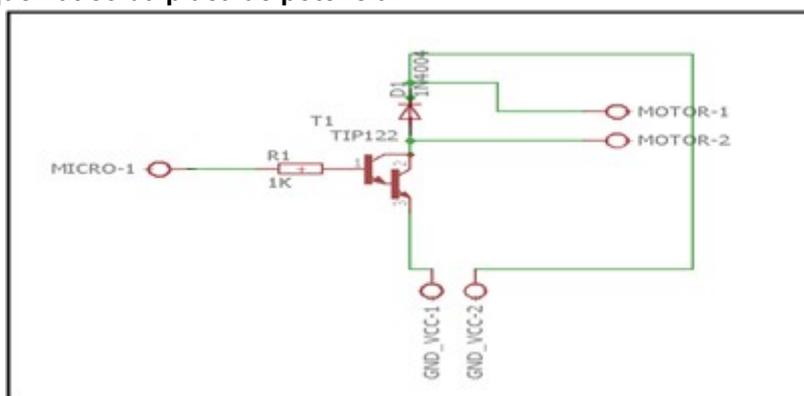
No final, tem-se como resultado cada cor de confeito separada em seu respectivo pote.

4.2.5 Esquema Elétrico

Para realizar as ligações dos circuitos duas placas foram elaboradas, sendo ambas interligadas.

A primeira delas é a placa de potência (Figura 23) utilizada para realizar o controle da velocidade da esteira, ela é composta por um tip 122 (transistor de potência de alto ganho), um diodo 1N4004 (proteção do circuito), um resistor de 1 K Ω (limita a corrente), três bornes com duas entradas (conectar os fios), sendo um deles para ligar o motor, outro para conectar o circuito ao microcontrolador e o último responsável pela conexão do VCC e GND na placa.

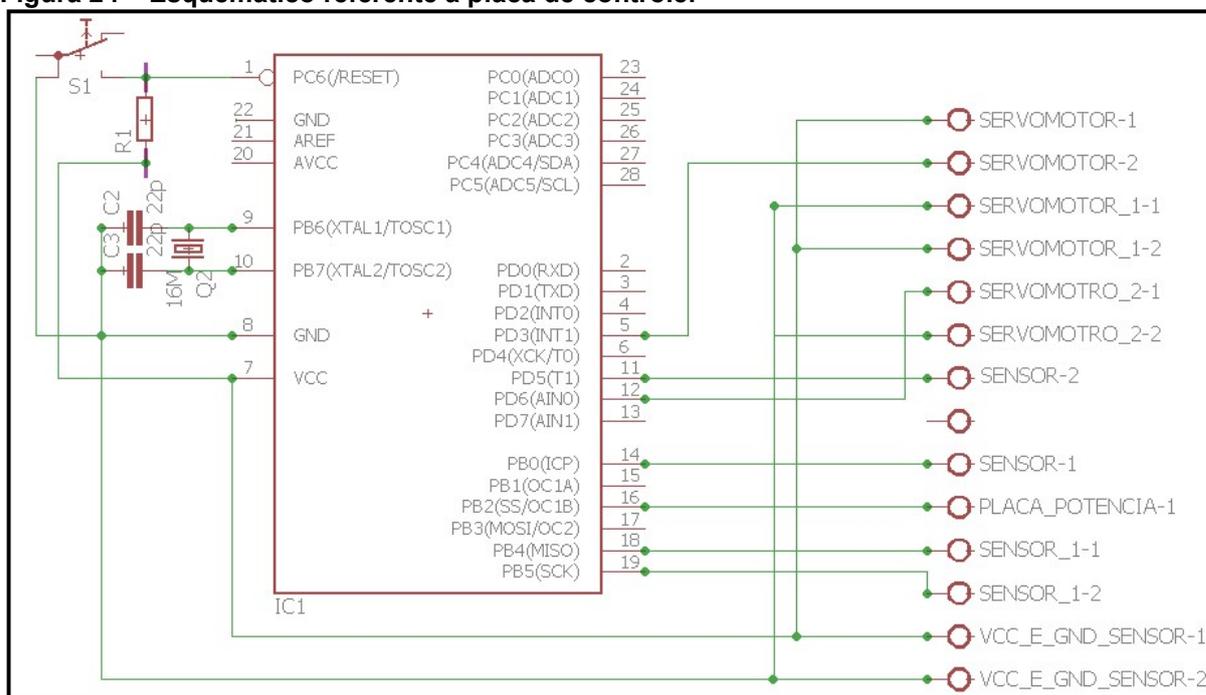
Figura 23 – Esquemático da placa de potência.



Fonte: Autoria Própria.

Já a segunda é responsável pelo controle de todos os elementos, ela contém um microcontrolador Atmega 328 que é ligado no sensor, nos dois servos, no motor e na fonte, através de oito bornes. Possui um cristal de 16 MHz e dois capacitores de 22 pF (ambos são responsáveis por gerar o sinal de *clock* para o microcontrolador), um botão *push button* (diminui a tensão do pino *reset* para zero) e um resistor de 10 K Ω (não permite que o ruído eletromagnético diminua a tensão do pino *reset*). Seu esquemático pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 – Esquemático referente à placa de controle.



Fonte: Autoria Própria.

4.2.6 Planejamento para os Testes

Os testes tinham como objetivo observar o índice de acertos e erros na separação e a quantidade de confeitos separados por minuto.

Para isso, foram separados dezoito confeitos de cada uma das cores. Estes eram passados pelo sensor um por vez (local escuro apenas com uma lâmpada fluorescente acesa) com a esteira em movimento e tiveram seus valores de RGB anotados, também foram coletadas nas mesmas condições dezoito amostras com a esteira vazia, com essas informações foi possível realizar a calibração do sensor. Os resultados obtidos foram implementados no código principal e a partir desse momento foi possível iniciar os experimentos.

A ideia inicial era colocar o máximo de confeitos misturados possíveis no tubo transparente (no projeto cerca de 20 ou 30), mantendo uma proporção entre suas cores.

Posteriormente, a esteira foi ligada e o primeiro confeito percorreu a correia até chegar ao sensor, onde ocorreu o reconhecimento. O M&M's® seguiu até o pote determinado e um novo confeito foi liberado na esteira para que o processo fosse realizado novamente.

Esse processo foi repetido várias vezes e utilizando diferentes tipos de iluminação, para que cada uma das cores dos confeitos tivessem cem amostras para análise. Os valores de acertos e erros eram anotados e colocados em uma tabela para cada um dos casos.

Escolhido o tipo de iluminação (luz natural ou lâmpada fluorescente) usado, um segundo teste foi feito. Dessa vez utilizando quinhentos confeitos divididos de aglomerados de cem em cem, estes foram colocados no tubo e a porcentagem de erro para cada conjunto, anotada em uma nova tabela.

No final os erros foram mínimos e os acertos máximos, com pequenas variações, já a quantidade de confeitos separados por minuto foi a maior possível considerando todo o caminho percorrido pelo M&M's®.

Todos os experimentos foram repetidos para um segundo sensor do mesmo modelo (TCS230) para certificar-se dos resultados obtidos anteriormente.

Juntando todas as informações obtidas, os resultados foram comparados e analisados para concluir sobre a eficiência do protótipo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO

A princípio todos os elementos do protótipo (*dispenser*, esteira e potes) foram fixados, conectados às placas e a fonte. Nesse momento, seu funcionamento passou a ser acompanhado durante cinco minutos. Ao ligar o protótipo já foi possível perceber alguns comportamentos indesejáveis. Primeiramente no *dispenser* com relação à peça que derruba os confeitos na esteira (com a angulação menor), depois com a altura do sensor (muito alto comparado com a correia) e por fim com relação velocidade da esteira (muito rápida para o processo). Portanto, estes e posteriormente alguns outros elementos necessitaram de ajustes.

5.1.1 Correção no *Dispenser*

A primeira adaptação foi feita no *dispenser* com relação à angulação da peça que derruba os confeitos na esteira. No projeto sua angulação era de 90° , porém ao realizar o teste inicial ela conseguiu transportar apenas 20 confeitos de 80, o restante ela derrubava para fora da esteira devido à angulação. Portanto, como a taxa de erro foi alta (75%) tornou-se necessário o corte de uma nova peça. Através das medições foi possível chegar à conclusão que ela deveria ter 145° para que os confeitos permanecessem encostados na peça mesmo quando ela rotacionasse para frente. Essa diferença obtida entre as peças pode ser vista na Figura 25.

Figura 25 – Dispenser antes e depois da substituição da peça.



Legenda: 1: Peça com 90° e 2: Peça com 145° .
Fonte: Autoria Própria.

5.1.2 Adaptação nos Potes

Inicialmente seriam usadas seis cores de confeitos, um servomotor 360° e um pote com seis compartimentos. Mas foram encontrados apenas servomotores de rotação contínua com essa angulação, o que não seria eficiente para o projeto. Portanto, optou-se por utilizar um servomotor de 180°, apenas três das cores dos confeitos e conservar o formato do pote com os demais compartimentos para manter o equilíbrio e a angulação do sistema.

5.1.3 Ajustes no Sensor

No início o sensor foi fixado a uma altura de 3 cm da correia, dentro de uma caixa escura. Mas foi possível observar que os confeitos passavam por ele sem serem reconhecidos. Dos 20 confeitos colocados na esteira, nesses cinco minutos iniciais, pelo *dispenser* apenas 6 deles foram reconhecidos.

A taxa de erro nesse caso foi alta (70%), portanto, decidiu-se abaixar o sensor a cada experimento em 0,5 cm, para determinar qual a melhor altura para fixá-lo. Conforme o transdutor abaixava a taxa de erro também diminuía. Esses valores obtidos através dos testes foram colocados na Tabela 1.

Tabela 1 – Taxa de erro para cada altura do sensor com relação a esteira.

Altura (cm)	Total de amostras	Reconhecidos	Não reconhecidos	Taxa de Erros (%)
3	20	6	14	70
2,5	20	10	10	50
2	20	11	9	45
1,5	20	14	6	30
1	20	18	2	10
0,5	20	-	-	-

Fonte: **Autoria Própria.**

Ao analisar os resultados obtidos foi possível concluir que a melhor altura para fixar o sensor foi em 1 cm de altura da esteira, pois para os valores acima disso a taxa de erro é muito alta. Já abaixo dessa medida, não foi possível realizar o teste, visto que os confeitos enroscam no sensor e não continuam o trajeto.

Outro ajuste necessário foi com relação à programação do sensor. Inicialmente os testes foram realizados levando em consideração apenas as variações do RGB de cada uma das cores durante a passagem dos confeitos pelo sensor. Porém, tal método não teve bons resultados, quando ocorriam pequenas variações com relação a luz, ao tom do M&M's® ou com o aparecimento de sombras durante a passagem dos objetos pelo sensor.

Por esse motivo, optou-se pela utilização de conceitos de aprendizagem de máquina (método KNN), o qual utiliza os valores de treino (amostras calibradas anteriormente) para realizar a comparação do mais próximo com a amostra atual, diminuindo assim os erros e aumentando o número de acertos no reconhecimento das cores.

Para o treino, foram coletadas 18 amostras de cada uma das cores e a mesma quantidade para a esteira vazia. Esses valores foram colocados no código principal de forma que a amostra atual (confeito reconhecido pelo sensor) fosse comparada com a mais próxima ($K=1$) obtida durante o treino. Portanto, a cor do M&M's® reconhecido foi determinada por comparação. O treino foi realizado uma única vez, tendo os dados referentes aos tons coletados, não houveram mais modificações nos valores.

5.1.4 Controle da Velocidade da Esteira

Alguns testes foram realizados com a velocidade máxima obtida pela esteira. Os confeitos eram depositados pelo dispenser um a cada 2 segundos e percebeu-se primeiramente que os confeitos oscilavam muito na correia (resultando na queda dos M&M's®) e que a detecção das cores não ocorria devido à alta velocidade. Tendo como base essas observações, foi constatada a necessidade de realizar o controle da velocidade da esteira utilizando para isso o circuito PWM.

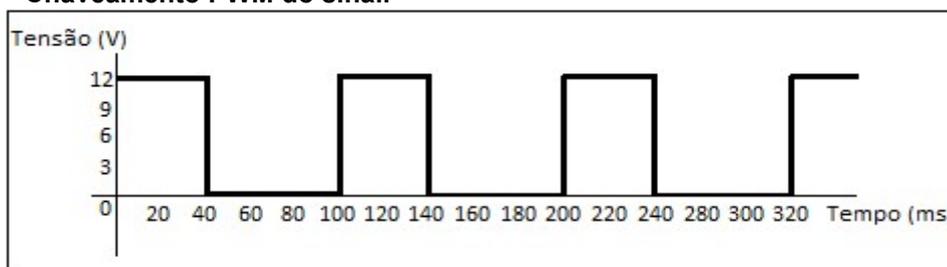
Esse controle foi feito por meio de testes utilizando confeitos e o próprio protótipo. Observando se o M&M's® sofria grandes oscilações e se o sensor o detectava ou não com essa velocidade.

Com base, nessas interpretações e com o auxílio do PWM do microcontrolador, variou-se a largura de pulso (t_1) e o intervalo entre eles (t_2)

sempre analisando o comportamento da esteira. Levando em consideração também que o período do sinal ($t_1 + t_2$) foi representado por t .

O chaveamento do sinal mostrado na Figura 26 foi realizado tendo em vista o melhor caso encontrado de acordo com os testes, obtendo com isso os seguintes valores: $t_1 = 40\text{ms}$, $t_2 = 60\text{ms}$ e $t = 100\text{ms}$.

Figura 26 – Chaveamento PWM do sinal.



Fonte: Autoria Própria.

O ciclo ativo do sinal foi calculado, utilizando os valores obtidos na Figura 26, juntamente com a Equação 2, determinada anteriormente. Dando origem a Equação 12, com o resultado exibido na Equação 13.

$$\text{Ciclo ativo} = \frac{40}{100} \cdot 100 \quad \text{Eq.(12).}$$

$$\text{Ciclo ativo} = 40\% \quad \text{Eq.(13).}$$

Para determinar a tensão média do sinal a Equação 3 foi utilizada e ao substituir os valores do ciclo ativo e da tensão máxima originou a Equação 14. Já a Equação 15 exibe o resultado obtido a partir de tal cálculo.

$$\text{Tensão média} = \frac{40}{100} \cdot 12 \quad \text{Eq.(14).}$$

$$\text{Tensão média} = 4,8 \text{ V} \quad \text{Eq.(15).}$$

Portanto, a tensão média foi de 4,8 V. Sabendo que o valor máximo de tensão é de 12V e a velocidade do motor de 129,43 m/min. Utilizando a regra de três para relacionar os três itens anteriores, foi possível determinar a velocidade de

rotação da esteira, através da Equação 16. Desprezando para isso o atrito, a inércia, além de outros elementos. Ao realizar os cálculos a resposta foi obtida na Equação 17.

$$V = \frac{129,43 \cdot 4,8}{12} \quad \text{Eq.(16).}$$

$$V = 51,77 \text{ m/min} \quad \text{Eq.(17).}$$

Portanto, a velocidade de deslocamento obtida foi de 51,77 m/min. Para uma melhor análise, foi necessário determinar o número de voltas dadas pela esteira em um minuto, para isso a Equação 18 foi aplicada. Tendo como resultado a Equação 19.

$$\text{Quantidade de voltas} = \frac{51,77}{1,08} \quad \text{Eq. (18).}$$

$$\text{Quantidade de voltas} = 47,93 \text{ voltas/min} \quad \text{Eq.(19).}$$

Ao transformar os minutos da quantidade de voltas em segundos, dividindo o resultado por 60 tem-se a seguinte solução: 0,79 voltas/s.

Esse resultado final foi uma aproximação, por não levar em conta diversos fatores que influenciam na rotação, mas foi considerado satisfatório, pois com essa velocidade a correia da esteira não sofreu grandes oscilações, o sensor conseguiu reconhecer a passagem do confeito e a rotação dos potes foi realizada de forma adequada ao processo.

5.2 REALIZAÇÃO DOS TESTES I

Feitas as modificações necessárias, iniciou-se a preparação para os testes. As cores dos confeitos escolhidas para a separação foram azul, vermelho (cores primárias do RGB) e amarelo (mistura entre dois tons). Optou-se pela utilização dessas cores para que não houvessem apenas cores puras durante os testes.

5.2.1 Análise da Influência da Luz

Estabelecidos os tons a serem usados, foram feitos quinze agrupamentos com trinta confeitos, utilizando sempre dez unidades de cada cor para os primeiros testes relacionados à influência da luz no sensor.

Os experimentos foram feitos utilizando diferentes luminosidades do ambiente, para determinar se as variações na claridade influenciariam diretamente na detecção do sensor. Para isso, o experimento foi realizado com o uso da luz natural e com iluminação com lâmpada fluorescente.

5.2.1.1 Testes com Luz Natural

Os testes foram feitos utilizando os critérios acima estabelecidos, permitindo que houvesse a entrada de luz natural no ambiente. Seus resultados foram registrados e colocados na Tabela 2.

Tabela 2 – Amostras Utilizando Luz Natural do Ambiente.

Amostras	Total	Azul		Vermelho		Amarelo	
		Acertos	Erros	Acertos	Erros	Acertos	Erros
1	30	9	1	10	0	8	2
2	30	9	1	10	0	8	2
3	30	10	0	9	1	6	4
4	30	9	1	9	1	7	3
5	30	9	1	8	2	8	2
6	30	10	0	9	1	8	2
7	30	9	1	10	0	9	1
8	30	10	0	9	1	7	3
9	30	9	1	10	0	6	4
10	30	9	1	9	1	8	2
Total	300	93	7	93	7	75	25

Fonte: Autoria Própria.

Com as respostas obtidas na Tabela 2, alguns métodos estatísticos foram aplicados para que houvesse uma melhor análise dos dados. Um deles foi a média, dada pela Equação 20.

$$\mu = \frac{\sum X_i}{N}; i = 1,2,3, \dots N \text{ amostras} \quad \text{Eq.(20).}$$

Onde μ é a média, X_i representa cada uma das amostras e N é o tamanho total da população.

A mediana, referente ao conjunto de amostras, para cada cor, também foi utilizada como informação para uma posterior comparação. Ela é dada pelo valor central na distribuição dos dados, quando as amostras são números pares, os dois elementos mais próximos (centrais) são somados e seu resultado dividido por dois para que a mediana seja determinada.

Outro princípio da estatística utilizado foi a moda, ela é definida como sendo o número que mais se repete em uma dada amostra.

Os pontos de mínimo e máximo também foram levantados, sendo o primeiro caso correspondente ao menor valor apresentado na tabela e o segundo o maior deles.

Representando o tamanho da “dispersão” que houve em cada um dos acertos obtidos o desvio padrão foi usado, ele está sendo representado pela Equação 21.

$$\theta = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N}} \quad \text{Eq.(21).}$$

Sendo θ o desvio padrão, X_i cada uma das amostras, μ a média obtida anteriormente e N o tamanho total da população.

E por último utilizando os desvios anteriores foi aplicado o erro padrão que refere-se a variação que as médias podem ter. Ele é representado pela Equação 22.

$$EP = \frac{\theta}{\sqrt{N}} \quad \text{Eq.(22).}$$

Sabendo que EP é o erro padrão, e já conhecendo as demais variáveis.

Tendo tais estatísticas aplicadas sobre a Tabela 2 (luz natural), todas as informações obtidas foram reunidas dando origem a Tabela 3.

Tabela 3 – Valores Estatísticos Referente aos Acertos com Luz Natural.

	Acertos		
	Azul	Vermelho	Amarelo
Média	9,3	9,3	7,5
Mediana	9	9	8
Moda	9	9	8
Mínima	9	8	6
Máxima	10	10	9
Desvio padrão	0,458	0,64	0,922
Erro padrão	0,145	0,202	0,292

Fonte: Autoria Própria.

Ao analisar a Tabela 3 foi possível observar que o azul obteve um melhor resultado, de média, mediana, mínima e máxima e um baixo valor de desvio padrão e erro padrão. Já o amarelo apresentou sua média e mínima baixas e seu desvio padrão e erro padrão altos ao compará-los com os as demais cores. Essa diferença nos resultados pode ser dada devido ao azul e vermelho serem cores puras no sistema RGB, já o amarelo trata-se de uma cor composta por outros dois tons, o que ocasionaria tal disparidade com relação à detecção.

5.2.1.2 Testes com Lâmpada Fluorescente

Usando como exemplo os experimentos anteriores, os testes foram repetidos, desta vez utilizando a lâmpada fluorescente. Os dados de erros e acertos foram coletados e colocados na Tabela 4.

Tabela 4 – Amostras Utilizando Lâmpada Fluorescente.

Amostras	Total	Azul		Vermelho		Amarelo	
		Acertos	Erros	Acertos	Erros	Acertos	Erros
1	30	10	0	10	0	8	2
2	30	10	0	9	1	9	1
3	30	10	0	9	1	8	2
4	30	10	0	10	0	8	2
5	30	10	0	9	1	10	0
6	30	10	0	10	0	9	1
7	30	10	0	9	1	8	2
8	30	10	0	10	0	9	1
9	30	10	0	10	0	8	2
10	30	9	1	9	1	8	2
Total	300	99	1	95	5	85	15

Fonte: Autoria Própria.

A partir dos resultados obtidos na Tabela 4, os mesmos equacionamentos foram aplicados nas amostras. Foram realizados cálculos das médias (Equação 20), medianas, modas, máximas, mínimas, desvios padrões (Equação 21) e erros padrões (Equação 22). Todas as informações resultantes foram reunidas e colocadas na Tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Valores Estatísticos Referente aos Acertos com Lâmpada Fluorescente.

	Acertos		
	Azul	Vermelho	Amarelo
Média	9,9	9,5	8,5
Mediana	10	9,5	8
Moda	10	9 e 10	8
Mínima	9	9	8
Máxima	10	10	10
Desvio padrão	0,3	0,5	0,671
Erro padrão	0,095	0,158	0,212

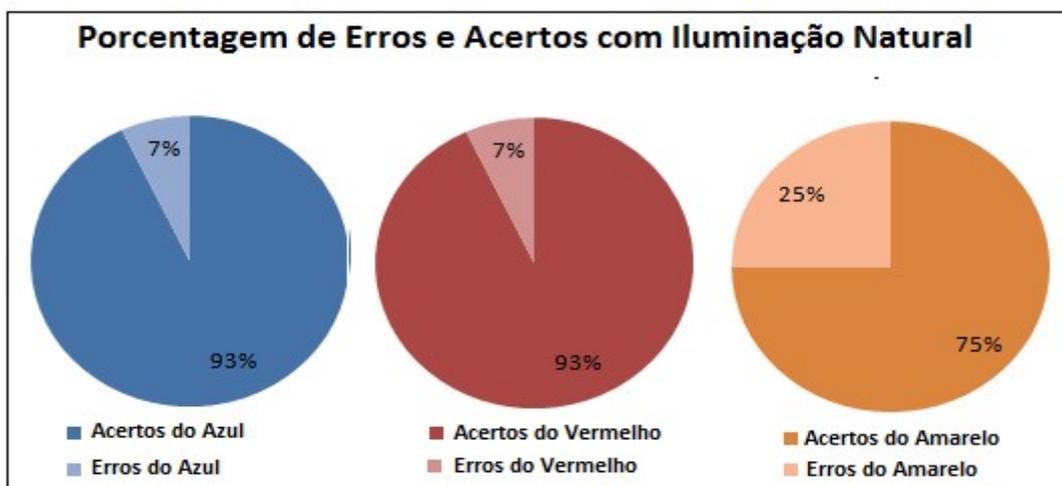
Fonte: Autoria Própria.

Ao analisar a Tabela 5 foi possível observar que o azul foi o que obteve um resultado melhor, considerando seu valor alto de média, mediana, mínima e máxima e seu valor baixo de desvio padrão e erro. Já o amarelo apresentou valores mais baixos de média e mínima e seu desvio padrão e erro padrão foram altos ao compará-los com os resultados do vermelho e o do azul. Essa diferença com relação ao amarelo pode ser dada por ela ser uma cor dada por uma mistura, assim como comentado anteriormente.

5.2.1.3 Comparação entre Iluminação I e II

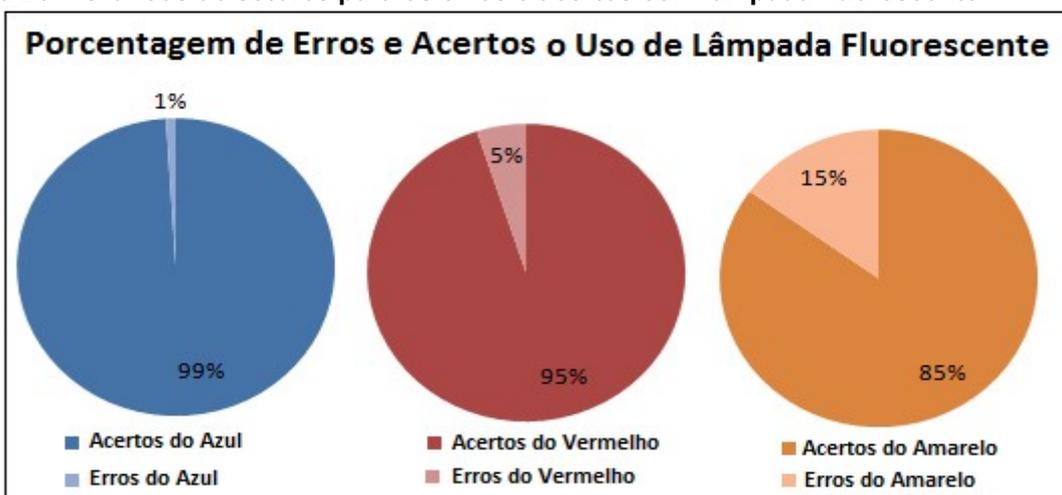
Através dos dados alcançados nas Tabelas 2 e 4, foram feitos gráficos de setores com os valores de erros e acertos para cada uma das cores e iluminações, para que houvesse uma visualização mais clara e posteriormente uma melhor análise. Tal comparação pode ser vista na Figura 27 para luz natural e na Figura 28 para lâmpada fluorescente.

Figura 27 – Gráficos de setores para os erros e acertos com luz natural I.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 28 – Gráficos de setores para os erros e acertos com lâmpada fluorescente I.



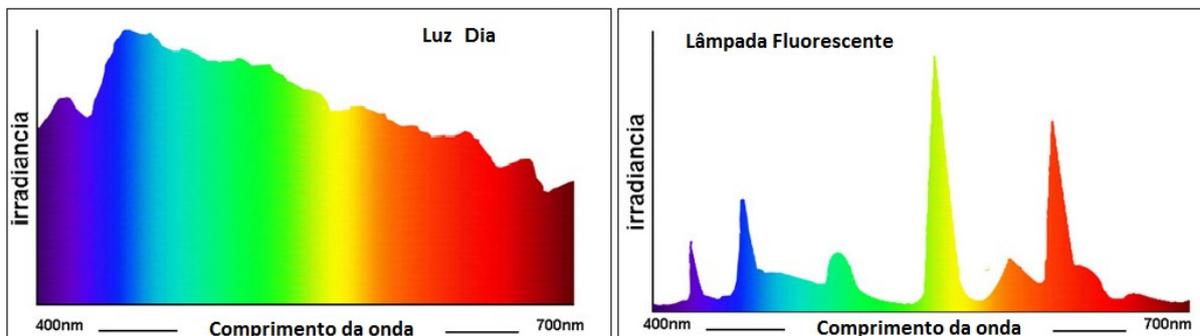
Fonte: Autoria Própria.

Ao analisar ambos os gráficos de setores (Figura 27 e Figura 28) foi possível observar que há uma variação com relação aos erros e acertos para cada tipo de iluminação usada. Essa característica pode ter sido determinada pelos diferentes comportamentos das cores para cada tipo de iluminação.

Através da Figura 29 foi possível observar dois gráficos de irradiância por comprimento de onda, sendo um para lâmpada fluorescente e o outro para luz do dia. No primeiro deles (Luz Dia) considera-se a luz média diurna fixa (6500 K), e sua melhor resposta foi obtida para as cores azul (480 nm) e verde (500 nm). Já no segundo caso, trata-se de iluminação por lâmpada fluorescente, e tem-se a melhor

resposta em verde (565 nm) e vermelho (700 nm). Essa análise foi importante para as conclusões referentes aos resultados da separação por cores.

Figura 29 – Gráficos de irradiância por comprimento de onda para diferentes meios luminosos.



Fonte: Adaptado de QUANTOTEC [20??].

Para definir qual a melhor iluminação a ser usada foi feita a comparação das Tabelas 3 e 5 que continham os valores estatísticos de acertos de cada uma das cores para as diferentes luminosidades. E os comprimentos de onda para cada uma das cores usadas no teste sendo azul (cerca de 485 nm), vermelho (cerca de 700 nm) e o amarelo (cerca de 580 nm).

No caso do uso da luz natural do ambiente, foi perceptível através da análise de todas as componentes estatísticas e gráficas que essa variação da luz interferiu de forma significativa na separação das cores. Tal informação fica mais visível ao considerar principalmente a cor amarela, a qual apresenta um maior número de erros, um maior número referente ao desvio padrão e ao erro padrão. Seu erro padrão foi de 0,292.

Já com a utilização da lâmpada fluorescente, percebeu-se que a interferência em todas as cores era menor. Apesar do amarelo também ter apresentado um erro maior que os outros tons, seu índice de erro padrão foi de 0,206. Ou seja, a diferença de 0,086 de um para o outro.

Acharya *et. al.* (2015), em seu trabalho sobre problemas encontrados na detecção de objetos em movimento, afirma que fatores como mudanças na iluminação causam interferência na aparência da cor do elemento que está sendo detectado, e por isso, esta variação precisa ser considerada e analisada.

Portanto, ao avaliar todos os resultados obtidos acima, juntamente com a afirmação anterior foi possível determinar que as análises de erros e acertos nas detecções fossem feitas utilizando a lâmpada fluorescente.

5.2.2 Erros e Acertos na Separação

Os testes para análise dos erros e acertos do protótipo final foram feitos utilizando quinhentas amostras de confeitos separados em grupos de cem. Sendo estes das três cores misturadas (azul, vermelho e amarelo), dessa vez sem uma proporção pré-estabelecida.

Os confeitos foram colocados até a capacidade máxima do tubo e foram sendo repostos conforme eram separados. A cada cem M&M's separados os erros e acertos eram colocados na Tabela 6.

Tabela 6 – Porcentagens de Erros e Acertos na Separação.

Teste	Confeitos Separados	Acertos (%)	Erros (%)
1	100	93	7
2	100	94	6
3	100	94	6
4	100	93	7
5	100	95	5

Fonte: Autoria Própria.

Ao observar a Tabela 6, foi possível afirmar que para cada 500 amostras, 469 delas eram referentes aos acertos e 31 aos erros.

Para uma melhor visualização e quantificação dos resultados foram aplicados os métodos estatísticos vistos anteriormente, sendo eles: média (Equação 20), mediana, moda, mínimas, máximas, desvio padrão (Equação 21) e erro padrão (Equação 22). Todos esses resultados foram unidos dando origem a Tabela 7.

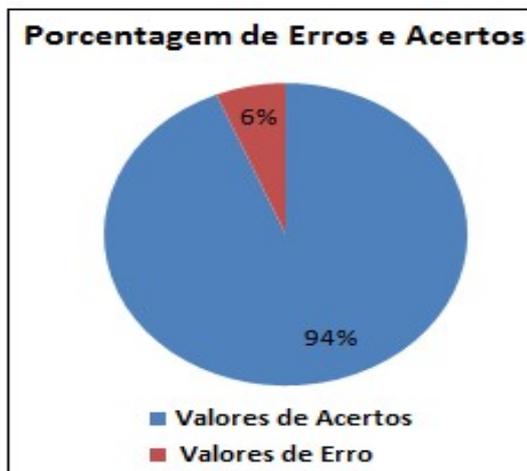
Tabela 7 - Valores Estatísticos Referente aos Acertos

	Acertos
Média	93,8
Mediana	94
Mínima	93
Máxima	95
Moda	93 e 94
Desvio padrão	0,885
Erro padrão	0,3957

Fonte: Autoria Própria.

Os acertos e erros mostrados na Tabela 6 foram reunidos e colocados no gráfico de setores exibido (Figura 30).

Figura 30 – Gráfico de setores reunindo erros e acertos.



Fonte: Autoria Própria.

Ao analisar os resultados apresentados na tabela, no gráfico e nos equacionamentos foi possível observar que o número de acertos obtidos foi muito maior que o de erros e que o valor de erro padrão calculado apresentou-se bem baixo.

Acharya *et. al.* (2015) ao citar a detecção de objetos em movimento afirma que há uma grande dificuldade no reconhecimento de itens durante o deslocamento, pois, a detecção pode ser influenciada por diversos fenômenos. Sendo alguns deles a luz, a mudança na aparência das cores e o reconhecimento das sombras.

Portanto, essa porcentagem de erro obtida neste trabalho pode ter sido ocasionada por diversos fatores como interferências de raios luminosos, a não uniformidade de tons dos confeitos e até o reconhecimento errôneo das sombras dos confeitos, consequências do reconhecimento em movimento.

Corsico *et. al.* (2014) em seus testes com os mesmos tipos de confeitos e utilizando um sensor (TCS3200) semelhante ao utilizado nesse trabalho, obteve como resultado de sua separação com o uso da lâmpada fluorescente os seguintes valores de erros e acertos: 99% de acertos e 1% de erro.

O erro é maior que 5% neste trabalho, pois a detecção do confeito foi feita com os objetos em movimento. Já no trabalho apresentado por Corsico *et. al.* (2014), os confeitos são colocados de forma manual em um orifício e a detecção é feita com o objeto parado e só depois o mesmo é caminhado ao pote correto.

5.2.3 Quantidade de Confeitos por Minuto

Para obter a quantidade de confeitos separados por minutos, mais alguns experimentos foram feitos. Dessa vez os M&M's® foram colocados no tubo de diversas formas: misturados, todos de uma única cor, intercalados e utilizando duas das três cores.

Depositados os confeitos no tubo conforme a ordem estabelecida, a esteira era ligada juntamente com o cronômetro e iniciava-se a contagem dos confeitos depositados nos potes até o tempo de um minuto. Foram feitos no total 6 testes conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Amostras dos confeitos separados em um minuto.

Amostras	Confeitos por minuto
1	17
2	15
3	16
4	20
5	19
6	13

Fonte: Autoria Própria.

Tendo retirado as amostras, o próximo passo foi aplicar a Equação 20 novamente para obter a média dos confeitos separados por minuto. Dando origem a Equação 23.

$$\mu = 17 \quad \text{Eq.(23).}$$

Portanto, foram separados 17 confeitos por minuto utilizando o protótipo elaborado.

Corsico *et. al.* (2014), em seu trabalho apresentou uma máquina com a mesma função, com dois valores distintos de separação de acordo com o método usado. O primeiro deles possui um índice de separação de 19 M&M's® por minuto, já o segundo método 34.

Tal velocidade de classificação para este trabalho foi determinada pela dependência entre a detecção da cor e a liberação do próximo confeito pelo

dispenser, ele acaba atrasando o processo, porém, ele é essencial para que apenas um confeito passe por vez pelo sensor. Diferentemente do trabalho citado à cima onde a máquina não apresentou essa relação entre o transporte e o reconhecimento, pois os confeitos foram colocados de forma manual através de um orifício.

5.3 REALIZAÇÃO DOS TESTES II

Os testes foram novamente realizados, utilizando um novo sensor TCS230 (com a mesma configuração e características) para certificar-se dos resultados obtidos anteriormente. Novamente foi realizada a calibração utilizando amostras dos confeitos azuis, vermelhos e amarelos juntamente com as obtidas pela esteira vazia. Todas as informações foram novamente colocadas no código principal.

A partir das informações obtidas foram feitos novos testes com relação à influência da iluminação na detecção do sensor, a quantidade de erros e acertos e por fim a quantidade de confeitos separados por minuto.

5.3.1 Teste Utilizando a Luz Natural

Os testes foram feitos novamente utilizando agrupamentos de 30 confeitos sendo 10 de cada uma das cores (vermelho, azul e amarelo) permitindo que a luz do ambiente ilumine o local dos testes. Dando origem a Tabela 9.

Tabela 9 – Amostras Utilizando Luz Natural do Ambiente.

Amostras	Total	Azul		Vermelho		Amarelo	
		Acertos	Erros	Acertos	Erros	Acertos	Erros
1	30	9	1	10	0	6	4
2	30	10	0	9	1	7	3
3	30	10	1	10	0	8	2
4	30	9	1	10	0	8	2
5	30	9	1	10	0	8	2
6	30	10	0	10	0	8	2
7	30	10	0	10	0	9	1
8	30	10	0	9	1	7	3
9	30	9	1	10	0	8	2
10	30	9	1	9	1	8	2
Total	300	94	6	97	3	77	23

Fonte: Autoria Própria.

Foram aplicados métodos estatísticos nos acertos da Tabela 9, como média (Equação 20), mediana, moda, máxima, mínima desvio padrão (Equação 21) e erro padrão (Equação 22). Os resultados foram colocados na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores Estatísticos Referente aos Acertos com Luz Natural.

	Acertos		
	Azul	Vermelho	Amarelo
Média	9,4	9,7	7,7
Mediana	9,5	10	8
Moda	9 e 10	10	8
Mínima	9	9	6
Máxima	10	10	9
Desvio padrão	0,509	0,438	0,781
Erro padrão	0,160	0,138	0,247

Fonte: Autoria Própria.

Através da Tabela 10 foi possível afirmar que o vermelho apresentou um melhor resultado, considerando seu valor alto de média, mediana, mínima e máxima e seu valor baixo de desvio padrão e erro. Já o amarelo mostrou valores mais baixos de média e a mínima, seu desvio padrão e erro padrão foram altos ao compará-los com os do vermelho e do azul.

5.3.2 Teste Utilizando a Lâmpada Fluorescente

Os mesmos experimentos foram novamente realizados, dessa vez utilizando a lâmpada fluorescente, as amostras coletadas foram colocadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Amostras Utilizando Lâmpada Fluorescente.

Amostras	Total	Azul		Vermelho		Amarelo	
		Acertos	Erros	Acertos	Erros	Acertos	Erros
1	30	10	0	10	0	10	0
2	30	10	0	10	0	9	1
3	30	10	0	10	0	10	0
4	30	10	0	10	0	9	1
5	30	10	0	9	1	10	0
6	30	10	0	10	0	9	1
7	30	10	0	10	0	10	0
8	30	10	0	10	0	10	1
9	30	10	0	10	0	8	2
10	30	9	1	9	1	10	0
Total	300	99	1	98	2	94	6

Fonte: Autoria Própria.

Com os dados presentes na Tabela 11 e aplicando mais uma vez estatísticas aos acertos, a Tabela 12 foi criada.

Tabela 12 – Valores Estatísticos dos Acertos com Lâmpada Fluorescente.

	Acertos		
	Azul	Vermelho	Amarelo
Média	9,9	9,8	9,4
Mediana	10	10	10
Moda	10	10	10
Mínima	9	9	8
Máxima	10	10	10
Desvio padrão	0,3	0,4	0,678
Erro padrão	0,094	0,126	0,214

Fonte: Autoria Própria.

Ao observar a Tabela 12 foi possível concluir que o azul foi o que obteve melhor resultado com relação à média e o menor com relação ao desvio padrão e o erro padrão ao comparar com as demais cores. Já o amarelo é o que obteve menor média, mas mesmo assim o seu erro padrão e seu desvio não foram tão altos.

5.3.2.1 Comparação Entre a Luz Natural e a Lâmpada Fluorescente

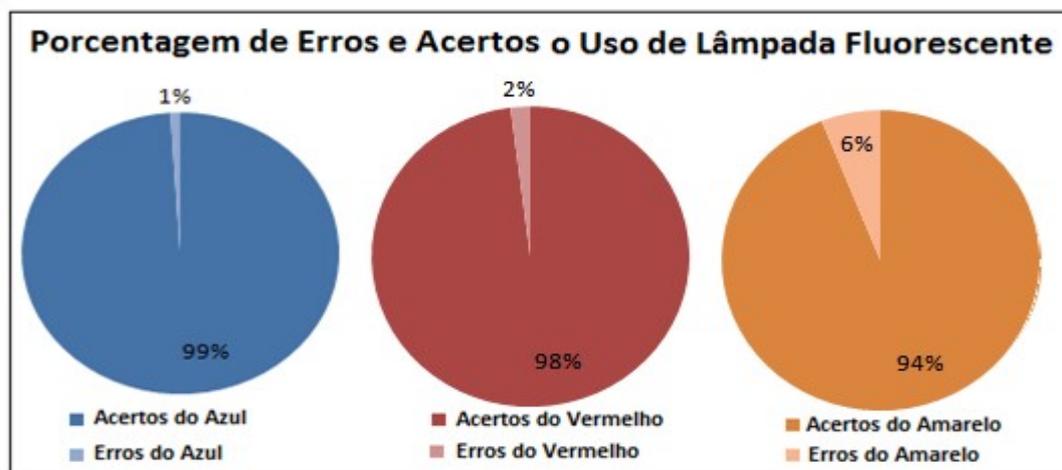
Para uma melhor visualização e discussão dos resultados os gráficos de setores foram mais uma vez usados. Sendo o primeiro deles (Figura 31) referentes aos resultados dos erros e acertos obtidos pela utilização da luz natural e o segundo deles (Figura 32) a lâmpada fluorescente.

Figura 31 – Gráficos de setores para os erros e acertos com luz natural II.



Fonte: Autoria Própria

Figura 32 – Gráficos de setores para os erros e acertos com lâmpada fluorescente II.



Fonte: Autoria Própria.

A repetição do teste juntamente com as análises dos gráficos e dos métodos estatísticos mostrou novamente que há influência da luz na detecção dos confeitos. E novamente a lâmpada fluorescente apresentou um melhor desempenho, portanto os demais testes foram feitos novamente com o uso desse tipo de iluminação.

5.3.3 Erros e Acertos nos Testes

Utilizando as mesmas 500 amostras com confeitos misturados, os testes foram realizados colocando os confeitos de cem em cem e seus resultados foram distribuídos na Tabela 13 conforme mostrado abaixo.

Tabela 13 – Porcentagens de Erros e Acertos na Separação.

Teste	Confeitos Separados	Acertos (%)	Erros (%)
1	100	99	1
2	100	100	0
3	100	99	1
4	100	99	1
5	100	100	0

Fonte: Autoria Própria.

Ao observar a Tabela 13, foi possível afirmar que para cada 500 amostras 497 delas eram referentes aos acertos e 3 aos erros.

Para uma melhor visualização e quantificação dos resultados foram aplicados os métodos estatísticos vistos anteriormente, sendo eles: média (Equação

20), mediana, moda, mínimas, máximas, desvio padrão (Equação 21) e erro padrão (Equação 22). Todos esses resultados foram unidos dando origem a Tabela 14.

Tabela 14 - Valores Estatísticos Referente aos Acertos

	Acertos
Média	99,4
Mediana	99
Mínima	99
Máxima	100
Moda	99
Desvio padrão	0,409
Erro padrão	0,182

Fonte: Autoria Própria.

Os acertos e erros mostrados na Tabela 13 foram reunidos e colocados no gráfico de setores exibido (Figura 33).

Figura 33 – Gráfico de setores reunindo erros e acertos II.



Fonte: Autoria Própria.

Ao analisar os resultados apresentados na tabela, no gráfico e nos equacionamentos foi possível observar que o número de acertos foi muito maior que o de erros e que o valor de erro padrão calculado apresentou-se bem baixo.

Ao comparar os resultados obtidos por ambos os sensores, foi possível concluir que o segundo teve uma resposta muito melhor na detecção que o primeiro, essa diferença pode ser dada por algum problema apresentado pelo primeiro sensor. Uma vez que os resultados obtidos na calibração do sensor 1, apresentaram características diferentes e não convencionais, diferentemente do sensor 2 que seguiu o que era esperado com relação aos valores de RGB.

Ao comparar o resultado obtido nesse último teste (99,4% de acertos e 0,6% de erro) com o trabalho de separação realizado por Corsico *et. al.* (2014), que obteve 1% de erros e 99% de acertos é possível concluir que o presente trabalho obteve um melhor resultado com relação aos acertos na separação.

5.3.4 Separação por Minuto

E por fim o último teste realizado foi para determinar a quantidade de confeitos que eram separados por minuto. Utilizando para isso, as mesmas características anteriormente estabelecidas, deu-se origem a Tabela 15.

Tabela 15 – Amostras dos confeitos separados em um minuto.

Amostras	Confeitos por minuto
1	16
2	17
3	16
4	19
5	19
6	15

Fonte: Autoria Própria.

Ao aplicar a Equação 20 novamente para obter a média dos confeitos separados por minuto, obtêm-se como resultado a Equação 24 mostrada abaixo.

$$\mu = 17 \quad \text{Eq.(24).}$$

Ao comparar esse resultado obtido com o do primeiro sensor foi possível concluir que a média de confeitos separados por minuto manteve-se a mesma.

Portanto, ao comparar ambos os sensores o que obteve uma melhor resposta foi o segundo, já que o número de acertos aumentou e o de erros diminuiu apesar da velocidade ter permanecido a mesma.

Portanto, ao analisar todas as respostas obtidas com relação ao número de acertos, número de erros e a quantidade de confeitos separados por minuto é possível concluir que o protótipo é funcional. Pois ele apresenta um bom índice de acertos e um pequeno número de erros quando comparados com o trabalho apresentado por Corsico *et. al.* (2014), o qual realiza essa mesma separação de

M&M's®. Já a quantidade de confeitos separados por minuto foi considerada baixa, porém, esse número justifica-se pela dependência entre os processos. Uma vez que a queda dos objetos-teste na esteira só acontece quando a cor é reconhecida pelo sensor.

6 CONCLUSÃO

Mediante o desenvolvimento do projeto, foi possível construir o protótipo, ajustar a velocidade da esteira, elaborar um algoritmo que interpretasse inicialmente o RGB de cada confeito e posteriormente esses valores fossem colocados no código principal. Tendo todos estes itens prontos, foi possível fazer uma avaliação dos erros e acertos obtidos pela separação.

Alguns itens planejados, como a detecção de seis cores dos confeitos, não foram possíveis executar por falta de um servomotor de 360° que não possuísse rotação contínua. Já outros, foram adicionados para um melhor funcionamento do projeto, como no caso das ripas que afunilam a passagem dos confeitos após sua detecção, direcionando assim os doces para o pote e as pastilhas de plástico fixadas na esteira para impedir que o tecido da esteira enrole nas laterais.

Com a realização dos testes foi possível determinar a influência exercida pela luz na detecção realizada pelo sensor. Através desses experimentos concluiu-se que os melhores resultados foram obtidos ao testar em um ambiente fechado, sem interferência de iluminações externas, apenas a lâmpada fluorescente para a iluminação o ambiente.

Já o desempenho geral do protótipo foi considerado satisfatório com a utilização do primeiro sensor, pois seus níveis de acertos estavam acima de 90%, os erros cerca de 6% e a separação de 17 confeitos por minuto (procedimento requer um maior tempo para a separação, mas garante que o reconhecimento de apenas um confeito seja feito por vez). Essa velocidade é considerada baixa, porém, pode ser melhorada se a queda do confeito na esteira não dependesse da detecção do M&M's® pelo sensor.

Ao utilizar o segundo sensor (mesmas características e modelo) o desempenho do projeto foi ainda melhor, seus acertos aumentaram para 99,4%, os seus erros diminuíram para 0,6% e a quantidade de confeitos selecionados por minuto manteve-se estável. Portanto, o protótipo foi considerado funcional.

O custo do projeto foi de R\$390,04 (ANEXO B), com esse valor foram construídos três elementos (*dispenser*, esteira e potes) que em conjunto automatizam o processo.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Para outros trabalhos complementares a serem realizados na área, algumas melhorias podem ser feitas, sendo elas:

- um pote vibratório acoplado ao tubo transparente que impediria que os confeitos fossem colocados manualmente no tubo;
- a substituição do servomotor com rotação de 360° por um motor de passo que permita o controle da angulação e conseqüentemente a separação das seis cores de confeitos; e
- a utilização de uma lente no sensor ou de outro sensor que permita a detecção através de processamento digital de imagens.

REFERÊNCIAS

ACHARYA, Tinku; RAY, Ajoy K. **Imagem Processing: principles and applications**. 1 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 452p.

ALIMENTOS & BEBIDAS. **Controle de Cor na Indústria Alimentícia**. Disponível em: <<http://www.alimentosebebidas.com.br/2015/12/17/control-de-cor-na-industria-alimenticia/>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

ALMEIDA, N. **Como Funciona um Servomotor**. 2016. Disponível em: <<http://www.pictronics.org/eletronica-e-automacao/como-funciona-um-servo-motor>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

ARAÚJO JÚNIOR, Antônio Pereira et. al. **Uma Rápida Análise Sobre Automação Industrial**. Disponível em: <http://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_6.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2016.

ATMEL CORPORATION. **Atmega328**. 2016. Disponível em: <<http://www.atmel.com/pt/br/devices/atmega328.aspx>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

BERNARDES, Luis Antoninho et. al. **Motor Elétrico**. 2015. 92f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Técnico em Eletrotécnica, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Campinas, 2015.

BLENDER, Túlio Cléber. **Classificação e Recuperação de Imagens por Cor Utilizando Inteligência Artificial**. Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa Interdisciplinar em Computação Aplicada, São Leopoldo, 2003.

BOSCO JUNIOR, João. **Programação e Simulação do PIC 16F628A**. Disponível em <<http://www.boscojr.com/programacao/PIC/pic2.html>>. Acesso em: 28 set. 2016.

BRAGA, Newton. **Como Funciona o Motor de Corrente Contínua**. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/3414-art476a>>. Acesso em: 19 out. 2016.

BUENO, Luciano; COSTA, Marco Aurélio. **Automação de uma Esteira Seletora por Meio de CFTV**. 2011. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia Eletrônica Ênfase em Automação de Processos Industriais) – Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Modalidade Automação de Processos Industriais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CAVALHEIRO, Carlos Alexandre. **Espectro Visível**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/espectro-visivel/>>. Acesso em: 03 set. 2016.

CORSICO, Cesar Augusto; GLIR, Guilherme Hatschbach. **Sistema Automatizado para Separação de Objetos Baseado em Cores**. 2014. 67f. Trabalho de

Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Mini Aurélio Século XXI: o minidicionário da língua portuguesa**. 4 Ed. totalmente rev. e ampl. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2001.

HALLIDAY, RESNICK, WALKER. **Fundamentos de Física**. Vol. 4. 8 Ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2011. 416p.

JOH, Ny Joh et. al. **COLOR SENSORS: Use color sensors for precise measurement**. Electronic Engineering Times-Asia, 2006.

JUNIOR, Erasio. **Desuniformidade de maturação do cafeeiro**, 2009. Disponível em: <revistacafeicultura.com.br/?mat=32367>. Acesso em: 22 jul. 2017.

KARVINEN, Kimmo; KARVINEN, Tero. **Primeiros Passos com Sensores**. 1. Ed. São Paulo: Novatec, 2014. 160p.

LIMA, Edirlei Soares de. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: PUC, 2012. Notas de Aula.

LIMA JUNIOR, P. et. al. **O Laboratório de Mecânica**. 1. Ed. Porto Alegre: IF-UFRGS, 2012. 5p.

NASSER, Patrícia. **O Fruto do café**. Disponível em: <www.mexidodeideias.com.br/industria/o-fruto-do-cafe/>. Acesso em: 22 jul. 2017.

NEDELKOVSKI, Dejan. **Arduino Color Sorter Project**. Disponível em: <<http://howtomechatronics.com/projects/arduino-color-sorter-project/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

NETTO, Luiz Ferraz. **Eletricidade para estudantes: Teoria de motores elétricos**. Disponível em: <<https://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=3334>>. Acesso em: 18 out. 2016.

OLIVEIRA, F. A. de.; TROLL, J.; WEBER, S. A. T.; NISHIDA, S. M. **Visão**. Disponível em: <<http://www.museuescola.ibb.unesp.br/subtopico.php?id=2&pag=2&num=2&sub=1>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

ORIENTAL MOTOR DO BRASIL LTDA, “**Como selecionar entre motor CA, motor sem escova CC ou motor CC com escova**”, 2014. Disponível em: <http://www.orientalmotor.com.br/referencia_tecnologicas/ca_o_cc.html>. Acesso em: 01 dez. 2016.

OTTOBONI, Augusto. **Servo - acionamentos**. v. 1. n. 6. São Paulo: Mecatrônica Atual, 2002. 7- 14p.

PENIDO, Édilus de Carvalho Castro; TRINDADE, Ronaldo Silva. **Microcontroladores**. 1. Ed. Ouro Preto: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil, 2013. 80p.

QUANTOTEC, SL. **Color y Luz. Calorimetría**. Disponível em: <<http://www.quantotec.com/sp/Colorimetria.htm>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

RÊGO SEGUNDO, Alan Kardek; RODRIGUES, Cristiano Lúcio Cardoso. **Eletrônica de Potência e Acionamentos Elétricos**. 1. Ed. Ouro Preto: Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto, 2015. 130p.

RUSSEL, Stuart J.; NORVIG, Peter. Artificial intelligence: a modern approach. Prentice-Hall, 3rd Edition, 2009.

SANTOS, Marco Aurélio Da Silva. "**A Dispersão da Luz Branca**"; *Brasil Escola*. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-dispersao-luz-branca.htm>>. Acesso em: 30 ago. 2016.

SOUZA, Fábio. **Arduino UNO**. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>>. Acesso em: 01 ago. 2017.

TAOS Inc., "**TCS230 PROGRAMMABLE COLOR LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER**", 2008.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro U. Braga de. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 1. Ed. São Paulo: Editora Érica, 2005.

VIECELLI, B. H.; CARDOSO, F.; ARNAUT, P. E. M. **Automação Esteira Seletora**. Projeto Apresentado à Disciplina de Microprocessadores II – Engenharia da Computação. Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2009.

VIEIRA NETO, Hugo. **Microcontroladores MCS51®**. Curitiba: UTFPR, 2002. Notas de aula.

WENDLING, Marcelo. **Sensores**. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2016.

YAMAMOTO, Alan César Seiji et. al. **Esteira Seletora e Contadora de Objetos Metálicos**. 2014. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São José dos Campos, 2014.

ZILLI, GUILHERME M. et. al. **Estudo sobre adaptabilidade em eletrodomésticos para portadores de deficiência visual**. In: XIV Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2010). 2010. p. 1734-1740.

ANEXO A

Para mostrar a origem da fórmula usada para o cálculo da velocidade máxima da esteira sua dedução foi feita. Considerando que as polias da esteira se movem realizando uma trajetória circular. O cálculo de sua velocidade foi feito utilizando a variação do s sobre a trajetória (ΔS) juntamente com o tempo gasto para realizar tal deslocamento, ela pode ser descrita pela Equação 25.

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad \text{Eq.(25).}$$

Sabendo que V é a velocidade, ΔS é a trajetória realizada e Δt o tempo. Considerando um deslocamento uniforme, substitui-se o ΔS pelo comprimento total do círculo ($2\pi R$), dando origem a Equação 26.

$$V = \frac{2.\pi.R}{t} \quad \text{Eq.(26).}$$

Considerando que a frequência é dada pela Equação 27.

$$f = \frac{1}{t} \quad \text{Eq.(27).}$$

Ao substituir a Equação 27 na Equação 26, deu origem a Equação 28.

$$V = 2.\pi. R. f \quad \text{Eq.(28).}$$

Sabendo que a frequência trata-se de um ciclo por segundo e o RPM um ciclo por minuto. Para transformar o RPM em frequência (Hz) basta dividi-lo por 60. Portanto, a partir da Equação 28 foi possível a obtenção da fórmula usada para o cálculo da velocidade da esteira (Equação 29), após realiza a substituição de f por RPM.

$$V = \text{RPM} (2. \pi. R) \quad \text{Eq.(29).}$$

ANEXO B

A montagem do projeto foi realizada obtendo-se assim os gastos mostrados no Quadro 4.

Quadro 4 – Gastos referentes ao trabalho.

Elementos	Produtos	Unidades	Valor unidade (R\$)	Valor geral (R\$)
1	Braçadeira para motor	1	10	10
2	Capacitor	2	1	2
3	Confeitos M&M's	1 kg	40	40
4	Diodo	1	1	1
5	Fonte	1	25	25
6	Jumpers	25	1	25
7	Microcontrolador	1	10	10
8	Motor CC 12V	1	10	10
9	Parafusos, roelas, pregos, brocas		15	15
10	Peças em madeira (esteira)	13	1,5	19,5
11	Peças em mdf (<i>dispenser</i>)	7	1	7
12	Peças madeira (sensor e funil)	6	1,5	9
13	Placa de polietireno	1	20	20
14	Placafenolite	2	12	24
15	Resistor	1	0,5	0,5
16	Rolamento 5mm	3	6	18
17	Rolete	2	10	20
18	Sensor	1	32	32
19	Servomotor 180° grande	1	61	61
20	Servomotor 180° pequeno	1	19,34	19,34
21	Tecido passadeira	1m	14	14
22	Terminais Borne Kre	12	0,1	1,2
23	Tip122	1	6	6
24	Tubo plástico	1	0,5	0,5
			Total gasto =	390,04

Fonte: Autoria Própria.