



DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS

CURSO TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL

GLOBO DE LEDS

MATHEUS DAMINO FORTES SENA DO CARMO

RODOLFO DE OLIVEIRA S. SANTOS

VICTOR DA SILVA FERREIRA

SÃO PAULO - SP

2019



MATHEUS DAMINO FORTES SENA DO CARMO

RODOLFO DE OLIVEIRA S. SANTOS

VICTOR DA SILVA FERREIRA

GLOBO DE LEDS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para a conclusão do curso de Eletrônica Industrial da Faculdade de Tecnologia de São Paulo.

Orientador: Roberto Katsuhiro Yamamoto

São Paulo - SP

2019

Ficha Catalográfica

Damino, Matheus; De Oliveira, Rodolfo e Ferreira, Victor
Globo de Leds / Matheus Damino, Rodolfo Oliveira, Victor
Ferreira – 2019.

51 f.

Monografia – Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica
Industrial – Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2019.

Orientador (a): Dr. Roberto Katsuhiko Yamamoto

1. Globo 2. Leds 3. Persistência da Visão



TERMO DE APROVAÇÃO

MATHEUS DAMINO FORTES SENA DO CARMO

RODOLFO DE OLIVEIRA S. SANTOS

VICTOR DA SILVA FERREIRA

GLOBO DE LEDS

Aprovada em: ____/____/ ____

Titulação e nome
Coordenador do curso / Chefe do Departamento de Sistemas Eletrônicos

Titulação e nome
Orientador

Titulação e nome
Avaliador(a)

Titulação e nome
Avaliador(a)

DEDICATÓRIA

A todos os professores do curso que foram fundamentais para nosso crescimento acadêmico e pessoal.

Aos nossos familiares e a Deus por nos apoiarem e sustentarem para suportar as dificuldades.

Aos amigos e colegas de classe foram de suma importância para prosseguir nesta jornada e aprendizado.

AGRADECIMENTOS

Somos gratos aos nossos familiares por proporcionarem as condições necessárias para conseguir concluir esta etapa de nossas vidas e a Deus por nos dar ânimo e saúde.

Aos nossos professores por nos preparar para as próximas etapas de nossas vidas e por nos proporcionar enxergar novos horizontes e nos preparar para o mercado de trabalho.

A universidade por nos proporcionar seu espaço físico e todos os recursos que foram complementares para nossa formação.

EPÍGRAFE

O medo faz parte da vida da gente. Algumas pessoas não sabem como enfrentá-lo, outras - acho que estou entre elas - aprendem a conviver com ele e o encaram não como uma coisa negativa, mas como um sentimento de autopreservação.

Ayrton Senna (1960-1994)

RESUMO

Este projeto tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de um protótipo de Globo de Leds capaz de formar imagens e apresentar palavras, através de uma estrutura mecânica, integrada com circuitos eletrônicos. O diferencial deste projeto, em relação a displays convencionais, é o fato de formar uma matriz com uma coluna de 24 Leds. Com isso, forma se imagens por meio de sua estrutura rotativa que faz com que apenas uma coluna de Leds dê a sensação de várias colunas sequenciais, que formam uma esfera, onde são projetadas as imagens. O trabalho está fundamentado no fenômeno fisiológico do sistema visual, a persistência da visão, que se baseia no fato de nossa retina manter imagens em um curto intervalo de tempo. Desta forma girando a coluna de Leds com tempo de translação menor que a persistência da visão e controlando os instantes em que os Leds forem ligados e desligados é possível projetar imagens. Utilizou se microcontrolador com um conjunto de demultiplexadores para otimização das portas das saídas do microcontrolador ATmega328P. E para alimentação do circuito foi utilizada uma bateria Ni-Mh de 9 V. Esse trabalho tem duas finalidades, ser utilizado como objeto de decoração ou como estrutura para propagandas. Existem no mercado alguns projetos parecidos, porém neste a visão não se limita apenas a parte frontal do produto, mas em toda a superfície de uma esfera para mostra as imagens desejadas.

Palavras-chave: PERSISTENCIA DA VISÃO, GLOBO, LEDS, ARDUINO, FENÔMENO PHI, FONTE.

ABSTRACT

This project aims to present the development of a prototype of LED Globe capable of forming images and presenting words, through a mechanical structure, integrated with electronic circuits. The differential of this design, compared to conventional displays, is the fact of forming a matrix with a column of 24 Leds. Thus, it forms images by means of its rotating structure which makes only one column of LEDs give the impression of several sequential columns forming a sphere, where the images are projected. The work is based on the physiological phenomenon of the visual system, the persistence of vision, which is based on the fact that our retina maintains images in a short time. In this way, by turning the Leds column with translation time less than the persistence of the vision and controlling the instants where the LEDs are turned on and off, you can project images. It used microcontroller with a set of demultiplexers to optimize the ports of the outputs of the ATmega328P microcontroller. And to power the circuit was used a Ni-Mh battery 9 V. This work has two purposes, to be used as decorative object or as structure for advertisements. There are some similar designs on the market, but in this the vision is not limited to the front of the product, but across the surface of a sphere to show the desired images.

Keywords: VISION PERSISTENCE, GLOBE, LEDS, ARDUINO, PHI PHENOMENON, SOURCE.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	13
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	14
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral.....	16
2.2. Objetivos Específicos.....	16
3. REVISÃO CONCEITUAL.....	17
3.1. Fenômeno PHI	17
3.2. Persistência da visão	18
3.3. LED.....	19
4. METODOLOGIA	20
4.1. Projeto Mecânico	20
4.2. Motor CC	24
4.2.1 PWM	25
4.3. Sensor Hall.....	25
4.4. Fonte	27
4.5. O CIRCUITO PWM	28
4.6. Placa dos registradores.....	31
4.7. Layout e fotolito.....	33
4.8. Perspectiva superior da placa 3D projetada no PROTEUS 8.	35
4.9. Produção das PCI.....	35
4.10. Placa controladora.....	37
4.11. Software	41
4.11.1 Rotina my_register	42
5. PROBLEMAS ENCONTRADOS.....	44
5.1. Mecânico.....	44
5.2. Hardware.....	44
5.3. Software	44

6.	RESULTADOS	45
7.	TABELA DE CUSTOS	46
8.	CONCLUSÃO	48
9.	TRABALHOS FUTUROS	49
	BIBLIOGRAFIA	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Fenômeno PHI.....	17
Figura 2- Olho Humano.	18
Figura 3- Ideia de montagem.	20
Figura 4 - Diagrama em blocos da montagem mecânica	21
Figura 5-Protótipo de madeira.	21
Figura 6- Protótipo de ferro.	22
Figura 7- Base do protótipo de ferro.	23
Figura 8- Partes de um motor.....	24
Figura 9- Indução em um motor.	25
Figura 10- Sensor hall.....	26
Figura 11- Como funciona o sensor hall	27
Figura 12- Circuito de filtro do sinal AC.....	28
Figura 13 -Diagrama em bloco do TL494.....	29
Figura 14- Forma de onda na saída do PWM do TL494.....	29
Figura 15 -Circuito para gerar o PWM.	30
Figura 16 -Circuito completo da fonte.	30
Figura 17-Registradores do 74HC595	31
Figura 18- Diagrama em blocos do 74HC595	32
Figura 19 -Circuito da placa dos registradores.	33
Figura 20 - Layout da placa dos registradores.	33
Figura 21 -Fotolito do bottom da placa dos registradores.....	34
Figura 22- Fotolito da máscara de solda da placa dos registradores.	34
Figura 23-Layout da placa da fonte	34
Figura 24-Fotolito do bottom da placa da fonte.....	34
Figura 25- Fotolito da máscara de solda da placa da fonte.	35
Figura 26- Placa da fonte em 3D.....	35
Figura 27- Placa dos registradores em 3D	35
Figura 28- Placa da fonte e placa dos registradores prontas.	36
Figura 29- Placa dos registradores montada.	37
Figura 30- Placa da fonte montada.....	37
Figura 31- Pinos do Arduino Pro-mini.....	38
Figura 32- Principais blocos do microcontrolador	40
Figura 33- Letras em bit map.....	41
Figura 34-Fluxograma da função principal.....	42
Figura 35- Fluxograma dos registradores	43
Figura 36- Globo de Leds em execução.....	45
Figura 37- globo de LEDs em várias etapas de execução.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Tabela técnica sensor hall.26

Tabela 2- Modelos de Arduino.38

Tabela 3-Preços de produção das placas.46

Tabela 4-placa da fonte46

Tabela 5- Outros custos e total.....47

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

BCD (*Binary Coded Decimal*) – Decimal codificado em binário.

PVC (*Polyvinyl chloride*) -Policloreto de vinila

LED (*Light Emitting Diode*) –Diodo emissor de luz.

RAM (*Randon Acess Memory*) – Memória de acesso aleatório.

PWM (*Power Width Modulation*) – Modulação por largura de pulso.

CI – Circuito integrado

CNC - Controle Numérico Computadorizado

CC – Corrente continua

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) - transistor de efeito de campo metal

FET (em inglês de *Field Effect Transistor*) -Transistor de Efeito de Campo

PCI - placa de circuito impresso

RISC - *Reduced Instruction Set Computer* (Computador com conjunto reduzido de instruções)

AVR - *Automatic Voltage Regulator* (Regulador Automático de Tensão)

I2C - *Inter-Integrated Circuit*

SPI - *Serial Peripheral Interface*

TTL - *Transistor-Transistor Logic*

EEProm - *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*

1. INTRODUÇÃO

Com os estudos de Wertheimer sobre o fenômeno *phi* e as características intrínsecas da fisiologia humana, foi possível projetar um globo de Leds. Esse protótipo é capaz de transformar uma coluna formada por Leds, em um cano de PVC, em imagens baseado na programação gravada em um microcontrolador.

O nosso sistema visual não consegue enxergar imagens que se alternam em uma velocidade muito pequena de tempo, devido a persistência da visão. Com isso, é possível projetar imagens ligando e desligando Leds em instantes determinados em uma velocidade grande, deste modo as características fisiológicas do ser humano as transforma em imagens.

Por conta do fenômeno *phi* que se trata de ilusão do sistema nervoso que tem a percepção de imagens estacionárias alternadas parecerem estar em movimento, é possível fazer com que Leds que além de formarem imagens ou palavras parecerem estar em movimento. Isso tudo embasado na programação e circuito eletrônico.

Além disso, serão apresentados os componentes eletrônicos e mecânicos utilizados na montagem do projeto e o desenvolvimento da programação e os circuitos integrados. Por fim serão apresentadas as dificuldades e expectativas de desenvolvimento.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O projeto tem como objetivo a construção de um Globo de Leds formado através de programação do microcontrolador de um Arduino, que transmite sinal para demultiplexadores para formar imagens através de Leds. A partir da programação os Leds ligam nos instantes determinados para formação de imagem a partir de uma matriz gerada pelas posições que a coluna de Leds pode estar. O funcionamento está baseado nos estudos do fenômeno PHI e persistência da visão.

2.2. Objetivos Específicos

- Projetar e construir estrutura mecânica para suportar e manter estabilidade da circunferência onde estarão os Leds, circuitos integrados, conexões, alimentações e demais elementos.
- Projetar e construir fonte para controlar motor responsável pela rotação da circunferência com todos componentes.
- Construção de circuito eletrônico para interconexão do Leds com o circuito integrado, sensoramento e fonte de alimentação.
- Desenvolver e compilar programa em linguagem C, que será responsável pela formação de imagens.

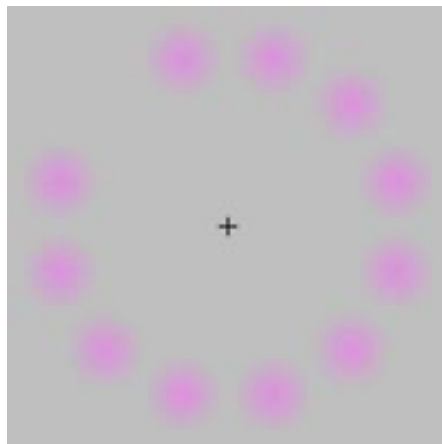
3. REVISÃO CONCEITUAL

3.1. Fenômeno PHI

Após comprar um estroboscópio de brinquedo *Wertheimer* percebeu que o instrumento mecânico com a troca de duas imagens rapidamente criou uma ilusão de óptica que dava sensação de movimento e ficou conhecido como fenômeno *phi*. Com isso ele se perguntou a relação da ilusão de movimento de sua observação e o estruturalismo, que deu origem aos seus estudos experimentais na década de 1920. *Wertheimer* também definiu o movimento como uma sensação primária que posteriormente com a fundação da escola psicológica da *Gestalt* se tornou um dos princípios fundamentais e principalmente para o estudo da percepção.

Basicamente, o fenômeno *phi* se trata de uma ilusão de âmbito visual, gerada por um fenômeno psíquico, que causa a impressão de movimento em objetos estacionários. Apesar disso, não deve ser confundido com a ilusão de óptica que engana o sistema visual. De fato, o cérebro e os demais órgãos visuais preenchem os espaços ou informações em falta entre imagens sucessivas.

Figura 1:Fenômeno PHI



Fonte: FANDOM LIFESTYLE COMMUNITY, 2019

Além disso, o cinema e desenhos animados são constituídos por esse princípio e as demais técnicas de *stop motion*. Seu experimento para a teoria foi colocar o observador de frente para uma imagem que com um tempo curto era alternada com outra, cada uma delas com uma

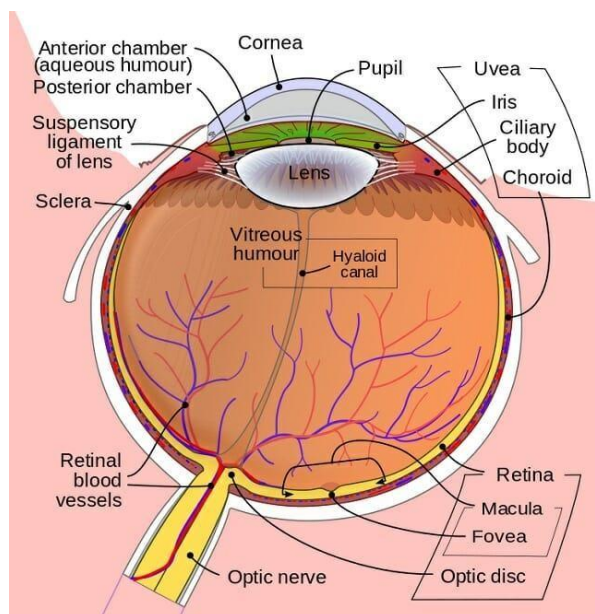
linha na vertical em um lado diferente da folha. E com isso o observador teve a sensação de que a linha estava se mexendo de um lado para o outro da imagem.

A sensação de movimento de tal fenômeno é influenciada diretamente com o tempo o qual as imagens são alternadas. Para que a impressão de movimento seja mantida foi comprovado experimentalmente que se o intervalo for de 30 a 200 milissegundos o fenômeno se mantém.

3.2. Persistência da visão

Ao observar um objeto, as partículas dos raios de luz, incide sobre o mesmo e são refletidas para os olhos. Esses raios que atingem a córnea e chegam até a íris, relacionado com a dilatação da pupila, passa para o cristalino e são projetados a retina. Essas partículas são transformadas em impulsos eletroquímicos que se tornam imagens por meio do cérebro.

Figura 2- Olho Humano.



Fonte: BIOLOGY DICTIONARY, 2019

Por conta da velocidade da luz os olhos não conseguem identificar situações que ocorrem neste padrão de velocidade. Como quando uma lâmpada é acesa e ao apertar o interruptor, o olho humano tem a sensação de que ela se acendeu instantaneamente, sendo que demorou certo tempo para que esses raios luminosos atingissem os olhos. Neste sentido pode

se observar que a visão tende a nos “enganar”, uma vez que ações que ocorrem em um período muito curto de tempo, ou seja, em alta velocidade (embasado na fisiologia humana), não podem ser identificadas por nosso cérebro.

A persistência da visão ocorre por conta de a retina manter a imagem de um objeto 50 a 200 milissegundos após seu desaparecimento, similar ao fenômeno *phi*. Com isso após uma imagem atingir a retina o sistema nervoso demora uma fração de segundos para “esquecer” a imagem captada.

Este projeto resulta em “enganar a visão”, onde os olhos do ser humano entendem vários Leds ligados instantaneamente. Mas na realidade há uma única coluna de Leds acendendo e desligando em momentos determinados pela programação do um microcontrolador de um circuito integrado.

3.3. LED

Para compreensão do funcionamento do Globo de LEDs, precisa-se, de antemão, entender o funcionamento do LED em si.

O LED é um diodo emissor de luz (do inglês, *Light Emitting Diode*), o qual, por ser um semicondutor, possui internamente uma junção P-N. Com a aplicação de tensão em seus terminais, há a recombinação de elétrons e lacunas, e devido a esta recombinação há a emissão de fótons como forma de emissão da energia. As cores dos LED's são definidas de acordo com o material utilizado em sua construção. A emissão de luz, propriamente dita, nada mais é do que uma radiação, podendo esta ser ultravioleta ou infravermelha, sendo que a parte visível está entre as duas faixas de radiação.

Portanto, o LED se torna um componente bastante aplicável e versátil, de baixo custo, baixo consumo de energia. Na maior parte dos casos a depender da aplicação final, a melhor opção a se utilizar, devido a ter uma alta durabilidade e boa luminosidade, comparado a outros meios de obtenção de luz.

4. METODOLOGIA

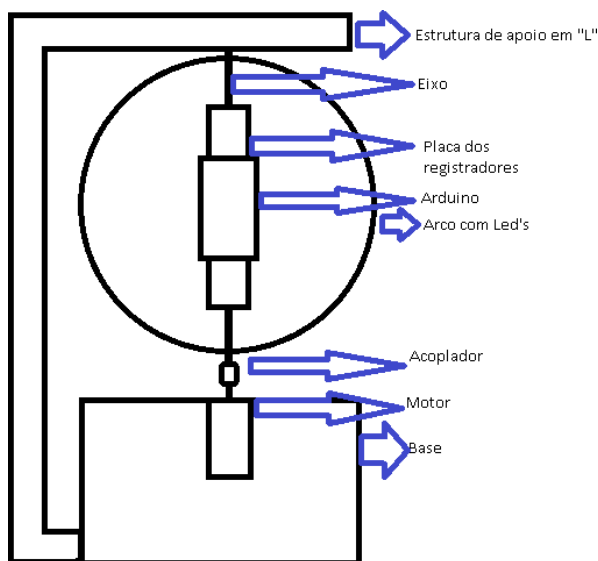
O projeto consiste em formar imagens em um globo de Leds com estrutura mecânica, circuitos eletrônicos e programação de um microcontrolador, fundamentadas no fenômeno phi e na persistência da visão. A partir da estrutura mecânica de um arco formado por Leds distribuídos em um dos lados de um cano PVC, o mesmo, é rotacionado com referência em seu eixo longitudinal. E a programação do microcontrolador de um CI aciona os Leds determinados da coluna de Led em cada posição em que o arco estiver nos momentos necessários para formação da imagem desejada.

4.1. Projeto Mecânico

A ideia da base mecânica do projeto surgiu através de pesquisa de exemplos de projetos similares encontrados no *Youtube* e outros sites da internet.

Conforme a figura 3, pode-se observar a ideia de montagem mecânica que foi obtida.

Figura 3- Ideia de montagem.



Fonte: Próprio autor, 2019

Já na figura 4, há o diagrama em blocos da montagem mecânica.

Desta forma, conforme a figura 4, foi construída uma estrutura fixa entre motor e “base”, e estrutura desmontável entre os demais itens.

Figura 4 - Diagrama em blocos da montagem mecânica



Fonte: Próprio autor, 2019

Inicialmente foi escolhida uma secção transversal de um cano de PVC para ser o objeto em movimento circular que daria origem as imagens.

Figura 5-Protótipo de madeira.



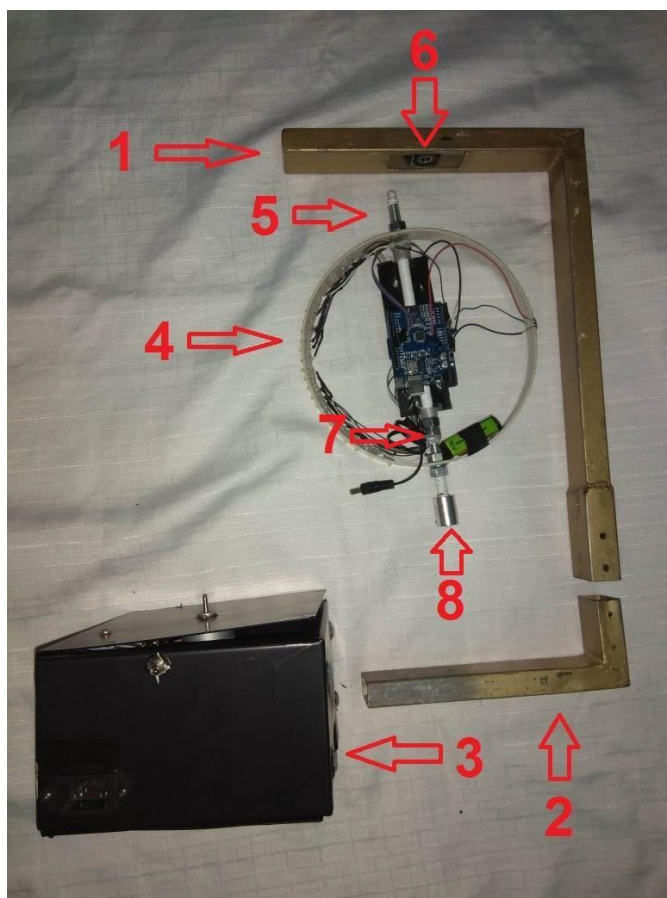
Fonte: Próprio autor, 2019

Por diante foi utilizado como base a carcaça de um estabilizador para sustentar a haste interligada ao motor e acoplada ao cano por um acoplador flexível CNC. Também foi projetado e aprimorado o “braço” que mantém a haste estabilizada e centralizada que ajuda a manter o balanceamento do sistema.

Na primeira montagem foi utilizada uma estrutura de madeira, representada na figura 5, que causava muita instabilidade e não mantinha o sistema mecânico balanceado e havia certa

dificuldade para montagem da estrutura. Por conta disso foi projetada uma nova estrutura de material metálico que manteve o sistema com maior estabilidade e balanceamento. E o novo sistema foi feito com encaixes que facilitou a locomoção e montagem. A nova estrutura foi desenvolvida com ajustes e desmontável de forma que pudesse ser adaptada para melhorias do projeto e facilitar a locomoção da estrutura.

Figura 6- Protótipo de ferro.



Fonte: Próprio autor, 2019

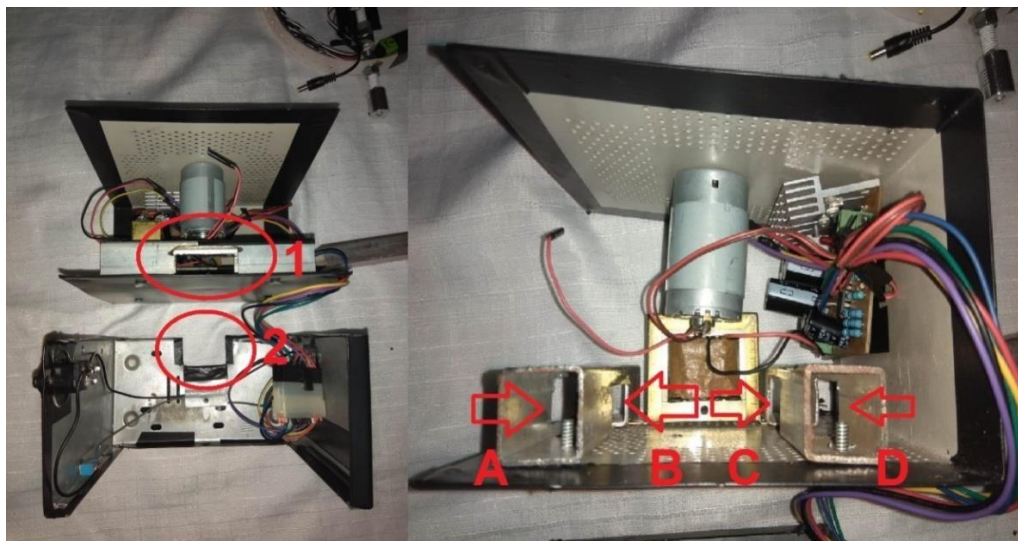
Na figura 6 está identificada a estrutura de ferro onde os números representam:

1. “Braço de ferro”;
2. Base acopladora de ferro;
3. Carcaça de estabilizador;

4. Secção transversal de cano PVC;
5. Haste de ferro;
6. Rolamento;
7. Porcas e arruelas de pressão;
8. Acoplador flexível CNC;

Na figura 6 pode se observar que no braço de ferro há um orifício onde se encontra o rolamento que pode ser ajustado para direita ou esquerda podendo variar a distância do cano com o braço de ferro. Entre o braço de ferro e a base acopladora de ferro foram feitos furos para encaixe de parafusos para aumentar a estabilidade e variar a posição do “braço de ferro”. A haste está acoplada com a secção do cano, os circuitos eletrônicos através de porcas que mantem o conjunto fixado com resistência mecânica, e está conectada ao acoplador flexível. Com isso a parte superior da haste é encaixada no rolamento e o acoplador flexível é conectado ao motor acoplado na base.

Figura 7- Base do protótipo de ferro.



Fonte: Próprio autor, 2019

Na figura 7 está identificado o local de encaixe da base acopladora da figura 6 e a estrutura interna da base, onde estão o motor e a fonte controladora do mesmo. Desta forma pode-se diminuir a vibração da estrutura mecânica.

4.2. Motor CC

O motor utilizado é alimentado por corrente contínua (CC), e a comutação é feita por meio de escovas de carbono, as quais, em posição fixa em relação ao rotor (parte móvel do motor), conduzem a corrente ao rotor (comutador). Devido à sua construção, é possível controlar-se a rotação e variar a tensão aplicada em seus terminais.

Na Figura 8 a seguir, é possível identificar o motor em sua parte interna. Observa-se o rotor, composto pelo comutador, pelo eixo principal e pelas bobinas de campo, caracterizando a parte móvel. Bem como o estator, que é magnético e ~~interage~~ ^{interage} com as bobinas, uma vez estas energizadas através das escovas de carbono.

Figura 8- Partes de um motor.

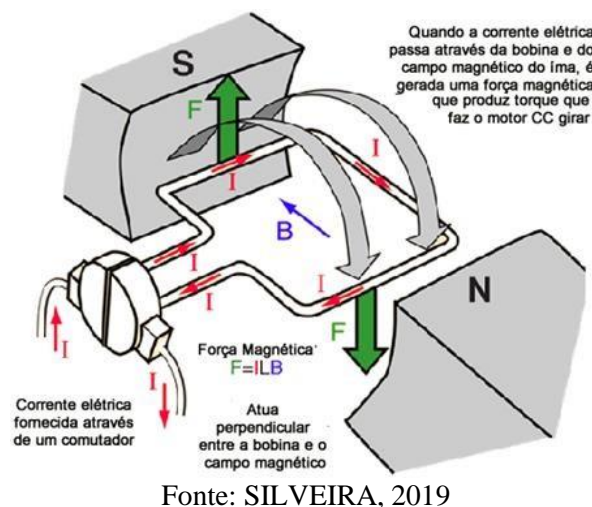


Fonte: SILVEIRA, 2019

Na Figura 9 a seguir, nota-se o estator do motor, também os sentidos de corrente elétrica e do campo magnético provocado.

Obtém-se o campo magnético gerado pela energização das escovas e das bobinas, consequentemente. O funcionamento se dá através do torque inicial, o qual dá impulso ao rotor, este fazendo com que o comutador mude os polos de energização das bobinas, invertendo assim os polos magnéticos e impulsionando novamente o rotor, e assim sucessivamente até se atingir a rotação de trabalho.

Figura 9- Indução em um motor.



Desta forma, para definir-se o motor de corrente contínua a ser utilizado, levou-se em conta a tensão de trabalho, o torque e a velocidade do mesmo, sem carga no eixo.

4.2.1 PWM

Nesse projeto foi necessário o uso do PWM (em português “modulação por largura de pulso”) para o controle da velocidade do motor. O PWM nada mais é que controlar a largura de um pulso de uma onda quadrada, se compararmos com um interruptor é como se alternarmos ele entre ligado e desligado variando a velocidade, conforme ligamos e desligamos mais rápido ele vai começar a parecer quase constante e com isso o motor fica ativo mais tempo e gira mais rápido, o contrario acontece quando alternamos essa chave cada vez mais devagar com o tempo que ela fica desativada maior que o ativado com isso o motor fica mais tempo desligado e assim mais lento.

Como nosso motor tinha uma alta rotação, era necessário que houvesse um controle de sua velocidade tanto para que não girasse muito rápido, o que poderia danificar o arco esférico de PVC, de forma que ele poderia se despedaçar como também não poderíamos ter uma velocidade muito lenta o que dificultaria apresentação da imagem, usamos o PWM como saída para obtemos uma velocidade adequada para a execução desse projeto

4.3. Sensor Hall

O funcionamento do Sensor Hall se dá devido à descoberta do Efeito Hall, por Edwin Herbert Hall (1855 – 1938), em 1879. Basicamente, o Sensor Hall funciona baseado no

movimento dos elétrons que são submetidos a um campo magnético externo ao sensor.

Figura 10- Sensor hall.



Fonte: FILIPEFLOP, 2019

Com sua construção feita internamente de semicondutores, há a miniaturização e otimização do dispositivo perante aos utilizados anteriormente. E tem suas características adequadas para as necessidades do projeto, conforme a tabela 1.

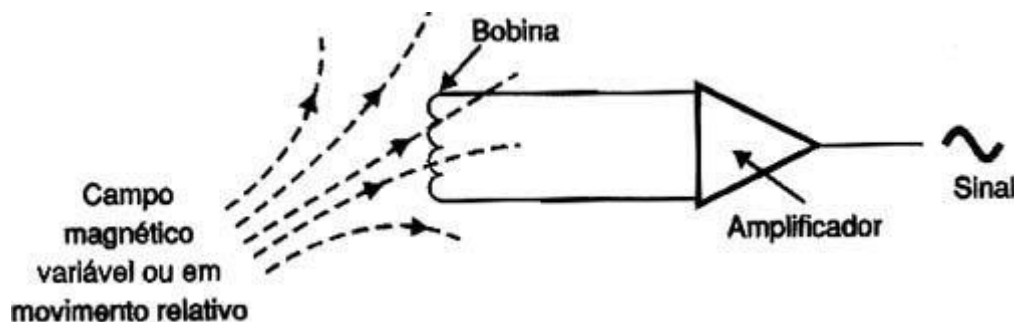
Tabela 1-Tabela técnica sensor hall.

Características Técnicas	
Código do fabricante	US1881LUA
Tensão de operação	3,5V a 24VDC
Temperatura de operação nominal	De -40 a 150°C
Encapsulamento	TO-92 Flat
Consumo de corrente	Baixo
Pré-driver com coletor aberto	Sim
Corrente drenada na saída	Máximo de 50mA
Proteção para polaridade reversa	Sim

Fonte: Próprio autor, 2019

Utilizando o Sensor de Efeito Hall associado com proximidade a um imã, e este imã estando fixo em uma estrutura móvel, é possível detectar-se há movimentação desta peça, ou, caso ela tenha um movimento de natureza rotativa. Pode-se precisar a rotação da mesma, contando o número de rotações através dos pulsos gerados pela passagem do imã próximo ao sensor.

Figura 11- Como funciona o sensor hall



Fonte: Instituto NCB, 2019

4.4. Fonte

A alimentação é feita por uma fonte retificadora de onda completa com ponte de diodos (datasheet da ponte em anexo), na entrada há um transformador de 2A e 12V+12V. Como na entrada temos uma frequência de 60Hz, com a ponte de diodos, obtém-se o dobro desse valor, então, após a ponte obtém-se uma frequência de 120Hz.

O capacitor de ripple foi projetado para suportar uma corrente próxima a máxima suportada pelo motor (corrente máx. do motor 6,8A). Mesmo que o transformador não forneça essa corrente, adotou-se essa medida por dois motivos: primeiro para deixar uma folga, e segundo para manter a tensão de ripple a menor possível, já que em alguns testes com uma carga resistiva para simular o motor e o circuito com um capacitor menor foi gerada uma tensão de ripple maior.

Para a corrente máxima do transformador adotou-se três capacitores em série (3300μF, 3200μF e 0.1μF), e em série com os capacitores um resistor, para diminuir o tempo de descarga do capacitor, com isso obteve-se um ripple de 1,26V(com carga), demonstrado na equação abaixo.

$$V_{ripple} = \frac{I \times \Delta T}{C} \quad , \text{ onde:}$$

$$I = 2A \text{ (corrente máxima do transformador)}$$

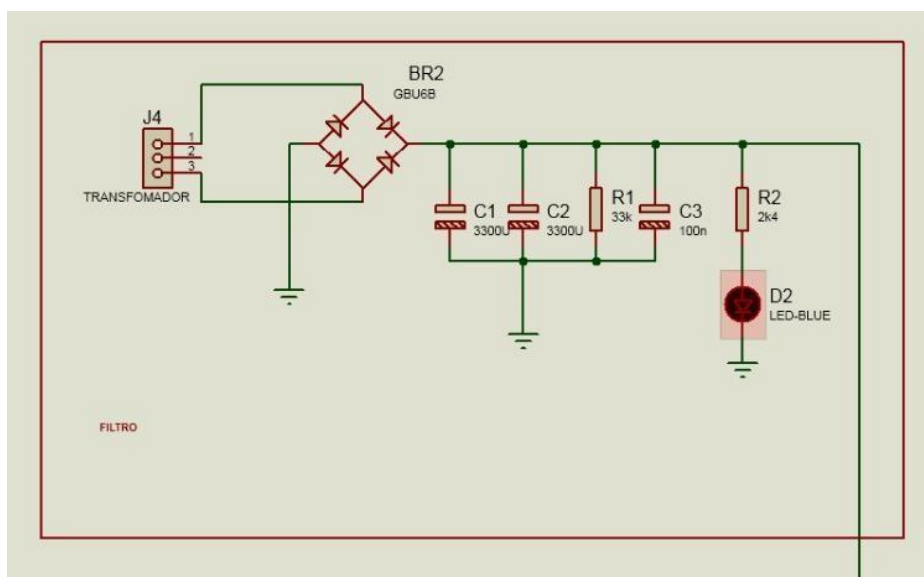
$$\Delta T = T = \frac{1}{f} = \frac{1}{120} = 0,01666s$$

C = capacitância

Então tem-se:

$$V_{ripple} = \frac{1 \times 16,66 \times 10^{-3}}{(3300 + 3300) \times 10^{-6}} = 2,52V$$

Figura 12- Circuito de filtro do sinal AC



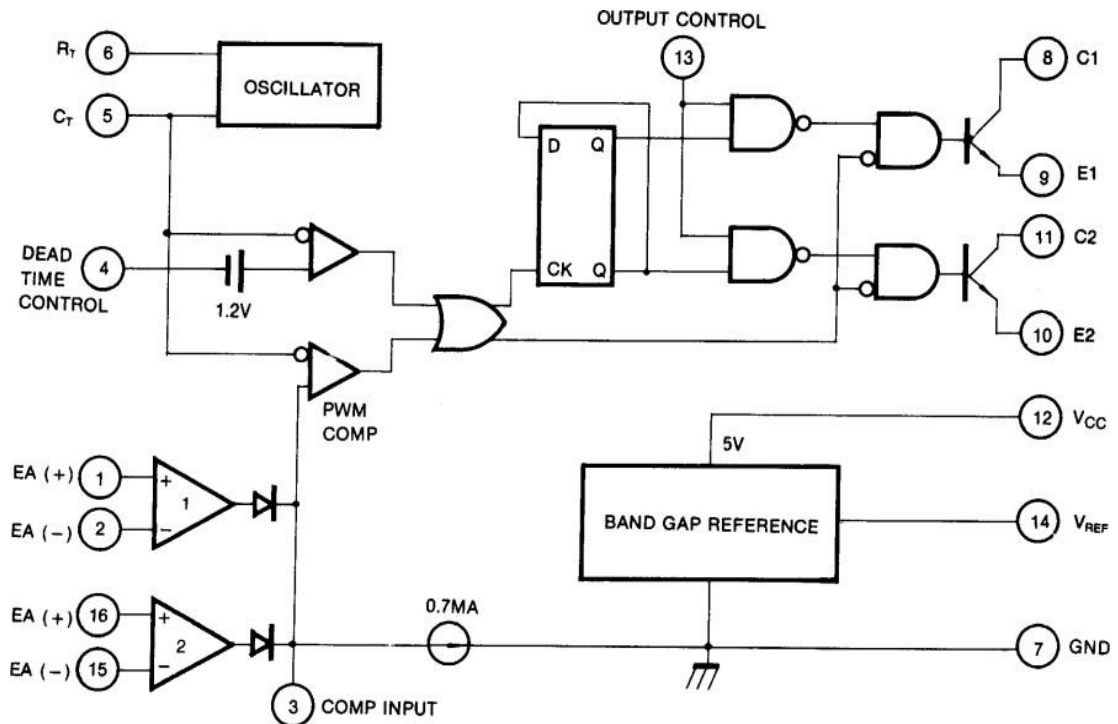
Fonte: Próprio autor, 2019

Para indicar que o circuito estava energizado foi utilizado um Led com um resistor limitador de corrente em série, para que o Led não queime.

4.5. O CIRCUITO PWM

O circuito foi montado com base o CI TL494 (datasheet em anexo), que é um controlador PWM. O TL494 consiste em um circuito de referência interna de 5V, dois amplificadores de erro, flip-flop, um circuito de controle de saída, um comparador PWM, um comparador de dead time e um oscilador. Este CI pode ser operado na comutação com frequência de 1KHz a 300KHz. A imagem abaixo mostra os diagramas em bloco do TL494.

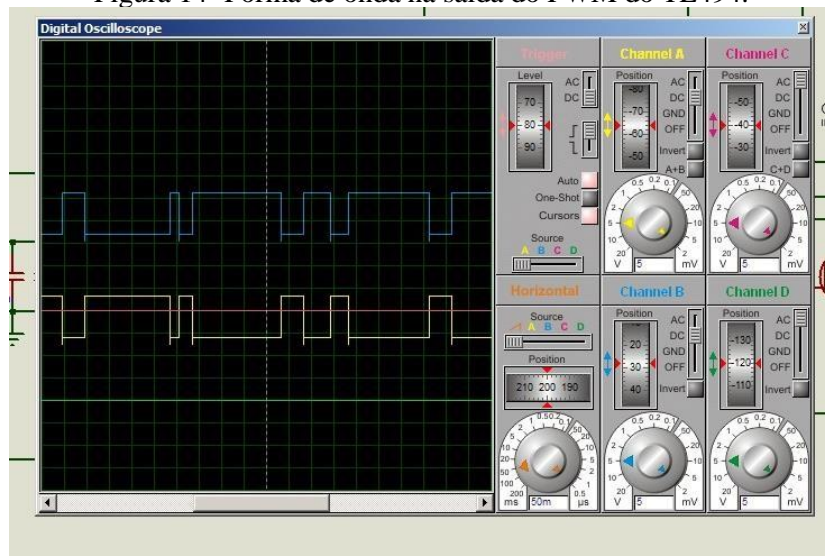
Figura 13 -Diagrama em bloco do TL494.



Fonte: NASIR, 2019

Para chaveamento do motor foram utilizados dois transistores MOSFET IRFZ48N, um em cada saída do TL494, como o sinal de uma sai o inverso da outra, enquanto um MOSFET chaveia, o outro não. Tal procedimento foi testado por simulação no programa PROTEUS 8 e está apresentado na figura a baixo.

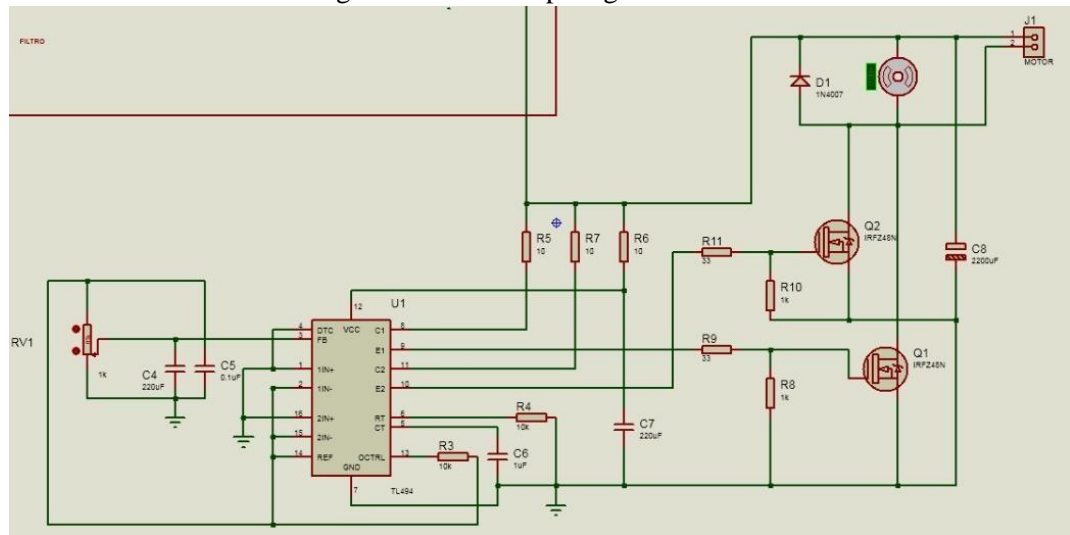
Figura 14- Forma de onda na saída do PWM do TL494.



Fonte: Próprio autor, 2019

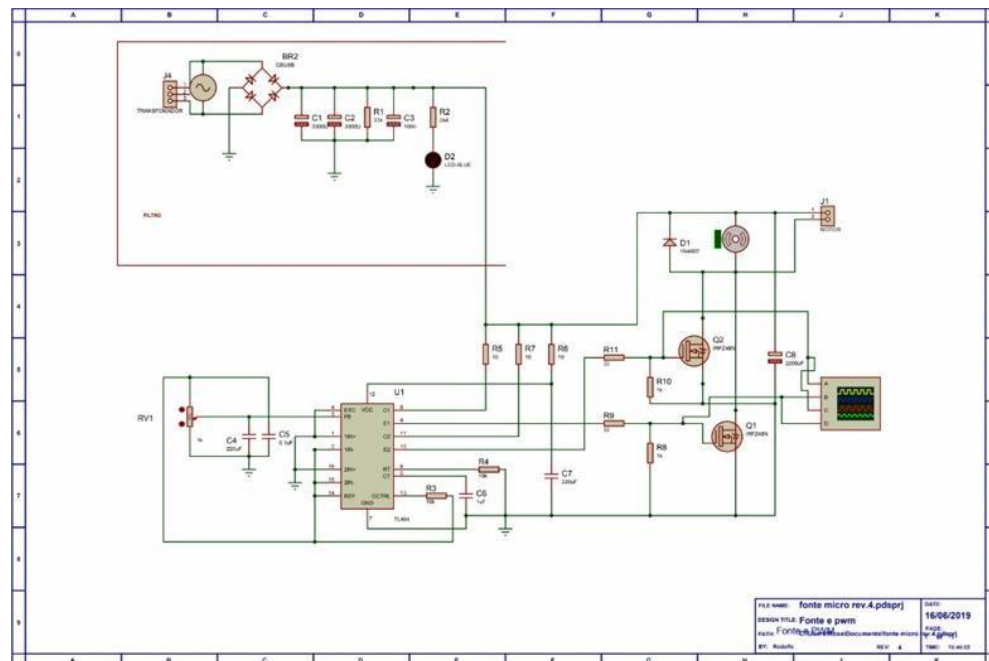
Para controlar a largura do pulso PWM foi usado um potenciômetro de $1K\Omega$, conforme a resistência foi alterada obteve-se a largura do pulso nas saídas E1 e E2 (pinos 8 e 10) que chaveiam os FETs. Na figura abaixo temos o circuito para o PWM após o circuito completo.

Figura 15 -Circuito para gerar o PWM.



Fonte: Próprio autor, 2019

Figura 16 -Circuito completo da fonte.

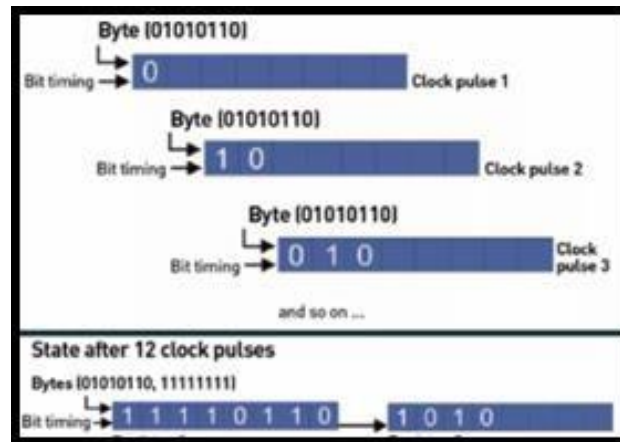


Fonte: Próprio autor, 2019

4.6. Placa dos registradores

A placa dos registradores e a placa para controle dos LEDs foi embasada no CI 74HC595, que é um registrador de deslocamento de 8 bits com entrada serial e saída paralela.

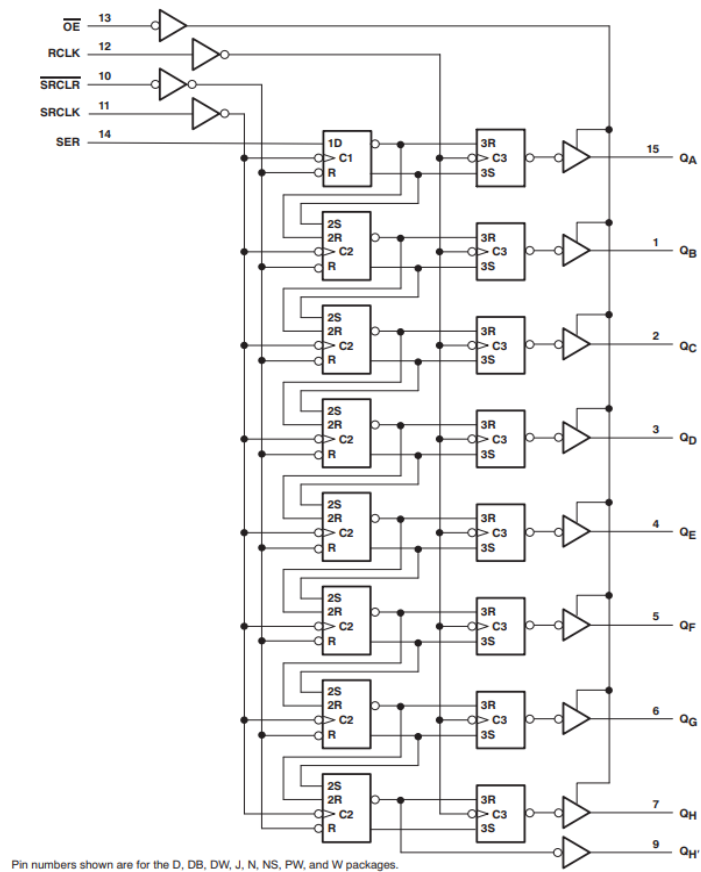
Figura 17-Registadores do 74HC595



Fonte: STMICROELECTRONICS, 2019

Esse CI tem dois registradores e funciona da seguinte forma, quando acionado o pino de CLOCK, ele está pronto para funcionar, já quando coloca o pino LATCH em nível baixo ele começa a gravar os bits no primeiro registrador. Com isso, os bits serão gravados na borda de subida do CLOCK, se estiver em nível alto será 1, caso contrário será 0. Ao colocar o LATCH em nível alto ele copia o que está no primeiro registrador para o segundo, e quando o LATCH voltar ao nível baixo ele reinicia esse ciclo, como mostra a figura acima.

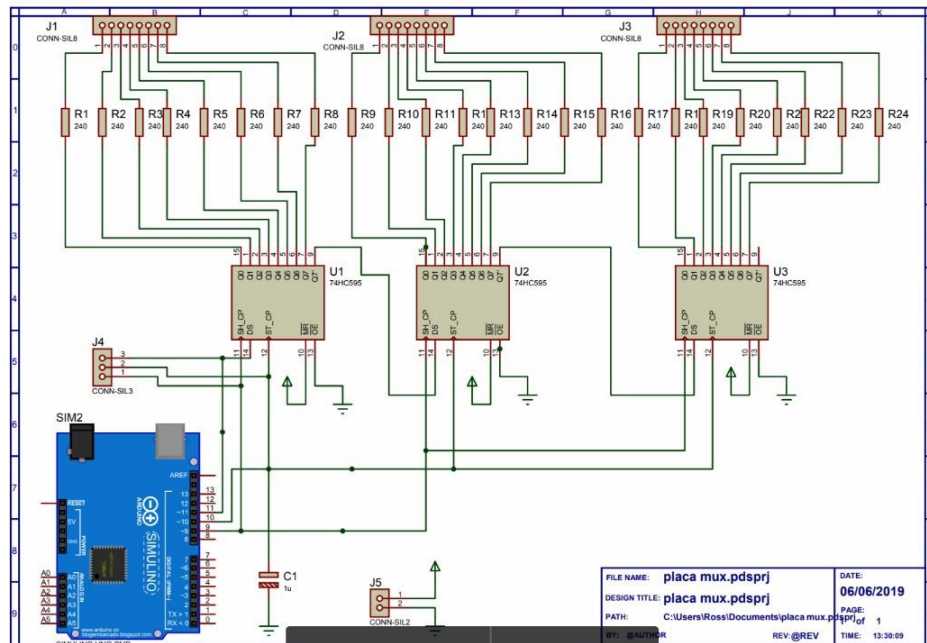
Figura 18- Diagrama em blocos do 74HC595



Fonte: STMICROELECTRONICS, 2019

Para limitar a corrente do LED foi adicionado um resistor limitador de 240Ω , para garantir uma corrente de 20mA. A seguir, temos o diagrama em blocos do 74HC595 e o circuito da placa dos registradores.

Figura 19 -Circuito da placa dos registradores.



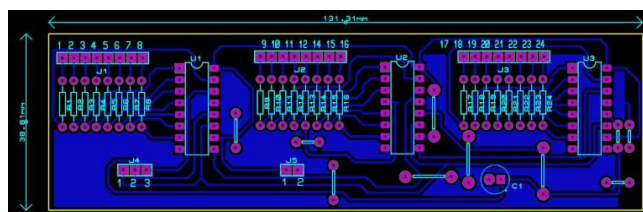
Fonte: Próprio autor, 2019

Desta forma, conforme a figura acima do projeto testado no Proteus, e com a certificação de seu funcionamento através de simulação, posteriormente foi gerado o layout da placa para ser confeccionada.

4.7. Layout e fotolito

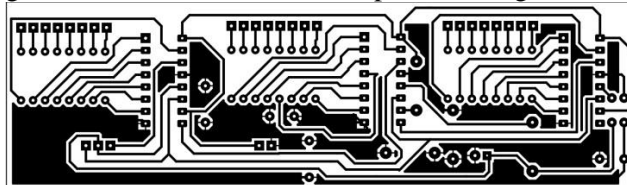
As imagens a seguis mostram o layout e os fotolitos usados nesse projeto, todos gerados pelo programa PROTEUS 8.

Figura 20 - Layout da placa dos registradores.



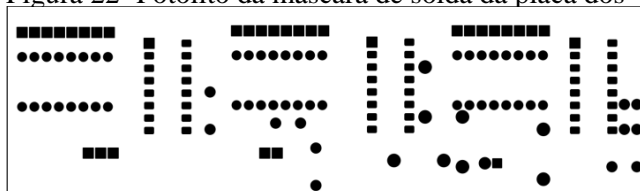
Fonte: Próprio autor, 2019

Figura 21 -Fotolito do bottom da placa dos registradores.



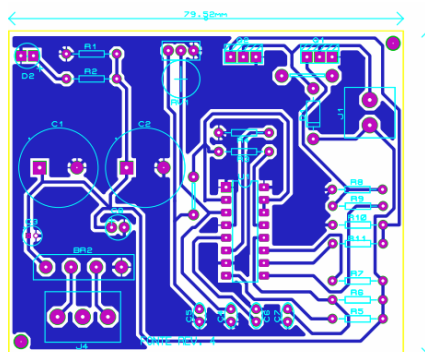
Fonte: Próprio autor, 2019

Figura 22- Fotolito da máscara de solda da placa dos



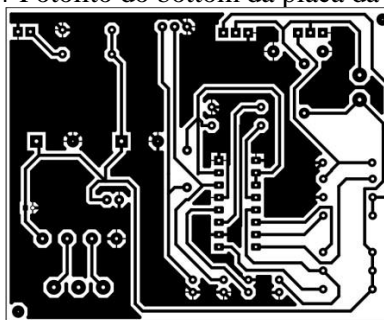
Fonte: Próprio autor, 2019

Figura 23-Layout da placa da fonte



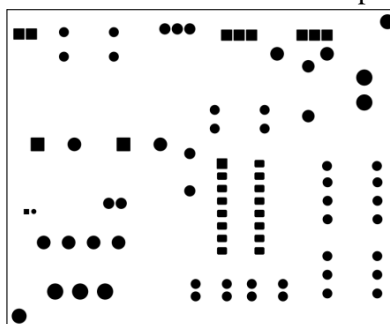
Fonte: Próprio autor, 2019

Figura 24-Fotolito do bottom da placa da fonte



Fonte: Próprio autor, 2019

Figura 25- Fitolito da máscara de solda da placa da fonte.



Fonte: Próprio autor, 2019

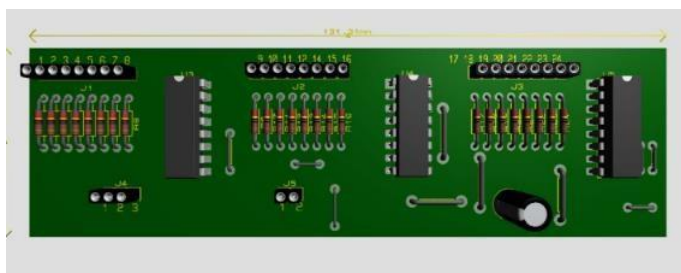
4.8. Perspectiva superior da placa 3D projetada no PROTEUS 8.

Figura 26- Placa da fonte em 3D.



Fonte: Próprio autor, 2019

Figura 27- Placa dos registradores em 3D



Fonte: Próprio autor, 2019

4.9. Produção das PCI

Todas as placas desse projeto foram feitas com método fotográfico (com tinta fotossensível), após feito o layout, o imprimiu-se em um papel transparência, e a essa impressão

que é dado o nome de fotolito. Com o fotolito em mãos, cobriu-se a placa com uma fina camada de tinta fotossensível e deixou-se secar ao abrigo da luz em uma temperatura de aproximadamente 90°C, onde foi improvisado um “forno” feito com caixa de papelão e um secador de cabelo para aquecê-lo, porém, isso acabou deixando o processo mais lento, onde o tempo de pré-cura da tinta ficou entre 30 e 45 minutos.

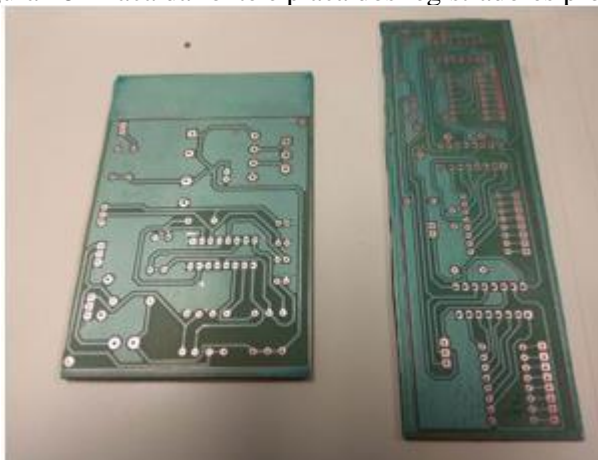
Para verificar se a tinta estava no ponto certo de cura, passou-se a tinta num pedaço do papel transparência, e se ele deslizesse sem colar a placa já estaria pronta para a próxima etapa.

Com a pré-cura pronta foi necessário fazer uma exposição a luz ultravioleta. Foi utilizada a mesma caixa do forno para usar como câmara para fazer a exposição a luz. Com o fotolito sobre a placa, toda a parte transparente fica fixa na placa, em outras palavras, toda a parte que foi exposta a luz ultravioleta tem sua cura completa. A placa ficou em exposição por aproximadamente 8 minutos, então ela foi retirada da câmara improvisada e mergulhada em uma solução com barrilha leve (usado em limpeza de piscinas); dissipou-se toda a tinta que não foi exposta a luz.

Na etapa seguinte, com a tinta cobrindo a placa somente onde ficaram as trilhas usou-se o Percloreto de ferro para fazer a corrosão da parte exposta. Com a corrosão completa, a placa foi limpa e a tinta retirada, deixando todo o cobre exposto. Para evitar a formação de óxido e ajudar na soldagem, foi adicionado ao processo a máscara de solda que também foi feita pelo processo fotográfico, com a diferença que foi adicionado à fita um catalisador. Então repetiu-se o processo fotográfico e o resultado foi o apresentado na imagem a seguir.

- Placa à direita dos registradores
- Placa à esquerda da fonte.

Figura 28- Placa da fonte e placa dos registradores prontas.



Fonte: Próprio autor, 2019

As imagens a seguir apresentam o topo de ambas as placas já com os componentes soldados. A primeira placa, dos registradores, e a segunda, a placa da fonte.

Figura 29- Placa dos registradores montada.



Fonte: Próprio autor, 2019

Figura 30- Placa da fonte montada.

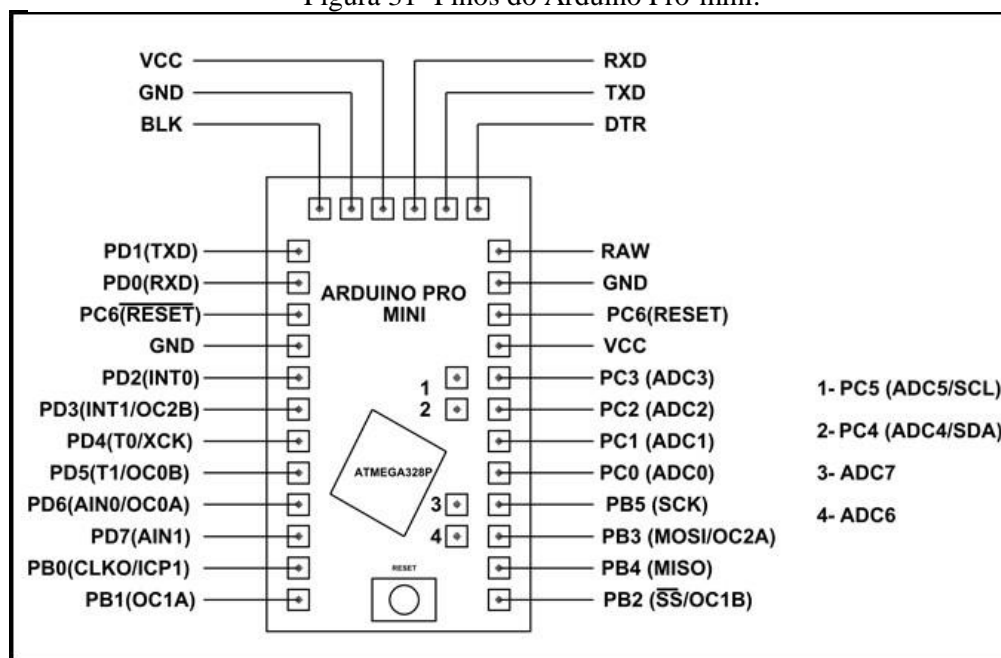


Fonte: Próprio autor, 2019

4.10. Placa controladora

Os sistemas embarcados são amplamente utilizados, e a utilização dos mesmos no meio eletrônico é cada vez mais recorrente. Se tratam de sistemas que utilizam microprocessadores que já contêm uma atividade definida para a utilização à qual é requerido. Com ótimo custo benefício, alia-se a baixo consumo de energia elétrica e tem alta capacidade de processamento das informações.

Figura 31- Pinos do Arduino Pro-mini.



Fonte: COMPONENTS101, 2019

O Arduino contém basicamente uma memória RAM e uma Flash, que não necessita de alimentação para manter seu conteúdo. Além disso é um microcontrolador com arquitetura RISC AVR da Atmel, possui possibilidade de alimentação externa e tem portas analógicas e digitais. Há diversos tipos de Arduino disponíveis no mercado atualmente, e com isso há módulos, Shields e sensores de diversos modelos diferentes para cada aplicação.

Tabela 2- Modelos de Arduino.

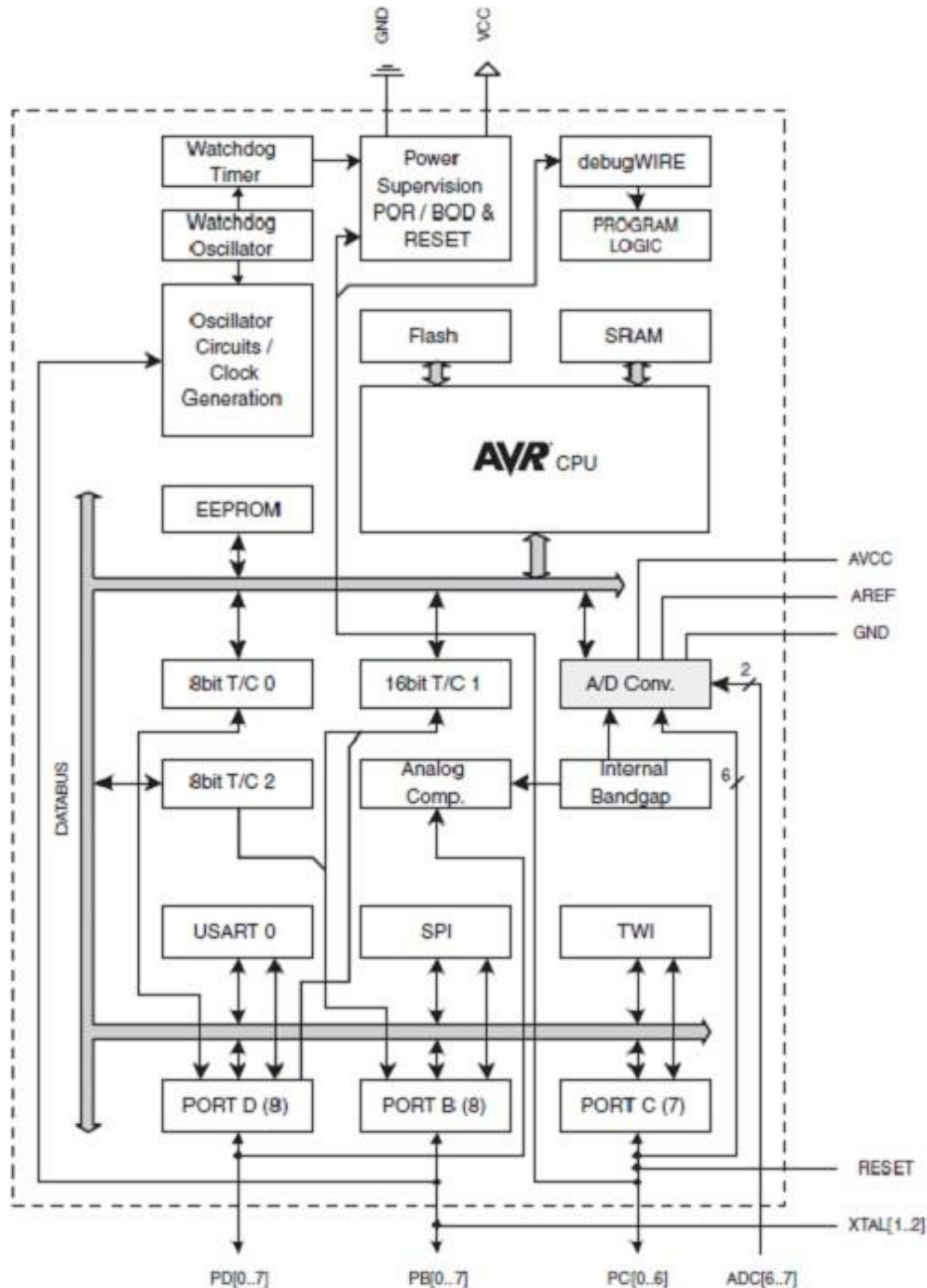
Especificação	Arduino UNO	Arduino PRO-MINI
Microcontrolador	ATmega328	ATmega 328p
Tensão de Operação	5 VDC	5 VDC
Tensão de Alimentação (Limite)	6 ~20 VDC	5 ~12 VDC
Entradas e Saídas digitais	14 (com 6 PWM)	14 (com 6 PWM)
Entradas analógicas	6	8
Corrente DC por pino de I/O	40mA	40mA
Memória Flash	32KB	32KB
Memória SRAM	2KB	1KB
EEPROM	1KB	512B
Velocidade de Clock	16MHz	16MHz
Dimensões	68,58mm x 53,34mm	33mm x 18mm

Fonte: Próprio autor, 2019

Com objetivo de otimização do espaço e “miniaturização” do circuito eletrônico foi decidido a utilização do microcontrolador ATmega328P embarcado em uma placa Arduino Pro Mini, como circuito controlador, responsável por gerar imagens para protótipo final. E para testes, visando a facilidade de trocas e ajustes no circuito, foi utilizado o Arduino UNO que tem o mesmo microcontrolador. Desta forma a programação utilizada nos testes pode ser implementada na placa embarcada final, por conta de o Arduino Pro-mini não possuir porta USB própria. Além disso o Arduino Pro Mini possui os mesmos pinos digitais e analógicos, frequência de clock, I2C, SPI e TTL. Também possui PORTs B, C, e D, auto reset nativo na programação que o Arduino Uno, também é uma plataforma de código aberto, dessa forma pode se utilizar as bibliotecas.

Conforme as figuras e a tabela a seguir, o Arduino Mini Pro possui oito entradas analógicas, catorze entradas e saídas digitais, um ressonador on-board (16 MHz), botão reset e pinos que foram soldados para o projeto.

Figura 32- Principais blocos do microcontrolador.



Fonte: CAETANO, 2019

O Atmega328P possui arquitetura Harvard, e pipeline na CPU de um estado do tipo “enhanced core”, com isso usa-se barramentos e memória separados. Sua memória é do tipo EEPROM, que não é acessada por instruções normais. Desta forma, com a utilização do Arduino mini foi desenvolvida a programação com as rotinas descritas a seguir.

4.11. Software

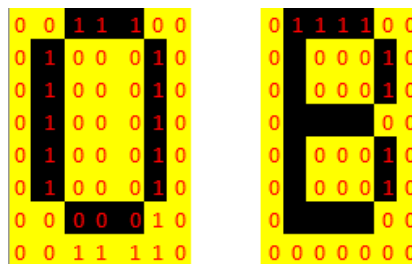
- Rotina setup

Essa rotina tem apenas a função de dizer quais pinos são saídas e quais são entradas.

- Rotina loop

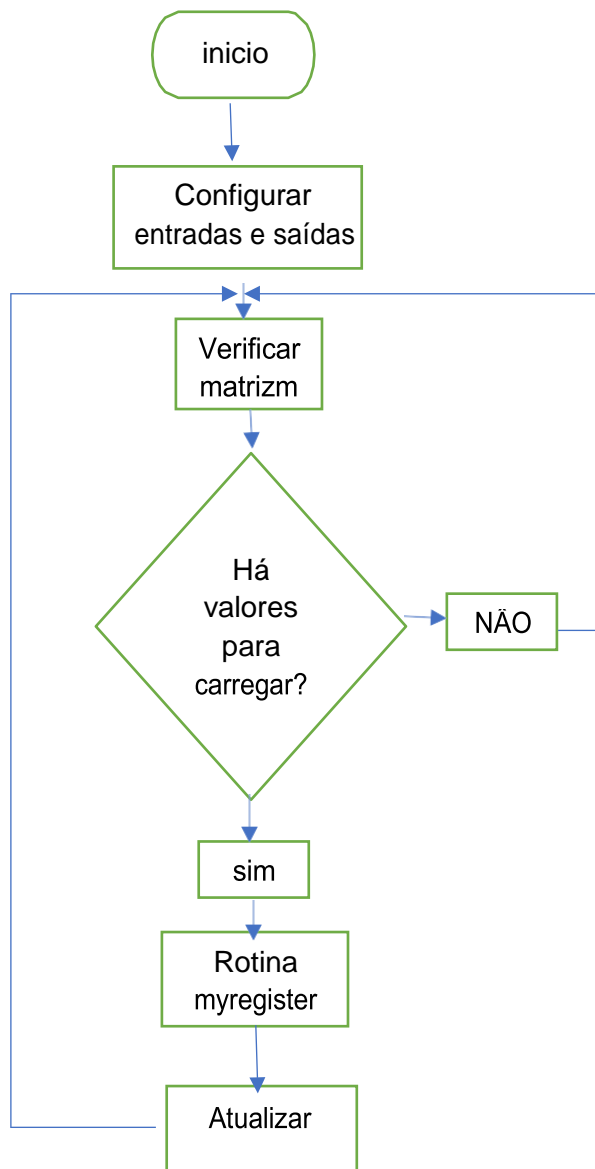
Essa rotina é a função principal do programa, os valores a serem exibidos serão carregados em uma matriz, se houver algum dado a ser carregado ela envia para os registradores que ativaram a saída de acordo com os dados enviados, esses dados são enviados na forma de bits para assim acender e apagar os leds, os bits enviados formam as colunas para que assim conforme o movimento do globo essas colunas forme caracteres como mostra a figura abaixo.

Figura 33- Letras em bit map.



Fonte: Próprio autor, 2019

Figura 34-Fluxograma da função principal

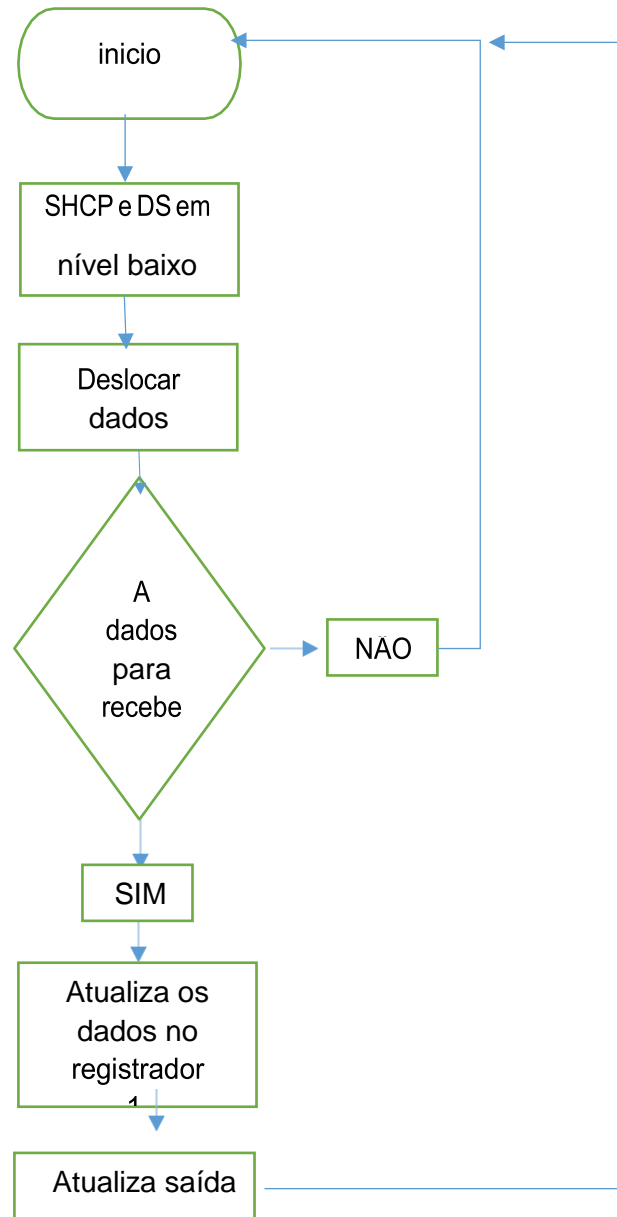


Fonte: Próprio autor, 2019

4.11.1 Rotina my_register

Essa função faz o trabalho de receber os dados e enviar para os dados para os registradores, para a assim ele ligar suas saídas. Ele deixa os pinos SHCP e DS em nível logico baixo, deixando deixando eles prontos para receber os dados, então ele entra na função FOR, mas antes de deslocar os dados ele verifica se há dados para serem carregados; se houver dados ele atualiza o registrador e ativa saída, senão ele volta, verifica e aguarda até que haja dados para receber.

Figura 35- Fluxograma dos registradores



Fonte: Próprio autor, 2019

5. PROBLEMAS ENCONTRADOS

5.1. Mecânico

Inicialmente, foi decidido construir a estrutura mecânica com madeira, porém devido a vibração e a dificuldade montagem e a desmontagem para testes, foi substituída por uma estrutura metálica (figura 5), conforme descrito em “Projeto mecânico”. Além disso, outra dificuldade desta parte do projeto foi a otimização da estrutura mecânica para fazer com que praticamente não houvesse nenhum tipo de vibração, o que levou muito tempo para construção.

Outra dificuldade foi fixar os circuitos eletrônicos no conjunto rotativo, de forma que o mesmo não escapasse, e evitar vibração, para que os componentes não sofressem nenhum dano durante os testes.

5.2. Hardware

A primeira placa de alimentação do motor não forneceu corrente suficiente para o mesmo se manter em funcionamento e o transistor utilizado aquecia muito. Por conta disso, o circuito foi projetado utilizando dois transistores para se alternarem, onde um teve seu chaveamento em nível logico alto, e o outro com chaveamento em nível logico baixo.

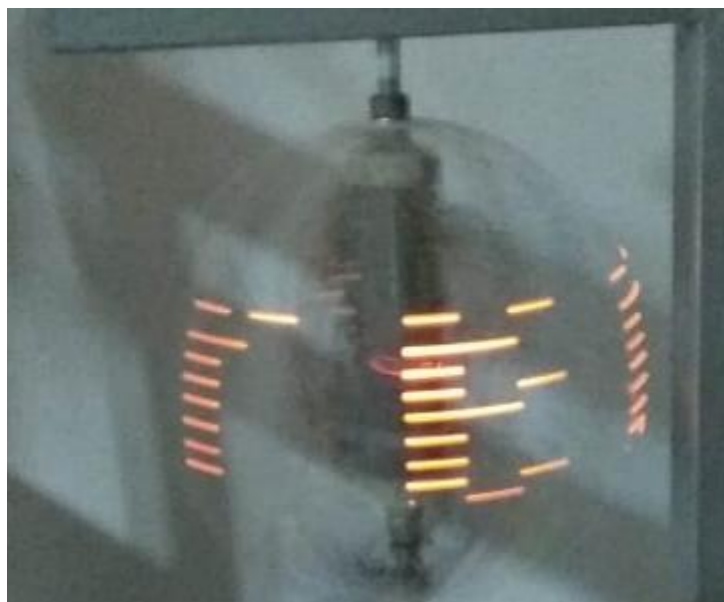
Além disso, na fase de testes do funcionamento foi observado efeito capacitivo entre os fios conectados aos Leds e rompimento de uma das trilhas da placa dos registradores, o que causou confusão entre duvidar-se de erro de programação e/ou de defeitos eletrônicos.

5.3. Software

As maiores dificuldades foram com controle de velocidade do motor, os defeitos eletrônicos que davam impressão de serem erros de programação, quando havia oxidação de terminais e indutância eletromagnética entre os fios que se comunicam com os Leds. Por conta de optar por erros de leituras, e por não conseguir identificar os erros de leitura do sensor hall, foi decidido desenvolver uma programação que formasse imagens sem a necessidade de referência. Desta forma, foi feito o controle de formação de imagens através da velocidade de rotação do motor suficiente para apresentar as imagens programadas. Com tais correções corrigidos foi possível concluir esta etapa.

6. RESULTADOS

Figura 36- Globo de Leds em execução



Fonte: Próprio autor, 2019

Apesar de todas dificuldades, por meio da programação descrita anteriormente, onde são apresentadas as matrizes das letras escolhidas foi gerada a palavra “FATEC”, como a imagem a seguir.

Figura 37- Globo de LEDs em várias etapas de execução



Fonte: Próprio autor, 2019

Desta forma pode se notar que, conforme os ângulos descritos como 1, 2 e 3, o observador consegue enxergar a palavra “impressa”, que rotaciona de forma que girando no sentido horário o observador pode ler a palavras gerada por programação.

7. TABELA DE CUSTOS

Os custos foram gerados ao decorrer do desenvolvimento do projeto, as tabelas foram divididas em três principais elementos que são a placa do registrador, a placa da fonte e outros (demais itens utilizados), conforme as tabelas a seguir.

Tabela 3-Preços de produção das placas.

CUSTO DO TCC				
PLACA DO SHIFT REGISTER				
TIPO	DESIGNAÇÃO	PREÇO	QUANTIDADE	TOTAL
CI 74HC955	U1, U2, U3	R\$ 3,50	3	R\$ 10,50
RES. 240Ω	R1-R24	R\$ 0,03	24	R\$ 0,72
CAP. 1μF/100V	C1	R\$ 0,30	1	R\$ 0,30
PLACA DE FENOLITE	~	R\$ 7,00	1	R\$ 7,00
SOQUETE DE 16 PINOS	~	R\$ 1,30	3	R\$ 3,90
TOTAL				R\$ 22,42

A quantidade de itens das tabelas é referente apenas ao projeto final, sem contar os gastos com elementos substituídos durante os testes. Porém se observado o custo final, pode se notar que como produto os custos poderiam ser reduzidos caso fosse produzido em escala, reduzindo o preço dos componentes.

Tabela 4-placa da fonte

PLACA DA FONTE				
TIPO	DESIGNAÇÃO	PREÇO	QUANTIDADE	TOTAL
CAP. ELETRO. 3300uF/50V	C1, C2	R\$ 4,50	2	R\$ 9,00
CAP. 220uF	C4, C7	R\$ 0,44	2	R\$ 0,88
CAP. 0.1uF/50V	C5	R\$ 0,30	1	R\$ 0,30
CAP. 1uF/50v	C6	R\$ 0,09	1	R\$ 0,09
CAP. CER. 2200uF/50v	C8	R\$ 5,00	1	R\$ 5,00
CAP. ELETRO. 100n/50v	C3	R\$ 0,08	1	R\$ 0,08
RES. 33KΩ 1/4W	R1	R\$ 0,03	1	R\$ 0,03
RES. 2K4Ω 1/4W	R2	R\$ 0,03	1	R\$ 0,03
RES. 10KΩ 1/4W	R3,R4	R\$ 0,03	2	R\$ 0,06
RES. 10Ω 2W	R5, R6, R7	R\$ 0,22	3	R\$ 0,66
RES. 1KΩ 1/4W	R8, R10	R\$ 0,03	2	R\$ 0,06
RES. 33Ω 1W	R9, R11	R\$ 0,12	2	R\$ 0,24
CI TL494CN	U1	R\$ 2,40	1	R\$ 2,40
TRANSISTOR MOS. IRFZ48N	Q1, Q2	R\$ 2,76	2	R\$ 5,52
DIODO 1N4007	D1	R\$ 0,05	1	R\$ 0,05
LED 5mm	D2	R\$ 0,23	1	R\$ 0,23

PONTE DE DIODOS GBU68	BR2	R\$ 3,50	1	R\$ 3,50
CONECTOR Borne 2 polos	J1	R\$ 0,63	1	R\$ 0,63
CONECTOR Borne 3 polos	J2	R\$ 0,89	1	R\$ 0,89
POT. 1K	RV1	R\$ 2,91	1	R\$ 2,91
DISSIPADOR		R\$ 2,00	2	R\$ 4,00
TRANSFORMADOR 1A 12+12	TR1	R\$ 28,00	1	R\$ 28,00
TOTAL				R\$ 64,56

Fonte: Próprio Autor, 2019

Na última tabela pode se notar que estão os elementos mais caros, mas o custo final não foi maior por conta do uso de matérias recicláveis durante o desenvolvimento do projeto e sua execução.

Tabela 5- Outros custos e total.

OUTROS				
TIPO	DESIGNAÇÃO	PREÇO	QUANTIDADE	TOTAL
SENSOR HALL A3144		R\$ 6,55	1	R\$ 6,55
MOTOR DC		R\$ 18,90	1	R\$ 18,90
ROLAMENTO		R\$ 2,90	1	R\$ 2,90
ACOPLAMENTO FLEX. 6,35x10mm		R\$ 29,30	1	R\$ 29,30
CHAVE CELETORA DE TENSÃO		R\$ 2,00	1	R\$ 2,00
LED 3mm		R\$ 0,10	24	R\$ 2,40
ARDUINO		R\$ 20,00	1	R\$ 20,00
BAT. 9V		R\$ 10,00	1	R\$ 10,00
CABO MONTADO PINO P4		R\$ 2,50	1	R\$ 2,50
MODULO DS3231		R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
CLIP P/ BAT. 9V		R\$ 2,00	1	R\$ 2,00
TOTAL				R\$ 121,55
TOTAL DO PROJETO				R\$ 208,53

Fonte: Próprio Autor, 2019

8. CONCLUSÃO

Por fim, notamos que os objetivos do trabalho foram atingidos, uma vez que foi possível projetar com eficiência a estrutura mecânica, construir os circuitos eletrônicos e manter o equilíbrio de toda estrutura com pouca vibração. O programa foi compilado com sucesso no Arduino. Além disso, com as pesquisas dos fenômenos responsáveis pela formação de imagens, foi possível compreender fisiologicamente o porquê da formação da imagem a partir de apenas uma coluna de Leds.

Com o estudo sobre o fenômeno PHI e a persistência da visão compreendemos que, por conta das limitações do nosso sistema nervoso e de um fenômeno psíquico, nosso cérebro tem a impressão de movimento para figuras que se alternam em uma velocidade específica. E, pelo fato da limitação do processamento de imagens de nossa visão, só conseguimos enxergar eventos que ocorrem em um determinado intervalo de tempo. Deste modo, para eventos que ocorrem em uma velocidade maior que a limitação do cérebro humano, é possível formar imagens que parecem estar estáticas como um holograma, para um objeto em movimento.

Além disso, foi possível escrever a palavra “FATEC”, conforme descrito nos resultados. Desta forma, através da programação do microcontrolador e a rotação da estrutura com uma coluna de Leds, pode se apresentar a figura desejada.

Contudo, apesar das dificuldades para encontrar a melhor forma de fazer a programação e adequação do circuito eletrônico, o projeto foi concluído conforme o esperado. E com os estudos, foi possível imaginar futuros projetos para implementação e utilidade para o Globo de Leds.

9. TRABALHOS FUTUROS

Com a conclusão da construção do projeto, notou-se que, para a implementação, a principal ideia é formar imagens coloridas com Led RGB. Desta forma, seria possível formar imagens mais realistas e definidas, semelhantes a hologramas.

Além disso, outra ideia seria fazer comunicação com celular ou outro equipamento com comunicação Wi-Fi, por meio da adição de um módulo Wi-Fi. Com isso o controlador poderia desenhar imagens no dispositivo (com Wi-Fi) e as projetar no Globo de LED.

Também, com as pesquisas dos fenômenos fisiológicos que permitem o funcionamento do projeto, foi observado que talvez seja possível usar o globo de para testes de coordenação motora e até tratamento de propriocepção terapêutica.

BIBLIOGRAFIA

NEW EMPIRICISM.. The Phi Phenomenon and the half second gap. 2019. Disponível em: <<http://newempiricism.blogspot.com/2011/11/phi-phenomenon-and-half-second-gap.html>>. Acesso em jun/2019.

PRÉ-CINEMA, História do. Persistência retiniana. Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, 2009. Disponível em: <<https://precinema.wordpress.com/2009/10/28/persistencia-retiniana/>>. Acesso em jun/2019.

RODRIGUES, T. P.. Física: Persistência da visão. Folha de São Paulo, 2003. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/folha/educacao/ult305u13406.shtml>>. Acesso em: jun/2019.

SILVEIRA, C. B.. Motor CC: Saiba como Funciona e de que forma Especificar. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/motor-cc/>>. Acesso em jun/2019.

WERTHEIMER, M.. Experimental studies on seeing motion. In L. Spillman (Ed.), On perceived motion and figural organization. Cambridge, 2012. P. 1-91. The MIT Press. Trabalho original publicado em 1912.

ALLDATASHEET. **74HC595**. Disponível em: <<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=74HC595&sField=4>>. Acesso em: 03 mar. 2019.

ANDERSON, Joseph; ANDERSON, Barbara. **Journal of Film and Video: THE MYTH OF PERSISTENCE OF VISION REVISITED**. Illinois: University Of Illinois Press On Behalf Of The University Film & Video Association, 1993. 45 v. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/20687993?seq=1/analyze#page_scan_tab_contents>. Acesso em: 18 out. 2018.

ARDUINO. **ARDUINO PRO MINI**. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-pro-mini>>. Acesso em: 15 abril 2019.

ARDUINO. **Language Reference**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/reference/en/>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

ARDUINO. **Serial to Parallel Shifting-Out with a 74HC595**: Shifting Out & the 595 chip. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/ShiftOut>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

ENGINEERS, Last Minute. **How 74HC595 Shift Register Works & Interface it with Arduino.** Disponível em: <<https://lastminuteengineers.com/74hc595-shift-register-arduino-tutorial/>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

PROJETO Homem Virtual. São Paulo: Rede Lucy Montoro, 2013. P&B. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=GRV6MqkERz0>>. Acesso em: 05 set. 2018.

PRUDÊNCIO, Sara Pires; GOMES, Carlos Alberto EirÃo. O brinquedo óptico enquanto pretexto para explorar a percepção e a relação com a imagem em movimento. **Matéria-prima**, Lisboa, v. 4, n. 3, p.196-202, maio 2016. Disponível em: <http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/28431/2/ULFBA_MatPrima_V4N3_p196-202.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2019.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Motor CC: Saiba como funciona e de que forma Especificar.** Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/motor-cc/>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

TESTONI, Leonardo A. et al. **ESCREVENDO COM LEDs: UMA PROPOSTA DE ENSINO DO MOVIMENTO CIRCULAR PARA CURSOS DE ENGENHARIA.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2014, Portugal. **ESCREVENDO COM LEDs.** Portugal: Copec, 2014. p. 131 - 134. Disponível em: <<https://copec.eu/congresses/intertech2014/proc/works/29.pdf>>. Acesso em: 23 maio. 2019.

FILIPEFLOP. **Sensor de Efeito Hall US1881.** Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-efeito-hall-us1881/>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

COMPONENTS101. **ARDUINO PRO MINI.** Disponível em: <<https://components101.com/microcontrollers/arduino-pro-mini>>. Acesso em: 15 abr. 2019.