UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JULIANA DE ARAUJO SILVA

MÁQUINA DISPENSADORA DE FIO DENTAL

CURITIBA

2023

JULIANA DE ARAUJO SILVA

MÁQUINA DISPENSADORA DE FIO DENTAL

Dental floss dispensing machine

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Paulo Denis Garcez da Luz.

CURITIBA

2023

4.0 Internacional

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JULIANA DE ARAUJO SILVA

MÁQUINA DISPENSADORA DE FIO DENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 15/dezembro/2023

_____

Paulo Denis Garcez da Luz
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

_____

Eduardo Nunes dos Santos
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

_____

Luiz Fernando Copetti
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2023

Dedico este trabalho à minha família, pelos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão a Deus, por me dar saúde e serenidade para concluir esta jornada.

Agradeço a todos os meus professores pela dedicação e pelo conhecimento compartilhado.

Á minha família que me apoiou em todos os momentos, oferecendo compreensão e encorajamento sempre que precisei.

E a todos que, de alguma forma estiverem presentes nessa etapa da minha vida, meus sinceros agradecimentos.

A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.
(Albert Einstein)

RESUMO

As doenças bucais como cáries dentárias, doença periodontal e perda dentária podem ser evitadas e tratadas em seus estágios iniciais através da higiene bucal. Dados da OMS de 2022 estimaram que doenças bucais afetaram aproximadamente 3,5 bilhões de pessoas em todo o mundo. Essas doenças são recorrentes devido a crescente urbanização e mudanças nas condições de vida, acesso a alimentos e bebidas ricos em açúcares, assim como o consumo de tabaco e álcool. Para a prevenção dessas doenças além da escovação dos dentes, o uso do fio dental é essencial, pois ele alcança partes que as cerdas da escova de dente não alcançam. Nesse contexto que entra a máquina dispensadora, um dispositivo inovador que armazena substâncias e itens descartáveis. Essas máquinas são de fácil manuseio e são reabastecidos com praticidade e rapidez além de armazenar, por exemplo, o fio dental de forma prática e higiênica tornando seu uso mais acessível em locais públicos. A dispensadora de fio dental, possui um mecanismo exclusivo de corte automático que implica em benefícios como evitar desperdício, além de evitar que o fio dental fique exposto, protegendo-o da contaminação. O projeto teve como objetivo finalizar o desenvolvimento prévio de um protótipo para uma máquina dispensadora de fio dental, no qual o desenvolvimento esbarrou em problemas mecânicos no tracionamento do fio nas engrenagens. Foi desenvolvido neste trabalho uma nova estrutura mecânica deslizante sobre um trilho, que se movimenta da direita para a esquerda. Esta estrutura contém em sua parte móvel uma pinça robótica que executa o movimento de desenrolar o fio dental através da junção da tração da pinça e o deslocamento da sua estrutura deslizante. Quando o fio dental estiver do tamanho desejado, será cortado e dispensado pela máquina ao usuário. Para isto, foi usado um botão que detecta quando o usuário deseja usar a máquina, uma pinça robótica que prende ou libera o fio dental, um motor DC que faz o trilho se movimentar e um sensor ultrassônico que detecta quando a estrutura está no início ou no final dos trilhos.

Palavras-chave: Sensor ultrassônico; motor DC; pinça robótica; trilhos.

ABSTRACT

Oral diseases such as tooth decay, periodontal disease and tooth loss can be prevented and treated in their early stages through oral hygiene. WHO data from 2022 estimated that oral diseases affected approximately 3.5 billion people worldwide. These diseases are recurring due to increasing urbanization and changes in living conditions, access to foods and drinks rich in sugar, as well as tobacco and alcohol consumption. To prevent these diseases, in addition to brushing your teeth, flossing is essential, as it reaches parts that the bristles of the toothbrush cannot reach. This is where the dispensing machine comes in, an innovative device that stores substances and disposable items. These machines are easy to handle and can be refilled quickly and conveniently, as well as storing dental floss, for example, in a practical and hygienic way, making it more accessible to use in public places. The dental floss dispenser has an exclusive automatic cutting mechanism which has benefits such as avoiding waste, as well as preventing the floss from being exposed, protecting it from contamination. The aim of the project was to finalize the previous development of a prototype for a dental floss dispenser, in which the development ran up against mechanical problems in pulling the floss through the gears. This work developed a new mechanical structure that slides on a rail and moves from right to left. This structure contains a robotic gripper in its moving part, which unwinds the floss by combining the gripper's traction with the movement of its sliding structure. When the floss is the desired size, it is cut and dispensed by the machine to the user. To do this, we used a button that detects when the user wants to use the machine, a robotic gripper that holds or releases the floss, a DC motor that makes the rail move and an ultrasonic sensor that detects when the structure is at the beginning or end of the rails.

Keywords: Ultrasonic sensor; DC motor; robotic gripper; rails.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Exemplo de dispenser de fio dental.....15
Figura 2:Transmissor/receptor ultrassônico.....16
Figura 3: Princípio de funcionamento do sensor HC-SR04.....17
Figura 4: Parte frontal sensor HC-SR04.....18
Figura 5: Parte traseira do sensor HC-SR04.....18
Figura 6: Transformação de energia no motor.....18
Figura 7: Construção básica de um motor de corrente contínua.....20
Figura 8: Motor DC N20.....20
Figura 9: Circuito Ponte H.....21
Figura 10: Componentes do servo motor.....22
Figura 11: Motor de passo nema 17.....23
Figura 12: Driver ponte H.....23
Figura 13: Regulador de tensão LM317.....25
Figura 14: EK-TM4C1294XL ARM Cortex-M4F imagem superior do kit.....27
Figura 15: Kit modelo eixo z.....29
Figura 16: Suporte base para o eixo z.....29
Figura 17: Anteparo.....30
Figura 18: Suporte para o sensor de ultrassom.....30
Figura 19: Suporte para o motor DC.....31
Figura 20: Detalhe da colagem do suporte para o motor DC.....31
Figura 21: Anteparo com o sensor ultrassônico.....32
Figura 22: Anteparo usado como obstáculo.....32
Figura 23: Visão geral superior.....33
Figura 24: Fluxograma.....34
Figura 25: Montagem do circuito.....35
Figura 26: Visão frontal da placa de circuito impresso.....36
Figura 27: Primeiro protótipo.....37
Figura 28: Placa PCB com os componentes.....38
Figura 29: Placa PCB em conjunto com a estrutura mecânica.....39
Figura 30: Trecho do código para o cálculo da distância.....39
Figura 31: Função para abertura do servo motor.....40

Figura 32: Função para o fechamento do servo motor.....40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Three Dimensional (Tridimensional)
ARM	Acorn RISC Machine
CA	Corrente alternada
CC	Corrente Contínua
CCS	Code Composer Studio (Estúdio de composição de código)
CI	Circuito Integrado
CNC	Controle Numérico Computadorizado
DC	Direct Current (Corrente Direta)
DCNT	Doenças Crônicas não transmissíveis
FPU	Float Point Unit (Unidade de Ponto Flutuante)
GND	Graduated Neutral Density Filter (Filtro graduado de densidade neutra)
GPIO	General Purpose Input/Output (Entrada/Saída de propósitos gerais)
IDE	Integrated Development Environment (Ambiente de desenvolvimento integrado)
LED	Light Emitting Diodo (Diodo Emissor de Luz)
MCC	Máquina de Corrente Contínua
MDF	Medium Density Fiberboard (Placa de Fibra de Média Densidade)
NFC	Near Field Communication (Comunicação por campo de proximidade)
OMS	Organização Mundial da Saúde
OS	Operating System (Sistema Operacional)
PC	Personal Computer (Computador pessoal)
PCB	Printed Circuit Board (Circuito impresso)
RF	Rádio Frequência
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
kHz	Quilohertz
µs	Microssegundos
mA	Mili Ampere
mHz	Mili Hertz
mm	Milímetros
V	Volt

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16
2.1 Sensores ultrassônicos 16
2.1.1 Sensor ultrassônico HC-SR04 17
2.2 Motores elétricos 18
2.2.1 Motor CC (corrente contínua) 19
2.2.2 Ponte H 20
2.2.3 Servo motor 21
2.2.4 Motor de passo 22
2.3 Regulador de tensão 24
2.4 Ambiente de desenvolvimento de software 25
2.4.1 Kit de desenvolvimento microcontrolador EK-TM4C1294XL ARM Cortex-M4 . 26
3 DESENVOLVIMENTO 28
3.1 Estrutura Mecânica 28
3.2 Circuito 33
3.2.1 PCB (Placa de circuito impresso) 35
4 TESTES E RESULTADOS 37
4.1 Estrutura mecânica e circuito 37
4.2 Software 39
5 CONCLUSÃO 41
5.1 TRABALHOS FUTUROS 41
REFERÊNCIAS 43
APÊNDICE A – ESQUEMÁTICO DO PCB 47
APÊNDICE B – CÓDIGO DESENVOLVIDO PARA O PROJETO 48

1 INTRODUÇÃO

A maioria das doenças bucais são amplamente evitáveis e podem ser tratadas em seus estágios iniciais. Alguns exemplos dessas doenças são a cárie dentária (cárie), doença periodontal que é uma forma grave de gengivite, perda dentária e câncer oral. (Salud bucodental, 2022).

Em seu relatório mundial sobre o estado de saúde oral (2022), a OMS estimou que as doenças bucais afetam cerca de 3,5 bilhões de pessoas em todo o mundo, e que 3 em cada 4 dessas pessoas vivem em países de renda média. Em todo o mundo, cerca de 2 bilhões de pessoas sofrem de cáries em dentes permanentes, enquanto 514 milhões de crianças sofrem de cáries em dentes de leite. (Salud bucodental, 2022).

A prevalência das principais doenças bucais continua aumentando em todo o mundo devido à crescente urbanização e mudanças nas condições de vida. Isso se deve principalmente à exposição insuficiente ao flúor (no abastecimento de água e em produtos de higiene bucal, como creme dental), disponibilidade e acessibilidade de alimentos riscos em açúcar e acesso insuficiente a serviços de saúde bucal na comunidade. A comercialização de alimentos e bebidas ricos em açúcar, assim como o tabaco e álcool tem levado ao aumento do consumo de produtos que contribuem para o aparecimento de doenças bucais e outras DCNT. (Salud bucodental, 2022).

A cárie dentária ocorre quando a placa bacteriana que se forma na superfície dos dentes, converte os açúcares livres presentes em alimentos e bebidas (todos os açúcares adicionados aos alimentos pelos fabricantes, cozinheiros ou pelos próprios consumidores, além dos açúcares naturalmente encontrados no mel, xaropes e sucos de frutas) em ácidos que destroem os dentes ao longo do tempo. A ingestão contínua de açúcares livres, a exposição insuficiente ao flúor e a remoção inadequada da placa bacteriana pela escovação podem levar à cárie dentária, dor e, às vezes, a infecção e perda do dente. Para a prevenção das cáries, a escovação dos dentes é apenas um dos meios de higienização, além disso é necessário o uso do fio dental. (Salud bucodental, 2022).

De maneira geral, o fio dental é usado para remover a placa bacteriana e outros resíduos que ficam agarrados entre os dentes, onde as cerdas de escova de dentes não alcançam. O fio dental também é responsável por promover a limpeza da

região subgengival, que também não é atingida pela escovação simples. (Odontoclinc 2021).

Por ser uma ferramenta fundamental para realizar a limpeza bucal completa, o fio dental é capaz de trazer uma série de benefícios para a saúde das pessoas. Para prevenir doenças periodontais, por exemplo, é uma das principais ferramentas. Isso ocorre pois o fio dental impede o acúmulo de restos alimentares entre os dentes. (Salud bucodental, 2022).

O fio dental é uma invenção muito antiga. Restos de suposto fio dental foram encontrados entre os dentes de humanos pré-históricos. O inventor do fio dental moderno foi um dentista de Nova Orleans, Levi Spear Parmly (1790-1859), que criou o primeiro exemplar com um fio de seda em 1815. Em 1882, uma empresa de Massachusetts, a Codman an Shurtleft Company, começou a fabricar o produto em escala industrial, mas a patente só saiu em 1889, e foi para a Johnson & Johnson, que se mantém no ramo até hoje (FERRARI, Márcio).

Os dispensadores são dispositivos que servem para armazenar substâncias e itens descartáveis facilitando o consumo deste material pelas pessoas que circulam por aquele ambiente. São acessórios feitos geralmente de plástico ou aço inoxidável e fixados em paredes e superfícies de fácil visualização e uso, são fundamentais para a rotina em locais públicos. (SuperProBettanin, 2021) As suas vantagens são:

- Facilitam a higienização de mãos e superfícies. Exemplo: dispensadora de álcool em gel;
- Podem reduzir e evitar o desperdício e consumo desenfreado de produtos;
- Tem ótima durabilidade e baixa manutenção;
- São abastecidos com praticidade e rapidez.

A máquina dispensadora de fio dental, é geralmente instalada em locais públicos como escritórios, indústrias, restaurantes, universidades, órgãos governamentais, consultórios, laboratórios, hospitais e outros. Seu mecanismo exclusivo de corte automático implica em benefícios como: evitar desperdícios e evitar que o fio dental fique exposto, protegendo-o de contaminação (Wesco).

Figura 1: Exemplo de *dispenser* de fio dental.

Fonte: Wesco facilidade e bem-estar.

Por essa razão, esse projeto tem como objetivo finalizar o desenvolvimento prévio de um protótipo para uma máquina dispensadora de fio dental.

Para atingir esse propósito, foi desenvolvido um sistema eletrônico microcontrolado, que permite controlar as partes móveis de um sistema para dispensar uma quantidade controlada de fio dental. Para que isso aconteça, esse sistema começa o processo para o corte do fio dental quando o botão é pressionado, e após alguns segundos o fio dental é dispensado ao usuário. Para se alcançar esse resultado, foi utilizado um sensor ultrassônico para medir o tamanho do fio dental, um motor DC que controla o movimento dos trilhos e uma pinça robótica que leva o fio dental até o local da máquina onde será realizado o corte.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo foi destinado para apresentar os principais conceitos teóricos para um melhor entendimento do desenvolvimento deste trabalho.

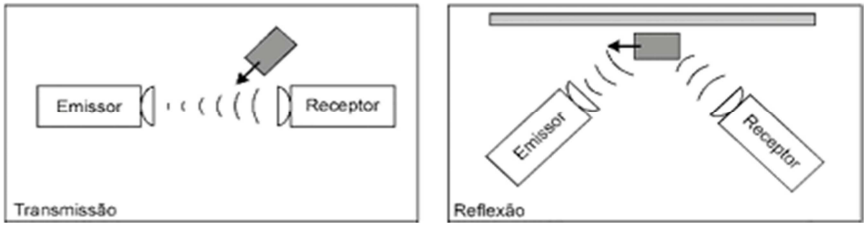
2.1 Sensores ultrassônicos

Sensores ultrassônicos são frequentemente usados em tarefas de automação para medir distâncias, mudanças de posição, medição de nível, como detectores de presença ou em aplicações especiais, por exemplo, ao medir a pureza de um material transparente. Esses sensores são baseados no princípio de medição do tempo de propagação das ondas ultrassônicas, esse princípio garante que a detecção seja confiável independente da reprodução de cores do objeto ou do *design* e do tipo de superfície. (L. Koval, 2016, p.153)

Como são sensores que podem ser conectados via interface de comunicação ao computador, é possível definir parâmetros detalhados de toda a faixa de operação do sensor e distância medida entre o sensor e um obstáculo. (L. Koval, 2016, p.153)

Sinais ultrassônicos são como ondas de som audíveis, porém com frequências muito mais altas. Os transdutores (sensores) ultrassônicos têm cristais piezoelétricos que ressonam a uma frequência desejada e convertem energia elétrica em energia acústica e vice-versa. As ondas sonoras são transmitidas e refletidas na forma de um cone de um objeto para o transdutor, conforme ilustrado na figura 2. Exige-se uma distância mínima do sensor para prover um atraso no tempo de forma que os “ecos” possam ser interpretados (THOMAZINI, 2020, p.21).

Figura 2:Transmissor/receptor ultrassônico.



Fonte: Sensores industriais (2020, p. 21)

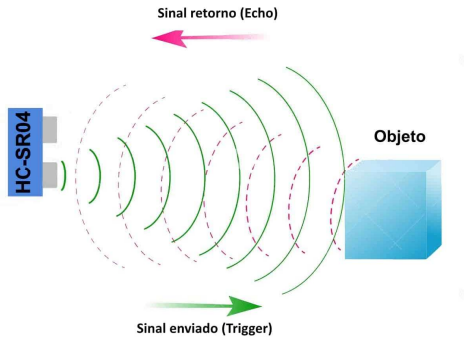
2.1.1 Sensor ultrassônico HC-SR04

O sensor ultrassônico HC-SR04, geralmente, é utilizado para medir distâncias unidimensionais. O microcontrolador envia um pulso *trigger* com duração de aproximadamente 10 μs para o sensor. Em seguida, o transmissor do sensor envia um sinal de 8 pulsos a 40 kHz em direção ao objeto que se deseja saber a distância. O sensor tem um pino nomeado como *Echo*, a partir do momento em que é enviado o sinal, esse pino altera para o valor HIGH, quando o sinal retorna e é captado pelo receptor do sensor, o pino *Echo* muda para LOW. O microcontrolador contará o tempo em que o sinal do pino *Echo* fez a transição de HIGH para LOW, sendo esse o valor do tempo de emissão e recebimento do sinal do pino *Echo* permanece em HIGH após o pino *trigger* ter sido alocado em nível alto (WJ componentes). Esse valor de tempo é utilizado para o cálculo da distância conforme é mostrado na equação 1.

$$D = (T_{echo}.v)/2 \quad (1)$$

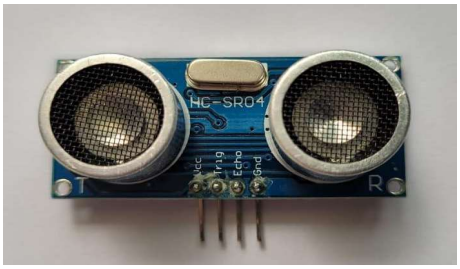
Como a onda se propaga pelo ar, no cálculo será considerada a velocidade do som (340 m/s). A equação da distância é dividida por 2 pois no tempo é considerado o tempo de ida e volta do sinal, e para o cálculo da distância somente a ida do sinal é considerada. A velocidade do som está em metros por segundo [m/s], conforme foi descrito anteriormente, contudo, o tempo calculado pelo sensor está em microssegundos [µs] então é necessário converter a velocidade de [m/s] para [cm/s], logo, o valor da velocidade utilizado após realizada as conversões é de 0,034 cm/μs. Na figura a seguir, está exemplificado o princípio de funcionamento do sensor (GARRIDO, 2020).

Figura 3: Princípio de funcionamento do sensor HC-SR04.



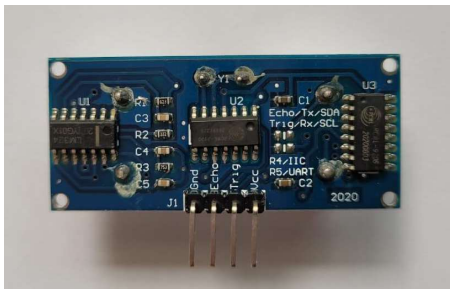
Fonte: Thomsen Adilson (2011).

Figura 4: Parte frontal sensor HC-SR04.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 5: Parte traseira do sensor HC-SR04.

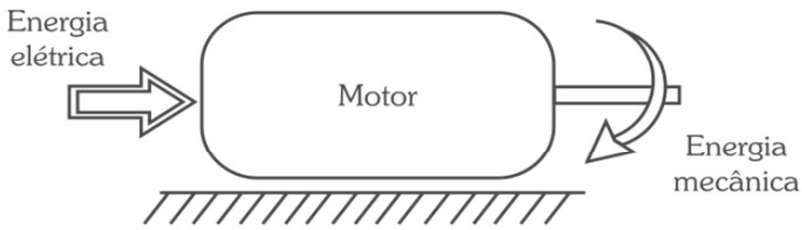


Fonte: Autoria própria (2023).

2.2 Motores elétricos

O motor elétrico é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica, usualmente disponibilizada em um eixo de rotação, conforme ilustrado na figura 5.

Figura 6: transformação de energia no motor.



Fonte: Motor de indução (2013, p.15)

A ação motora é aproveitada no acionamento de diversos tipos de máquinas e equipamentos, que podem ser classificados nos seguintes grupos:

1. Transporte de fluidos incompressíveis;

2. Transporte de fluidos compressíveis;
3. Processamento de materiais metálicos;
4. Processamento de materiais não metálicos;
5. Manipulação de cargas;
6. Transporte de cargas e de passageiros;

É possível notar que o motor elétrico é a máquina mais amplamente usada na indústria, no meio rural, no comércio, nos serviços e nas residências. Isso se deve às qualidades inerentes da energia elétrica, ou seja, trata-se um uma energia limpa, de baixo custo e de fornecimento instantâneo. Existe uma grande variedade de modelos de motores, de potência baixa na faixa de miliwatts, até potências de milhares de quilowatts. Suas características operacionais atendem a quaisquer tipos de cargas, aliadas a um alto rendimento na transformação de energia. A sua instalação e manutenção são, na maioria das vezes simples. É uma máquina extremamente segura, são raríssimos os acidentes envolvendo motores elétricos, desde que estejam devidamente instalados e acoplados em seus destinos de uso (FILHO, 2013, p.16).

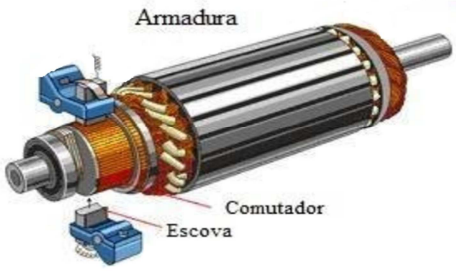
Existem diversos tipos de motores elétricos, os quais são divididos em duas grandes famílias. A primeira é a família dos motores acionados por corrente contínua (motores CC). A segunda família é a dos motores acionados por corrente alternada (motores CA) (FILHO, 2013, p.16).

2.2.1 Motor CC (corrente contínua)

O motor de corrente contínua é o mais tradicional conversor rotativo de energia elétrica, o qual atingiu as características construtivas finais já no último quarto do século XIX. A estrutura básica de um motor de corrente contínua convencional tem duas partes físicas distintas, que são associadas a dois circuitos elétricos de funções bem específicas, o estator e o rotor (RIBEIRO, 2015).

Na figura a seguir, pode-se observar o estator, que aloja os polos indutores, chamados assim por induzirem tensão nas bobinas do rotor. Na sequência tem-se o rotor (ou armadura, como também é conhecido), no qual são acomodadas as bobinas associadas à conversão de energia ou as que geram o movimento e, em uma das extremidades da armadura, é acomodado também o comutador com as escovas. (RIBEIRO, 2015).

Figura 7: Construção básica de um motor de corrente contínua.



Fonte: Adaptado de Motores de Imãs permanentes (2015).

Também conhecido como motor DC – sigla que se refere ao seu nome em inglês: *Direct Current Motor*. Trata-se de um tipo de máquina de corrente contínua (MCC) que converte energia elétrica em energia mecânica.

Esse motor elétrico rotativo consegue variar a velocidade de equipamentos industriais em uma ampla faixa, com a intensidade da corrente sendo alterada com aplicando uma tensão variável de alimentação. (CRAVO, Edilson).

Um exemplo de motor DC é o micromotor DC N20 com redução, que é um motor de tamanho pequeno com engrenagens finas responsáveis pela redução de rotação (Curto Circuito). Por ser de pequeno porte e leve, foi escolhido para ser usado nesse projeto.

Figura 8: Motor DC N20

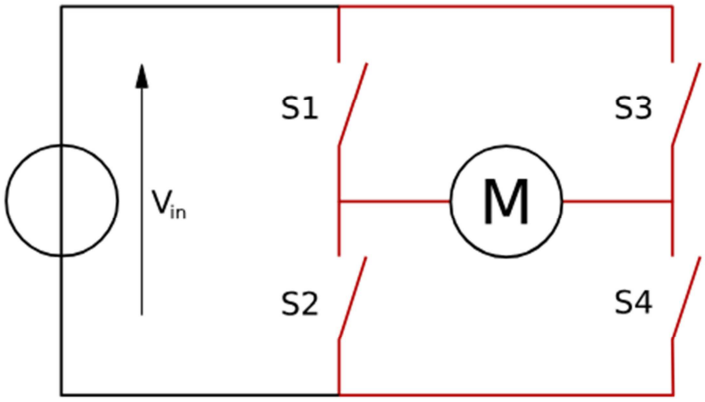
Fonte: Micromotor DC N20 com redução – 3V 60RPM

2.2.2 Ponte H

Para que um motor rotacione, basta alimentar seus terminais com uma fonte apropriada. Porém, para selecionar o sentido de rotação do motor é necessário inverter a polaridade de alimentação do motor. Por essa razão é usada a ponte H, que consiste em um circuito capaz de ajustar a quantidade de energia enviada a um componente, sendo capaz também de inverter rapidamente a sua polaridade

(OSHIMA, 2022). As pontes H mais comuns utilizam quatro transistores que, ao receber um sinal vindo do microcontrolador permitem a passagem de corrente para os terminais do motor, fazendo com que ele rotacione no sentido desejado. Seu acionamento é feito a partir do acionamento sequencial de quatro chaves. A figura 9 ilustra um circuito de ponte H simplificado tendo um motor M como carga.

Figura 9: Circuito ponte H



Fonte: Embarcados (2014).

Para realizar o acionamento deste circuito, é necessário que se tenha o controle das quatro chaves, um dos modos é ligar essas chaves nos terminais do microcontrolador através de um *driver* adequado ou C.I. que contenha o *driver* da ponte H ou com um circuito equivalente contendo como chaves o relé. (ALMEIDA, 2016).

2.2.3 Servo motor

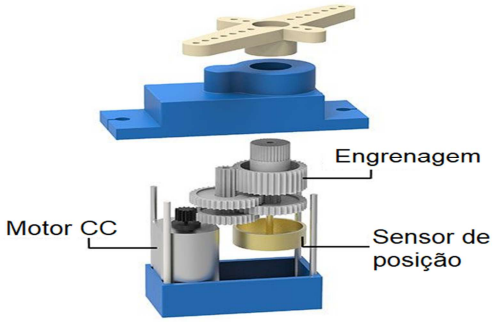
O servo motor é um atuador rotativo, ou atuador linear, que permite movimentar e controlar o posicionamento, aceleração e velocidade de sua posição angular, através de mudanças precisas em seu ângulo de rotação. Os servos motores trabalham com sensores para controle preciso do movimento. O controlador é a parte mais sofisticada do servo motor, pois é projetado para a máxima precisão angular e torque (GRACHTEN, 2022).

Os servos motores são uma combinação de peças específicas, que incluem um motor CC ou CA, e são adequados para uso em sistemas de controle de malha

fechada. As aplicações do servo motor incluem robótica, fabricação automatizada, aplicações de usinagem de controle numérico computadorizado e diversos *hobbies*.

Para a compreensão do funcionamento do motor, será utilizado como exemplo um servo motor composto por três componentes principais: um motor CC, um circuito controlador e um potenciômetro ou mecanismo de *feedback* semelhante. O motor CC é conectado a uma caixa de engrenagens e eixo de saída/transmissão para aumentar a velocidade e torque do motor. O motor CC aciona o eixo de saída, o circuito controlador interpreta os sinais enviados pelo controlador e o potenciômetro atua como *feedback* para o circuito controlador monitorar a posição do eixo de saída. A maioria dos servos motores têm um conector padrão de três pinos para alimentar e controlar o servo e, quando combinados, permitem controlar a direção, velocidade e posição do eixo de saída com apenas três fios. A figura a seguir representa os componentes do servo motor (GRACHTEN, 2022).

Figura 10: Componentes do servo motor.



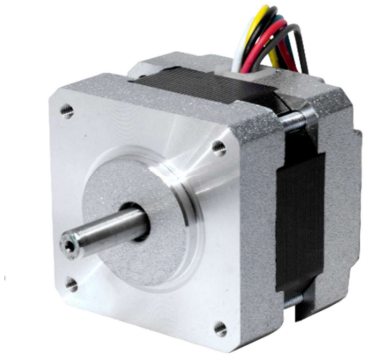
Fonte: Servo motor – o que é e como funciona.

2.2.4 Motor de passo

Os motores de passo são dispositivos eletromecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas. O rotor ou eixo de um motor de passo é rotacionado em pequenos incrementos angulares, denominados “passos”, quando pulsos elétricos são aplicados em uma determinada sequência nos terminais deste. A rotação de tais motores é diretamente relacionada aos impulsos elétricos que são recebidos, bem como a sequência a qual tais pulsos são aplicados reflete diretamente na direção a qual o motor gira. A velocidade que o rotor gira é dada pela frequência de pulsos recebidos e o tamanho do ângulo rotacionado é diretamente relacionado com o

número de pulsos aplicados. A figura 10 apresenta um exemplo de motor de passo (Metrópole Digital).

Figura 11: Motor de passo nema 17.



Fonte: Techmakers.

O motor de passo é uma boa opção quando movimentos precisos são necessários. Podem ser aplicados onde é necessário controlar vários fatores como: ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo. O ponto forte do motor de passo não é a sua força (torque), tampouco sua capacidade de desenvolver altas velocidades – ao contrário da maioria dos outros motores elétricos – mas sim a possibilidade de controlar seus movimentos de forma precisa. Por conta disso este é amplamente usado em impressoras, *scanners*, robôs, câmeras de vídeo, brinquedos, automação industrial entre outros dispositivos eletrônicos que requerem precisão (Metrópole Digital).

Para o seu correto funcionamento, os motores de passo necessitam de um dispositivo eletrônico de controle formado por um microcontrolador e um circuito chamado *driver* que alimenta o motor e supre as suas necessidades de corrente elétrica. A figura a seguir mostra um exemplo de *driver* ponte H (SIMÕES, 2018).

Figura 12: Driver ponte H.

Fonte: Ponto da eletrônica.

Uma comparação entre os motores de passo e os motores DC pode ser feita considerando os seguintes aspectos: custo, complexidade, torque, eficiência e ruído, como pode ser observado na tabela a seguir:

Tabela 1: Comparação entre motores de passo e motores DC

Aspecto	Motor de passo	Motor DC
Custo	Mais caro	Mais barato
Complexidade	Mais complexo	Mais simples
Torque	Maior torque em baixas velocidades	Menor torque em baixas velocidades
Eficiência	Menos eficiente	Mais eficiente
Ruído	Mais ruidoso	Menos ruidoso

Fonte: Adaptado de PMR2560 – Robótica Motores Elétricos

Levando em consideração os aspectos de custo, complexidade e eficiência, nesse projeto foi utilizado o motor DC.

2.3 Regulador de tensão

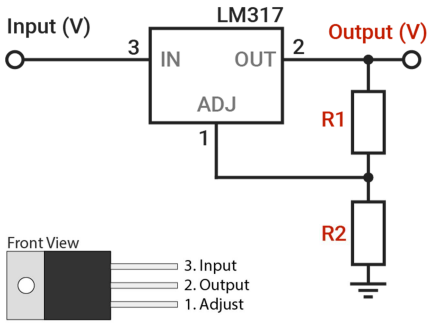
A regulação de tensão em um sistema de alimentação pode ser realizada por meio de um dispositivo elétrico ou eletrônico denominado regulador de tensão. Existem diferentes tipos de reguladores de tensão, como reguladores de tensão fixa e reguladores de tensão variável. Estes são novamente subdivididos em vários tipos como reguladores de tensão, reguladores eletromecânicos, reguladores lineares de tensão, reguladores de tensão DC regulares (LM317), reguladores híbridos entres outros (Blog Raisa, 2023).

A série LM117/317 de reguladores de tensão positiva ajustáveis de 3 terminais é capaz de fornecer mais de 1,5 A em uma faixa de saída de 1,2V até 37V. São fáceis de utilizar e exigem apenas dois resistores externos para definir a tensão de saída. Além disso, a regulação da linha e da carga é melhor do que dos reguladores fixos padrão. Além disso, o LM117 é embalado em pacotes de transistor padrão, que são facilmente montados e manuseados. Além do desempenho superior

ao dos reguladores fixos, a série LM117 oferece proteção superior ao dos reguladores fixos, a série LM117 oferece proteção total contra sobrecarga, disponível somente em CIs. O *chip* inclui limite de corrente, proteção contra sobrecarga térmica e proteção de área segura. Todos os circuitos de proteção contra sobrecarga permanecem totalmente funcionais mesmo se o terminal de ajuste for desconectado (Docsity, 2008).

O CI LM317 é um regulador de tensão com valor de saída ajustável pelos resistores R1 e R2. Para isso, é utilizada uma calculadora que auxilia para encontrar os valores dos dois resistores (Daumeno). Na figura 13, foi apresentado a configuração do circuito, os detalhes podem ser visualizados na integra em seu *datasheet*.

Figura 13: Regulador de tensão LM317



Fonte: LM317 Calculator (Voltage Source).

2.4 Ambiente de desenvolvimento de *software*

Energia é uma plataforma de código aberto criada por Robert Wessels em janeiro de 2012 com o objetivo de levar a estrutura de *Wiring* e do Arduino para o LaunchPad baseado no MSP430 da Texas Instruments. O IDE Energia é multiplataforma e compatível com Mac OS, Windows e Linux. O Energia inclui um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) que tem sua base no Processing IDE (Processing – Wiring – Arduino – Energia). O Energia também é uma estrutura/camada de abstração portátil que pode ser usada em outros IDEs

populares. Utiliza um ambiente baseado em navegador da Web com o CCS da Cloud da Texas Instruments (Energia).

Energia começou a trazer a estrutura de fiação (*Wiring*) e Arduino para o MSP430 LaunchPad da Texas Instruments. A Texas Instruments desenvolveu *kits* contendo seus principais microcontroladores: LauchPad MSP430, MSP432x, TM4C, C2000, CC32xx e CC13xx. O LauchPad é uma placa de microcontrolador de baixo custo fabricada pela Texas Instruments. A versão mais recente do Energia é compatível com a maioria dos produtos ofertados (Energia).

Juntamente com o Energia, o LauchPad pode ser usado para desenvolver objetos interativos, recebendo entradas de uma variedade de interruptores ou sensores e motores. Os projetos de LaunchPad podem ser autônomos (executados somente na placa de destino, ou seja, no próprio LauchPad) ou podem se comunicar com o *software* executado no PC. Também é possível adicionar módulos sem fio que permitem a comunicação por meio de vários tipos de RF, incluindo *Wi-Fi*, NFC, *Bluetooth*, celular e vários outros. (Energia)

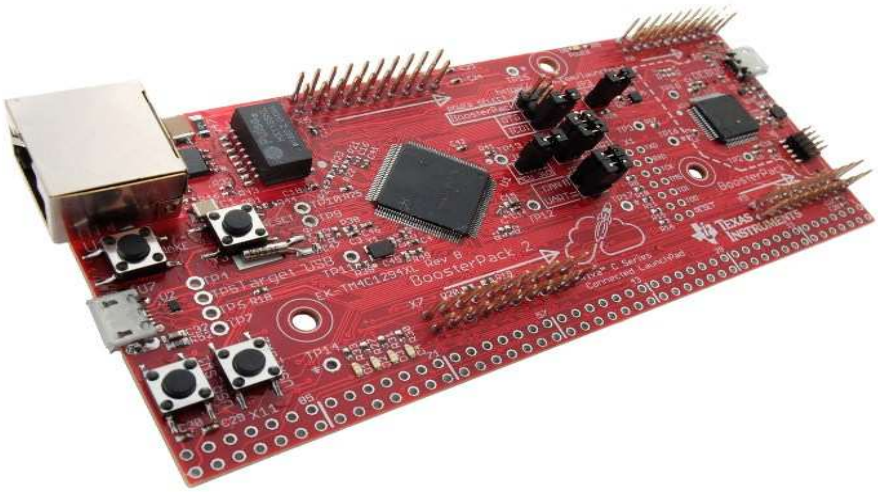
2.4.1 Kit de desenvolvimento microcontrolador EK-TM4C1294XL ARM Cortex-M4

Os microcontroladores da série Tiva C da Texas Instruments fornecem aos projetistas uma arquitetura de alto desempenho baseada em ARM Cortex-M com um amplo conjunto de recursos de integração e um forte ecossistema de *software* e ferramentas de desenvolvimento. Visando desempenho e flexibilidade, a arquitetura Tiva C series fornece um Cortex -M4 com *clock* configurável até 120 MHz com FPU, uma variedade de memórias integradas e vários GPIO programáveis. Os dispositivos Tiva, fornecem soluções econômicas, integrando periféricos específicos e fornecendo uma biblioteca abrangente de ferramentas de *software* que minimizam os custos da placa e o tempo de ciclo do projeto. (TI, 2014)

O processador ARM Cortex-M4F fornece uma plataforma de alto desempenho e baixo custo que atende aos requisitos do sistema de implementação mínima de memória, contagem de pinos reduzida e baixo consumo de energia, ao mesmo tempo que oferece excelente desempenho computacional e resposta excepcional do sistema a interrupções. (TI, 2014)

A figura a seguir, mostra uma visão geral do LauchPad.

Figura 14: EK-TM4C1294XL ARM Cortex-M4F imagem superior do kit.



Fonte: EK-TM4C1294XL ARM® Cortex®-M4F-Based MCU TM4C1294 Connected LaunchPad™ Evaluation Kit

3 DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento e testes do protótipo, foi utilizado um kit modelo eixo z para a estrutura mecânica, que é composto por 3 eixos sendo que em um dos eixos existe um acoplamento que permite o encaixe do motor DC, fazendo assim com que a estrutura se movimente da direita para a esquerda através da rotação do motor DC, uma pinça robótica que é controlada por um servo motor. O papel da pinça robótica é transportar o fio dental ao longo dos eixos para que seja feito o corte dele no fim dos trilhos. Já o sensor ultrassônico faz leituras de distância para saber se o sistema está no início ou no fim dos trilhos.

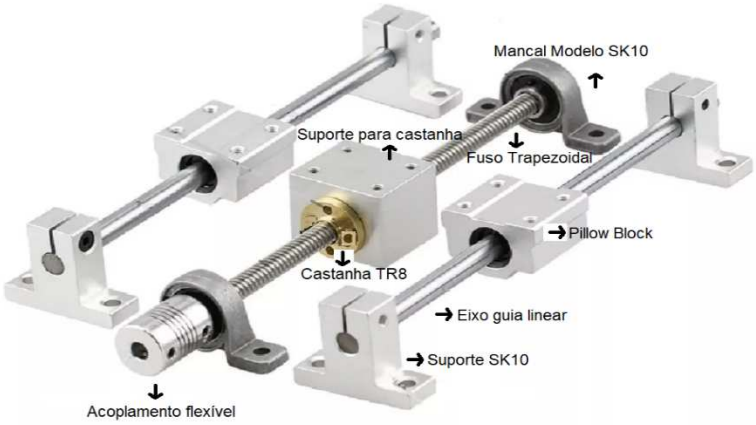
3.1 Estrutura mecânica

Para a montagem da estrutura, foi utilizado um kit modelo EIXO-Z-TR8/250x10. Esse kit usualmente é usado em máquinas CNC, que é um sistema que permite o controle de máquinas, sendo empregado principalmente em tornos e centros de usinagem. Uma das principais razões para o uso desse kit foi devido ao fato de que ele pode realizar várias operações com a mesma fixação de peça, minimizando erros de reposicionamento. O kit z é formado pelos seguintes componentes:

- Eixos Guia Linear 10mm x 250mm Temperado Cromado;
- 2 *pillows block* modelo SCS10UU com rolamento linear;
- Suportes modelo SK10 para eixos de 8mm;
- 2 Mancais modelo KP08 com rolamento;
- 1 Fuso trapezoidal TR8 250mm passo 8mm;
- 1 Castanha TR8 passo 8mm em metal com flange;
- 1 Suporte para castanha TR8;
- 1 Acoplamento flexível Modelo 19/25 furos 6.35mm x 8mm

Na imagem 15, são apresentados os componentes listados acima e seus respectivos nomes.

Figura 15: kit modelo eixo z



Fonte: Kit Eixo Z 12mm X 250mm+ 2 Scs12uu + Fuso Tr8 + Kp08 + Peças.

Para que os componentes ficassem na configuração desejada, foi utilizado o *software* Corel Draw para o projeto da base e dos demais componentes, conforme ilustrado nas figuras 16, 17 18 e 19.

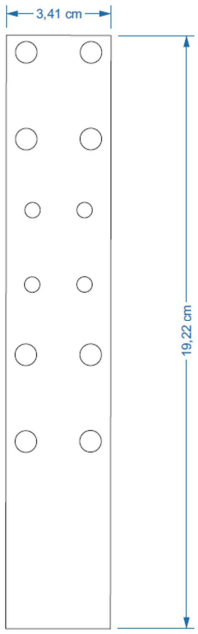
Figura 16: Suporte base para o eixo z.

Fonte: Autoria própria (2023).

Essa base, foi feita nas especificações acima em madeira MDF, com 3mm de espessura, assim como todos os componentes que serão listados a seguir para a estrutura mecânica do projeto.

Foi desenvolvido um anteparo que foi parafusado sobre o suporte para castanha e os dois *pillow block*, conforme exibido pela ilustração a seguir.

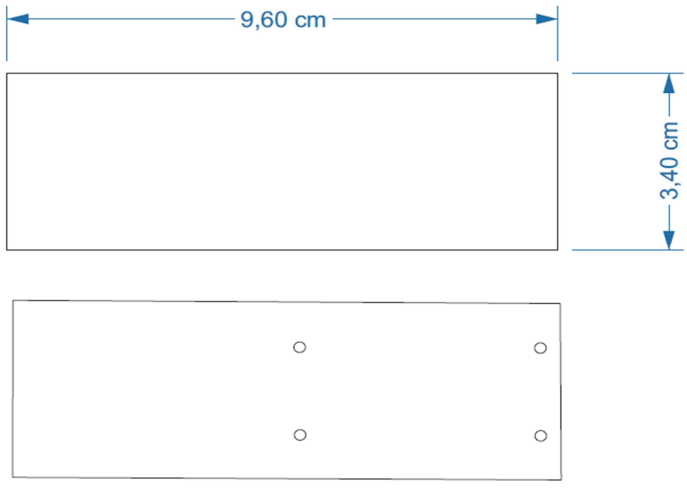
Figura 17: Anteparo



Fonte: Autoria própria (2023).

O sensor de ultrassom HC-SR04 utiliza de uma barreira/obstáculo para que a distância seja medida, por essa razão, foram projetados dois anteparos, um onde o sensor fica posicionado para realizar as medições, acoplado na base de forma fixa, e outro anteparo, que tem como intuito ser essa barreira para que o sensor realize as medições acoplado ao *pillow block*, para poder se movimentar e servir de referência para o sensor de ultrassom medir a distância. A figura 18 exibe esses dois anteparos.

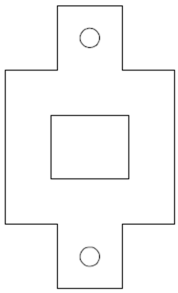
Figura 18: Suporte para o sensor de ultrassom.



Fonte: Autoria própria (2023).

O suporte para o motor DC, foi reaproveitado do projeto anterior da máquina dispensadora, o MDF desse suporte tem 6mm de espessura.

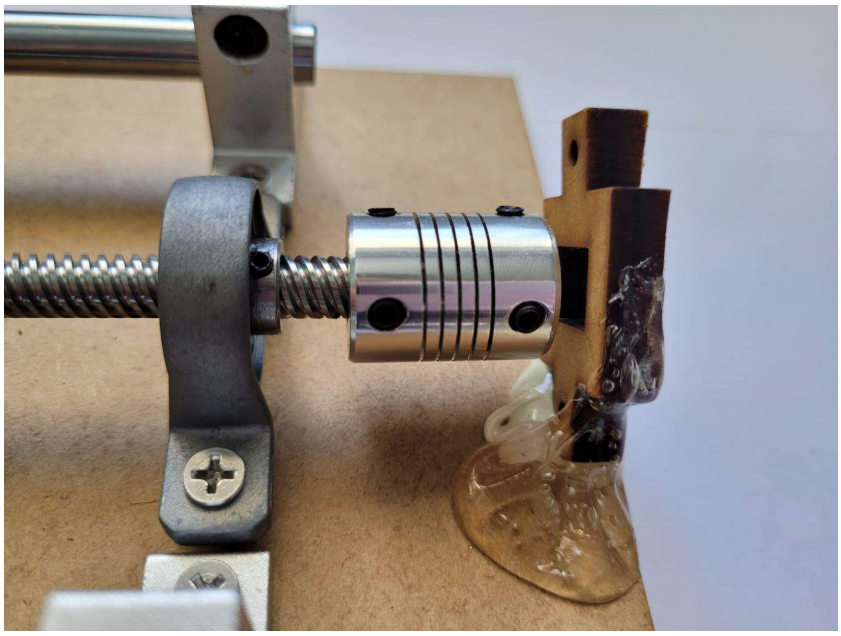
Figura 19: Suporte para o motor DC.



Fonte: Autoria própria (2023).

Para que as peças ficassem na disposição desejada, foi utilizada cola Epóxi, pois ela proporciona uma aderência com alta resistência. Na figura 20, é mostrado o resultado da colagem do suporte do motor DC sobre a base onde fica o kit eixo z.

Figura 20: Detalhe da colagem do suporte para o motor DC.



Fonte: Autoria própria (2023).

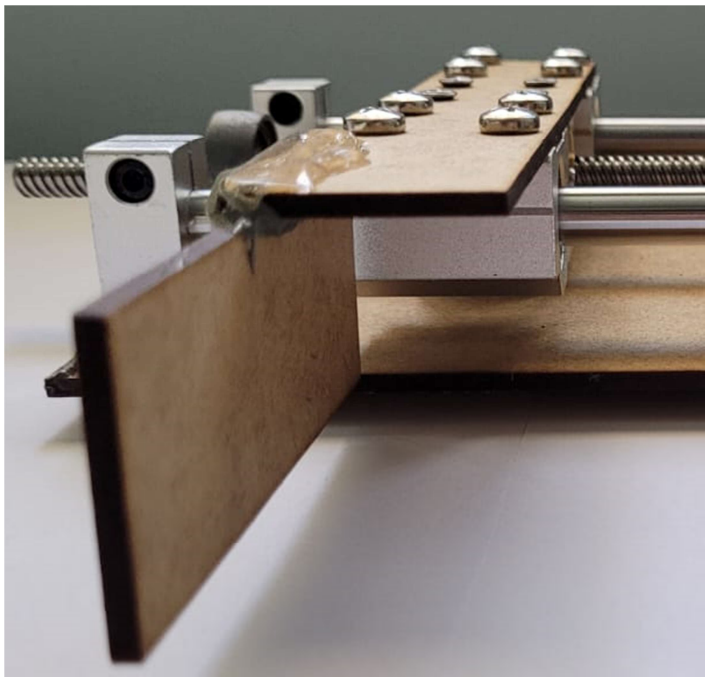
Na imagem 21, é possível observar o anteparo do sensor ultrassônico, com o sensor já preso através de parafusos.

Figura 21: Anteparo com o sensor ultrassônico.

Fonte: Autoria própria (2023).

Já na imagem 22, pode-se observar o anteparo utilizado como obstáculo para o sensor ultrassônico.

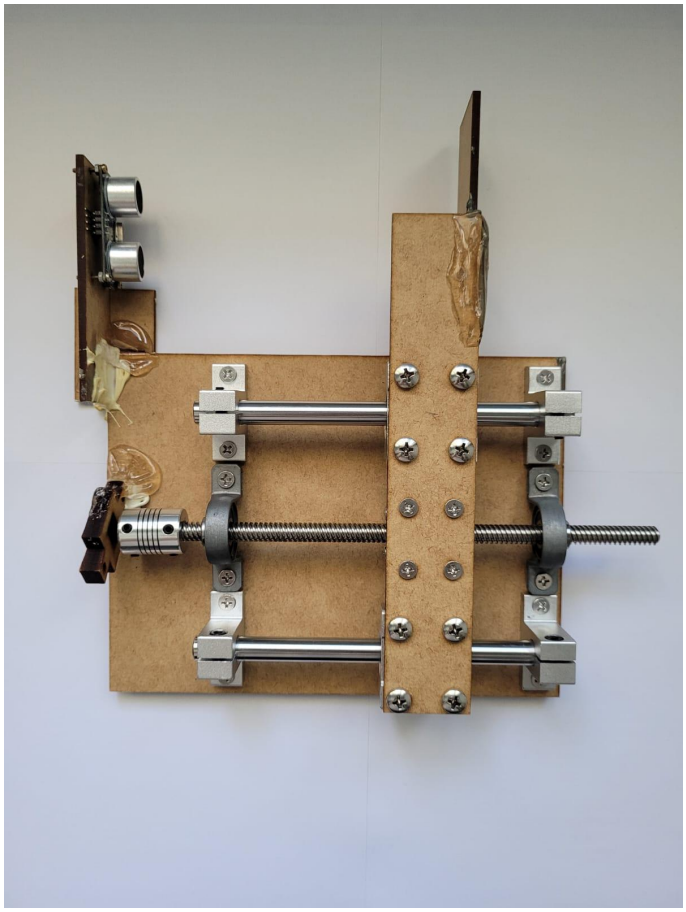
Figura 22: Anteparo usado como obstáculo.



Fonte: Autoria própria (2023).

A visão geral da estrutura mecânica com os anteparos e suportes citados anteriormente pode ser observada na figura 23.

Figura 23: Visão superior geral.



Fonte: Autoria própria (2023).

3.2 Circuito

A lista de componentes eletrônicos utilizados nesse projeto foi a seguinte:

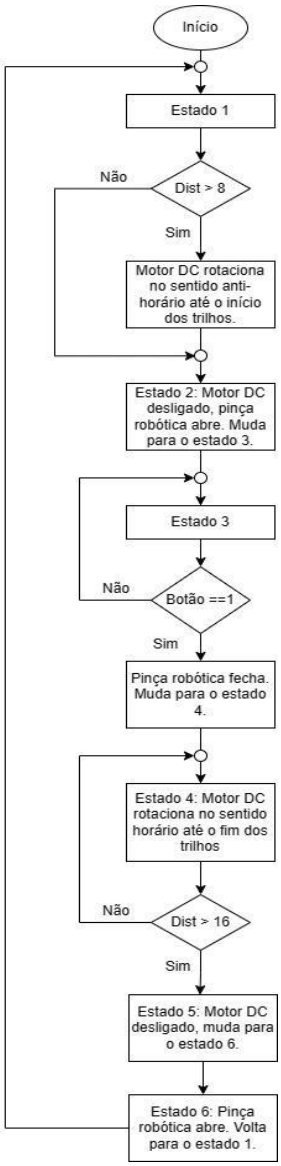
- 1 sensor ultrassônico HC-SR04;
- 1 motor DC modelo N20 com caixa de redução;
- Kit garra pinça robô 3D *printed* + Servo motor Futaba S3003;
- Módulo LM317 regulador de tensão;
- Fonte 12V;
- Módulo para acionamento de motores DC MX1616;
- Microcontrolador EK-TM4C1294XL ARM Cortex-M4.

O sensor ultrassônico opera com 5V, essa tensão pode ser fornecida pelo kit LauchPad ou pela fonte de alimentação de 12V. O módulo de acionamento de motores DC MX1616 em conjunto com a fonte de 12V e o regulador de tensão

ajustável foram responsáveis pelo controle do motor DC. O módulo LM317 possui uma corrente máxima de saída de 1,5A, e é capaz de fornecer tensões de saída ajustáveis entre 1,25V e 37V, em sua entrada foi conectada a fonte de 12V, para que em sua saída fosse fornecida a tensão de 6V, sendo essa a tensão que o servo motor utilizou para seu funcionamento.

Para o funcionamento do *software* que comanda a máquina dispensadora, foi desenvolvida uma máquina de estados finita com 6 estados. A figura a seguir exibe o fluxograma.

Figura 24: Fluxograma



Fonte: Autoria própria (2023).

Estado 1: quando a máquina dispensadora inicia, o sensor ultrassônico mede qual a distância atual; se a distância for maior do que 8 centímetros, o servo

motor abre a pinça robótica, em seguida o motor DC rotaciona no sentido anti-horário até que a distância seja igual a 8 cm. Se os trilhos já estiverem na posição inicial, ou seja, se a distância for menor ou igual a 8, muda para o estado 2.

Estado 2: é verificado se a mesa se encontra na posição inicial através do sensor ultrassônico, se a mesa estiver na posição inicial, o motor DC permanece desligado e a pinça robótica que é controlada pelo servo motor abre.

Estado 3: a máquina dispensadora aguarda que o botão seja pressionado para que seja iniciado o corte do fio dental. Quando o botão é pressionado, a pinça robótica fecha e muda para o estado 4.

Estado 4: o motor DC começa a rotacionar, dessa vez no sentido horário, até que o sensor ultrassônico meça uma distância de 16 centímetros, ao ser feita essa leitura de distância, muda para o estado 5;

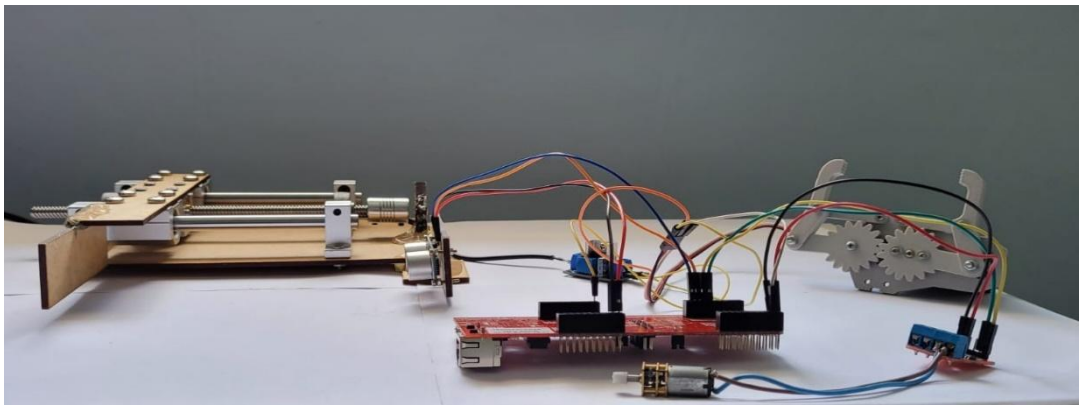
Estado 5: o motor DC é desligado, pois os trilhos estão na posição final, em seguida o estado é alterado para 6.

Estado 6: é acionado um servo motor auxiliar para cortar o fio, após o corte pinça robótica abre para que o fio dental seja liberado, e retorna para o estado 1.

3.2.1 PCB (Placa de circuito impresso)

Inicialmente, a conexão dos componentes eletrônicos foi feita através de *jumpers* que eram conectados nos pinos do LauchPad, conforme pode ser visto na figura 25.

Figura 25: Montagem do circuito.



Fonte: Autoria própria (2023).

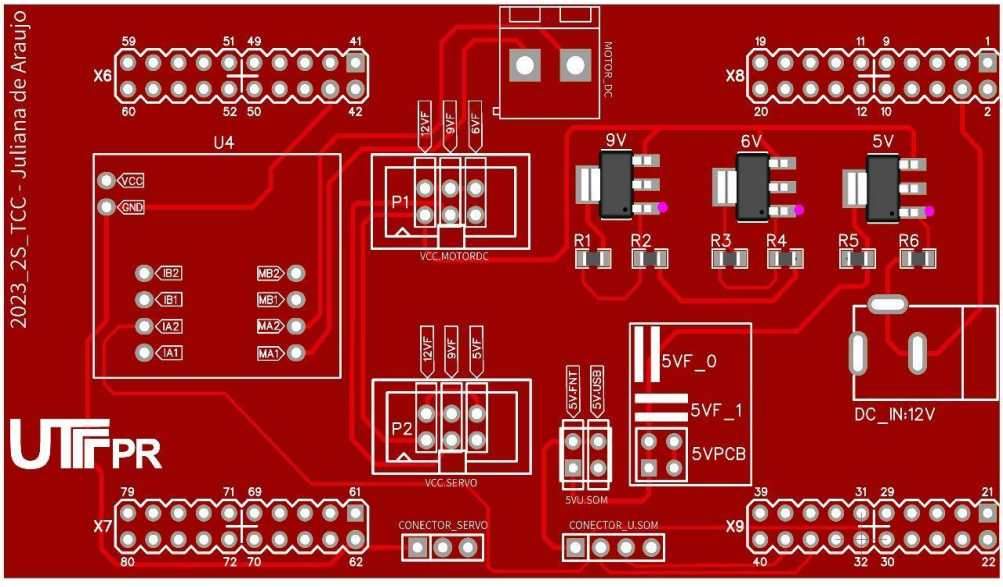
Somente como prova de conceito e assim que validado, foi incluído no PCB final do projeto.

O *layout* de PCB é o desenho da disposição espacial e do posicionamento físico dos componentes e das ligações das placas de circuito impresso. O PCB facilita a identificação dos números de pinos e das ligações que trabalham simultaneamente na área da placa e definem as dimensões e áreas de conexão entre circuitos, com informações detalhadas de *design* (GOUVEA, Marcelo).

O *layout* de PCB foi desenvolvido com o auxílio do *software* EasyEDA, a placa foi projetada para ser acoplada sobre o LauchPad. Na placa foram adicionados seletores de tensão para o motor DC, permitindo que ele possa rotacionar em velocidades diferentes de acordo com a tensão que é aplicada, essas tensões são de 5V, 9V e 12V, esse controle de tensão foi feito utilizando reguladores de tensão LM317. Também foi adicionado na placa um seletor de tensão para o servo motor, sendo possível escolher entre as tensões de 5V, 9V ou 12V.

O sensor ultrassônico HC-SR04 necessita de 5V para o seu funcionamento, e essa tensão pode ser fornecida diretamente pelo LauchPad ou através da fonte de alimentação, no PCB foi incluído um seletor que permite que uma dessas opções seja escolhida. A figura 26 mostra a parte frontal da placa de circuito impresso projetada para o presente projeto.

Figura 26: Visão frontal da placa de circuito impresso.



Fonte: Autoria própria (2023).

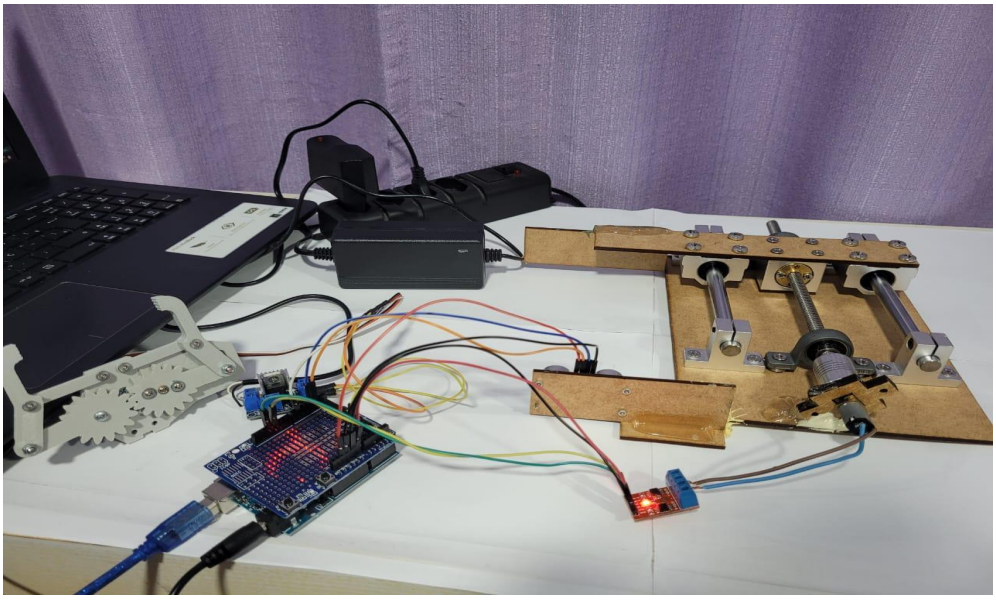
4 TESTES E RESULTADOS

4.1 Estrutura mecânica e circuito

Quando foram iniciados os testes para esse projeto, foi utilizado o Arduino Uno, um módulo controlador de *driver* DC Dupla L9110S H-Bridge motor de passo para Arduino para o controle do motor DC, um módulo LM317 regulador de tensão *step down* para o controle da tensão, além de uma fonte de alimentação de 9V para esse regulador que era responsável por fornecer a tensão do servo motor e um sensor de ultrassom HC-SR04. Para o botão, foi utilizado um dos pinos do Arduino, esse pino era ativado quando era feita a ligação entre ele e o GND. Também foi usada uma fonte de 12V para a alimentação do driver L9110S.

O primeiro protótipo desse projeto pode ser observado na figura 27.

Figura 27: Primeiro protótipo.



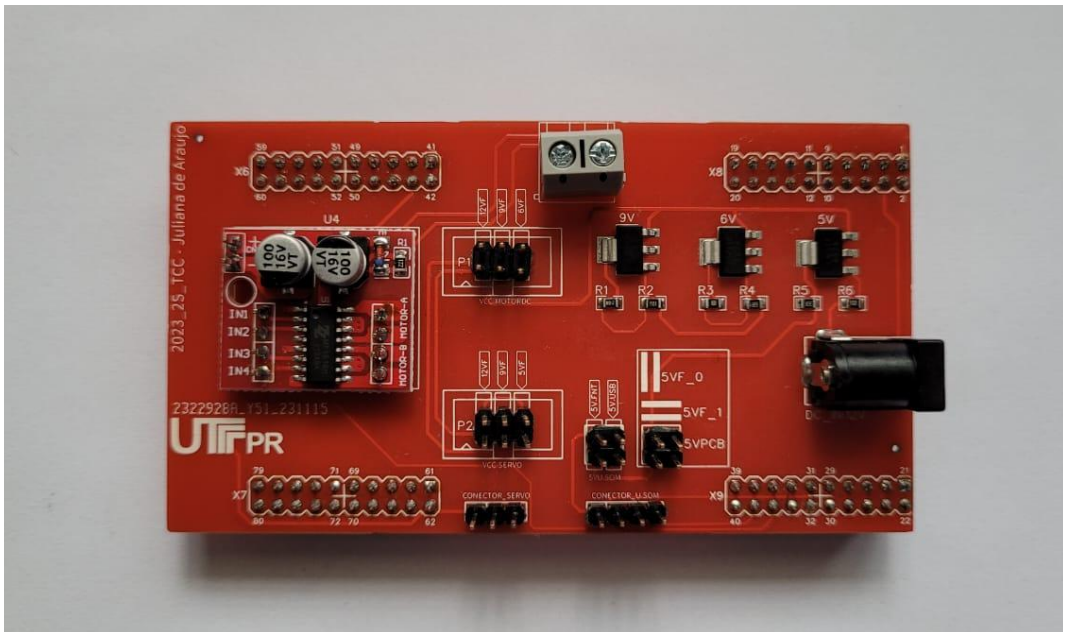
Fonte: Autoria própria (2023).

Com os componentes listados acima, a máquina dispensadora funcionou, entretanto, não seria possível utilizar o módulo controlador L9110S e o módulo LM317 *step down* no PCB. Além disso, foi feita a troca do Arduino Uno para o kit EK-TM4C1294XL ARM Cortex-M4 para que a máquina tivesse mais robustez. O controlador L9110S foi substituído pelo módulo MX1616. Esse módulo para acionamento de motores DC permite que até dois motores DC sejam acionados com

uma fonte externa. O C.I. MX1616 é composto por 2 estruturas de pontes H que permitem o acionamento de dois motores DC independentes (Loja Extreme Makers). O esquemático completo do circuito final está no apêndice A.

No PCB foi deixado um local para adicionar um conector Borne 2 vias para o motor DC, outra parte da placa reservada para a adição de um conector Jack P4 fêmea para conectar a fonte de alimentação de 12V, além de colocar pinos para o encaixe dos *jumpers* do sensor de ultrassom e do servo motor. Foi necessário criar o *footprint* do *driver* MX1616 para que a placa fosse fabricada com o espaço correto para esse *driver*. A placa com os componentes descritos anteriormente pode ser observada na figura 28.

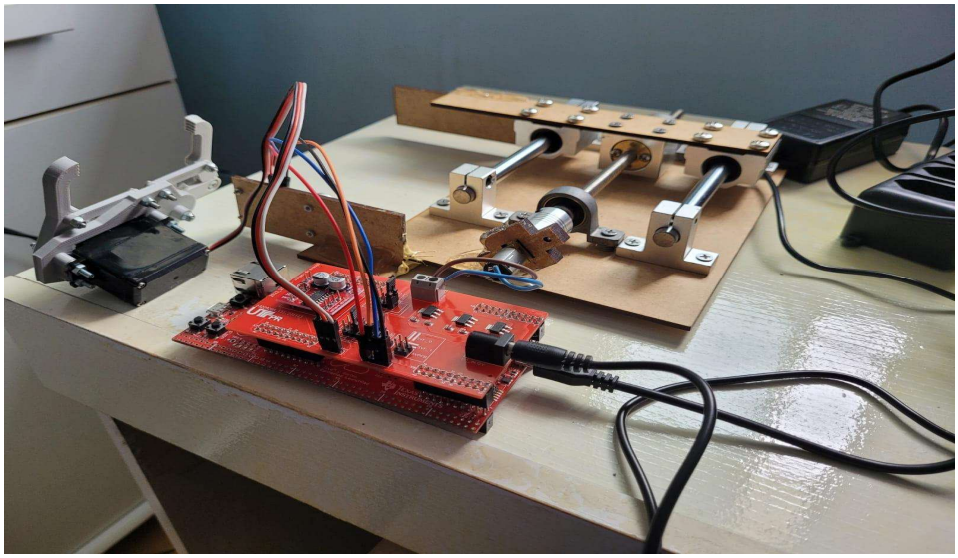
Figura 28: Placa PCB com os componentes.



Fonte: Autoria própria (2023).

A junção da placa PCB com a estrutura mecânica e com os componentes listados anteriormente, pode ser vista na figura 29.

Figura 29: Placa PCB em conjunto com a estrutura mecânica



Fonte: Autoria própria (2023).

Como o kit EK-TMAC1294 têm 2 botões, foi definido o botão PN1 para ser o botão responsável por indicar quando o usuário deseja utilizar a máquina dispensadora.

4.2 Software

O código completo do sistema pode ser visualizado no apêndice B. Somente alguns trechos de maior relevância serão abordados e detalhados a seguir.

Para evitar que fossem feitas leituras erradas da distância, foi criado um vetor com 3 posições para o cálculo médio da distância, como pode ser visto na figura 30. A função CalculaDistancia(TempoEcho), que retorna o cálculo da distância em milímetros é multiplicado por 100 para que a distância exibida esteja em centímetros.

Figura 30: Trecho do código para o cálculo da distância

```
dist_b[0]=dist_b[1];
dist_b[1]=dist_b[2];
dist_b[2]=CalculaDistancia(TempoEcho)*100;
dist=(dist_b[0]+dist_b[1]+dist_b[2])/3;
```

Fonte: Autoria própria (2023).

Também foi necessária a adição de *timers*, para que as tarefas pudessem ser realizadas em paralelo, para isso, foi utilizada a função *millis*() que retorna um número indicando há quantos milissegundos o microcontrolador está ligado. Assim, ao invés de pausar o sistema durante um tempo determinado usando a função *delay*(), foi utilizada a função *millis*() que calcula indiretamente o tempo decorrido (LARA, Silvio). Ao todo foram criados três *softwares timers* com o auxílio da função *millis*(): um *timer* para o LED que faz com que o LED acenda a cada 1,5 segundos, um *timer* para a porta serial que envia para o monitor serial as informações sobre a distância percorrida pelos trilhos, em qual estado a máquina está e qual o *flag* atual da mesa e um *timer* para o sensor ultrassônico que faz medidas de distância a cada 200ms.

Foram criadas 3 *flags* de *hardware,* para auxiliar na mudança de estados da máquina. Essas *flags* são para o LED, para a mesa(trilhos) e para o servo motor.

O servo motor Fubata, segundo informações contidas em seu *datasheet,* possui a capacidade de rotacionar até 180º, contudo, nesse projeto não houve a necessidade do motor rotacionar em sua capacidade máxima, pois a pinça robótica apresenta uma abertura suficientemente boa se a rotação for de 20º no seu valor mínimo e 90º em seu valor máximo, evitando dessa forma o aquecimento do servo motor. As funções utilizadas para a abertura e fechamento do servo motor podem ser visualizadas nas figuras 31 e 32.

Figura 31: Função para abertura do servo motor.

```
void Servo_Open()
{
pos=90;
s.write(pos);
}
```

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 32: Função para o fechamento do servo motor.

```
void Servo_Close()
{
pos=20;
s.write(pos);
}
```

Fonte: Autoria própria (2023).

5 CONCLUSÃO

No primeiro protótipo foram usadas engrenagens que eram responsáveis por conduzir o fio dental até o trecho da máquina onde seria realizado o corte do fio. Entretanto, o fio dental possui em sua composição um componente chamado cera microcristalina, que tem como função permitir o deslize do fio dental com maior facilidade, e essa cera acumulava nas engrenagens, o que acabou inviabilizando o projeto. Esse projeto de TCC visou resolver esse problema das engrenagens, substituindo as mesmas por trilhos e utilizando uma pinça robótica, que foi responsável por conduzir o fio dental até o fim dos trilhos para que fosse realizado o corte do fio dental, além de trocar o motor de passo por um motor DC aliado a um sensor ultrassom para medir o comprimento do fio que está sendo tracionado.

Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que o objetivo proposto por esse projeto foi atingido, ou seja, a substituição do motor de passo pelo motor DC e a troca das engrenagens por outro sistema. Além disso, foi adicionado ao protótipo um sensor ultrassônico que trabalha em conjunto com o motor DC, para indicar quando a máquina está no início ou no fim dos trilhos para que seja realizado o corte do fio dental. Dessa forma, os componentes eletrônicos usados baixaram o custo do projeto.

Contudo, o projeto está parcialmente concluído, pois não foi acoplado na máquina original, pois seria necessário um projeto mecânico de redução de custos e tamanho para isso e não está no escopo desse estudo fazê-lo.

5.1 Trabalhos Futuros

O primeiro ponto de aperfeiçoamento seria a finalização do projeto, adicionando a parte da máquina responsável pelo corte do fio dental. Outra possível melhoria para esse projeto, seria a substituição do uso do botão do microcontrolador por um sensor de presença, por exemplo, para que o corte do fio dental fosse realizado de forma automática e sem a necessidade de várias pessoas pressionando o mesmo botão, ajudando dessa forma na diminuição da propagação de bactérias presentes nas mãos.

Outra possível melhoria é a substituição do eixo z que foi utilizado nesse projeto por outro aparato que permitisse que os trilhos fossem percorridos de forma eficiente, e consequentemente isso também melhoraria o aspecto visual da máquina dispensadora.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA Rodrigo. **Ponte H com bootstrap para acionamento de motores DC**, 09 de setembro de 2014. Disponível em: https://embarcados.com.br/ponte-h-bootstrap-acionamento-motores-dc/#Ponte-H >. Acesso em: 17 dez. 2023.

ALMEIDA, Rodrigo de. **Programação de Sistemas Embarcados** - Desenvolvendo Software para Microcontroladores em Linguagem C. São Paulo: Grupo GEN, 2016. E-book. ISBN 9788595156371. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595156371/. Acesso em: 10 fev. 2023.

Aula 02 – Máquinas Elétricas: Máquinas de Corrente Contínua. Disponível em: <https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/58/2/2>. Acesso em 18 abr. 2023.

BRITO, Fábio. **Sensores e atuadores 1ª edição**. São Paulo: Editora Saraiva, 2019. E-book. ISBN 9788536531953. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536531953/. Acesso em: 26 abr. 2023.

CABRAL, Eduardo, **PMR2560 – Robótica Motores Elétricos.** Disponível em: < https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4228098/mod_resource/content/0/R6_Motores%20el%C3%A9tricos.pdf >. Acesso em 08 dez. 2023.

Conheça maneira correta de fazer a higiene bucal. Disponível em: <https://blog.odontoclinic.com.br/saude-bucal/higiene-bucal/>. Acesso em 08 jun. 2023.

CRAVO, Edilson. **Motor de corrente contínua: o que é, como funciona e vantagens.** Disponível em: < https://blog.kalatec.com.br/motor-corrente-continua/#:~:text=O%20motor%20de%20corrente%20cont%C3%ADnua%20escovado%20usa%20escovas%20met%C3%A1licas%20para,o%20uso%20e%20as%20manuten%C3%A7%C3%B5es. >. Acesso em 01 dez. 2023.

Dispensadores: o que são e por que investir? Disponível em: <https://superprobettanin.com.br/blog/dispensadores/>. Acesso em 08 jun. 2023.

Dispenser de Fio Dental | Wesco Facilidades e Bem-estar. Disponível em: <https://wesco.com.br/portfolio-view/dispenser-fio-dental/#:~:text=Seu%20mecanismo%20exclusivo%20de%20corte,%2C%20protegendo%2Do%20de%20contamina%C3%A7%C3%A3o.>. Acesso em: 12 fev. 2023

EK-TM4C1294XL ARM® Cortex®-M4F-Based MCU TM4C1294 Connected LaunchPad™ Evaluation Kit. Disponível em: <https://www.ti.com/tool/EK-TM4C1294XL#overview>. Acesso em 20 jun. 2023.

FERRARI, Márcio**. Quem inventou o fio dental? E o papel higiênico?** Disponível em <https://revistapegn.globo.com/Revista/Common/0,,ERT326998-17180,00.html>. Acesso em 30 jan. 2023.

FERREIRA Angelo L. **I08 – Como controlar motores DC com o Driver Ponte H – L9110 e Arduino.** Disponível em: <https://www.squids.com.br/arduino/index.php/projetos-arduino/projetos-squids/intermediario/305-i08-como-controlar-motores-dc-com-o-driver-ponte-h-l9110-e-arduino>. Acesso em: 20 jun. 2023.

FILHO, Guilherme F. **Motor de Indução.** São Paulo: Editora Saraiva, 2013. E-book. ISBN 9788536519999. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519999/. Acesso em: 14 nov. 2022.

GARRIDO, Diego. **Como Funciona um Sensor Ultrassônico? | HC-SR04.** Youtube, 02 de junho de 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Y8nSAxaPKCE&list=LL&index=1&t=8s&ab_channel=DiegoGarridoum >. Acesso em 03 fev. 2023.

GOUVEA Marcelo. **O que é um software de Layout de PCB?** Disponível em: < https://produza.ind.br/tecnologia/layout-de-pcb/#:~:text=facilitam%20a%20identifica%C3%A7%C3%A3o%20dos%20n%C3%BAmeros,com%20informa%C3%A7%C3%B5es%20detalhadas%20de%20design. >. Acesso em 30 nov. 2023.

GRACHTEN Eduardo. **Servo motor – o que é e como funciona.** Disponível em: https://www.linkedin.com/pulse/servo-motor-o-que-%C3%A9-e-como-funciona-eduardo-grachten/?originalSubdomain=pt. Acesso em 09 set. 2023.

Kit Eixo Z 10mm X 300mm Com Fuso Tr8 Suporte + Pillow + Comp. Disponível em < https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1944528637-kit-eixo-z-10mm-x-300mm-com-fuso-tr8-suporte-pillow-comp-_JM >. Acesso em 12 nov. 2023.

Kit Eixo Z 12mm X 250mm+ 2 Scs12uu + Fuso Tr8 + Kp08 + Peças. Disponível em: < https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2090049282-kit-eixo-z-12mm-x-250mm-2-scs12uu-fuso-tr8-kp08-pecas-_JM#position=9&search_layout=stack&type=item&tracking_id=6b7e5d62-160f-49cf-a60e-50ea11b16d05 >. Acesso em 30 nov. 2023.

L. Koval, J. Vaňuš, P. Bilík. Distance Measuring by Ultrasonic Sensor. Elsevier. Holanda, (153 - 158), 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316326623#cebibsec1>. Acesso em: 20 jun. 2023.

LARA, Silvio. **Substituindo delay por millis no Arduino.** Disponível em: < https://www.makerhero.com/blog/subtituindo-delay-por-millis-no-arduino/ >. Acesso em 08 dez. 2023.

LM117/LM317A/LM317 Terminal Adjustable Regulator. Disponível em: https://www.docsity.com/pt/lm317-digital-logic-design-and-electronics-lab-handout/160169/. Acesso em 26 nov. 2023.

LM317 Calculator (Voltage Source). Disponível em: https://daumemo.com/lm317-voltage-regulator-calculator-voltage-source/. Acesso em 26 nov. 2023.

Micro Motor DC N20 com redução – 3V 60RPM. Disponível em: < https://curtocircuito.com.br/micro-motor-dc-n20-com-reducao-3v-60rpm.html >. Acesso em 29 nov. 2023.

Módulo Controlador de Driver DC Dupla L9110S H- Bridge Motor de Passo Para Arduino. Disponível em: https://www.pontodaeletronica.com.br/modulo-controlador-de-driver-dc-dupla-l9110s-h-bridge-motor-de-passo-para-arduino.html. Acesso em 10 jul. 2023.

Módulo para acionamento de motores DC MX1616(1.5A). Disponível em: < https://loja.extrememakers.net/produto/modulo-para-acionamento-de-motores-dc-mx161615a.html >. Acesso em 07 dez. 2023.

Motor de passo Nema 17. Disponivel em: https://techmakers.fbitsstatic.net//media/Datasheet%20Motor%20de%20Passo%20Nema%2017%201.1Kgf.cm%20P-N-AK17-1.1F6LN1.8.pdf?origem=MediaCenter/Datasheet%20Motor%20de%20Passo%20Nema%2017%201.1Kgf.cm%20P-N-AK17-1.1F6LN1.8.pdf. Acesso em 02 mai. 2023.

OSHIMA, Luan. **Desenvolvimento de ponte H para acionamento de motor de corrente contínua com controle de velocidade.** Disponível em: < http://eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/644.pdf >. Acesso em 17 dez. 2023.

Regulador de Tensão LM317: O que é, Circuito e funcionamento, 27 de fevereiro de 2023. Disponível em: https://blog.raisa.com.br/regulador-de-tensao-lm317-o-que-e-circuito-e-funcionamento/. Acesso em 26 nov. 2023.

RIBEIRO, Dhiego. **Motores de Imãs Permanentes.** Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/324111993_Permanent_Magnet_Motors/link/5abe3cf245851584fa712313/download>. Acesso em 02 mai. 2023.

Salud bucodental. Disponível em: < https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/oral-health >. Acesso em 21 nov. 2023.

Sensor Ultrassônico de distância HC-SR04. Disponível em: < https://www.wjcomponentes.com.br/sensor-ultrassom >. Acesso em 17 dez. 2023.

SIMÕES, Haroldo. **Controlando um motor de passo com o Arduino**. Disponível em: < https://blog.moduloeletronica.com.br/controlando-um-motor-de-passo-com-o-arduino/ >. Acesso em 08 dez. 2023.

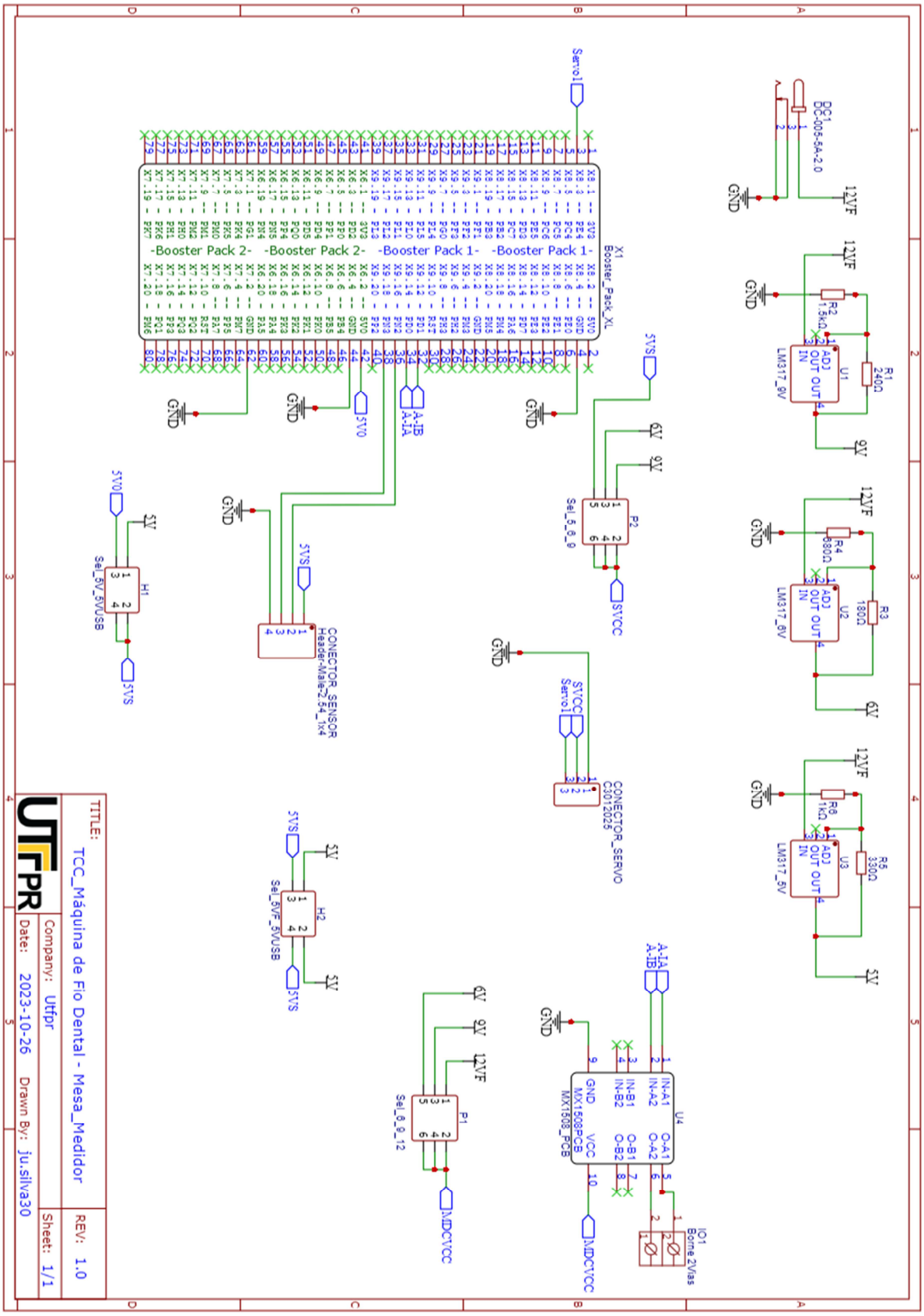
TEXAS INSTRUMENTS. Tiva™ TM4C1294NCPDT Microcontroller: DATA SHEET. 2014. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tm4c1294ncpdt.pdf?ts=1600349470636&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTM4C1294NCPDT> 1892 p. Acesso em 29 nov. 2023.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais**. São Paulo: Editora Saraiva, 2020. E-book. ISBN 9788536533247. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536533247/. Acesso em: 17 dez. 2023.

THOMSEM Adilson. **Como conectar o Sensor Ultrassônico HC-SR04 ao Arduino**. Disponível em: https://www.makerhero.com/blog/sensor-ultrassonico-hc-sr04-ao-arduino/. Acesso em: 20 jun. 2023.

What is Energia e how did it get started. Disponível em: < https://energia.nu/ >. Acesso em 12 nov. 2023.

APÊNDICE A – ESQUEMÁTICO DO PCB



APÊNDICE B – CÓDIGO DESENVOLVIDO PARA O PROJETO

```
#include <Servo.h> //INCLUSÃO DA BIBLIOTECA NECESSÁRIA

 #define LED_BUILTIN PN_1 //Led

const int pinoServo = PE_4; //PINO DIGITAL UTILIZADO PELO SERVO

Servo s; //OBJETO DO TIPO SERVO
int pos; //POSIÇÃO DO SERVO

const byte botao = PJ_0;

//motor A
const byte A_IA = PD_0 ; // Motor A Input A --> MOTOR A +
const byte A_IB = PD_1 ; // Motor A Input B --> MOTOR A -*/

//Sensor ultrasom
int PinTrigger = PN_2; // Pino usado para disparar os pulsos do sensor
int PinEcho = PN_3; // pino usado para ler a saida do sensor
float TempoEcho = 1000;
float dist; //valor inicial da mesa
float dist_b[3]={16,16,16}; //calculo médio da distância
const float VelocidadeSom_mpors = 340; // em metros por segundo
const float VelocidadeSom_mporus = 0.000340; // em metros por microsegundo

//Variáveis Softares Timers:
unsigned long timer_led, timer_serial, timer_ultrassom, timer_servo;

//HW Flags:
byte flag_led, flag_mesa, flag_servo;

//Máquina de Estados:
byte estado;

//Inicializa Pinos
void setup(){
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  pinMode(botao, INPUT_PULLUP);

  //Inicializa Sof.Timer e flag do Led;
  flag_led=0;
  flag_mesa=0;
  timer_led = millis();
  timer_serial = millis();
  timer_ultrassom = millis();
  estado = 1;   //1: Levar a mesa até a posição inicial
  //Motor DC
  pinMode(A_IA,OUTPUT); // motor A
  pinMode(A_IB,OUTPUT); // motor A

//Sensor ultrasom
  //Configura pino de Trigger como saída e inicializa com nível baixo
  pinMode(PinTrigger, OUTPUT);
  digitalWrite(PinTrigger, LOW);
  pinMode(PinEcho, INPUT); // configura pino ECHO como entrada

  // Inicializa a porta serial
  Serial.begin(9600);

  delay(100);
```

```
  //Servo motor
  s.attach(pinoServo); //ASSOCIAÇÃO DO PINO DIGITAL AO OBJETO DO TIPO SERVO
  s.write(0); //INICIA O MOTOR NA POSIÇÃO 0°
  Serial.println("Servo open setup ... Delay(5s)");
  Servo_Open();
  delay(5000);
  Serial.println("Servo close setup ... Delay(5s)");
  Servo_Close();
  delay(5000);
}

void loop(){

//Entra a cada 1,5s:
if (millis() >= timer_led)
   {
     timer_led = millis() + 1500; //Acende o led da placa a cada 1.5
segundos
     flag_led=!flag_led;
     digitalWrite(LED_BUILTIN, flag_led);
   }

//Entra a cada 1s:
if (millis() >= timer_serial)
   {
     timer_serial = millis() + 1000;
     Serial.print("Distancia em centimetros: ");
     Serial.print(dist);
     Serial.print(", o estado eh: ");
     Serial.print(estado);
     Serial.print(", o flag_mesa eh: ");
     Serial.print(flag_mesa);
     Serial.println("");
   }

//Leitura do Ultrassom:
if (millis() >= timer_ultrassom)
   {
     timer_ultrassom = millis() + 150; //Sensor faz leituras a cada 200m
segundos
     // Envia pulso para o disparar o sensor
     DisparaPulsoUltrassonico();
     // Mede o tempo de duração do sinal no pino de leitura(us)
     TempoEcho = pulseIn(PinEcho, HIGH);
     // aguarda um pouco antes de começar tudo de novo
     dist_b[0]=dist_b[1];
     dist_b[1]=dist_b[2];
     dist_b[2]=CalculaDistancia(TempoEcho)*100;
     dist=(dist_b[0]+dist_b[1]+dist_b[2])/3;
   }

//Início da máquina de estados

if (estado==1&&dist>=8&&(millis()>=timer_servo)) //Verifica se a mesa está
fora da posição inicial
   {
     Serial.println("Entrou no estado 1");
     //ligar o motor no sentido anti-horário:
     digitalWrite(A_IA, HIGH);
     digitalWrite(A_IB, LOW);
```

```
      flag_mesa=1; //mesa em movimento
      estado=2;
     // dist=16;
    }

if(estado==1&&dist<=8)
    {
      estado=2;
    }

if  (estado==2&&flag_mesa==1&&dist<=8)//Quando  a  mesa  estiver  na  posição
inicial
    {
      Serial.println("Entrou no estado 2A");
      // desliga o motor
      digitalWrite(A_IA, HIGH);
      digitalWrite(A_IB, HIGH);
      flag_mesa=0;    //mesa parada
      estado=3; //muda o estado para 3
      Servo_Open(); //pinça robotica aberta
  }

if(estado==3&&digitalRead(botao)==0) //Quando o botão é pressionado
    {

      Servo_Close();//pinça robotica fechada
      flag_mesa=0; //mesa parada
      estado=4;//muda para o estado 4
    }


if(estado==4&&flag_mesa==0&&dist<=8.1)
  {
      digitalWrite(A_IA,  LOW);  //motor  começa  a  rotacionar  no  sentido
horário até a distância ser menor q 8
      digitalWrite(A_IB, HIGH);
      flag_mesa=1; //mesa em movimento
      estado=5;
    }

if(estado==5&&flag_mesa==1&&dist>=16)
    {
     digitalWrite(A_IA, HIGH); //motor dc desligado
     digitalWrite(A_IB, HIGH);
     flag_mesa=0;
     estado=6;
    }
if(estado==6&&flag_mesa==0&&dist>=16)
    {
     Servo_Open();
     estado=1; //volta para o estado 1
     flag_mesa=0;
    }
}

// Funçao para enviar o pulso de trigger
void DisparaPulsoUltrassonico()
{
  // Para fazer o HC-SR04 enviar um pulso ultrassonico, nos temos
  // que enviar para o pino de trigger um sinal de nivel alto
  // com pelo menos 10us de duraçao
```

```
  digitalWrite(PinTrigger, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(PinTrigger, LOW);
}

// Função para calcular a distância
float CalculaDistancia(float tempo_us)
{
return((tempo_us*VelocidadeSom_mporus)/2);
}
void Servo_Open()
{
pos=90;
s.write(pos);
}

void Servo_Close()
{
pos=20;
s.write(pos);
}
```