

CORTADOR PARA TUBOS DE SILICONE

Gustavo de Oliveira Silva, Heloisa dos Santos Almeida, Vinícius Rodrigues Pereira,

Ivan de Pádua Ferreira

Faculdade de Tecnologia de São Bernardo do Campo

Gustavogugasp@hotmail.com, heloisaalmeida2701@gmail.com, vinirope@yahoo.com.br, ivan.ferreira01@fatec.sp.gov.br

RESUMO: O projeto desenvolvido visa aprimorar a precisão no corte de tubos de silicone para uma empresa que enfrenta desafios devido à maleabilidade do material e à ineficiência do método atual. A proposta inclui um novo sistema de corte automatizado, utilizando uma guilhotina controlada por um microcontrolador ESP32, que permite cortes mais precisos e reduz a deformação dos tubos. A máquina é programada na plataforma Arduino IDE, possibilitando integração com componentes por meio do PLC HF-006, a fim de melhorar a qualidade do corte e a competitividade da empresa.

Palavras-chave: Corte. Silicone. Automatizado.

ABSTRACT: The project aims to improve the precision of silicone tube cutting for a company, which faces challenges due to the malleability of the material and the inefficiency of the current method. The proposal includes a new automated cutting system, using a guillotine controlled by an ESP32 microcontroller, which allows for more precise cuts and reduces tube deformation. The machine is programmed on the Arduino IDE platform, enabling integration with components via the HF-006 PLC, to improve cutting quality and the company's competitiveness.

Keywords: Cutting. Silicone. Automated.

1. Introdução

Um dos desafios enfrentados por empresas do ramo é o corte preciso de tubos extrudados em silicone, haja vista a maleabilidade do material, contudo esta é uma etapa essencial para garantir que as especificações dos clientes sejam atendidas rigorosamente. Atualmente, o processo de corte de uma empresa estudada é realizado por uma máquina simples com lâminas fixas dispostas em “V”. Esse método, entretanto, apresenta limitações: o movimento convergente das lâminas tende a deformar o tubo durante o corte, resultando em cortes irregulares, especialmente em tubos de maior comprimento. Como consequência, a empresa enfrenta dificuldades para atender clientes que exigem cortes com alto nível de precisão e linearidade, o que impacta a aceitação do produto e gera reprovações nos testes de qualidade e padronização.

Para solucionar esse problema e elevar o nível de atendimento aos clientes, foi realizado um estudo de caso focado no desenvolvimento de um novo sistema de corte de maior precisão, especialmente projetado para o processamento de tubos de silicone. Esse novo equipamento visa incorporar melhorias significativas, como um sistema de corte mais avançado, que minimize a deformação dos tubos e garanta cortes retilíneos e padronizados. Além de aumentar a precisão, o projeto também busca automatizar e otimizar a eficiência do processo, reduzindo desperdícios e melhorando a produtividade.

O desenvolvimento desse projeto visa não apenas atender às especificações de clientes mais exigentes, mas também fortalecer a capacidade da empresa de lançar novos produtos e projetos, promovendo a expansão da empresa no mercado.

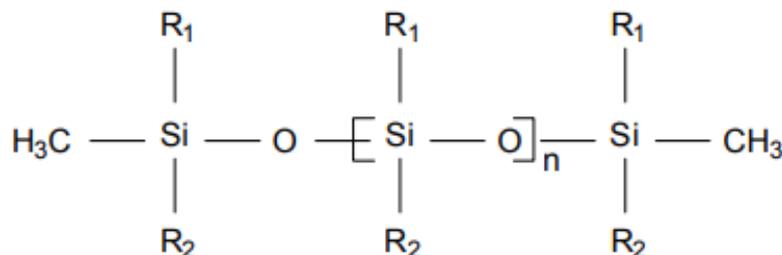
2. Fundamentação Teórica

2.1. Borracha de Silicone

O primeiro polímero de silicone foi sintetizado em 1872 por Ladenburg, sendo um óleo viscoso obtido pela reação de dietildietóxisilana com água e ácido. Em 1901, Kipping nomeou os compostos de fórmula R_2SiO como "silicones", por analogia com as cetonas. Nas décadas seguintes, os silicones foram reconhecidos como polímeros e identificados como polidialquilsiloxanos. Atualmente, são conhecidas popularmente como borrachas de silicone e possuem diversas aplicações devido a sua estabilidade química, resistência às altas e baixas temperaturas e propriedades isolantes (BEZERRA, 2014).

Borrachas de silicone são especialidades de elastômeros sintéticos que proporcionam um excelente balanço entre propriedades químicas, mecânicas e resistência à ampla gama de temperaturas, características estas muito requeridas em diversas aplicações industriais e automotivas. Com cerca de 5000 tipos e diversas aplicações, sua estrutura principal consiste em cadeias lineares de átomos de silício e oxigênio alternados, com radicais orgânicos ligados aos átomos de silício (CALLISTER, 2002).

Figura 1: Estrutura molecular do silicone



Fonte: BEZERRA, 2014

Na figura 1, R é um radical orgânico, como por exemplo, metil, etil ou fenil. Estes materiais consistem em uma “espinha dorsal” inorgânica silício-oxigênio-silício (...-SiO-Si-O-Si-O-...) com radicais orgânicos ligados aos átomos de silício (BEZERRA, 2014).

Segundo CALLISTER, 2002, a estrutura molecular da borracha de silicone pode ser quimicamente modificada para melhorar ainda mais certas características, muitas vezes requeridas para aplicações específicas de uso. Diversos grupos orgânicos poderão ser inseridos ao longo da cadeia polimérica, como grupos Vinil, Trifluorpropil e Fenil, o que resulta em significantes melhorias em suas propriedades:

- **VMQ:** A inclusão de grupos Vinil (modificação de até 1% de radicais Metila por radicais Vinila na cadeia estrutural da Borracha de Silicone), obtém as Borrachas Metil-Vinil-Siloxano ou Silicone Vinílico (“VMQ”). Esta modificação proporciona grande melhoria nas ligações cruzadas entre as moléculas do polímero, resultando em uma rede tridimensional mais rígida e durável, ou seja, aumentando a eficácia de ligações covalentes com peróxidos orgânicos. Isso resulta em melhor qualidade de Deformação Permanente à Compressão e resistência a óleos aquecidos. As borrachas de silicone VMQ são as mais utilizadas pela indústria, adequadas para produtos fabricados pelos vários métodos de modelagem (WIEBECK e HARADA, 2005);

- **FVMQ:** Modificando 50% dos radicais Metila por Trifluorpropil na estrutura das Borrachas de Silicone, obtém-se os Fluorosilicones ou “FVMQ”. Esse tipo de borracha de silicone são normalmente empregados na fabricação de artefatos como anéis o’rings, gaxetas, diafragmas e outras peças que tenham contato com óleos e combustíveis derivados do petróleo, geralmente em altas ou baixas temperaturas (-60°C a 240°C). Entretanto, não devem ser usados em aplicações que haja contato com solventes polares do tipo álcoois, cetonas ou ésteres, pois degradam-se (WIEBECK e HARADA, 2005).

- **PVMQ:** A modificação da proporção de 5 a 10% dos radicais Metila por Fenila, obtém-se os Metil-Fenil-Siloxano, ou seja, Borrachas de Silicone Fenílicos (“PVMQ”). São muito recomendados para aplicações em baixas temperaturas, pois podem manter-se flexíveis até próximos de -100°C (WIEBECK e HARADA, 2005);

Tabela 1: Comparação de propriedades entre as famílias de borracha de silicone

PROPRIEDADES	VMQ	FVMQ	PVMQ
Alto Alongamento	<	<	=
Resistência à tração	<	<	=
Resistência à Deformação Elástica	>	<	<
Baixa Deformação permanente à Compressão	>	=	<
Resistência ao Óleo	>	>	<
Estabilidade Térmica	=	<	>
Flexibilidade às Baixas Temperaturas	=	<	>
Resistência à irradiação	=	=	>
Resistência a Combustíveis	=	>	<
Velocidade de Cura Rápida	>	<	=
Legenda:	> Superior		
	= Moderado		
	< Inferior		

Fonte: Adaptado de CIULLO e HEWITT, 1999

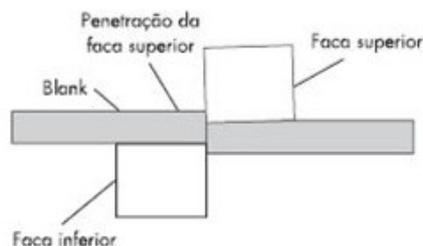
Analisando os dados da tabela 1, é observado que a utilização da borracha de silicone VMQ é a opção na qual atinge uma singular performance em artefatos submetidos às altas e baixas temperaturas, mantendo excepcional estabilidade e ainda oferecendo ótima flexibilidade, boa resistência química e a resistência às ações naturais do ambiente. Desta forma, os tubos de silicone da empresa em questão são fabricados em borracha de silicone VMQ para atender os requisitos de qualidade de seus clientes, pois atuam em ramos distintos como automobilístico, médico-hospitalar, odontológico, farmacêutico e veterinário.

Portanto, de acordo com as propriedades físicas da borracha de silicone VMQ, o corte por cisalhamento se torna mais adequado para os tubos de silicone, proporcionando um corte preciso e uniforme, o qual será apresentado a seguir.

2.2. Princípios da guilhotina

Segundo ARAÚJO, 2014, o corte em guilhotina é um dos tipos de corte por cisalhamento mais comuns na manufatura de produtos. Pode ser manual, mecânico ou automatizado e ocorrer em uma etapa intermédia, na qual o produto é cortado e depois retorna para a máquina ou de acabamento, em que o corte ocorre apenas no final do processo.

Figura 2: Princípio de corte tipo guilhotina



Fonte: (DESIGN, 2008)

O princípio de corte em guilhotina, conforme indicado na figura 2, consiste em posicionar entre duas lâminas o material que deverá ser cortado, sendo que uma lâmina deve ser fixa e a outra deve ser móvel, cujo à medida que a lâmina móvel superior é forçada a descer, o material é penetrado até que a tensão de ruptura ao corte seja ultrapassada (ARAÚJO, 2014).

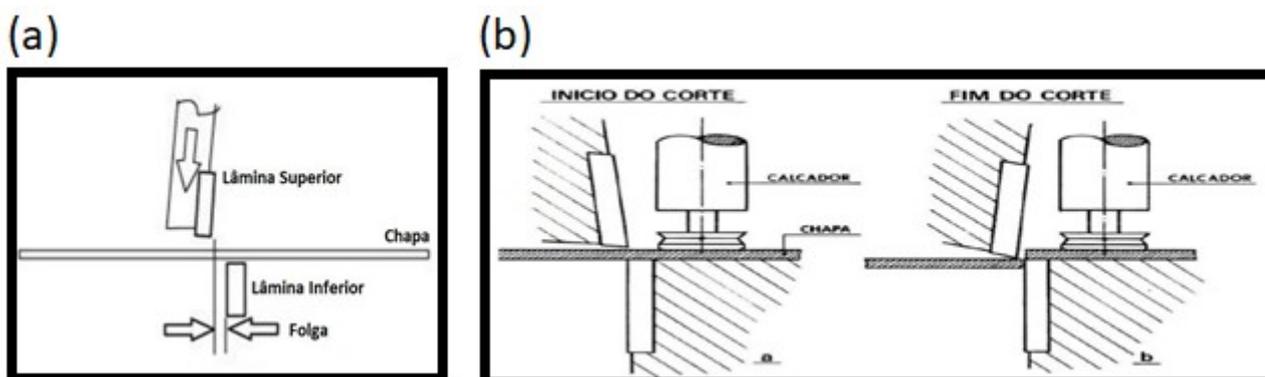
As guilhotinas são máquinas que obedecem a um conceito básico. Consiste em uma mesa, que suporta a lâmina fixa; um porta-lâmina onde fica a lâmina móvel; um sistema de aperto para manter fixar o material durante a operação de corte e uma unidade de acionamento da lâmina, que pode ser manual, mecânica, hidráulica, ou automatizada com o uso de CLPs, servo motores ou motores de passo. Os dois tipos de guilhotinas mais utilizadas nas indústrias são a mecânica e a hidráulica. (ARAÚJO, 2014).

Existem diferentes tipos de cortes para diversos métodos com características e aplicações distintas. O corte a laser, preciso e flexível, é ideal para materiais finos e peças complexas, utilizado na indústria automobilística, eletrônica e aeroespacial. Já o corte por serra, robusto e versátil, é utilizado em grandes volumes de produção, como na indústria de construção civil e madeireira. O corte por guilhotina, simples e eficiente, é ideal para materiais macios e flexíveis, como o silicone, além de aplicação na indústria gráfica e de embalagens. Os principais tipos são:

- **Corte paralelo:** Este tipo de corte mantém sempre a distância entre a lâmina inferior e a lâmina superior durante o corte. O porta-lâminas segue um percurso inclinado, relativo à superfície, definido pelo ângulo de corte. Com este tipo, obtém-se uma superfície de corte estável ao longo do comprimento e, como vantagem, existe a possibilidade de utilização de sistemas de variação do ângulo de corte;

- **Corte oscilante:** Na descida para fazer o corte, a lâmina acaba percorrendo de forma circular em torno de um eixo contido próximo do plano de trabalho. Conforme o corte é realizado, o ângulo de corte é variado;

Figura 3: (a) corte paralelo e (b) corte oscilante



Fonte: (OLIVEIRA, 2011).

De acordo com (OLIVEIRA, 2011), em cortes de cisalhamento, a lâmina superior apresenta um ângulo de inclinação em relação à lâmina inferior. Este fator permite reduzir o esforço utilizado no corte, aumentando assim a vida útil de todo equipamento. A escolha correta do ângulo permite reduzir defeitos de distorção, como flexão, torção e arco.

A folga entre lâminas é a distância horizontal entre as suas arestas quando a lâmina móvel cruza com a lâmina fixa. Essa folga deve ser ajustada com base no material e na espessura a ser cortada. A utilização de folga reduzida provoca uma sobrecarga na máquina, sendo adotado este tipo de folga apenas quando não pode haver rebarba, embora alavanque um desgaste maior nas lâminas. Usar folga excessiva normalmente causa um excesso de rebarbas, e em casos extremos, a peça pode dobrar entre as arestas e causar sobrecarga na máquina (ARAÚJO, 2014).

Segundo (OLIVEIRA, 2011), no corte em guilhotina a força necessária para o corte não depende do comprimento do material a ser cortado. Desta forma, a força aplicada depende basicamente do ângulo de corte e da espessura do tubo. Portanto, foi escolhido o cisalhamento via guilhotina para esta aplicação porque apresenta melhor eficácia e precisão no corte de tubos de silicone, sendo assim controlado por um microcontrolador para aplicação industrial de forma a aprimorar o atual processo.

2.3. Microcontrolador ESP32

O ESP32 é um microcontrolador de baixo custo com Wi-Fi e Bluetooth integrados, desenvolvido pela Espressif. Ele possui dois núcleos de processamento Tensilica Xtensa LX6 de 32 bits, com clock ajustável de 80 MHz a 240 MHz, e opera com tensão de 3.3 VDC. O ESP32 tem 32 pinos GPIO, 18 ADCs, 2 DACs, e uma memória RAM de 512 Kb e FLASH de 16 Mb. Ele pode operar em diferentes modos de rede, como Client, Access Point, e Station + Access Point. O ESP32 também possui um LED on board para indicação de estado e outro LED azul para indicar quando a placa está conectada (MIRANDA, 2019).

Figura 4: Pinagem do ESP32

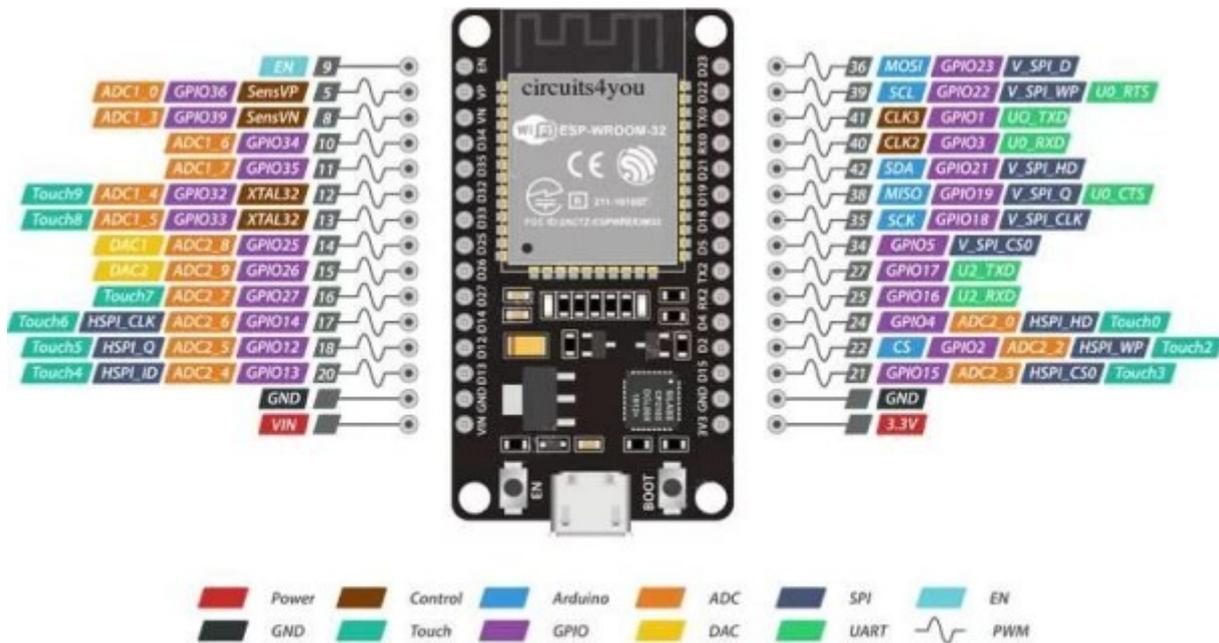
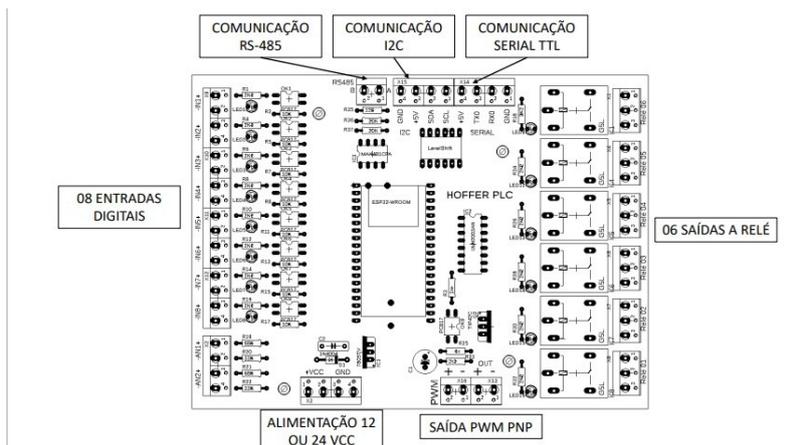


Figura 5: Visão Geral Placa PLC HF-006



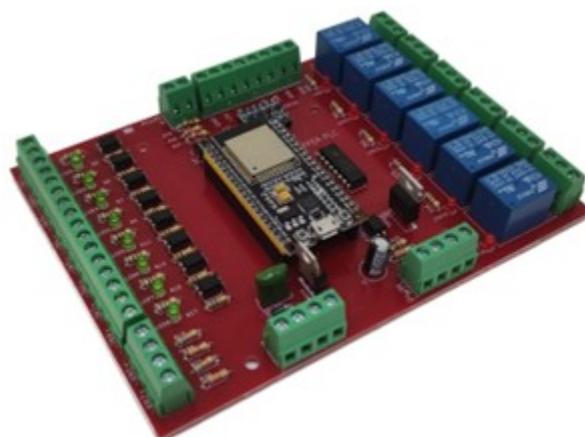
Fonte: (HOFFER AUTOMAÇÃO).

Com base nas facilidades apresentadas pela Hoffer e a Espressif, o ESP32 pode ser programado através de várias plataformas, sendo as duas mais comuns a *Espressif IoT Development Framework* e a *Arduino IDE* (MIRANDA, 2019). Por conta da familiaridade com o software vivenciado em curso através da programação de Arduino Uno, este se torna a melhor opção para programação.

A IDE do Arduino é um ambiente de desenvolvimento baseado em C, onde o código é estruturado em duas funções principais: "setup" e "loop". A função "setup" é executada uma vez no início e é usada para inicializar pinos e variáveis. A função "loop" é executada repetidamente enquanto a placa está ligada e contém o código principal do programa. Antes dessas funções, as bibliotecas necessárias devem ser incluídas para compilar o código. A IDE do Arduino é versátil, permitindo o uso de protocolos como MQTT e a integração com outras linguagens, como HTML (ARDUINO, 2024).

Portanto, com a utilização do microcontrolador ESP32 e sua placa PLC HF-006, fornecem uma solução completa para este projeto de automação de processo de corte de tubo de silicone, combinando a conectividade com a capacidade de controle e monitoramento da placa PLC e a facilidade de programação oferecida pela IDE Arduino.

Figura 6: PLC HF-006



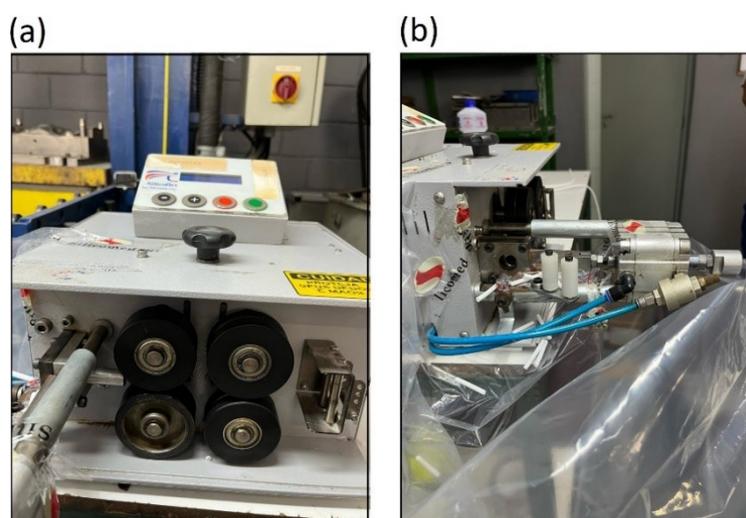
Fonte: (HOFFER AUTOMAÇÃO)

3. Metodologia

No intuito de desenvolver o projeto, foi tomado como base a máquina de corte de tubos de silicone utilizada atualmente no processo. Para a operação da máquina, o operador deve posicionar o tubo entre as 4 roldanas, como visto na figura 6(a) a seguir, para isso a manivela é erguida e o conjunto das roldanas superiores são deslocados para cima, de forma que o tubo seja passado por dentro do guia de entrada e alocado entre as roldanas. Após, o operador seleciona o tamanho do comprimento no qual o tubo será cortado através de botões de “+” e “-” e o comprimento é visualizado em um pequeno display LCD 16X2.

A fim de iniciar o processo, o botão verde é pressionado e, quando o tubo atinge o tamanho configurado, é feito o acionamento de duas solenoides de válvulas eletropneumáticas. Essas válvulas acionam os êmbolos que deslocam duas lâminas em “V” em um corte convergente contra o material. Na figura 6(b) é possível visualizar o conjunto de acionamento eletropneumático que desloca essas lâminas pela matriz que guia o tubo. Pulsando o botão vermelho, o processo é pausado e, pressionando por mais tempo, todo o processo é encerrado.

Figura 6: (a) Vista frontal da máquina e (b) conjunto de acionamento das lâminas



Fonte: Próprio autor.

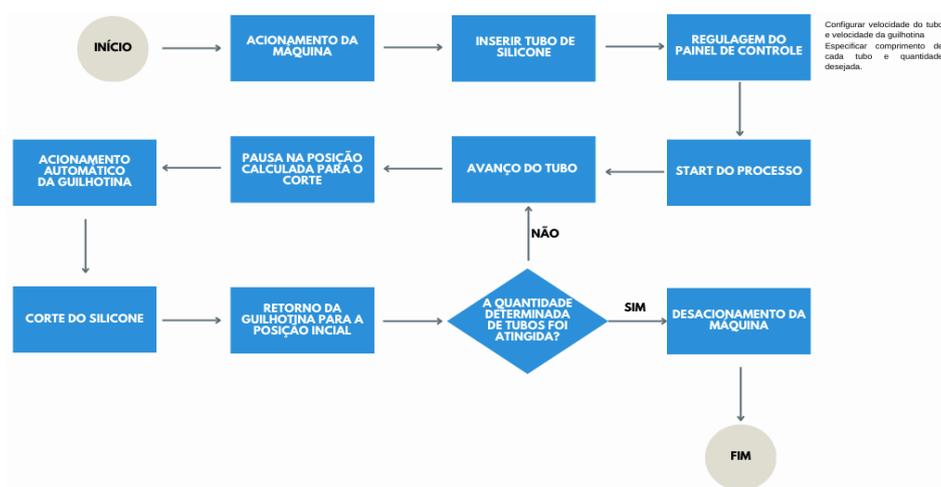
Esta máquina não atende precisão por conta do método utilizado no momento do corte. Foi observado que como duas lâminas são deslocadas contra o material, se uma das lâminas acaba atingindo o material antes da outra, o material é deformado e o corte sai torto e com um acabamento ruim. Além disso, por falta de um guia final para o material, quanto maior o comprimento do produto, maior é a angulação do corte. A quantidade final de produtos cortados é contada através do peso, isto gera perda de material por serem obrigados a acrescentar 15% de massa de silicone a mais na garantia de não haver falta de produtos no envio ao cliente.

Para solução desses problemas e com base nos estudos aprofundados na fundamentação teórica, será desenvolvida uma nova máquina com enfoque em aumentar a precisão e facilitar todo o processo. Será constituída de:

- Uma base mecânica elaborada com perfis de alumínio e três chapas de acrílico;
- Um prisma que atua como base para o tubo que será cortado;
- 2 rolamentos para alocar o tubo de forma a guiá-lo ao momento do corte, além de um suporte superior para que o tubo não saia da posição;
- 1 servo motor para acionar um dos rolamentos;
- 1 atuador pneumático simples ação, com a função de suporte interno para o tubo de silicone, evitando que arqueie após o momento do corte;

Com o objetivo de desenvolver esta máquina, foi elaborado um fluxograma que descreve detalhadamente o processo de operação:

Figura 8: Fluxograma de operação da máquina



Fonte: Própria do autor.

Na tabela 2 a seguir foi elaborada uma lista de materiais iniciais para o desenvolvimento da máquina. Os materiais com “-” serão obtidos por recursos próprios.

Tabela 2: Pré-lista de materiais e seus preços

Item	Unid.	Quant.	Descrição	Preço Unit.	Preço Total
01	pç	2	Perfis de Alumínio extrudados 2m	R\$ 130,00	R\$ 260,00
02	pç	3	Placas de Acrílico (30x40cm)	R\$ 42,00	R\$ 126,00
03	pç	1	Arduino Uno	R\$ 44,99	R\$ 44,99
04	pç	1	Peça suporte para atuador	R\$ 50,00	R\$ 50,00
05	pç	1	Peça suporte para tubulação	R\$ 50,00	R\$ 50,00
06	pç	10	Lâminas de estilete	R\$ 0,19	R\$ 1,90
07	pç	1	PLC HOFFER	R\$ 290,00	R\$ 290,00
08	pç	1	Mesa deslizante tipo t	R\$ 284,25	R\$ 284,25
09	pç	1	Atuador pneumático simples ação	R\$ 161,49	R\$ 161,49
10	pç	1	Fonte chaveada Multitensão	R\$ 138,99	R\$ 138,99
11	pç	1	Válvula solenoide simples ação	R\$ 60,00	R\$ 60,00
12	pçs	1	Diversos (Conectores, terminais, parafusos e porcas)	R\$ 100,00	R\$ 100,00
					R\$ 1567,62

Fonte: Própria do autor.

Para o desenvolvimento desse projeto foi feito um estudo de caso em uma empresa fabricante de tubos de silicone. Por meio deste estudo, foi encontrada uma situação problema: os cortes efetuados saíam imprecisos, perdendo qualidade e, conseqüentemente, clientes, gerando prejuízo para a empresa.

Em busca de melhorar essa problemática, foi desenvolvido um sistema de corte, visando precisão, qualidade e automação. Para a estrutura foram utilizados perfis de alumínio devido a praticidade, qualidade e estética do material. Junto a isso, utilizou-se, com a finalidade de alocar os componentes, duas chapas de acrílico, uma na parte frontal e uma na parte traseira.

Além disso, com a necessidade de um movimento linear e constante, foi utilizado um eixo vertical com um motor de passo acoplado, para que por meio da programação, realize o movimento semelhante ao de uma guilhotina. O corte do silicone foi realizado por lâminas triangulares, com o objetivo de entrar progressivamente em contato com o material, evitando heterogeneidade na finalização do processo. Para a comunicação entre os componentes, utilizou-se um PLC com ESP32 acoplado, foi escolhido uma placa da Hoffer Automação projetada para controle, operação e monitoramento de máquinas e equipamentos. Servindo como o componente central para uma automação integrada, suprimindo as necessidades do protótipo.

A alimentação desse sistema ocorreu por meio de uma fonte multitensão, haja vista são necessárias diferentes tensões para os componentes utilizados. A fim de controlar o movimento com alta precisão no posicionamento, capacidade de reversão rápida e desempenho elevado, foi escolhido um servo motor para o avanço controlado do tubo de silicone para a posição do corte. Por fim, foi utilizado um atuador pneumático de dupla ação com o intuito de ser um suporte interno para o tubo, evitando que no momento do corte haja deformação.

De forma paralela à montagem, para gerar os comandos foi desenvolvida uma programação, na linguagem HTML, automatizando o processo, de modo que o operador da máquina seja capaz de configurar os parâmetros do corte de forma remota, enviando os dados para o ESP32 que, por sua vez, envia para o Arduino Uno. Esta abordagem permite uma integração harmoniosa de todos os componentes, resultando em uma máquina altamente funcional e adaptável.

Toda a execução do projeto foi desenvolvida de acordo com um cronograma elaborado durante as primeiras semanas de pesquisas, sendo evidenciado posteriormente (Tabela 4).

4. Desenvolvimento

Para a montagem do protótipo, a empresa B. GROB do Brasil, na qual dois integrantes do projeto são colaboradores, se dispôs a ajudar, disponibilizando ambientes e materiais reutilizáveis para a confecção da estrutura, além de auxílio de mentores da Escola Técnica da empresa. Em primeiro plano, foi montada a base onde ocorre o processo de corte, foram utilizados parafusos para a fixação dos perfis de alumínio, juntamente às chapas de acrílico. Em segundo plano, foi usinado um prisma para servir como guia para o tubo de silicone, além de dois suportes em formato "L" para sustentar o atuador.

De forma simultânea, foram desenvolvidas 3 programações para o funcionamento do projeto, sendo elas: acionamento do eixo, alimentação dos tubos no sistema e avanço controlado do atuador.

Visando um acionamento eficaz do eixo foi elaborada uma programação que configura as propriedades do motor de passo, avança e recua o motor segundo as posições especificadas, com base em cálculos pré desenvolvidos, para que o eixo se movimente de uma extremidade a outra, conforme figura 9.

Figura 9: Programação Avanço e Recuo do Eixo

```

//*****
void horario()
{
  for (int conta=0;conta<=acc;conta++)
  {
    stepper.setAcceleration(conta); // Aceleração
    delay(0.1);
  }

  // Configura as propriedades do motor
  stepper.setMaxSpeed(20000); // Velocidade máxima

  //*****Avançar
  stepper.moveTo(3220); // Move para a posição 3220 (ajuste conforme necessário)
  while (stepper.currentPosition() != 3220) {
    stepper.run(); // Executa o movimento
  }

}

//*****
void antihorario()
{
  for (int conta=0;conta>=acc;conta++)
  {
    stepper.setAcceleration(conta); // Aceleração
    delay(0.1);
  }
}

```

Fonte: Autoria Própria

A alimentação do tubo foi realizada por meio do acionamento de um servomotor, controlado por uma programação que configura o pino de entrada, a velocidade e realiza o comando ON/OFF para o motor após um intervalo de tempo determinado. Esse controle permite ativar uma das engrenagens, possibilitando a movimentação do tubo até a posição do corte. Do mesmo modo, desenvolveu-se uma programação para o controle de avanço do atuador por meio de uma eletroválvula.

Após o desenvolvimento das programações e montagem da estrutura inicial, a etapa seguinte se deu pelo planejamento da disposição dos componentes na base do protótipo, visando coerência com as ligações, bem como uma estética agradável. Posteriormente, foram realizadas as furações nas chapas de acrílico para a organização correta dos elementos. Tendo em vista que o eixo vertical está na parte frontal do protótipo, enquanto a alimentação do sistema está localizada na parte traseira, foi realizada uma furação entre as chapas permitindo a integração dos componentes, de modo discreto e eficaz.

5. Testes e Resultados

Em seguida, foram realizados os testes prévios à montagem na estrutura. Durante esses testes, o PLC com ESP32 apresentou alguns problemas, e, como solução temporária, optou-se pelo uso de um Arduino Uno para a integração do sistema.

Para solucionar essa problemática, foi feita uma comunicação entre o ESP32 e o Arduino Uno de modo que, seja possível transmitir a informação enviada por HTML via ESP32 para o Arduino a se comunicar com o sistema, permitindo a integração dos componentes e garantindo o funcionamento do projeto.

Os testes finais realizados apresentaram um bom desempenho, garantindo o funcionamento eficaz do protótipo.

6. Considerações Finais

A princípio, foi idealizada a realização de um sistema de corte a laser controlado por um CLP, no entanto, não foi permitido realizar por dois pontos principais. De primeiro modo, foi descoberto que o laser ao entrar em contato com o silicone emite um gás nocivo à saúde, sendo assim descartada sua possibilidade de uso. Em seguida, foi analisado que o CLP é um equipamento de alto custo e, mesmo que fosse conseguido um por empréstimo, não se fez urgente seu uso. Desta forma, o projeto seguiu com um sistema de corte por guilhotina, sendo controlado por um ESP32 e por um Arduino Uno.

Em suma, foi possível concluir que esse sistema se mostrou eficaz para solucionar o problema de corte inicial, visto que não há deformação após o momento final do corte, devido ao atuador que sustenta o tubo. Há uma só lâmina que realiza o corte progressivamente, evitando pressão constante, atendendo as expectativas. Ademais, foi desenvolvida uma plataforma para configuração e controle de forma remota, que apesar de contratemplos e mudanças, apresentou um funcionamento ideal, tornando o sistema automatizado.

É importante ressaltar que o protótipo em questão foi desenvolvido para fins acadêmicos, de modo a solucionar o desafio inicial, entretanto, não simula uma situação real, de modo que, para produção serão necessárias alterações, adaptado para grande escala.

7. Agradecimentos

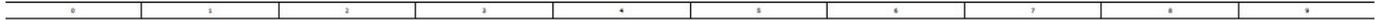
De modo especial, é válido evidenciar que este projeto se deu com esforço e dedicação de Gustavo de Oliveira Silva, Heloisa dos Santos Almeida, Vinicius Rodrigues Pereira sendo orientados por Prof. Me. Ivan de Pádua Ferreira. Agradecemos à empresa B. GROB do Brasil na pessoa de Anna Paula Rodrigues, pela permissão e todo o auxílio prestado, desde ambiente de trabalho à conselhos, agradecemos de modo particular aos mestres Cleiton Mendes, Odair Maranhão, Roberto Pegoraro e a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para que esse projeto fosse realizado.

8. Bibliografia

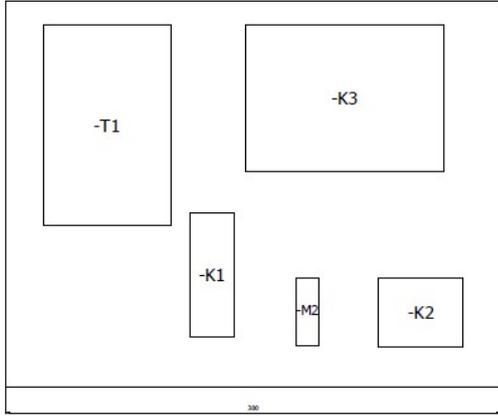
- ARAÚJO, L. M. B. **Desenvolvimento de sistema de apoio dinâmico da chapa no corte em guilhotina**. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto - Portugal, p. 37-48. 2014.
- ARDUINO. Arduino IDE. **Arduino**, 2024. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/software>>. Acesso em: 11 Setembro 2024.
- BEZERRA, D. C. **Revestimento de Isoladores Elétricos Utilizando Borracha de Silicone/Alumina Trihidratada/Nanosílica**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB, p. 29-31. 2014.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais, Uma Introdução**. 5.ed. ed. Rio de Janeiro - RJ: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 2002. 589 p.
- CIRCUITS4YOU. ESP32 DevKit ESP32-WROOM GPIO Pinout. **Circuits4You**, 2018. Disponível em: <<https://circuits4you.com/2018/12/31/esp32-devkit-esp32-wroom-gpio-pinout/>>. Acesso em: 11 Setembro 2024.
- CIULLO, P. A.; HEWITT, N. **The Rubber Formulary**. New York: Noyes Publications/William Andrew Publishing, LLC, 1999.
- COSER, E. **Caracterização da borracha de silicone utilizada em isoladores para rede elétrica**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 111. 2009.
- DESIGN, F. Cortes de Metais. **Materiais e Processos**, 2008. Disponível em: <<https://materiaiseprocessos.blogspot.com/2008/04/cisalhamento.html>>. Acesso em: 30 Maio 2024.
- ESPRESSIF. ESP32. **Espressif Systems**, 2024. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>>. Acesso em: 11 Setembro 2024.
- HOFFER AUTOMAÇÃO. Hoffer PLCs – Clp Arduino, Arduino Ladder, Automação Arduino. **Hoffer Automação**. Disponível em: <<https://hofferautomacao.com/modelos/>>. Acesso em: 11 Setembro 2024.
- MIRANDA, L. A. V. **Monitoramento de Parâmetros Ambientais de um Leito**. Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, p. 44. 2019.
- OLIVEIRA, A. C. D. **Desenvolvimento e aplicação de eletrodos compósitos à base de borracha de silicone e grafite**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p. 110. 2004.
- OLIVEIRA, D. L. D. S. **Otimização do Corte de Pontas de um Aço livre de intersticiais laminado a quente usando tesoura do tipo guilhotina**. Escola de Engenharia de Lorena. Lorena - SP, p. 143. 2011.
- PUPO, M. S. **Interface Homem-Máquina para Supervisão de um CLP em Controle de Processos através de WWW**. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 13-17. 2002.
- SILVA, M. E. D. Controladores Lógico Programáveis, Piracicaba, 15 Fevereiro 2007. 40.
- V. CANEVAROLO JR., S. **Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 3ª. ed. São Carlos: Artiliber, v. I, 2010.
- WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações**. 1ª. ed. São Paulo: Artiliber Editora Ltda., 2005. Cap. 15, p. 251-261.

Device tag list

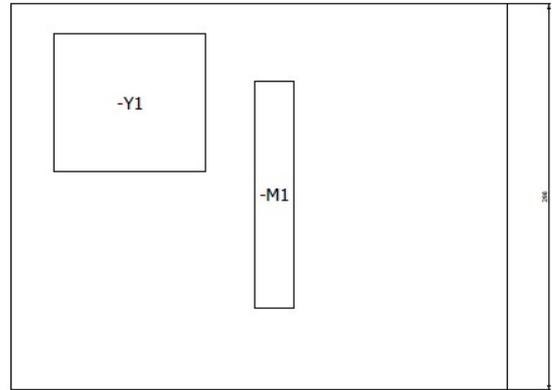
Device tag	Quantity	Designation	Manufacturer	Part number
K1	1	MICROSTEP DRIVER	TOSHIBA SEMICONDUCTOR	TB6600
K2	1	MICROCONTROLLER BOARD	ARDUÍNO	UNO R3
K3	1	PLC BOARD	HOFFER AUTOMAÇÃO	PLC HF-006
M1	1	SLIDE TABLE EFFECTIVE STROKE	YUN DUAN	ZBH3DH0604A2
M2	1	HIGH TORQUE SERVO MOTOR	TOWER PRO	MG996R
T1	1	SWITCHING POWER SUPPLY	MEAN WELL	Q-60D
Y1	1	ELECTROVALVE	FESTO	MSFG-24/42-50/60-0D



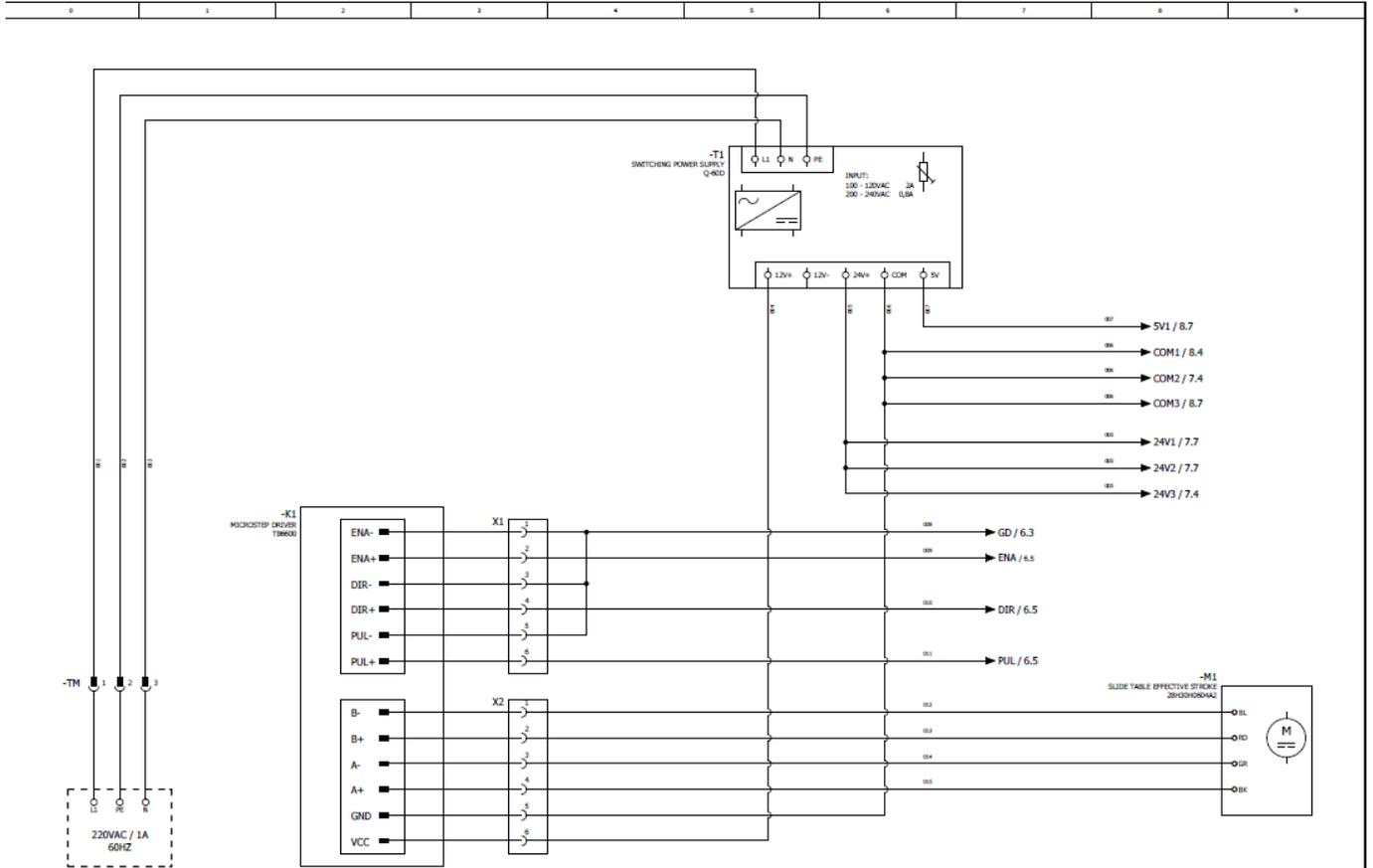
VISTA TRASEIRA



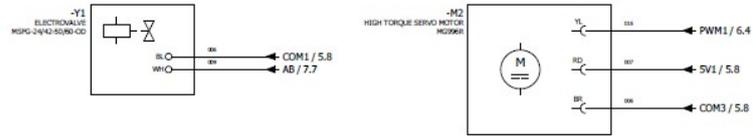
VISTA FRONTAL



			Date	29/11/2024	EPLAN	FATEC ADIB MOISES DIB	LAYOUT 2D			5
			Des.	HALMEIDA	Electrical Diagram for Silicone Tube Cutting System					
Modification	Date	Name	Original		Replacement of	Replaced by		001		Page 4/8



4 Sao Paulo		Date	02/12/2024	EPLAN	FATEC ADIB MOISES DIB	POWER			6
		Des.	HAUREDA	Electrical Diagram for Silicone Tube Cutting System					
Modification	Date	Name	Original	Replacement of	Replaced by				5 / 8



7		Sao Paulo		Date	02/12/2024	EPLAN	FATEC ADIB MOISES DIB	ELECTROVALVE/ SERVO		
				Des.	FAUREDA	Electrical Diagram for Silicone Tube Cutting System				
Modification	Date	Name	Original			replacement of	replaced by			Page 8 / 8