

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL

“ALMIRANTE TAMANDARÉ”

DEPARTAMENTO REGIONAL DE SÃO PAULO

TÉCNICO EM MECATRÔNICA

Projeto: Robô L.A.B.A.M.

Alunos: Aleksandro Junior Sousa Cruz – RA: nº 24196559

Ana Clara Alves Araujo – RA: nº 24196613

Beatriz Gardino Vieira – RA: nº 23183213

Livia Novais Giacomini – RA: nº 24196622

Matheus Passos Pechin Ronchi – RA: nº 24196477

Professores: Miguel Luís Rodrigues

Vinicius B. Suterio

Disciplina: SEMB2 – Sistemas Embarcados 2

São Bernardo do Campo – SP, 13 de Maio de 2025

Sumário

1. Introdução-----	3
2. Fundamentação Teórica-----	3
3. Situação Problema-----	4
4. Projeto Desenvolvido-----	4
5. Materiais e Métodos-----	5
5.1. Para a esteira-----	6
5.2. Para o braço robótico L.A.B.A.M-----	13
5.3. Viabilidade econômica-----	17
6. Resultados e Discussão-----	17
7. Conclusões-----	36
8. Referências-----	37

1. Introdução

Por meio deste relatório técnico serão apresentados a execução e processos de elaboração do projeto final do componente curricular Sistemas Embarcados 2 (SEMB2), elucidando fatores como seu funcionamento, materiais e métodos utilizados, aplicações na indústria, entre outros. A proposta abrange competências técnicas de eletroeletrônica, mecânica, sendo seu foco principal a programação, tendo por objetivo complementar e avaliar o desempenho dos alunos com base nos conteúdos e conceitos aplicados durante as aulas.

Controlado por meio de uma interface web, idealizado a fim de solucionar problemáticas industriais por meio da automatização de processos, o projeto consiste em um braço robótico automatizado pela complementação física de uma esteira que identifica a presença de peças, colaborando na interatividade e construção do projeto.

2. Fundamentação Teórica

Mediante as grandes revoluções industriais, o mundo e as tecnologias vêm avançando e evoluindo exponencialmente, havendo a necessidade de processos automatizados, sendo a revolução industrial o agente responsável para o surgimento da mesma, foi implementada inicialmente em máquinas a vapor estando presente hoje até mesmo em residências.

Processos automatizados como o descrito neste relatório, aceleram processos onde exige-se a ação humana auxiliando na proteção e segurança do trabalho, principalmente no contexto industrial onde fábricas e grandes indústrias necessitam de ações e/ou produções em massa e operários sofrem riscos à segurança de seu trabalho, que ocasionam em amputações e lesões graves se manipulando com máquinas e equipamentos.

Segundo dados do Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho, incluídos os dados do Instituto Nacional do Seguro Social (INSS), o Brasil registrou em 2022, 612,9 mil notificações de acidentes trabalhistas e 2,5 mil representam o números de óbitos, que comparados com o ano anterior refletem um aumento de 15% dos casos em apenas um ano. De acordo com o ministério da saúde, os acidentes graves ocorrem em uma frequência 15 vezes maior com maquinários e processos industriais, superando as demais atividades.

3. Situação Problema

Para a idealização de um projeto que desenvolva os conteúdos aplicados na disciplina, o grupo baseou-se em situações problemas reais da indústria, como o nível do aumento da eficiência em empresas e a adequação de processos a conceitos da Indústria 4.0, preocupando-se com fatores relacionados a segurança do trabalho de operadores de máquinas e de outros eventuais funcionários de empresas.

As novas tecnologias estão no centro da transformação digital que define a Indústria 4.0. Elas ajudam as empresas a melhorar sua eficiência por meio da automação de processos e da coleta e análise de dados em tempo real, também permitem maior flexibilidade e personalização na produção, o que pode resultar em um aumento na competitividade das empresas no mercado. Essas mudanças tornam as fábricas mais ágeis, eficientes e responsáveis, alinhando-as com as necessidades e exigências do futuro da indústria.

4. Projeto Desenvolvido

A fim de solucionar a problemática a equipe desenvolveu o braço robótico L.A.B.A.M., que tem como ferramenta de controle uma interface web hospedada em servidor criado em ESP-32 e para complementação do projeto, foi elaborada uma esteira sensorizada que dialoga com o robô e rotaciona unicamente na presença de peças.

O braço robótico inicia seu processo quando habilitado seus comandos manuais por meio da interface web, podendo assim obter o controle das articulações do braço alterando os graus de abertura dos servos, responsável pela movimentação de todo o robô. Perante a identificação de peça no fim do percurso de transporte da esteira, captado pelo sensor ultrassônico, o operador comanda o braço robótico, projetado para controle à distâncias relativas, trazendo assim segurança ao operador que não necessariamente estará por perto durante os processos. Ele realizará a sequência adequada que leva a peça identificada inicialmente na esteira, para um dispenser, simulando assim, em pequena escala, um processo industrial automatizado, se considerado que a peça em manipulação chega de outros setores ou maquinários diversos.

O processo poderá ser interrompido diante das necessidades do trabalhador ou quando a opção “desabilitar controle” for selecionada na interface pelo operador.

A opção “posição inicial” poderá ser aplicada durante a execução do processo manual, retornando o braço a suas posições iniciais dos servos (90°).

5. Materiais e Métodos

Para feitura de todos os elementos que constituem o trabalho realizado, foram utilizados diferentes materiais em sua elaboração eletrônica e física, e distintas metodologias aplicadas no robô e esteira. Parte dos componentes eletrônicos foram apresentados aos membros do grupo em sala de aula, onde foram propostas atividades que resultaram na aprendizagem da manipulação dos mesmos, outros, a equipe teve a iniciativa de fazer as pesquisas necessárias para que houvesse o bom uso e desempenho esperado dos componentes para resolução da problemática. Além dos eletrônicos, componentes mecânicos para construção do projetos foram constituídos e efetuados para harmonia de todo o processo.

Peças de simulação de processo

Com finalidade de elucidar o processo sucedido pelo projeto, o grupo evidenciou a necessidade de peças padronizadas para simulação da operação, portanto, peças de simulação projetadas pelos integrantes da equipe foram impressas em impressora tridimensional.



Figura 1. Peças de simulação.

Dispenser de peças

Concluindo todas as etapas da operação planejada, ao final, o robô L.A.B.A.M., com o controle da ação humana, distribui as peças de simulação (imagem 1) em um dispenser,

idealizado para o mesmo fim, descarga de peças. Este, foi projetado pelo grupo na plataforma de desenho 3D *Autodesk Inventor*. Após design, passou pelo processo de materialização em impressora 3D, tal qual as peças destinadas à simulação de processos.



Figura 2. Dispenser.

5.1. Para a esteira

Arduino UNO

O Arduino uno, exposto na Figura 3, é uma plataforma de prototipagem eletrônica, que tem por objetivo facilitar a criação de projetos, como robôs, sistemas automatizados na indústria, sendo rápida. A parte estrutural mais importante do componente consiste em um microcontrolador Atmel AVR (microcontroladores de 8 bits com arquitetura RISC), que lê o código inserido na placa, nele ocorre a análise e comunicação do mundo real com o mundo digital.



Figura 3. Arduino UNO.

Para a aplicação descrita, o componente foi utilizado para controlar todo o circuito eletrônico da esteira, viabilizando seu controle e movimentação. Todos os outros componentes estão correlacionados ao Arduino

Sensor Ultrassônico

O sensor ultrassônico é um dispositivo que transforma energia em ondas sonoras de alta frequência (ondas ultrassônicas) para medir distâncias. Ele emite pulsos ultrassônicos e mede o tempo que o som leva para atingir um objeto e retornar, com base nessa informação calcula a distância entre o sensor e o objeto, entre outras informações que devolve. É amplamente usado em aplicações como robótica, automação industrial e sistemas de estacionamento.

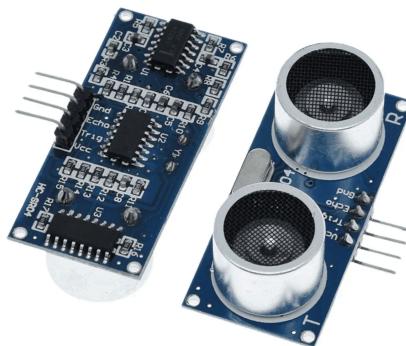


Figura 4. Sensor Ultrassônico.

Na aplicação, o dispositivo atuou na verificação de distância da peça em transporte, informando a posição dela ao longo de seu percurso na esteira, conforme a posição, o motor liga permitindo o transporte de peças na esteira, ou o motor desliga, indicando ao operador da garra que a peça já está no final da esteira e pode ser recolhida.

Suporte sensor ultrassônico

Devido a necessidade de precisão da altura do componente eletrônico Sensor ultrassônico (Figura 4), optou-se pela modelagem e impressão de um suporte para o componente, havendo a estabilidade adequada do mesmo. O suporte foi desenhado pelo grupo, assim como outros componentes anteriormente mencionados.



Figura 5. Suporte para sensor.

Ponte H

Ponte H é um circuito eletrônico de potência, usado para controlar a velocidade e o sentido de rotação de motores DC, é composta por quatro interruptores (geralmente transistores) dispostos em forma de "H". Seu funcionamento dá-se pelo chaveamento de componentes eletrônicos usualmente utilizando do método de PWM para determinar além da polaridade, o módulo da tensão em um dado ponto de um circuito. É amplamente utilizada em robótica e automação para controle de motores de forma eficiente e precisa.

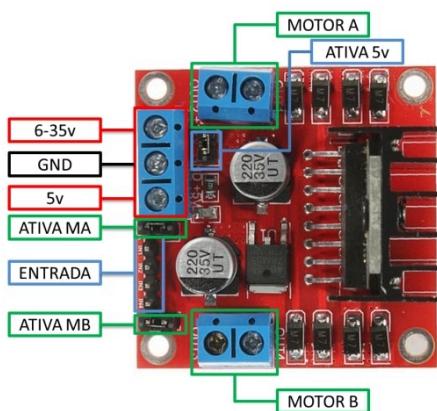


Figura 6. Ponte H.

Para alimentação do motor dc (figura 7) foi utilizado o componente descrito, viabilizando a utilização de uma fonte externa que energiza o motor sem sobrecarga do restante do circuito eletrônico que opera com uma tensão de 5 volts. Outrossim, foi a responsável por controlar a velocidade de giro do motor.

Motor DC 3-6V

O motor de corrente contínua (DC) opera com uma tensão de alimentação entre 3V e 6V, converte a energia elétrica em movimento rotacional através da interação entre o campo magnético gerado pelo estator e a corrente elétrica que passa pelo rotor, fazendo-o girar. A velocidade de rotação e o torque (força de rotação) do motor podem ser controlados variando-se a tensão aplicada obtendo simplicidade no controle, pela modulação de largura de pulso, ou PWM. Além da possibilidade de ajustar a velocidade pode-se inverter o sentido de rotação.



Figura 7. Motor DC.

O componente foi utilizado na aplicação descrita possibilitando a rotação da esteira, ocorrendo assim seu transporte, estando ligado a um dos rolamentos do elemento, sendo o motor componente fundamental da parte. Na aplicação o motor foi alimentado com uma tensão de 3,3V, para atingir a velocidade desejada.

Display LCD 16x2

O display LCD 16x2 é uma tela de cristal líquido que exibe caracteres alfanuméricos e alguns caracteres personalizados em 16 colunas e 2 linhas. É um componente eletrônico comumente usado em projetos de eletrônica, sistemas embarcados, automação especialmente

com microcontroladores como o Arduino. Possui iluminação de fundo (backlight) e contraste ajustável, permitindo boa visibilidade.



Figura 8. Display LCD 16x2.

No projeto, foi utilizado para promover a visualização da distância da peça em relação ao fim do percurso da esteira. Está acoplado na face superior da caixa plástica (Figura 10).

Peças impressas em impressora 3D

Quanto aos materiais de montagem estrutural da esteira, utilizou-se peças impressas tridimensionalmente como notório na figura 9, moldadas pelos membros da equipe após pesquisas extensas. Como material de impressão, usufruiu-se do filamento de PLA.

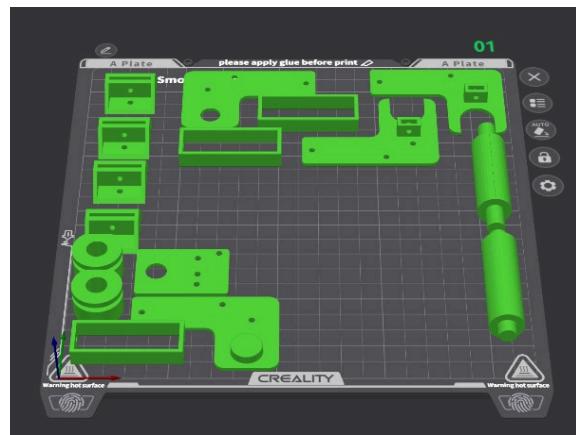


Figura 9. Peças de montagem da esteira.

Caixa plástica

Para preservar e proteger o circuito eletrônico da esteira de interferências externas e para que o Display LCD estivesse acoplado em uma plataforma de fácil visibilidade, uma caixa plástica foi adotada, auxiliando a proteção do circuito e a qualidade estética do projeto. As necessárias perfurações e cortes foram realizados para que o material atendesse a proposta esperada.



Figura 10. Caixa de plástico.

Placa de Ensaio (*Protoboard*)

A placa de ensaio é um componente eletrônico muito usado em aplicações eletrônicas e projetos, consiste em uma placa de material plástico com pinos conectados entre si em série, tendo pinos específicos para alimentação e outros para a realização do circuito eletrônico, ela surgiu da necessidade emergente de achar uma outra maneira de realizar circuitos elétricos sem que haja a necessidade de soldar componentes eletrônicos.

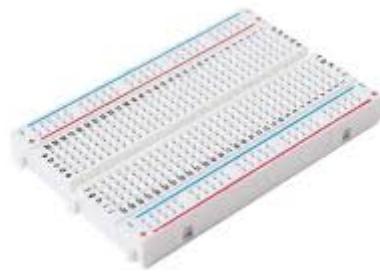


Figura 11. Placa de Ensaio.

No projeto retratado neste relatório, a *protoboard* foi usada em diversos períodos, tanto nos protótipos, tanto no produto final do projeto, usada tanto no circuito eletrônico da esteira, quanto no circuito eletrônico do braço robótico.

A metodologia e lógica aplicada para elaboração da esteira sensorizada, pode ser elucidada por visualização e compreensão do fluxograma, presente na figura 12.

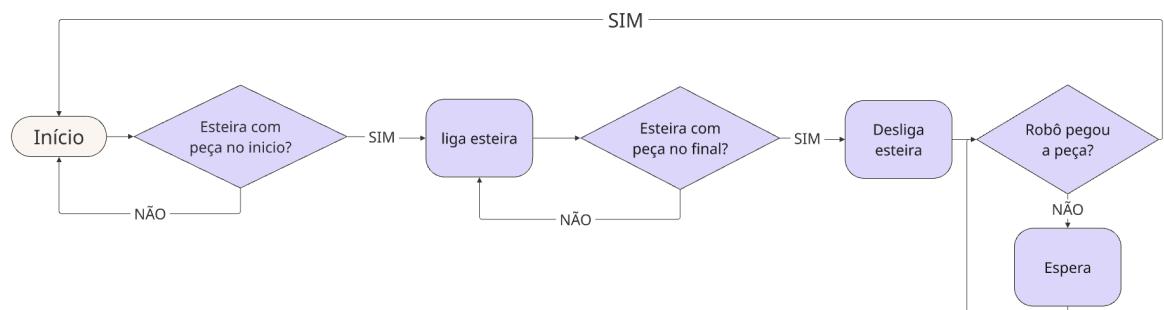


Figura 12. Fluxograma esteira.

5.2. Para o braço robótico L.A.B.A.M

ESP-32

A ESP 32 é um microcontrolador de 32 bits com Wi-Fi e Bluetooth integrados. Suas funcionalidades de conectividade, entre outras, o tornam altamente versátil para integração com sensores, atuadores e outros dispositivos. É amplamente utilizado em projetos de automação residencial, sistemas de controle remoto, robótica e até mesmo em dispositivos vestíveis (wearables).



Figura 13. ESP-32.

Para a aplicação descrita o componente foi utilizado para controle e manipulação do braço robótico L.A.B.A.M, possibilitando toda a programação do circuito eletrônico. Por meio dele criou-se a interface web hospedada em um servidor criado no mesmo, que atua por conectividade wifi disponibilizada pelo próprio componente.

Servo Motor

O servo motor é um dispositivo amplamente utilizado em projetos de robótica e automação, operando com tensão de 3,5V a 6V e oferecendo um torque de $\sim 1,8 \text{ kgf}\cdot\text{cm}$. Com um ângulo de rotação de 0° a 180° e velocidade de $\sim 0,1\text{s}/60^\circ$, ele é controlado via sinal PWM, possuindo três fios (alimentação, GND e sinal). Compacto e leve, é ideal para aplicações como braços robóticos, direção de pequenos robôs, drones e sistemas de posicionamento, sendo facilmente integrado a placas como Arduino e Raspberry Pi.



Figura 14. Servo Motor.

O componente foi utilizado na aplicação descrita possibilitando a movimentação e articulação do braço robótico. Em sua funcionalidade manual o operador tem livre comando da abertura angular dos servos, diferenciando-se de sua funcionalidade de “posição inicial” onde seus ângulos de abertura já são pré estabelecidos.

Botão interruptor

O componente é responsável por permitir ou não o fluxo de corrente em uma rede elétrica, baseado em uma força externa que altera manualmente a passagem de energia no circuito ligando ou desligando.



Figura 15. Botão Interruptor.

Utilizou-se o componente como “botão de emergência”, sendo ele o responsável por permitir a energização do braço robótico. Quando inicialmente pressionado, liga a esteira deixando que ela se alimente e que sua corrente fluia pelo circuito, se novamente pressionada o fluxo se quebra, desligando o robô.

Peças de acrílico

Na composição e montagem mecânica do robô, o grupo optou por utilizar peças pré moldadas de acrílico, concluindo ser a estratégia mais adequada e o material apropriado. Em sua montagem foi utilizado parafusos M3.

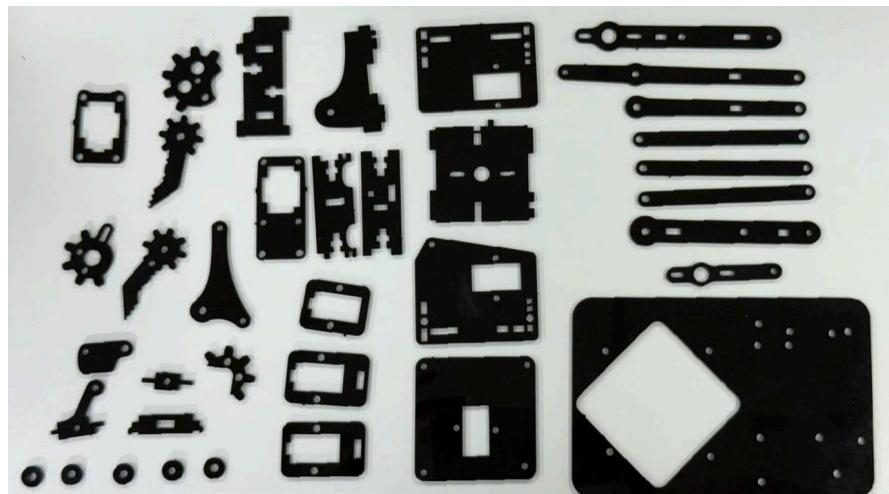


Figura 16. Peças do Braço Robótico em Acrílico.

Caixa Base

Para estruturação da parte, uma caixa plástica foi adotada como base do robô, sustentando todo o componente e alocando seu circuito elétrico. As necessárias perfurações e cortes foram realizados para que o material atendesse a proposta esperada. Sua imagem pode ser encontrada na figura 10 deste relatório.

Placa de Ensaio (*Protoboard*)

Assim como foi usada para a realização do circuito eletrônico da esteira, para o circuito eletrônico do braço robótico, a *protoboard* foi usada tanto nas fases iniciais de protótipos, quanto no produto final do nosso projeto. Sua imagem pode ser encontrada na figura 11 deste relatório

A metodologia empregada para resolução e feitura do braço robótico L.A.B.A.M, pode ser apresentada mediante a observação do fluxograma presente na Figura 17.

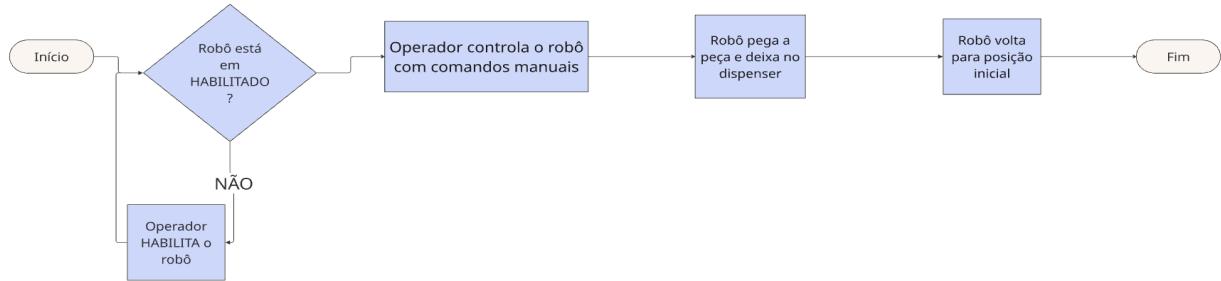


Figura 17. Fluxograma braço robótico L.A.B.A.M.

5.3. Viabilidade econômica

Aos aspectos econômicos do executado pelos alunos, para o acesso de parte de seus componentes tornou-se possível a compra online, outros, foram projetados e impressos tridimensionalmente de acordo com a demanda exigida, e ainda, parte dos materiais foram disponibilizados pela instituição de ensino SENAI Almirante Tamandaré a fim pedagógicos de feitura da atividade.

Gastos pertencentes ao braço robótico incluem: a compra das peças de acrílico juntamente com os servos motores e parafusos destinados ao mesmo, custando aproximadamente R\$120,00; componentes eletrônicos como a placa de prototipagem ESP-32, placa de ensaio (*protoboard*), jumpers e cabos foram ofertados pela instituição para realização do projeto.

Componentes proporcionados do SENAI para o funcionamento e a produção do projeto, foram: uma fonte de alimentação 0V-32V com 3 canais, caixas para armazenamento dos circuitos eletrônicos, motor DC para Arduino, impressões 3D com o valor estimado de aproximadamente R\$23,00 para o total de impressões.

Ao total, o valor estimado do custo aproximado do orçamento, tratando-se pela hipótese que os componentes dados pelo SENAI teriam que ser adquiridos pelos alunos, o orçamento aproximado para a confecção do projeto seria em torno de R\$220,00, considerando valores a mais para possíveis gastos extras e desconsiderando o valor da fonte de alimentação 0V-32V

6. Resultados e Discussão

Após todo o período de ideação, programação, montagem e finalização, obteve-se resultados positivos que eram esperados no início pelo grupo. Nos espectros eletrônicos do Braço robótico L.A.B.A.M., encontrou-se dificuldades com o componente eletrônico servo motor (figura 14) devido a sua instabilidade de funcionamento e fragilidade, todavia, as falhas e inconformidades foram enfrentadas e pode-se obter o funcionamento eficaz e adequado.

Quanto a sua ferramenta de manipulação, programou-se uma interface web hospedada em servidor criado no ESP-32 utilizando a linguagem de programação HTML (seu código está incluso na programação eletrônica do robô, disposto na tabela 1), para que o controle dos ângulos do robô fosse realizado e outras funcionalidades do elemento desenvolvidas com êxito. Os sliders de cada articulação do robô, botão de parada de ciclo, de posição inicial,

ciclo sensorizado e habilitação de controle manual podem ser observados na figura 18, onde está disposta a interface de controle programada.

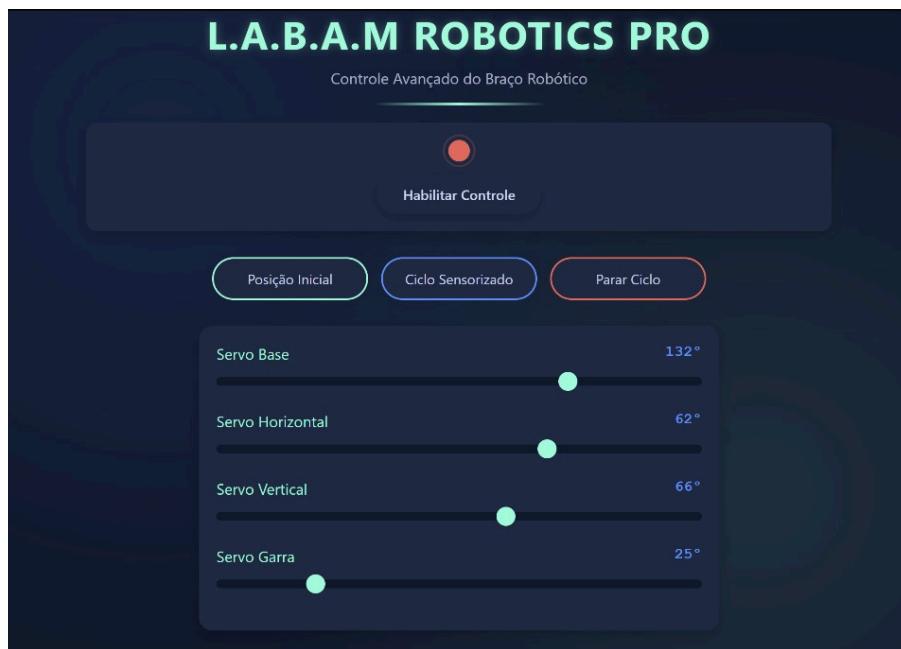


Figura 18. Interface de controle de garra.

À funcionalidade “*ciclo sensorizado*”, foi destinada a um ciclo automático do robô, que não depende de interferência humana alguma e só seria habilitado com o envio de sinal da esteira indicando a presença de peças, entretanto, ao decorrer dos dias em processo de feitura do projeto, principalmente em seus testes finais, problemas significativos foram encontrados, para a resolução dos tais, seria necessário um período mais extenso de produção. Diante das variáveis não calculadas previamente pelo grupo, concluiu-se que a opção mais adequada seria destinar a funcionalidade a uma melhoria futura do projeto, havendo tempo necessário para que a equipe concluisse a funcionalidade de maneira eficiente e desejada. A opção “*para ciclo*” é subsequente do ciclo sensorizado, sendo a responsável pela interrupção do ciclo.

A parte comentada da programação é destinada para a futura melhoria de sensorização da garra descrita acima.

Por meio de seu código, programado na linguagem C++ (linguagem de programação dominada pelos alunos em aulas da disciplina), escolhida para obter a comunicação com a ESP-32 (figura 13), responsável pelo controle do circuito eletrônico, é notório o funcionamento adequado para a finalidade proposta observado na tabela 1.

Tabela 1. Código responsável pelo circuito eletrônico do braço robótico L.A.B.A.M.

```
#include <WiFi.h>
#include <ESP32Servo.h>

#define SERVO1 25 // Pino para o Servo 1 (Braço 1)
#define SERVO2 26 // Pino para o Servo 2 (Garra)
#define SERVO3 32 // Pino para o Servo 3 (Braço 2)
#define SERVO4 33 // Pino para o Servo 4 (Base)
#define INPUT_SENSOR 35

Servo servo1, servo2, servo3, servo4;

const char* ssid = "LABAM-ROBOT";
const char* password = "labam378";

WiFiServer server(80);

String servoBasetxt, servoBraco1txt, servoBraco2txt, servoGarratxt;

int servoBase = 90;
int servoBraco1 = 90;
int servoBraco2 = 90;
int servoGarra = 90;
bool enabled = false;

bool homePosition = false;
bool autoCycle = false;
bool stopCycle = false;

String request;

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    pinMode(INPUT_SENSOR, INPUT);

    WiFi.softAP(ssid, password);

    Serial.print("IP do AP: ");
    Serial.println(WiFi.softAPIP());

    servo1.attach(SERVO1);
    servo2.attach(SERVO2);
    servo3.attach(SERVO3);
    servo4.attach(SERVO4);
```

```
server.begin();
}

void loop() {
    WiFiClient client = server.available();

    if (client) {
        request = client.readStringUntil('\r');
        client.flush();

        if (request.indexOf("GET /update?") != -1) {
            if (request.indexOf("enable=") != -1) {
                int start = request.indexOf("enable=") + 7;
                int end = request.indexOf("&", start);
                enabled = (request.substring(start, end) == "true");
            }

            if (request.indexOf("servo1=") != -1) {
                int start = request.indexOf("servo1=") + 7;
                int end = request.indexOf("&", start);
                servoBase = request.substring(start, end).toInt();
            }

            if (request.indexOf("servo2=") != -1) {
                int start = request.indexOf("servo2=") + 7;
                int end = request.indexOf("&", start);
                servoBraco1 = request.substring(start, end).toInt();
            }

            if (request.indexOf("servo3=") != -1) {
                int start = request.indexOf("servo3=") + 7;
                int end = request.indexOf("&", start);
                servoBraco2 = request.substring(start, end).toInt();
            }

            if (request.indexOf("servo4=") != -1) {
                int start = request.indexOf("servo4=") + 7;
                int end = request.indexOf(" ", start);
                servoGarra = request.substring(start, end).toInt();
            }

            verificarBotoes();

            client.println("HTTP/1.1 200 OK");
            client.println("Content-type: text/plain");
            client.println();
            client.println("OK");
            client.stop();
        }
    }
}
```

```
servoBasetxt = String(servoBase);
servoBraco1txt = String(servoBraco1);
servoBraco2txt = String(servoBraco2);
servoGarratxt = String(servoGarra);

Serial.println(servoBasetxt + ";" + servoBraco1txt + ";" + servoBraco2txt + ";" +
servoGarratxt);
    Serial.println("Posicao Inicial: " + String(homePosition) + " Ciclo automático: " +
String(autoCycle) + " Parar Ciclo: " + String(stopCycle) + " Input Sensor: " +
String(digitalRead(INPUT_SENSOR)));

servo2.write(servoGarra);
servo4.write(servoBase);
servo1.write(servoBraco1);
servo3.write(servoBraco2);

if(homePosition){
    updateServos(90, 51, 57, 90, 500);
    Serial.println("Na posição 1");
    homePosition = false;
}

// if(autoCycle && digitalRead(INPUT_SENSOR) == 1){
//     while(autoCycle && !stopCycle){
//         updateServos(90, 90, 90, 90, 500);
//         Serial.println("Na posição 2");
//         delay(1000);
//         updateServos(90, 45, 20, 90, 500);
//         Serial.println("Na posição 3");
//         delay(1000);

//         WiFiClient newClient = server.available();
//         if (newClient) {
//             String newRequest = newClient.readStringUntil('\r');
//             if (newRequest.indexOf("command=stop_cycle") != -1) {
//                 stopCycle = true;
//             }
//             newClient.stop();
//         }
//     }
//     autoCycle = false;
//     stopCycle = false;
//     updateServos(90, 51, 57, 90, 500);
//     Serial.println("Na posição 1");
//     Serial.println("Parou ciclo!");
// }

sendHTMLPage(client);
```

```
client.stop();
}

void verificarBotoes(){
    if (request.indexOf("command=home") != -1) {
        homePosition = true;
        autoCycle = false;
        stopCycle = false;
    } else if (request.indexOf("command=start_cycle") != -1) {
        homePosition = false;
        autoCycle = true;
        stopCycle = false;
    } else if (request.indexOf("command=stop_cycle") != -1) {
        homePosition = false;
        autoCycle = false;
        stopCycle = true;
    }
}

void updateServos(int garra, int base, int braco1, int braco2, int time) {
    servo2.write(garra);
    delay(time);
    servo4.write(base);
    delay(time);
    servo1.write(braco1);
    delay(time);
    servo3.write(braco2);
    delay(time);

    knowPos();
}

void knowPos(){
    Serial.println("Servo Garra: " + String(servo2.read()) + "  Servo da Base: " +
String(servo4.read()) + "  Servo do Braco 1: " + String(servo1.read()) + "  Servo do
Braco 2: " + String(servo3.read()));
}

// PROGRAMAÇÃO DA INTERFACE WEB -----
void sendHTMLPage(WiFiClient client) {
    client.println("HTTP/1.1 200 OK");
    client.println("Content-type:text/html");
    client.println();

    client.println(R"=====(
<!DOCTYPE html>
<html lang="pt-BR">
```

```
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>Controle Avançado L.A.B.A.M</title>
  <style>
    :root {
      --primary: #0a192f;
      --secondary: #172a45;
      --accent: #64ffda;
      --text: #ccd6f6;
      --highlight: #1e90ff;
      --warning: #ff5f56;
      --enabled: #4CAF50;
    }

    * {
      margin: 0;
      padding: 0;
      box-sizing: border-box;
      font-family: 'Segoe UI', Tahoma, Geneva, Verdana, sans-serif;
    }

    body {
      background-color: var(--primary);
      color: var(--text);
      min-height: 100vh;
      background-image:
        radial-gradient(circle at 25% 25%, rgba(30, 144, 255, 0.1) 0%, transparent
50%), 
        radial-gradient(circle at 75% 75%, rgba(100, 255, 218, 0.1) 0%, transparent
50%);
    }

    .container {
      max-width: 900px;
      margin: 0 auto;
      padding: 20px;
    }

    header {
      text-align: center;
      padding: 20px 0;
      margin-bottom: 20px;
      position: relative;
    }

    header::after {
      content: "";
      position: absolute;
```

```
bottom: 0;
left: 50%;
transform: translateX(-50%);
width: 200px;
height: 3px;
background: linear-gradient(90deg, transparent, var(--accent), transparent);
}

h1 {
color: var(--accent);
font-size: 2.8rem;
margin-bottom: 10px;
text-shadow: 0 0 10px rgba(100, 255, 218, 0.3);
letter-spacing: 2px;
}

.subtitle {
font-size: 1.1rem;
opacity: 0.8;
}

.enable-control {
display: flex;
flex-direction: column;
align-items: center;
gap: 15px;
margin-bottom: 30px;
background-color: var(--secondary);
padding: 20px;
border-radius: 12px;
box-shadow: 0 5px 15px rgba(0, 0, 0, 0.2);
}

.enable-status {
width: 25px;
height: 25px;
border-radius: 50%;
background-color: var(--warning);
position: relative;
transition: background-color 0.3s ease;
}

.enable-status.enabled {
background-color: var(--enabled);
box-shadow: 0 0 15px var(--enabled);
}

.enable-status::after {
content: " ";
```

```
position: absolute;
top: -5px;
left: -5px;
right: -5px;
bottom: -5px;
border-radius: 50%;
border: 2px solid var(--warning);
animation: pulse 2s infinite;
opacity: 0;
}

.enable-status.enabled::after {
  border-color: var(--enabled);
}

@keyframes pulse {
  0% { transform: scale(0.8); opacity: 0.5; }
  70% { transform: scale(1.3); opacity: 0; }
  100% { opacity: 0; }
}

.btn {
  background-color: var(--secondary);
  color: var(--text);
  border: none;
  padding: 12px 30px;
  border-radius: 30px;
  cursor: pointer;
  font-size: 1rem;
  transition: all 0.3s ease;
  text-decoration: none;
  text-align: center;
  position: relative;
  overflow: hidden;
  box-shadow: 0 5px 15px rgba(0, 0, 0, 0.2);
  font-weight: 500;
}

.btn:hover {
  background-color: rgba(100, 255, 218, 0.1);
  color: var(--accent);
  transform: translateY(-3px);
  box-shadow: 0 8px 25px rgba(100, 255, 218, 0.3);
}

.btn.active {
  background-color: var(--accent);
  color: var(--primary);
  font-weight: bold;
```

```
}
```

```
.slider-container {
  width: 100%;
  max-width: 600px;
  margin: 20px auto;
  padding: 20px;
  background-color: var(--secondary);
  border-radius: 15px;
  box-shadow: 0 5px 15px rgba(0, 0, 0, 0.2);
}
```

```
.slider-group {
  margin-bottom: 25px;
}
```

```
.slider-label {
  display: flex;
  justify-content: space-between;
  margin-bottom: 8px;
  font-size: 1.1rem;
}
```

```
.slider-name {
  color: var(--accent);
}
```

```
.slider-value {
  font-family: 'Courier New', monospace;
  color: var(--highlight);
  font-weight: bold;
  min-width: 40px;
  text-align: right;
}
```

```
.slider {
  -webkit-appearance: none;
  width: 100%;
  height: 10px;
  border-radius: 5px;
  background: var(--primary);
  outline: none;
}
```

```
.slider::-webkit-slider-thumb {
  -webkit-appearance: none;
  appearance: none;
  width: 22px;
  height: 22px;
```

```
border-radius: 50%;  
background: var(--accent);  
cursor: pointer;  
transition: all 0.2s ease;  
}  
  
.slider::-webkit-slider-thumb:hover {  
background: var(--highlight);  
transform: scale(1.2);  
}  
  
/* Novo estilo para os botões de controle */  
.control-buttons {  
display: flex;  
justify-content: center;  
gap: 15px;  
margin: 30px 0;  
flex-wrap: wrap;  
}  
  
.control-btn {  
background-color: var(--secondary);  
color: var(--text);  
border: none;  
padding: 12px 25px;  
border-radius: 30px;  
cursor: pointer;  
font-size: 1rem;  
transition: all 0.3s ease;  
min-width: 180px;  
}  
  
.control-btn:hover {  
background-color: rgba(100, 255, 218, 0.1);  
color: var(--accent);  
transform: translateY(-3px);  
box-shadow: 0 8px 25px rgba(100, 255, 218, 0.3);  
}  
  
.home-btn {  
border: 2px solid #64ffda;  
}  
  
.start-cycle-btn {  
border: 2px solid #1e90ff;  
}  
  
.stop-cycle-btn {  
border: 2px solid #ff5f56;
```

```
}
```

```
@media (max-width: 768px) {  
    h1 {  
        font-size: 2.2rem;  
    }  
  
.btn {  
    padding: 10px 20px;  
}  
  
.control-btn {  
    min-width: 150px;  
    padding: 10px 20px;  
}  
}  
  
@media (max-width: 480px) {  
    .container {  
        padding: 15px;  
    }  
  
.control-buttons {  
    flex-direction: column;  
    align-items: center;  
}  
}  
}  
}/>
```

```
</style>
```

```
</head>
```

```
<body>
```

```
<div class="container">
```

```
<header>
```

```
<h1>L.A.B.A.M ROBOTICS PRO</h1>
```

```
<p class="subtitle">Controle Avançado do Braço Robótico</p>
```

```
</header>
```

```
<div class="enable-control">
```

```
<div class="enable-status" id="enableStatus"></div>
```

```
<button class="btn" id="enableBtn">
```

```
<i class="fas fa-power-off"></i> Habilitar Controle
```

```
</button>
```

```
</div>
```

```
<div class="control-buttons">
```

```
<button class="control-btn home-btn" id="homeBtn">
```

```
<i class="fas fa-home"></i> Posição Inicial
```

```
</button>
```

```
<button class="control-btn start-cycle-btn" id="startCycleBtn">
```

```
<i class="fas fa-sync-alt"></i> Ciclo Sensorizado
```

```
</button>
<button class="control-btn stop-cycle-btn" id="stopCycleBtn">
    <i class="fas fa-stop"></i> Parar Ciclo
</button>
</div>

<div class="slider-container">
    <div class="slider-group">
        <div class="slider-label">
            <span class="slider-name"><i class="fas fa-arrows-alt-v"></i> Servo
        Base</span>
            <span class="slider-value" id="servo1Value">90°</span>
        </div>
        <input type="range" min="0" max="180" value="90" class="slider"
id="servo1Slider">
        </div>

        <div class="slider-group">
            <div class="slider-label">
                <span class="slider-name"><i class="fas fa-arrows-alt-v"></i> Servo Braço
        1</span>
                <span class="slider-value" id="servo2Value">90°</span>
            </div>
            <input type="range" min="0" max="90" value="51" class="slider"
id="servo2Slider">
            </div>

            <div class="slider-group">
                <div class="slider-label">
                    <span class="slider-name"><i class="fas fa-arrows-alt-v"></i> Servo Braço
        2</span>
                    <span class="slider-value" id="servo3Value">90°</span>
                </div>
                <input type="range" min="0" max="110" value="57" class="slider"
id="servo3Slider">
                </div>

                <div class="slider-group">
                    <div class="slider-label">
                        <span class="slider-name"><i class="fas fa-hand-paper"></i> Servo
        Garra</span>
                        <span class="slider-value" id="servo4Value">90°</span>
                    </div>
                    <input type="range" min="0" max="138" value="94" class="slider"
id="servo4Slider">
                    </div>
                </div>
            </div>
        </div>
    </div>
```

```
<script>
    document.getElementById('enableBtn').addEventListener('click', function() {
        const enableStatus = document.getElementById('enableStatus');
        const isEnabled = enableStatus.classList.toggle('enabled');

        this.innerHTML = isEnabled
            ? '<i class="fas fa-power-off"></i> Desabilitar Controle'
            : '<i class="fas fa-power-on"></i> Habilitar Controle';

        const sliders = document.querySelectorAll('.slider');
        sliders.forEach(slider => {
            slider.disabled = !isEnabled;
        });

        updateServos('enable=' + isEnabled);
    });

    function setupSlider(sliderId, valueId, servoNumber) {
        const slider = document.getElementById(sliderId);
        const valueDisplay = document.getElementById(valueId);

        slider.addEventListener('input', function() {
            valueDisplay.textContent = this.value + '°';

            updateServos('servo' + servoNumber + '=' + this.value);
        });
    }

    setupSlider('servo1Slider', 'servo1Value', 1);
    setupSlider('servo2Slider', 'servo2Value', 2);
    setupSlider('servo3Slider', 'servo3Value', 3);
    setupSlider('servo4Slider', 'servo4Value', 4);

    function updateServos(params) {
        fetch('/update?' + params)
            .then(response => response.text())
            .then(data => console.log('Resposta:', data))
            .catch(error => console.error('Erro:', error));
    }

    document.getElementById('homeBtn').addEventListener('click', function() {
        updateServos('command=home');
    });

    document.getElementById('startCycleBtn').addEventListener('click', function() {
        updateServos('command=start_cycle');
    });

    document.getElementById('stopCycleBtn').addEventListener('click', function() {
```

```
        updateServos('command=stop_cycle');  
    });  
    </script>  
</body>  
</html>  
)=====");  
}
```

Ao pertencente da garra L.A.B.A.M., quanto à sua estrutura física, ocorreram pequenos obstáculos em sua montagem, devido a principiante e falta de prática do grupo e escassez de componentes fundamentais, mas com persistência e comprometimento o resultado adquirido superou as expectativas iniciais.

Em sua base, as perfurações, cortes e outros métodos mecânicos foram realizados a fim da melhor fixação e beleza estética. O botão interruptor (Figura 15) foi acoplado na lateral da base.

A montagem física e funcionamento eletrônico do elemento pode ser analisada no link 1 do vídeo onde sua funcionalidade manual está em execução sem cooperação e diálogo com a esteira.

 Funcionamento_robô.mp4

Link 1. Vídeo funcionamento robô.

Aos resultados previstos da esteira, foi alcançado o funcionamento adequado da parte eletrônica que pode ser visualizada no acesso à plataforma de prototipagem *Tinkercad* pelo link 3, bem como em seu código programado na linguagem C++ disposta da tabela 2.

<https://www.tinkercad.com/things/fVyGydEMIxW-esteira-certo/edit#>
<https://www.tinkercad.com/#/dashboard&sharecode=r2dZzcG6bxXAXZ6Pf6SnP0dOv7FNvB1EsayEK0QOaJA>

Link 2. Circuito eletrônico esteira - *Tinkercad*.

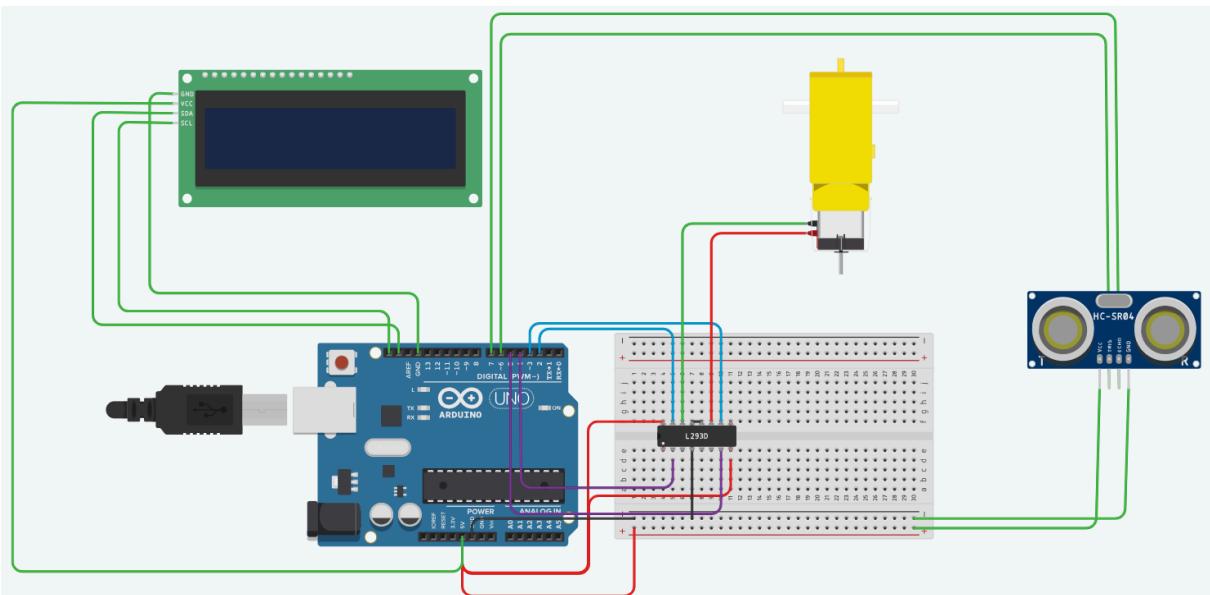


Figura 19. imagem circuito - *Tinkercad*.

Tabela 2. Código responsável pelo circuito eletrônico da esteira.

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Biblioteca LCD - I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // usando a biblioteca LiquidCrystal
int p= 0;
// Pinos do motor L298N
#define IN1 2
#define IN2 3
#define IN3 4
#define IN4 5
// Pinos do sensor HC-SR04
#define TRIGGER 6
#define ECHO 7

void setup() {
// Configuração dos pinos do motor
pinMode(IN1, OUTPUT);//motor 1
pinMode(IN2, OUTPUT);

// Configuração dos pinos do sensor
pinMode(TRIGGER, OUTPUT);
pinMode(ECHO, INPUT);
```

```
//lcd
lcd.init();
lcd.setBacklight (HIGH);
Serial.begin(9600);

}

void loop() {

String mensagem;

// Mede a distância continuamente
float distancia = medirDistancia();
Serial.println(distancia);

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Distancia: " + String(distancia));
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(mensagem);

// Controle do motor baseado na distância
if (distancia <= 6.0) {
    // Objeto próximo do robo - motor desliga
    digitalWrite(IN1, LOW);
    digitalWrite(IN2, LOW);
    analogWrite(9, 168); //3.3V para entrada do esp
    mensagem = "Peça Parada!!";

} else if (distancia >29.0) {
    // Sem objeto - motor desliga
    digitalWrite(IN1, LOW);
    digitalWrite(IN2, LOW);
    analogWrite(9, LOW);
    mensagem = "Sem Peça!!";

}
else if (distancia >6.0 && distancia <29.0) {
    // contar objeto
    digitalWrite(IN1, HIGH);
    digitalWrite(IN2, LOW);
    mensagem = "Peça na Esteira!!";
}

else {
    // objeto para levar - motor liga
    digitalWrite(IN1, HIGH);
    digitalWrite(IN2, LOW);
    analogWrite(9, LOW);
}

delay(100); // Intervalo entre medições
}

// Função para medir a distância em cm
float medirDistancia() {
```

```
// Envia pulso ultrassônico
digitalWrite(TRIGGER, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(TRIGGER, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(TRIGGER, LOW);

// Mede o tempo de retorno do eco
long duracao = pulseIn(ECHO, HIGH);

// Calcula a distância (cm)
return duracao * 0.034 / 2;

}
```

Em sua elaboração física, algumas falhas e dificuldades foram encontradas pelo grupo. No processo de idealização optou-se pela utilização de madeira MDF, cortando as peças a laser e o grupo se dispôs a produção de um desenho técnico, presente na figura 20. O tempo estimado para que as peças estivessem prontas foi excedido, porém, não foi empecilho para que houvesse a tentativa da montagem pelo grupo, entretanto, no processo mencionado foi notória a falta de ferramentas e materiais necessários para que a montagem fosse concluída, por consequência a equipe optou pela escolha de outro material de composição das peças da esteira.

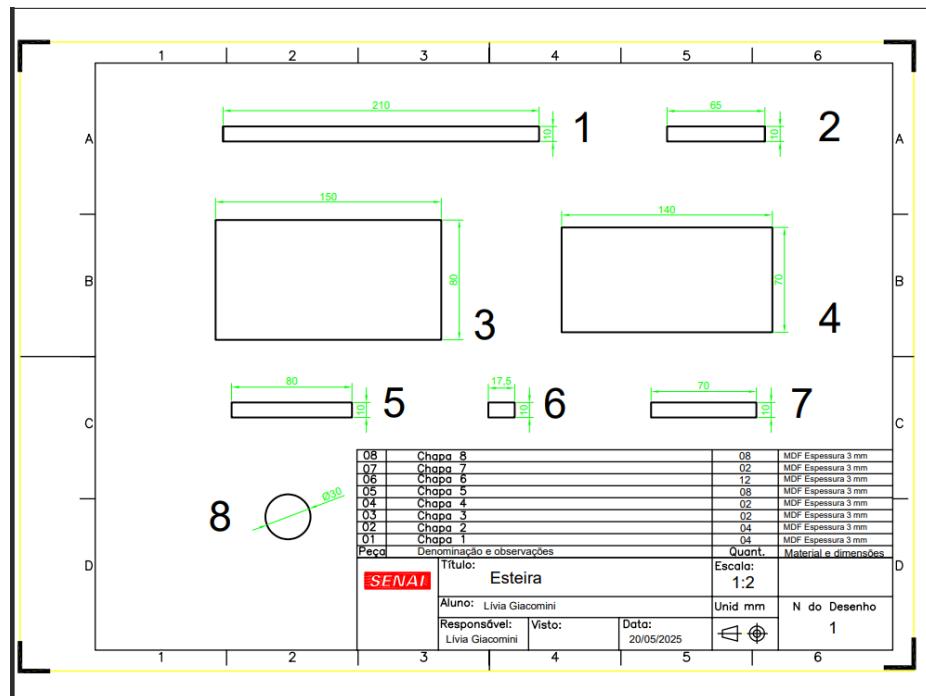


Figura 20. Desenho técnico de peças MDF.

Após pesquisas, concluiu-se como adequado imprimir as peças na impressora 3D devido a simplicidade na montagem, agilidade na impressão, melhor domínio dos alunos para montagem e qualidade do material. A montagem das peças impressas se evidencia pela figura 21.

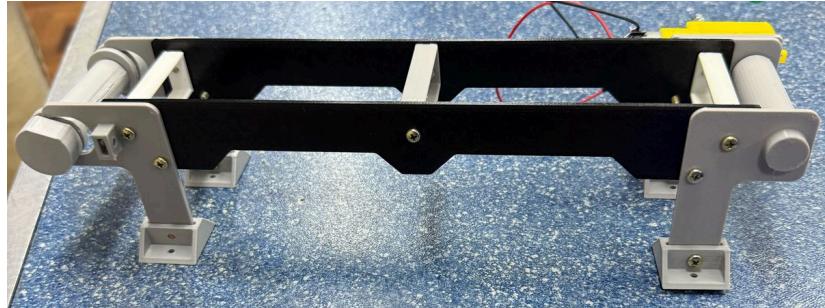


Figura 21. Montagem esteira.

Com a junção de circuito eletrônico e protótipo mecânico da esteira obteve-se os resultados estimados inicialmente e seu ideal funcionamento pode ser visualizado em vídeo no link 3.

 [Funcionamento_esteira.mp4](#)

Link 3 - Vídeo esteira em funcionamento.

Apesar das dificuldades encontradas na montagem da esteira e garra, havendo discussões para resolução de falhas na programação de ambos elementos que constituem o projeto, o grupo superou-as por meio dos conhecimentos prévios dos alunos, pesquisas e aplicando técnicas adquiridas na disciplina sistemas embarcados 2. Soluções e ideias sugeridas pelos membros da equipe resultaram no trabalho apresentado e as etapas da operação planejada, havendo comunicação e interação dos elementos desenvolvidos, se comprovam de maneira adequada em link do vídeo e imagens incluídas no relatório.

 [Projeto_final_SEMB2.mp4](#)

Link 4 - Vídeo Projeto final.

7. Conclusões

Diante do exposto, conclui-se que o projeto proposto como complementação avaliativa, desenvolveu com êxito os conteúdos apresentados nas aulas da disciplina. Além do absorvido ao longo do semestre, o grupo adquiriu hard skills por meio da aplicação prática dos conteúdos teóricos, enriquecendo conhecimentos prévios e também soft skills devido ao trabalho em conjunto, organização e a necessidade de resolução de problemas. Apesar de falhas durante a realização do projeto e abdicação de ideias inicialmente propostas, com algumas alterações ao decorrer do período destinado ao projeto, houve a conclusão eficiente do objeto planejado.

De maneira adequada a equipe construiu um protótipo de automatização de processos possíveis de se inserir na indústria, estando vinculados a indústria 4.0 e normas de segurança do trabalho de maneira sucinta. As viabilidade técnica e econômica foram analisadas durante todos os processos de execução, desde a compra de materiais e de elementos eletrônicos primordiais à complementos estéticos e visuais elaborados, todos devidamente apresentados no item 5 deste relatório.

As projeções futuras do elaborado por finalidade avaliativa, incluem a aplicação de sensorização e automatização direta da garra (“*ciclo sensorizado*”, inicialmente pensada para inclusão no projeto presente), não havendo a atuação humana durante os processos e o funcionamento do elemento principal depende da verificação de presença de peça na esteira, podendo também haver maior diversificação e inclusão de sensores; câmeras para monitoramento de qualidade coligadas com I.A. realizando triagem de peças; substituição da interface de controle manual por uma câmera que capta , à distância, movimentos reais de um braço humano para aplicações de menor porte (exemplo: cirurgias a distância), também são possibilidades que agregariam e enriqueceriam o braço robótico L.A.B.A.M. em conjunto da esteira.

8. Referências

- CIPA. Atividades em máquinas são as principais causas de acidentes de trabalho no Brasil. Revista CIPA, [S. l.], 14 jan. 2023. Disponível em:
<https://revistacipa.com.br/atividades-em-maquinhas-sao-as-principais-causas-de-acidentes-de-trabalho-no-brasil/>. Acesso em: 12 jun. 2025.
- INDÚSTRIASA. Acidentes de trabalho crescem no Brasil a cada ano. [S. l.], [s. d.]. Disponível em:
<https://industriasa.com.br/acidentes-de-trabalho-crescem-no-brasil-a-cada-ano/>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- TIPO TEMPORÁRIO. Você sabe o que é e como funciona o sensor ultrassônico? [S. l.], [s. d.]. Disponível em:
<https://tipotemporario.com.br/elektra/blog/voce-sabe-o-que-e-e-como-funciona-o-sensor-ultrassonico/>. Acesso em: 8 jun. 2025.
- MUNDO DA ELÉTRICA. Motor de corrente contínua: características e aplicações. [S. l.], [s. d.]. Disponível em:
<https://www.mundodaeletrica.com.br/motor-de-corrente-continua-caracteristicas-e-aplicacoes/>. Acesso em: 6 jun. 2025.
- BLOG ELETROGATE. Guia completo do display LCD Arduino. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/guia-completo-do-display-lcd-arduino/>. Acesso em: 4jun. 2025.
- ELETROGATE. Arduino Uno. [S. l.], [s. d.]. Disponível em:
<https://www.eletrogate.com/arduino-uno>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- BLOG ELETROGATE. Servo motor para aplicações com Arduino. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/servo-motor-para-aplicacoes-com-arduino/>. Acesso em: 31 mai. 2025.
- 3E UNICAMP. O primo rico do Arduino: conheça o ESP32. [S. l.], [s. d.]. Disponível em:

<https://www.3eunicamp.com/post/o-primo-rico-do-arduino-conhe%C3%A7a-o-esp32>.
Acesso em: 29 mai. 2025.

- OMRON. Definição de switch. [S. l.], [s. d.]. Disponível em:
<https://components.omron.com/sg-en/products/basic-knowledge/switches/basics>.
Acesso em: 27 mai. 2025.
- WIKIPÉDIA. Ponte H. [S. l.], [s. d.]. Disponível em:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_H. Acesso em: 25 mai. 2025.
- AUTOR DESCONHECIDO. Arduino Uno – imagem ilustrativa. [S. l.], [s. d.].
Disponível em: <https://images.app.goo.gl/HaAe8CPDMMDRdAQH8>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- AUTOR DESCONHECIDO. Sensor ultrassônico – diagrama. [S. l.], [s. d.].
Disponível em: <https://images.app.goo.gl/XGXGEm6mjBehVPEi9>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- AUTOR DESCONHECIDO. Ponte H – diagrama elétrico. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://images.app.goo.gl/Uadg2mBEZvFUe1v5A>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- AUTOR DESCONHECIDO. Motor DC – representação gráfica. [S. l.], [s. d.].
Disponível em: <https://images.app.goo.gl/JAqntXrY2E6QjEbQ9>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- AUTOR DESCONHECIDO. Display LCD – imagem ilustrativa. [S. l.], [s. d.].
Disponível em: <https://images.app.goo.gl/hRk8bhKDHGhscGjq6>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- AUTOR DESCONHECIDO. Caixa plástica – imagem ilustrativa. [S. l.], [s. d.].
Disponível em: <https://images.app.goo.gl/5wQxjr2YQFokjZix9>. Acesso em: 2 jun. 2025.

- AUTOR DESCONHECIDO. ESP32 – imagem ilustrativa. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://images.app.goo.gl/CDW6mWjVyqoSXQnb9>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- AUTOR DESCONHECIDO. Servo motor – imagem técnica. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://images.app.goo.gl/1h1uD9tCKovAa2j7>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- AUTOR DESCONHECIDO. Botão interruptor – imagem ilustrativa. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://images.app.goo.gl/bogKhDYsMfbYfNQQ7>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- AUTOR DESCONHECIDO. Protoboard– imagem ilustrativa. [S. l.], [s. d.]. Disponível em:
<https://www.google.com/imgres?q=protoboard&imgurl=https%3A%2F%2Fwww.makerhero.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2024%2F04%2Fprotoboard-1.png&imgref=https%3A%2F%2Fwww.makerhero.com%2Fblog%2Fcomo-funciona-uma-protoboard%2F&docid=79b7tGEDklnmJM&tbnid=gBEe1gIZjTgQ5M&vet=12ahUKEwjmhI-Xru6NAxXngWEGHdizJxsQM3oECBwQAA..i&w=1024&h=508&hcb=2&ved=2ahUKEwjmhI-Xru6NAxXngWEGHdizJxsQM3oECBwQAA>. Acesso em: 2 jun. 2025.