

**CENTRO PAULA SOUZA  
FATEC SANTO ANDRÉ  
TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA AUTOMOTIVA**

**FILIFE AUGUSTO MILANO DE BRITO**

**Desenvolvimento de  
LiDAR 2D a partir de um LiDAR 1D**

Santo André  
2024

**FILIFE AUGUSTO MILANO DE BRITO**

**Desenvolvimento de  
LiDAR 2D a partir de um LiDAR 1D**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à FATEC Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

São André  
2024

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Brito, Filipe Augusto Milano de  
LiDAR 2D a partir de um LiDAR 1D – Filipe Augusto Milano  
de Brito – Versão Corrigida – Santo André  
2024, 65 páginas.**

**Monografia de Conclusão de Curso – FATEC Santo André –  
Departamento – Eletrônica Automotiva, 2024.**

**1. Desenvolvimento de LiDAR 2D a partir de um LiDAR 1D.**

## LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 29 de junho de 2024.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:  
“DESENVOLVIMENTO DE LIDAR 2D A PARTIR DE UM LIDAR  
1D” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

**BANCA**

PRESIDENTE:

PROF. EDSON CAORU KITANI \_\_\_\_\_

MEMBROS:

PROF. FERNANDO GARUP DALBO \_\_\_\_\_

PROF. PAULO TETSUO HOASHI \_\_\_\_\_

**ALUNOS:**

FILIPE AUGUSTO MILANO DE BRITO \_\_\_\_\_

**DEDICATÓRIA:**

Dedico este projeto a minha família,  
professores e amigos que me ajudaram a tor-  
nar o ser humano que sou hoje.

## **AGRADECIMENTO**

Gostaria de agradecer a todos os filósofos, historiadores, matemáticos, físicos e professores que de alguma forma nos trouxeram o conhecimento e a tecnologia que nos auxiliam com os estudos apresentados neste projeto.

*“A necessidade é a mãe da inovação.”*

*Platão*

## RESUMO

A robótica móvel sempre foi uma área de grande interesse geral, seja científica ou industrial. Contudo, em qualquer que seja a aplicação, a necessidade de o robô perceber o ambiente é fundamental, e para isso são necessários diversos tipos de sensores. Atualmente, um desses sensores é LiDAR, que tem sido muito aplicado em veículos autônomos, que pode ser considerado um tipo de robô móvel. Portanto, a proposta deste projeto é trazer o conceito de Robótica Móvel para dentro do curso de Eletrônica Automotiva, desenvolvendo e construindo um LiDAR 2D de baixo custo a partir de um LiDAR 1D. O projeto desenvolveu um sistema de varredura de 180 graus, movimentado o LiDAR e os pontos capturados são analisados por um programa para determinar se há obstáculos na frente do LiDAR. O sistema foi implementado num carro de controle remoto para realizar permitir que o veículo se mova para frente e pare caso encontre um obstáculo, mesmo que haja um comando para ele seguir em frente. A contribuição maior do projeto está no desenvolvimento do método de detecção de obstáculos a partir de um túnel virtual que foi criado para definir a área segura de movimentação à frente do veículo.

Palavras chaves: Sensores. LiDAR 2D. Robô autônomo.

## **ABSTRACT**

Mobile robotics has always been an area of great general interest, whether scientific or industrial. However, in any application, the need for the robot to perceive its environment is fundamental, requiring several types of sensors. Currently, one of these sensors is LiDAR, which has been extensively applied in autonomous vehicles, which can be considered a type of mobile robot. Therefore, the aim of this project is to introduce the concept of Mobile Robotics into the Automotive Electronics course by developing and constructing a low-cost 2D LiDAR from a 1D LiDAR. The project developed a 180-degree scanning system, moving the LiDAR and analyzing the captured points with a program to determine if there are obstacles in front of the LiDAR. The system was implemented in a remote-controlled car to enable the vehicle to move forward and stop if it encounters an obstacle, even if there is a command for it to move forward. The major contribution of the project lies in the development of the obstacle detection method using a virtual tunnel that was created to define the safe movement area in front of the vehicle.

**Keywords:** Sensors. 2D LiDAR. Autonomous robot.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	12
LISTA DE TABELAS .....	13
LISTA DE APÊNDICE .....	14
LISTA DE ABREVIATURAS.....	15
CONVENÇÕES E LISTA DE SÍMBOLOS.....	16
<b>1</b> <b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1    Motivação .....	17
1.2    Objetivos .....	18
1.3    Contribuições .....	19
1.4    Organização do Trabalho .....	19
<b>2</b> <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E TRABALHOS CORRELATOS</b> .....	<b>20</b>
2.1    Arduíno MEGA 2560.....	21
2.2    Sistema LiDAR .....	22
2.3    Considerações Finais .....	26
2.4    Trabalhos Correlatos .....	27
<b>3</b> <b>METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
3.1    Conhecimentos matemáticos utilizados no projeto .....	31
3.2    Considerações Finais .....	38
<b>4</b> <b>TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>39</b>
4.1    Testes Realizados .....	39
4.2    Resultados Obtidos .....	40

4.3	Considerações Finais .....	41
5	DISCUSSÕES FINAIS E CONCLUSÃO .....	42
5.1	Propostas Futuras de Pesquisa.....	43
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44
6.1	Fluxograma .....	45
6.2	CÓDIGO FONTE.....	47

## Lista de Figuras

Figura 1 - Vista geral da placa do Arduino Mega( <a href="http://eletruscomp.com.br/arduino-mega-2560-r3/">eletruscomp.com.br/arduino-mega-2560-r3/</a> ).....	21
Figura 2 – Visualização do plano cartesiano analisado pelo LiDAR 1D.( <a href="http://generationrobots.com">generationrobots.com</a> ).....	24
Figura 3 – Visualização do plano cartesiano analisado pelo LiDAR 2D ( <a href="http://generationrobots.com">generationrobots.com</a> ).....	25
Figura 4 – Visualização do plano cartesiano analisado pelo LiDAR 3D ( <a href="http://generationrobots.com">generationrobots.com</a> ).....	25
Figura 5 – Carro Explorador Autônomo (Projeto de Graduação FATEC).....	27
Figura 6 – Robô Guiado Mapeador de Ambientes Internos (Projeto de Graduação FATEC).....	28
Figura 7 – Sistema em veículo(Autor).....	30
Figura 8 – Servomotor e Sensor 1D(Autor).....	30
Figura 9 - Área de digitalização do LiDAR 2D na configuração de simulação.( <a href="http://researchgate.net">researchgate.net</a> ).....	30
Figura 10 - Túnel do veículo ( <a href="http://researchgate.net">researchgate.net</a> + Paint).....	32
Figura 11 - Medidas internas ao túnel realizadas pelo LiDAR 1D ( <a href="http://researchgate.net">researchgate.net</a> + Paint).....	33
Figura 12 - Razões trigonométricas ( <a href="http://mundoeducacao.uol.com.br">mundoeducacao.uol.com.br</a> ).....	33
Figura 13 - Medidas Fora do Tunel LiDAR 1D ( <a href="http://researchgate.net">researchgate.net</a> + Paint).....	34
Figura 14 - Lados de um triângulo retângulo ( <a href="http://educamaisbrasil.com">educamaisbrasil.com</a> ).....	34
Figura 15 - Relações métricas do triângulo retângulo ( <a href="http://educamaisbrasil.com">educamaisbrasil.com</a> ) .....	35
Figura 16 - Fórmula do seno ( <a href="http://educamaisbrasil.com.br">educamaisbrasil.com.br</a> ).....	36
Figura 17 - Fórmula do cosseno ( <a href="http://educamaisbrasil.com.br">educamaisbrasil.com.br</a> ).....	37
Figura 18 - Fórmula da tangente ( <a href="http://educamaisbrasil.com.br">educamaisbrasil.com.br</a> ).....	37
Figura 19 – Fluxograma do Projeto - Página 1( <a href="http://draw.io">draw.io</a> ).....	45
Figura 20 – Fluxograma do Projeto - Página 2( <a href="http://draw.io">draw.io</a> ).....	46

## **Lista de Tabelas**

Quadro 1 – Comparação de Valores Medidos em 90°.....	40
--	----

## **Lista de Apêndice**

Apêndice 1 - Fluxograma.....	45
Apêndice 2 – Código Fonte.....	47

## Lista de Abreviaturas

LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
INPE	<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i>
DARPA	<i>Defense Advanced Research Project Agency</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
V	<i>Volts</i>
DC	<i>Direct Current</i>
1D	<i>Uma Dimensão</i>
2D	<i>Duas Dimensões</i>
3D	<i>Três Dimensões</i>
ADAS	<i>Advanced Driver Assistance Systems</i>

## Convenções e Lista de Símbolos

Na notação das equações ao longo do texto adotam-se as seguintes convenções:

a	medida do lado oposto ao ângulo reto (hipotenusa)
b	cateto
c	cateto
h	altura da hipotenusa
m	projeção do cateto c sobre a hipotenusa
n	projeção do cateto b sobre a hipotenusa
C	ângulo de $90^\circ$ (reto)
A	ângulo menor de $90^\circ$ (ângulo agudo)
B	ângulo menor de $90^\circ$ (ângulo agudo)

Nota: Informa-se que todos os vetores e matrizes neste trabalho serão representados em letras minúsculas em negrito e letras maiúsculas em negrito, respectivamente, sejam letras latinas ou gregas.

# 1 Introdução

A robótica móvel tem sido uma das áreas em grande expansão nos últimos tempos, seja na área científica, industrial ou doméstica. Os robôs móveis, podem ser utilizados para exploração, transporte de carga ou para limpeza de residências, como os atuais robôs aspiradores. E, atualmente, até os veículos estão se tornando robô móveis, se consideramos os veículos autônomos. E, independentemente do tipo de robô ou aplicação, todos eles precisam de elementos fundamentais, tais como sensores. E um desses sensores modernos é o LiDAR.

O Sistema LiDAR é um método de detecção de pontos que usa lasers para medir distâncias e criar mapas detalhados do ambiente. A palavra “LiDAR” significa *Light Detection and Ranging* (Detecção de luz e alcance). Os sensores LiDAR emitem pulsos de laser que rebatem obstáculos e retornam ao sensor, permitindo que ele calcule a distância de cada obstáculo. Ao digitalizar o ambiente com vários pulsos de laser, os sensores LiDAR podem criar mapas altamente precisos. Os dados de LiDAR podem ser utilizados para gerar muitas informações importantes a sistemas autônomos, desde mapas topográficos detalhados até modelos 3D precisos e dinâmicos necessários para guiar com segurança um veículo autônomo por um ambiente de rápida e constante mudança em um local até então desconhecido. A tecnologia LiDAR também é usada para avaliar perigos e desastres naturais como fluxos de lava, deslizamentos de terra, tsunamis e inundações. ([geosemfronteiras.org/blog/mapeamento-com-sensores-lidar/](http://geosemfronteiras.org/blog/mapeamento-com-sensores-lidar/))

## 1.1 Motivação

Uma das motivações deste trabalho está baseada no fato de que o sistema LiDAR, é um sistema muito preciso e com uma gama de utilização grande em vários setores da vida humana.

Segundo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), o sistema LiDAR trata-se de um sensor remoto ativo e a bordo de uma plataforma, seja ela tripulada, pilotada ou não. O laser é a fonte de luz própria do LiDAR facilitando a captura de imagens nos mais diversos ambientes, o que oferece ao sistema uma velocidade de resposta alta.

Em virtude de todas essas características positivas, o uso de autônomos aliados a tecnologia LiDAR é tendência cada vez mais presente quando se trata do segmento de identificação de mapas desconhecidos. A tecnologia LiDAR é usada para diversos segmentos de tecnologia humana. Os sensores LiDAR podem criar mapas altamente precisos do terreno, edifícios e

outros obstáculos no ambiente, permitindo medições e análises precisas. Os dados LiDAR podem ser combinados com outras fontes de dados, como imagens aéreas e GPS, para criar mapas e modelos ainda mais detalhados das regiões até então desconhecidas. O sistema LiDAR está revolucionando a maneira como mapeamos e reconhecemos nosso mundo, e seu potencial para o futuro é vasto. E por reconhecer a necessidade de utilização e precisão deste sistema ele foi escolhido para o projeto em questão. A criação de mapas topográficos com geração de curvas de nível, nunca foi tão precisa, como no momento. Um drone analise todas as dimensões do terreno munido de câmeras com laser LiDAR pode realizar um trabalho tão preciso quanto as tecnologias tradicionais. (Fonte: “O futuro do mapeamento e levantamento com sensores LiDAR” - [geosemfronteiras.org/blog/mapeamento-com-sensores-lidar/](http://geosemfronteiras.org/blog/mapeamento-com-sensores-lidar/))

Este projeto de conclusão de curso pretende mostrar, através de pesquisas e do aprendizado adquirido no decorrer do curso, é capaz de realizar algo inovador e de grande complexidade utilizando sensores de baixo custo e rápida resposta. Para tal, foram pesquisados projetos para veículos autônomos, algo que já é muito mais avançado nos Estado Unidos e Europa e que já vem sendo estudado no Brasil por algumas universidades. Porém, não há incentivos financeiros grandes para que continuem tais pesquisas e desenvolvimento, dado o alto custo.

## 1.2 Objetivos

O objetivo é trazer cada vez mais perto esse tipo de pesquisa, e por estudarmos em uma faculdade de tecnologia automotiva e esse ser um tema completamente dentro do nosso “mundo”, queremos trazer cada vez mais pessoas interessadas nesses estudos e mostrar que podemos realizar algo que é de interesse mundial por parte não só de montadoras como também de governos, através do sucesso desse projeto acreditamos que teremos mais incentivos nessa área tecnológica atraindo os olhos das grandes montadoras.

A implementação da proposta estará baseada na adaptação de um carrinho de controle remoto que tenha direção e tração. Nesse carrinho será instalado um sensor laser, servo motor com movimentação de 180°, controladores para os motores elétricos e unidade de processamento baseado no Arduíno. O sensor com movimentação de 180° permitirá que o carrinho localize obstáculos em sua frente que poderiam causar colisão e agir conforme os dados informados. Dessa maneira o carrinho não saberá previamente qual será sua localização e usará as informações do sensor para tentar se localizar e percorrer a trajetória.

### **1.3 Contribuições**

As contribuições estão relacionadas com os objetivos descritos na subseção 1.2 e são elas:

- a) Utilização de componentes de baixo custo para verificação de obstáculos à frente do veículo em miniatura;
- b) Utilização de cálculos matemáticos para reconhecimento do trajeto e posicionamento do veículo;
- c) Uma nova proposta para reduzir custos para projetos que não necessitem de uma resposta imediata;
- d) Uma nova proposta para a utilização de apenas um feixe de luz para varredura de uma área de 180°;
- e) Adaptação e aplicação de sistemas complexos e que necessitam de múltiplos feixes sendo lançados constantemente;
- f) Adaptação e aplicação de uma métrica para determinar a presença de obstáculos em rota do veículo em miniatura.

### **1.4 Organização do Trabalho**

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: no Capítulo são apresentados conceitos teóricos para se compreender o projeto, bem como uma revisão dos trabalhos correlatos, no Capítulo 3 é apresentado a metodologia de desenvolvimento do projeto, no Capítulo 4 são apresentados os testes realizados e a análise dos resultados e, finalmente, no Capítulo 5 a conclusão sobre este trabalho.

## 2 Revisão Bibliográfica e Trabalhos Correlatos

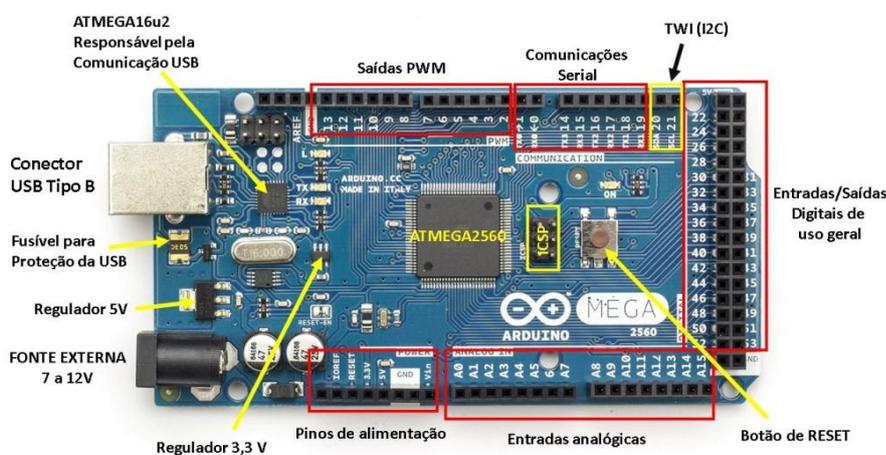
Veículos autônomos têm chamado à atenção, não somente do público em geral, como também de montadoras tradicionais. A ideia de um veículo que trafegasse sozinho, sem um condutor, não é nova. No início da década de 50 nos EUA uma empresa de geração de energia elétrica estava propondo um conceito de veículos autônomos onde o objetivo era oferecer conforto e comodidade em uma viagem. Entretanto, o maior desenvolvimento somente veio em 2004, quando o DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ofereceu 1 milhão de dólares para a Universidade que conseguisse criar um veículo que cruzasse um deserto e retornasse ao ponto de partida em menor tempo e de forma autônoma. No desafio de 2004 ninguém conseguiu vencer, mas com a continuação do apoio e pesquisas, na edição de 2005 um veículo chamado Stanley da Universidade de Stanford (Califórnia-EUA) ganhou a corrida.

Para o desenvolvimento desse projeto utilizaremos uma placa Arduíno MEGA 2560 para controle e gerenciamento da lógica de programação que será utilizada, sensor laser VL53L0X trabalhando juntamente a um micro servomotor tg9 para detectar obstáculos e dar referência do trajeto que será percorrido e uma ponte H para controle de velocidade do veículo. A seguir teremos algumas descrições básicas dos componentes que iremos utilizar, assim como as características de cada um. *(Fonte: Autor, 2024)*

## 2.1 Arduíno MEGA 2560

A placa Arduino Mega 2560 é mais uma placa da plataforma Arduino que possui recursos bem interessantes para prototipagem e projetos mais elaborados. Baseada no microcontrolador ATmega2560, possui 54 pinos de entradas e saídas digitais onde 15 destes podem ser utilizados como saídas PWM. Possui 16 entradas analógicas, 4 portas de comunicação serial. Além da quantidade de pinos, ela conta com maior quantidade de memória que Arduino UNO, sendo uma ótima opção para projetos que necessitem de muitos pinos de entradas e saídas além de memória de programa com maior capacidade. Ele contém todos os componentes necessários para suportar execução de projetos de todos os tipos que necessitem de um controle de programação através de um microcontrolador, simplesmente conecte a um computador pela porta USB ou alimente com uma fonte ou com uma bateria e tudo pronto para começar. (Fonte: <https://embarcados.com.br/>). Abaixo uma imagem de placa utilizada em Figura 1.

Figura 1 - Vista geral da placa do Arduino Mega



Fonte: [eletruscomp.com.br/arduino-mega-2560-r3](https://eletruscomp.com.br/arduino-mega-2560-r3), 2018.

## 2.2 Sistema LiDAR

O sistema LiDAR funciona de maneira semelhante ao radar e sonar, emitindo ondas de energia para detectar e rastrear obstáculos. No entanto, ao invés de usar micro-ondas (radar) ou ondas sonoras (sonar), o LiDAR utiliza luz refletida, o que permite medir distâncias com maior rapidez, precisão e resolução.

Um equipamento típico de varredura LiDAR é composto por:

- Um scanner a laser que emite pulsos rápidos de luz laser infravermelha próxima.
- Um sensor LiDAR que detecta e coleta os pulsos de luz de retorno.
- Um processador que calcula o tempo e a distância, construindo a nuvem de pontos LiDAR.

Para garantir a precisão, o sistema LiDAR também utiliza eletrônicos de manutenção de tempo, uma unidade de medição inercial (IMU) e GPS. O sensor LiDAR emite pulsos de luz laser, que retornam ao sensor após refletirem nos obstáculos. O tempo de retorno é medido para calcular a distância com precisão.

Existem dois tipos principais de sistemas LiDAR:

**1. LiDAR transportado pelo ar:** Utiliza leitores LiDAR montados em aeronaves para gerar modelos 3D da superfície do solo. Inclui tecnologias como LiDAR batimétrico e LiDAR baseado no espaço.

**2. LiDAR terrestre:** Utilizado para mapeamento de terreno e paisagem, pode ser estático (fixo) ou móvel (montado em veículos).

Neste projeto, utilizaremos um sistema LiDAR móvel, que coleta dados em tempo real de um veículo em movimento, essencial para o desenvolvimento de assistência ao motorista e direção autônoma.

As varreduras LiDAR podem criar modelos detalhados do terreno e do fundo do mar, além de visualizações precisas e de alta resolução de obstáculos em movimento em tempo real. Isso permite uma ampla gama de aplicações em diversos setores:

**Agricultura:** Sensores LiDAR medem paisagismo agrícola, topografia, biomassa de colheita e propriedades do solo, além de pilotar veículos agrícolas autônomos.

**Aeroespacial e Defesa:** LiDAR é usado para mapeamento de terreno, rastreamento de alvos, caça a minas, geração de imagens através de nuvens e planejamento de missões.

**Automotivo:** Sistemas ADAS e veículos autônomos utilizam dados LiDAR 3D para navegação.

**Aviação:** LiDAR mede a velocidade do vento e rastreia aeronaves e detritos.

**Batimetria:** LiDAR batimétrico usa luz laser verde para criar modelos digitais de elevação de águas rasas e fundos marinhos.

**Construção:** LiDAR pesquisa locais de construção, calcula volumes de materiais e realiza inspeções de segurança.

**Energia:** LiDAR avalia recursos eólicos, explora petróleo e gás e gerencia vegetação.

**Entretenimento:** LiDAR mapeia ambientes para realidade virtual e aumentada.

**Silvicultura:** LiDAR mede características estruturais de árvores e monitora incêndios florestais.

**Geologia e Mineração:** LiDAR levanta, mapeia e garante a segurança em minas e pedreiras.

**Manufatura:** LiDAR cria modelos 3D de obstáculos e detecta anomalias e defeitos.

**Mapeamento:** LiDAR cria modelos de elevação digital e mapeia infraestruturas.

**Controle de Vegetação:** LiDAR escaneia o dossel da floresta e monitora a saúde da vegetação.

**Previsão Meteorológica:** LiDAR mede parâmetros atmosféricos para modelos de previsão do tempo.

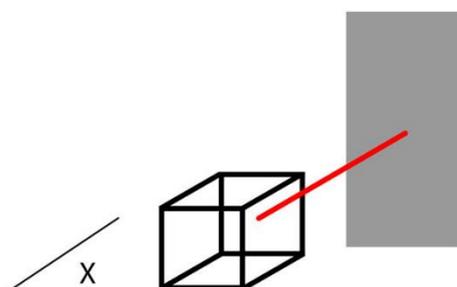
Essas aplicações demonstram a versatilidade e importância do LiDAR em diversos setores. Exatamente pela qualidade desta tecnologia que a utilização de um sistema de medições de distância LiDAR 1D seria muito importante para as respostas com velocidade sob um veículo em movimento, e por este motivo que escolhemos este tipo de sistema para este projeto.

*(Fonte: IBM – “O que é LiDAR?”)*

### 2.2.1 LiDAR 1D

Sistema que gera informações apenas em um plano cartesiano, o X. Como demonstrado em figura 2.

Figura 2 – Visualização do plano cartesiano analisado pelo LiDAR 1D.



Fonte: *generationrobots.com*, 2024.

### 2.2.2 Sensor de distância VL53L0X

O Sensor de Distância VL53L0X é um módulo eletrônico de alta precisão e velocidade na resposta, exatamente por essas qualidades que este sensor foi escolhido para este projeto. Ele é capaz de fazer medições de distâncias precisas com mínima margem de erro se comparado a outros sensores existentes no mercado atual. O funcionamento é simples e rápido, quando em operação ele envia um laser invisível a olho nu, fazendo com que o sensor consiga medir com exatidão o tempo de resposta, fazendo a conversão na respectiva medida obtida. Para facilitar a utilização com microcontroladores, entre eles, o Arduino, o Sensor de Distância VL53L0X possui integrado em seu circuito um STM32 de forma a eliminar as comunicações complexas. Ele apresenta como possibilidade de comunicação o tipo I2C. A principal em relação a sensores ultrassônicos é que ele apresenta estrito “cone” para medição da distância, ao contrário daquele gerados pelas ondas ultrassônicas que acabam por comprometer a exatidão dos dados em relação à maior área que vai abranger.

#### **CARACTERÍSTICAS:**

- Sensor de Distância VL53L0X WCMCU-531;
- Módulo de medição de distância;
- Alta precisão;
- Exclusivo método de medição por laser;
- Menos margem de erro;
- Regulador de tensão integrado;
- Mais possibilidades de comunicação;
- Elimina as comunicações complexas;

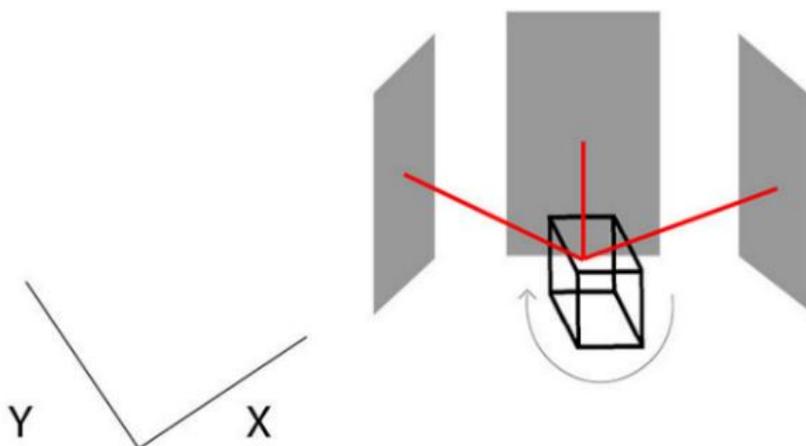
#### **ESPECIFICAÇÕES:**

- Modelo: VL53L0X / WCMCU-531;
- Tensão: 3 a 5V DC (Regulador integrado);
- Distância de medição absoluta: ~2m;
- Margem de erro:  $\pm 3\%$ ;
- Comunicação: I2C;
- Taxa de transmissão de Série: 9600;
- Dimensões (CxLxE): 25x12,7x3,5mm.
- Peso: 1,5g.

### 2.2.3 LiDAR 2D

Sistema que gera informações sobre os pontos cartesianos X e Y. Como demonstrado em figura 3.

Figura 3 - Visualização do plano cartesiano analisado pelo LiDAR 2D.

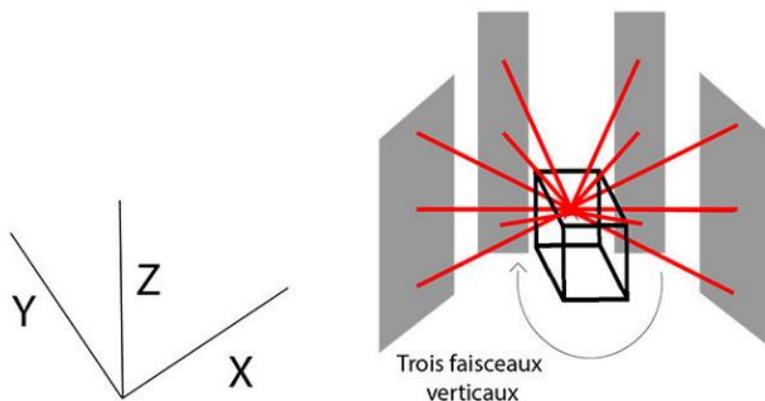


Fonte: generationrobots.com, 2024.

### 2.2.4 LiDAR 3D

Sistema que gera informações sobre os pontos cartesianos X, Y e Z. Como demonstrado em figura 4.

Figura 4 - Visualização do plano cartesiano analisado pelo LiDAR 3D.



Fonte: generationrobots.com, 2024.

### **2.3 Considerações Finais**

Este capítulo procurou destacar os principais pontos de inspiração que conduzem este trabalho de pesquisa. A organização dos temas cobertos procurou apontar:

- a) A relação entre feixes de luz e rastreamento de obstáculos;
- b) Funcionamento de diferentes sistemas de um LiDAR;
- c) Sensores, atuadores e sistemas utilizados;
- d) Precisão e velocidade de um sistema de posicionamento por luz.

Cada um dos itens listados são temas que, de alguma maneira, estarão relacionados com os sistemas artificiais que serão discutidos nos próximos capítulos deste trabalho. Assim, essa mínima introdução se faz necessária para ressaltar as bases geométricas que conduziram os estudos e relacioná-los com a temática principal da tese que é a criação de um sistema LiDAR 2D a partir de um LiDAR 1D.

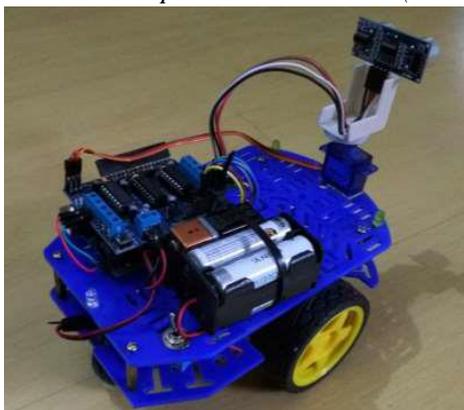
É importante também observar que os conceitos espaciais abordados neste texto são apenas ilustrativos e inspiradores dos mecanismos e estratégias de processamento de informações discutidos nos capítulos que se seguem. Os processos espaciais são complexos e exigem conhecimentos técnicos e geométricos a fim de entender o posicionamento do veículo. As informações recebidas do sensor laser, LiDAR 1D, devem ser reconhecidas e seu posicionamento informado a fim de que o veículo não sofra nenhuma colisão em seu trajeto.

## 2.4 Trabalhos Correlatos

**CARRO EXPLORADOR AUTÔNOMO** - José Rodrigues Moreira e Marcelo Pesci – Fatec Santo André – Eletrônica Automotiva - 2017.

O projeto do Carro Explorador Autônomo (CEA) visa proporcionar maior segurança e comodidade aos motoristas ao dirigir em terrenos com vários tipos de obstáculos, como carros, pedestres, árvores, paredes, animais, entre outros. O motorista decide quando iniciar e parar o veículo em qualquer ponto durante a viagem, enquanto o CEA é responsável por reconhecer e evitar diferentes obstáculos. O projeto consiste em um modelo em miniatura equipado com sensor ultrassônico sob um servomotor fazendo uma varredura de 180° localizados na frente do veículo para informar um sistema central sobre a aproximação de um obstáculo. Uma placa eletrônica com um microcontrolador é usada para gerenciar este sistema, recebendo dados de sensores distribuídos por todo o veículo para identificar e interpretar a situação naquele momento, enviando comandos para seus atuadores interconectados. A direção a ser tomada é escolhida com base no maior espaço disponível reconhecido pelo sensor ultrassônico para o carro passar com segurança, mantendo uma velocidade máxima de 10 km/h. O projeto envolve o desenvolvimento de um protótipo de Carro Explorador Autônomo usando a plataforma Arduino. O carro está equipado com um sensor ultrassônico HC-SR04 montado em um motor servo na frente, que verifica a presença de obstáculos e determina o caminho mais seguro para continuar sua trajetória. O carro também possui LEDs para sinalizar a marcha à ré e as mudanças de direção. Durante a construção, desafios como manter o movimento em linha reta, estabilidade da fonte de alimentação, posicionamento do sensor e detecção de obstáculos foram abordados. Trabalhos futuros incluem melhorar a capacidade do carro de navegar sem parar, adicionar mais sensores, implementar direção elétrica, aumentar o modelo e incorporar tecnologia GPS. Abaixo imagem demonstrando projeto realizado em figura 5.

*Figura 5 – Carro Explorador Autônomo (CEA)*

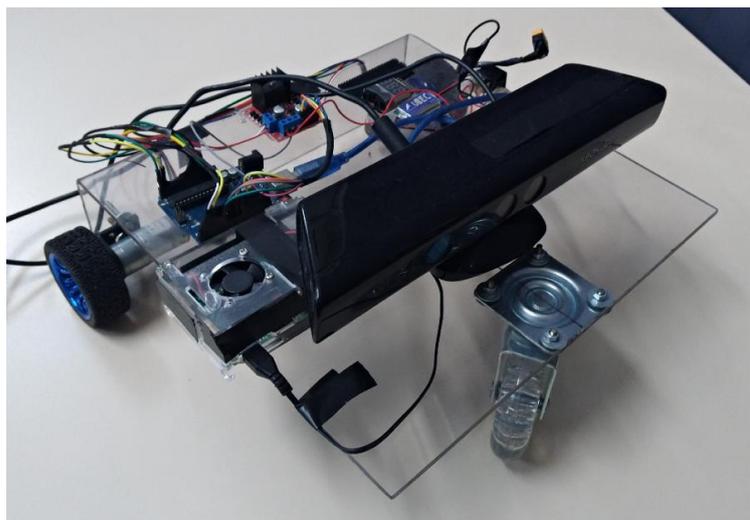


*Fonte: Projeto de graduação Carro Explorador Autônomo (CEA), 2017.*

**ROBÔ GUIADO MAPEADOR DE AMBIENTES INTERNOS** - Guilherme Arcas Daniluski e Lucca Baratera Rosa – Fatec Santo André – Mecatrônica Industrial – 2018

O projeto discute o crescimento da robótica autônoma e a necessidade de robôs terem conhecimento do espaço ao seu redor para planejar seus movimentos. Isso foi discutido através de testes realizados por sensores como ultrassônicos, infravermelho ou sistemas de visão computacional Microsoft Kinect de primeira versão, sendo escolhido este último para o funcionamento deste projeto por conta da vastidão de bibliotecas para tornar possível a leitura de um espaço qualquer com uma diminuição de erros razoável, além de contribuir para a localização do robô com bibliotecas com odometria visual., que são convertidos em representações gráficas. As aplicações desses conceitos variam desde aspiradores de pó robóticos, ajudantes domésticos, robôs exploradores até carros autônomos. O projeto também aborda as limitações e desafios associados à velocidade e agilidade do protótipo, bem como os erros de localização acumulados ao longo da odometria. O projeto permitiu a análise do funcionamento de um robô guiado mapeador de ambientes internos desde sua concepção até a construção do protótipo. Abaixo imagem demonstrando projeto realizado em figura 6.

*Figura 6 – Robô Guiado Mapeador de Ambientes Internos*



*Fonte: Projeto de graduação Robô Mapeador de Ambientes Internos, 2018.*

### 3 Metodologia

Serão apresentados todos os detalhes envolvidos na construção do LiDAR 2D a partir de um 1D, desde a plataforma escolhida até as programações implementadas, descrever os materiais e a metodologia aplicados nesse projeto, os conceitos por traz da criação deste sistema, a implementação do software de controle com código fonte e implementação do hardware.

A próxima seção discute uma das questões fundamentais sobre o funcionamento do sistema LiDAR e suas utilizações. Para atingir o objetivo de reconhecimento de uma área em 180° do veículo, utilizou-se como base de experimentos os conhecimentos matemáticos de geometria e um sistema que gerasse movimentação ao LiDAR 1D utilizado no projeto.

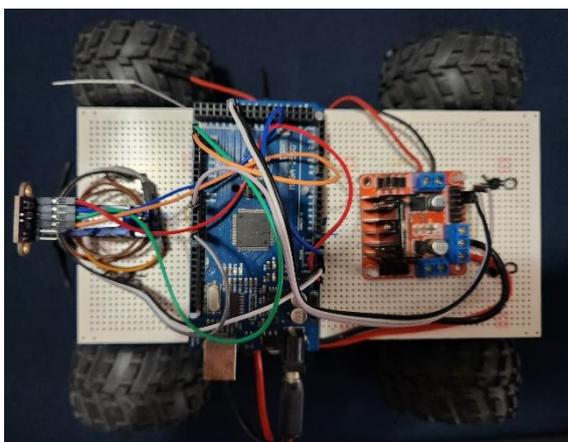
O capítulo finaliza propondo uma nova metodologia de visualização dos dados de sistemas com apenas um único sensor de distância. Entende-se que esta abordagem poderá ser útil para todos que trabalham com projetos de baixo custo que necessitem de reconhecimento de áreas de 180°, e agora expandidos neste capítulo.

O sistema LiDAR 2D ao ser ligado, executa leituras de 0° a 180° afim de verificar se existe algum obstáculo em sua frente que poderia causar colisão ao veículo em sua trajetória retilínea, caso não encontre nenhum obstáculo, ele se move para frente e continua verificando a área a frente do veículo a fim de detectar algo que fosse atrapalhar a sua movimentação, caso encontre o veículo irá diminuir sua velocidade até estar a uma distância programada em que irá interromper a sua movimentação freando o motor DC e interrompendo sua trajetória.

O veículo conta com um sensor laser VL53L0X posicionado na parte frontal montado sobre um servo motor, responsável pela movimentação do sensor para ambos os lados do veículo (direito e esquerdo), fazendo uma varredura de 180° a sua frente, este sensor vai monitorar a distância e a posição de obstáculos à frente do nosso veículo e ao se aproximar de um obstáculo que esteja na mesma trajetória do veículo a uma distância pré-determinada por uma programação, o veículo de mover. A Central recebe os sinais e envia um comando para a ponte H localizada na parte traseira do veículo para travar o motor interrompendo o movimento do veículo, o sistema LiDAR 2D segue fazendo leituras a fim de detectar a presença de obstáculos em sua trajetória e caso esse obstáculo anteriormente reconhecido não esteja mais ali, a central envia um comando a ponte H para que o veículo prossiga sua movimentação em linha reta.

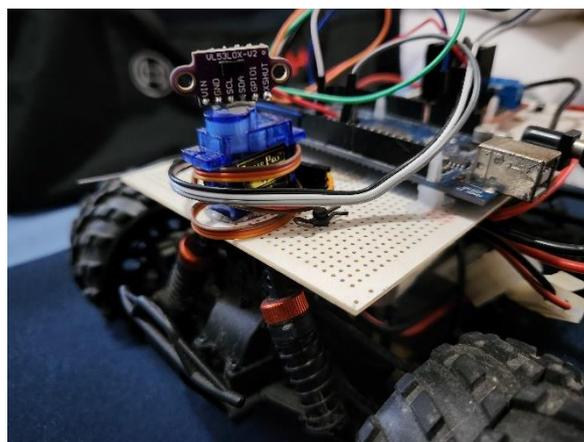
A utilização de um servomotor juntamente a um sistema de medição de distâncias 1D, no caso deste projeto o VL53L0X, é indispensável a fim de que este servomotor de a movimentação de  $180^\circ$  ao sensor 1D e através de cálculos na programação utilizada tenhamos resultados de obstáculos encontrados e sua posição na área reconhecida. O servomotor escolhido para ser utilizado no projeto foi o TowerPro 9G SG90. Abaixo imagens de figuras 7 e 8 referentes a montagem do sistema de servomotor e sensor de distância laser VL53L0X em veículo:

Figura 7 – Sistema em veículo



(Fonte: Autor, 2024)

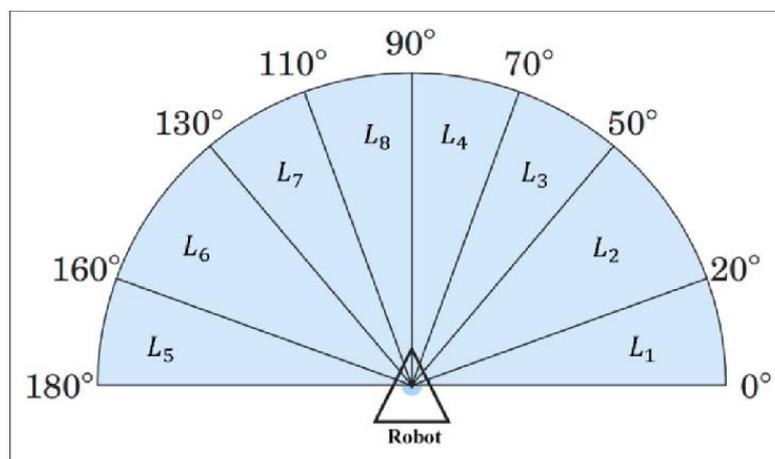
Figura 8 – Servomotor e Sensor 1D



(Fonte: Autor, 2024)

Como o foco deste projeto é a identificação de obstáculos na trajetória do veículo, sua aceleração, desaceleração e interrupção do movimento. Não foi instalado ou criado nenhum sistema de controle da direção, portanto o veículo ainda não irá executar nenhum comando a fim de evitar o obstáculo encontrado. Abaixo segue uma imagem da figura 9 como seria o reconhecimento da área a frente do veículo em  $180^\circ$ :

Figura 9 – Área de digitalização do LiDAR 2D na configuração de simulação.



(Fonte: researchgate.net, 2024)

### 3.1 Conhecimentos matemáticos utilizados no projeto

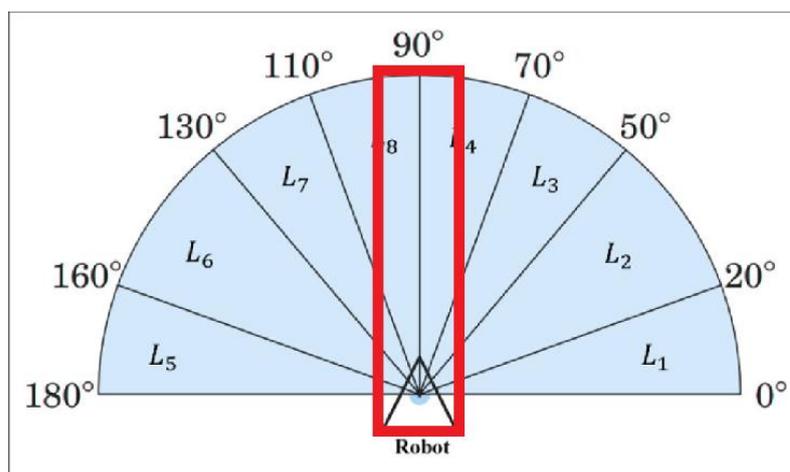
Esta seção demonstra os cálculos matemáticos utilizados no projeto afim de evitar colisões do veículo em seu trajeto retilíneo, onde qualquer obstáculo encontrado dentro das dimensões do veículo afim de acontecer uma colisão caso o veículo prossiga neste trajeto sua movimentação será diminuída ou impedida evitando assim a colisão com o obstáculo à frente do veículo.

Foram utilizados cálculos trigonométricos do Teorema de Pitágoras, onde através do conhecimento do ângulo da leitura, a distância conhecida e as dimensões do veículo podemos reconhecer se há algum obstáculo em alguma posição da trajetória que poderia causar uma colisão ao mesmo.

Na próxima seção iremos abordar sobre os resultados apresentados a fim de verificar a precisão do sistema e evitar colisões pelo nosso sistema LiDAR 2D a partir de um LiDAR 1D, medidas realizadas e problemas encontrados.

Com o intuito de verificar obstáculos na linha de trajetória do veículo o modelo proposto para reconhecimento da área a frente do veículo foi a utilização de razões trigonométricas que sendo programadas em relação as dimensões do veículo em que o sistema LiDAR 2D está instalado podem informar a existência de obstáculos no conhecido como “Túnel”, que pode ser identificado por toda a região conhecida da frente do veículo relacionada a sua dimensão de largura reconhecendo assim a área onde a posição de um obstáculo pode colidir com o veículo. Abaixo uma imagem da figura 10 definindo a área que pode ser conhecida como túnel do veículo:

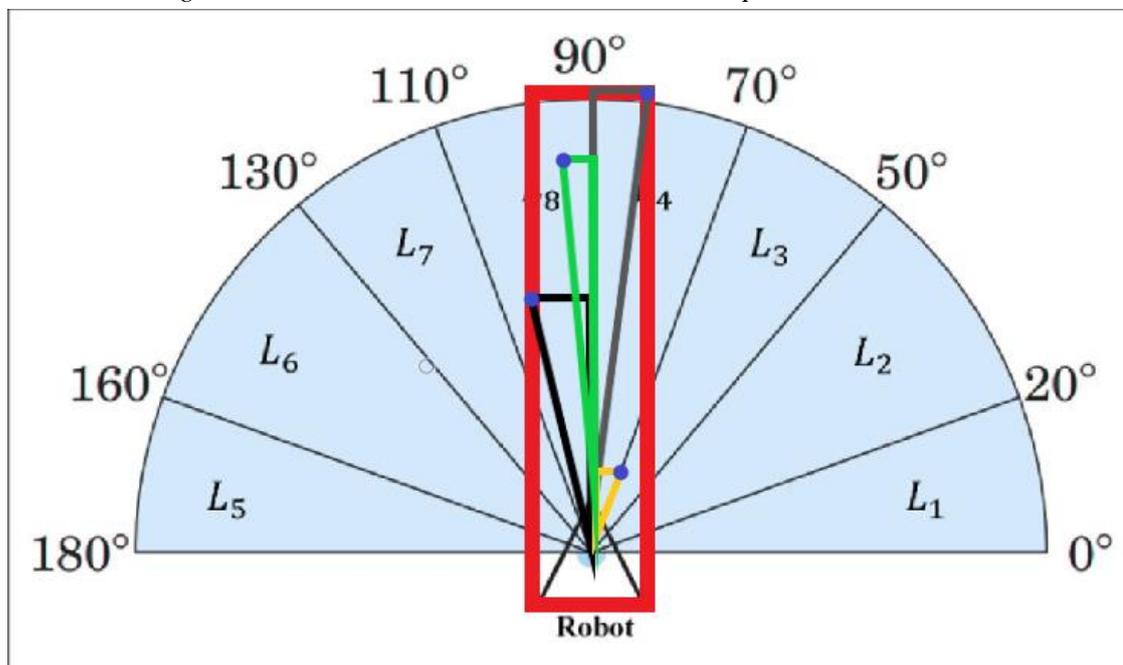
*Figura 10 - Túnel do veículo.*



(Fonte: researchgate.net + Paint, 2024)

A partir do conhecimento dessa área podemos através dos valores conhecidos de distância e posição em graus do servomotor juntamente à cálculos trigonométricos reconhecer a existência de obstáculos dentro do túnel sendo assim uma possível ameaça de colisão ao veículo. Abaixo uma imagem da figura 11 dando referência a obstáculos encontrados dentro do túnel:

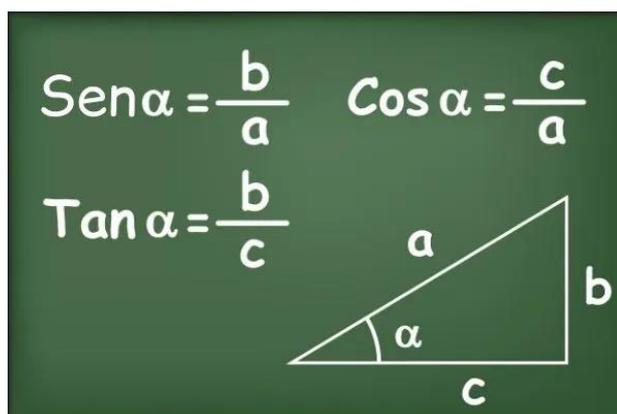
Figura 11 - Medidas internas ao túnel realizadas pelo LiDAR 1D.



(Fonte: researchgate.net + Paint, 2024)

Este reconhecimento interno ao túnel pode ser feito utilizando o cálculo trigonométrico de seno onde caso a distância encontrada (Cateto Adjacente) juntamente a posição angular deste obstáculo (Seno do ângulo) podemos encontrar o Cateto Oposto e se caso este resultado informe ao sistema que é menor que a metade da largura do veículo, ele se encontra dentro do túnel portanto irá ocasionar em uma colisão se o movimento continuar.

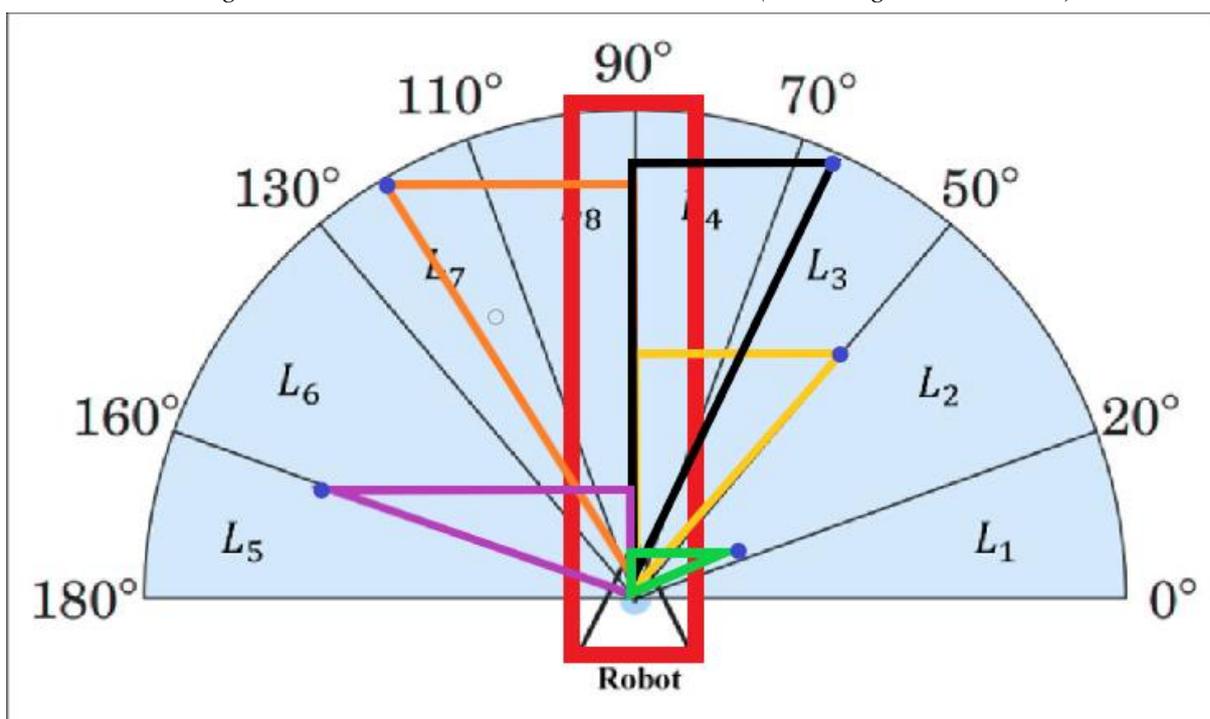
Figura 12 - Razões trigonométricas



Fonte: mundoeducacao.uol.com.br, 2018.

Através das mesmas razões trigonométricas temos também a detecção de obstáculos fora do túnel sendo estes reconhecidos pelo sistema LiDAR 1D, porém ignorados pois não oferecem perigo a trajetória retilínea do veículo. O reconhecimento de obstáculos fora do túnel pode ser importante também para projetos futuros em que havendo o conhecimento de obstáculos em posições e distâncias conhecidas pode ser informado ao sistema a necessidade de distanciamentos do obstáculo com a variação de direção e assim a trajetória do veículo.

Figura 13 - Medidas Fora do Túnel LiDAR 1D (researchgate.net + Paint)



(Fonte: researchgate.net + Paint, 2024)

Obtendo essas informações podemos assim garantir que o veículo em questão se movimenta apenas em locais onde sua trajetória não seja interrompida com uma colisão ao encontrar um obstáculo em seu túnel ou poder manter seu trajeto se caso detectar um obstáculo próximo, porém fora da área de seu túnel.

### 3.1.1 Teorema de Pitágoras

O Teorema de Pitágoras é um dos fundamentos mais conhecidos e utilizados pela matemática, especialmente na resolução de questões da geometria plana, geometria espacial, geometria analítica e trigonometria. (*Teorema de Pitágoras - educamaisbrasil.com.br*)

O teorema serve para encontrar a dimensão dos lados de um triângulo retângulo. A fórmula, que é bastante conhecida, é utilizada da seguinte forma:

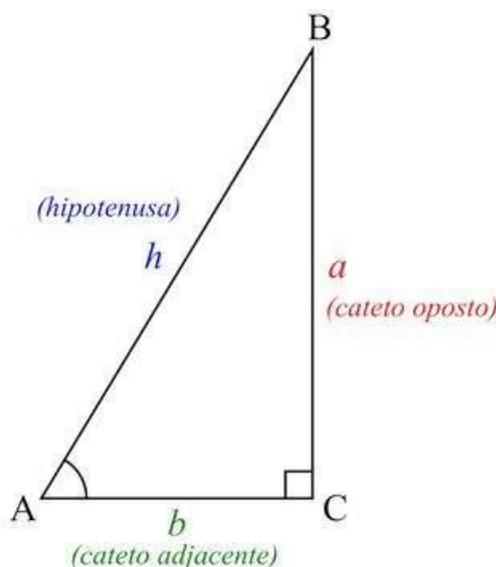
$$a^2 \text{ (hipotenusa)} = b^2 \text{ (cateto oposto)} + c^2 \text{ (cateto adjacente)}$$

Na matemática, quando o tamanho dos lados de um triângulo retângulo são números inteiros e positivos, é conhecido como triângulo pitagórico. Nessa categoria, os catetos e hipotenusas são chamados de “terno pitagórico primitivo” ou “trio pitagórico”. Para entender se o comprimento dos três lados de um triângulo retângulo forma um trio, basta utilizar a fórmula base do Teorema de Pitágoras.

**Categoria de triângulo que possui ângulo interno de 90°:** O triângulo retângulo é a forma geométrica que possui um ângulo reto (90°) e dois outros ângulos agudos (menores que 90°). A soma de todos os ângulos internos do triângulo retângulo corresponde a 180°, o que caracteriza como um ângulo raso. Já seus dois ângulos agudos são conhecidos como complementares, já que a soma dos dois resultará em 90°.

**Características do Triângulo Retângulo:** O triângulo retângulo é formado por propriedades específicas que mudam de acordo com a posição do ângulo reto.

*Figura 14 - Lados de um triângulo retângulo*



*Fonte: educamaisbrasil.com.br, 2018.*

### Lados

• **Hipotenusa:** lado oposto ao ângulo reto, sendo a maior lateral do triângulo retângulo. É representado na figura pela letra “h”.

• **Catetos:** lados que compõem o próprio ângulo reto. Caso o lado esteja perto do ângulo reto, é conhecido como adjacente; se tiver em sentido contrário, é conhecido como oposto. São representados na figura pelas letras “a” e “b”.

• **Altura relativa à hipotenusa:** comprimento entre a hipotenusa e o vértice oposto.

• **Projeções dos catetos:** separação da altura da hipotenusa em duas partes.

### Ângulos ( $\hat{A}$ )

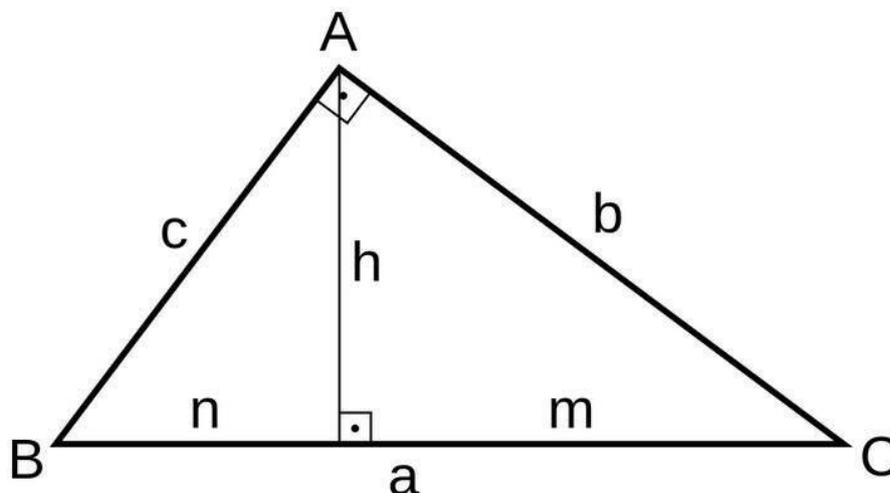
Em todos os triângulos retângulos os ângulos internos são: um reto e dois agudos. Os vértices dos ângulos são representados na figura por “A”, “B” e “C”.

Por isso, temos:

- C é o ângulo de  $90^\circ$  (reto)
- A e B são os ângulos menores de  $90^\circ$  (ângulos agudos)

**Relações Métricas do Triângulo Retângulo:** As relações métricas de um triângulo retângulo são representadas pelas interações entre os segmentos que compõem essa figura geométrica. Podemos entender essas relações das seguintes maneiras:

*Figura 15 - Relações métricas do triângulo retângulo*



*Fonte: educamaisbrasil.com.br, 2018.*

**a:** medida do lado oposto ao ângulo reto (hipotenusa)

**b e c:** são os catetos

**h:** altura da hipotenusa

**m:** projeção do cateto c sobre a hipotenusa

**n:** projeção do cateto b sobre a hipotenusa

Sendo assim, temos:

A hipotenusa é resultado da soma das projeções:

$$a = m + n$$

O quadrado da altura da hipotenusa é igual ao resultado das projeções dos catetos:

$$h^2 = m.n$$

O quadrado de um cateto é igual ao resultado entre a sua projeção e a hipotenusa:

$$b^2 = a.m$$

$$c^2 = a.n$$

O resultado entre a hipotenusa e sua altura equivale ao resultado dos catetos:

$$a.h = b.c$$

A soma do quadrado dos catetos é igual ao quadrado da hipotenusa (**Teorema de Pitágoras**):  $a^2 = b^2 + c^2$

### **Triângulo Retângulo e a Trigonometria**

A trigonometria é a vertente da matemática que estuda as interações entre os lados e ângulos do triângulo reto ( $90^\circ$ ). Sendo assim, as funções trigonométricas de um triângulo retângulo são:

**Seno:** encontrado através da divisão entre os lados que formam um dos ângulos agudos. Função utilizada para a detecção de obstáculos em trajetória com as dimensões do veículo.

*Figura 16- Fórmula do seno*

$$\text{Seno } (a) = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{hipotenusa}}$$

*Fonte: educamaisbrasil.com.br, 2018.*

**Cosseno:** encontrado através da divisão entre o valor do cateto adjacente e a medida da hipotenusa. Função utilizada para verificar a continuidade de leituras subsequentes afim de identificar obstáculos encontrados continuamente onde através destes cálculos podemos definir uma parede em alguma posição.

*Figura 17 - Fórmula do cosseno*

$$\text{Cosseno } (a) = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}}$$

*Fonte: educamaisbrasil.com.br, 2018.*

**Tangente:** encontrado através da divisão entre o seno e o cosseno de um dado ângulo ou entre os catetos.

*Figura 18 - Fórmula da tangente*

$$\text{Tangente } (a) = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}}$$

*Fonte: educamaisbrasil.com.br, 2018.*

- O matemático Regiomontanus foi o primeiro a separar os estudos da trigonometria da astronomia, mas foi o astrônomo Hiparco de Niceia quem inseriu a trigonometria nos estudos científicos.

- Os ternos pitagóricos primitivos foram encontrados antes mesmo do próprio Pitágoras. Eles apareceram em problemas matemáticos dos povos da Babilônia e, posteriormente, foram estudados pelos pitagóricos, por Platão e de forma mais intensa na obra de Euclides de Alexandria, conhecido como pai da geometria.

- No livro “The Pythagorean Proposition” encontram-se 370 explicações diferentes para o Teorema de Pitágoras.

- O Teorema de Pitágoras é extremamente importante para a matemática, mas contém uma falha: quando o valor dos catetos do triângulo retângulo for igual, a hipotenusa não terá um valor racional.

- Para calcular a distância entre as margens de qualquer rio, basta fixar um ponto em alguma margem e medir o ângulo que se forma entre esse ponto e a outra margem. Essa

estrutura vai parecer um triângulo retângulo, onde já se sabe o ângulo, o cateto adjacente (distância que se caminhou até fixar o ponto), faltando apenas o cateto oposto (distância entre as margens). A fórmula da tangente do ângulo resolve rapidamente essa dúvida ( $\text{tg } A = \text{cateto oposto} / \text{cateto adjacente}$ ). (*Teorema de Pitágoras - educamaisbrasil.com.br*)

### **3.2 Considerações Finais**

Apresentou-se neste capítulo o desenvolvimento das propostas desta tese relacionadas com a utilização de um leitor de distância a fim de obter respostas de um sistema de LiDAR 2D. Destaca-se ser possível o reconhecimento de obstáculos na área anteriormente desconhecida a frente do veículo com apenas um leitor de distância.

Como discutido no Capítulo 3, seção 3, é possível trabalhar com um ponto de referência sem que haja perda significativa de informação. O LiDAR 1D pode ser considerado uma alternativa prática de redução de custos. Observa-se que o algoritmo utilizado pode fornecer informações precisas do posicionamento de obstáculos. Mas quando se trabalha com uma única referência, não é possível ter o compromisso de alta velocidade na resposta de um sistema LiDAR 2D. Portanto, a solução combinada um sistema LiDAR 1D + Cálculos Matemáticos de Geometria mostra-se muito útil em várias aplicações com dados de área.

## 4 Testes e Análise dos Resultados

Para contextualizar, a próxima seção apresenta um exemplo de como seria o funcionamento do sistema LiDAR 2D a partir de um LiDAR 1D e as geometrias envolvidas a fim de informar ao veículo a existência de obstáculos que poderiam comprometer o seu movimento retilíneo sejam eles em qualquer uma das posições onde o corpo do veículo colida com o obstáculo fazendo com que obstáculos encontrados fora das dimensões do veículo sejam reconhecidos, porém ignorados pois não irão colidir com ele. As próximas seções discutirão e descreverão as bases teóricas da proposta, comparação dos valores recebidos pelo sistema e os valores reais lidos por trena.

### 4.1 Testes Realizados

Foram realizados vários testes a fim de verificar a precisão e funcionamento do sistema, durante esses testes foram verificados pequenos ruídos no valor de distância e consequentemente todos os outros valores de cálculos acabam pegando estes ruídos, pois através do valor de distância lido e sua posição todos os cálculos são realizados e obtendo ruído no valor de distância esse ruído é “transmitido” para todas as outras partes do sistema. Ruídos estes que não influenciam no propósito deste projeto que é evitar a colisão de obstáculos encontrados em túnel, onde podemos obter com precisão a resposta de posição e distância para objetos abaixo de 1000 milímetros, que seria a distância ideal para detecção e ação do veículo autônomo.

Obtive também alguns valores fantasma em posições de curva do servomotor, posições essas que se limitavam de  $40^\circ$  à  $60^\circ$  e  $130^\circ$  à  $150^\circ$ , mesmo não havendo nada que pudesse gerar valores de distância nessas posições o sensor dava uma resposta de distância de aproximadamente 750 milímetros. Valores estes que não influenciavam no funcionamento total do sistema pois objetos encontrados nessas posições e distâncias ainda estariam fora do túnel de veículo, o que por sua vez acaba limitando um pouco mais a área de leitura do sistema em geral.

## 4.2 Resultados Obtidos

Apesar do sensor prometer uma leitura de até 2000 milímetros em testes realizados com o programa de LiDAR 2D, programa este que gera uma movimentação do sensor através de posições de um servomotor e leituras únicas de cada ponto a fim de se obter velocidade na resposta do ciclo total de medidas, não foi possível obter respostas de distâncias acima de 1200 milímetros, diminuindo assim em grande escala a área de leitura de nosso sistema porém não limitando o seu uso para escalas reduzidas e também não limitando a precisão de respostas sobre objetos detectados em túnel. Abaixo criei uma tabela com valores reais lidos por um trena e os valores obtidos pelo sensor enquanto código de LiDAR 2D a partir de um LiDAR 1D funcionava. Abaixo segue quadro com todas as referências de valores que foram retiradas de distâncias medidas no momento de 90° do servomotor:

*Quadro 1 – Comparação de Valores Medidos em 90°*

<b>Valor Real (mm):</b>	<b>Valor Lido por Sensor em 90°(mm):</b>
100	104
500	523
1000	1036
1200	1148
1300	Desconhecido (Valor máximo: 2000)
1500	Desconhecido (Valor máximo: 2000)

*Fonte: Autor, 2024.*

Através dos resultados apresentados podemos analisar que o valor lido pelo sensor em relação ao valor real é muito próximo podendo assim apresentar uma precisão nos valores lidos bem próxima ao real. Infelizmente não foram possíveis obter resultados acima de 1200 pois a partir desta distância o sensor começa a apresentar o valor máximo como se não tivesse nada em sua frente, isso acaba limitando a área a ser conhecida pelo sistema, o que pode diminuir o tempo de resposta do veículo até o encontro do obstáculo. Por conta desta diminuição da área a ser reconhecida em alguns casos devido a movimentação do servomotor se o veículo estiver em movimento rápido e a posição do servomotor estiver inversa a posição de um obstáculo pode ser necessária uma resposta muito rápida do sistema quando e se este obstáculo for detectado pelo servomotor antes que aconteça uma colisão.

### 4.3 Considerações Finais

Os resultados apresentados neste capítulo indicam que é possível obtermos resultados da posição, distância e localização de obstáculos encontrados por um sensor de distância de rápida leitura posicionado em um servomotor lhe oferecendo movimentação de  $0^\circ$  à  $180^\circ$  visando assim se tornar um sistema de reconhecimento LiDAR 2D a partir de um LiDAR 1D, sendo o LiDAR 1D o sensor de distância em questão.

Portanto, o LiDAR 2D a partir de um LiDAR 1D tem como maior característica a exploração e reconhecimento de obstáculos em uma área horizontal e a definição através da programação se essa distância e posição seriam problemas ao projeto em questão.

Por se tratar de um sistema onde temos apenas uma referência de distância e a necessidade de gravações de antigas posições e distâncias encontradas isso torna um ciclo completo de leitura de  $180^\circ$  um pouco demorado o que pode ser um problema para sistemas onde exijam uma alta velocidade de resposta e atuação, pois a atuação de movimento a um veículo por exemplo exigiria a necessidade de um ciclo completo de  $180^\circ$  e o não reconhecimento de obstáculos em seu túnel a fim de evitar a colisão do mesmo. Pode ser utilizado para reconhecer áreas e explorar perfeitamente, porém jamais apresentará respostas na mesma velocidade de um sistema com mais referências em tempo real de distância. Podem-se realizar refinamentos analíticos adicionais para adequar o algoritmo à aplicação. Caso pudessem implementar um sistema mais rápido de movimentação do sensor e análise de dados poderia auxiliar na resposta de um ciclo completo para este tipo de sistema.

Neste capítulo foram discutidas as bases para o uso de uma nova metodologia para mapear áreas e distâncias até então desconhecidas pelo sistema utilizado, no caso deste projeto um veículo de aceleração e frenagem de forma autônoma. Porém não excluindo a possibilidade de uso do conhecimento apresentado a outros projetos que necessitem de um reconhecimento de área a posição e a distância de obstáculos encontrados.

## 5 Discussões Finais e Conclusão

Este projeto teve como propósito conhecer e testar possíveis utilizações de sistemas 2D a partir de um único ponto de referência, podendo assim reconhecer uma área anteriormente desconhecida e agir em cima destes resultados apresentados a central por memorização de medidas realizadas.

Houve muitos desafios em conhecer os sistemas apresentados e atuar em um sistema físico a fim de executar os testes de funcionamento necessários ao projeto. Os desafios encontrados fizeram com que o projeto pudesse ser aprimorado procurando sempre por uma melhora em sua resposta, precisão e velocidade. Os estudos realizados me fizeram perceber que é possível existirem leituras de área com apenas um ponto de referência e assim sistemas autônomos agirem através de resultados obtidos.

Como dito em seção anterior por ser um sistema que necessita de movimentação, registro de dados, análise destes dados, pontos de leitura consecutivos e ações em cima destes resultados pode ser que seja um sistema lento para determinados projetos com velocidade alta, mas nada impede de ser um sistema com utilizações variadas em projetos que necessitem de conhecimento de uma área desconhecida.

Podemos analisar que há utilidades em sistemas LiDAR devido uma gama muito grande de possibilidades de utilização com ele, até em sistemas onde tenhamos apenas um ponto de referência, podendo assim ter respostas com precisão e agilidade por cada ponto necessário de conhecimento da distância e agir como melhor necessitado.

## 5.1 Propostas Futuras de Pesquisa

Através do conhecimento de uma área muitos outros projetos podem vir a ser utilizados para sistema autônomos. Há várias propostas de ampliação do trabalho apresentado. Pode-se destacar:

- a) A construção de um sistema com dois sensores de distância trabalhando inversamente proporcionais a fim de lerem a mesma área, podendo assim obter resultados mais rápidos de um local desconhecido.
- b) Utilização de sensores de distância tanto à frente do veículo como também em sua traseira, obtendo assim conhecimento de uma área desconhecida podendo realizar ações de movimentação traseira a fim de evitar obstáculos à sua frente ou traseira.
- c) Implementação de um sistema de direção autônomo ao veículo, podendo assim evitar obstáculos e seguir um caminho por conta própria.
- d) Implementação de conhecimentos de posicionamento e identificação de obstáculos ao software utilizado.
- e) Utilização de acelerômetro a fim de registrar as condições de inclinação do veículo e agir em cima disto.
- f) Utilização de GPS para conhecimento espacial do robô autônomo.
- g) Utilização de câmera de imagens a fim de reconhecer perfeitamente o caminho e obstáculos a serem encontrados.

## 6 Referências Bibliográficas

*IBM ; O que é LiDAR? ; 2024 ; Disponível em:*

<<https://www.ibm.com/br-pt/topics/lidar>> Acesso em 02/2024.

*Educa Mais Brasil ; Triângulo Retângulo ; 2018 ; Disponível em:*

<<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/matematica/triangulo-retangulo>> Acesso em 03/2024.

*Brincando com Ideias ; Sensor de Distância GY-53 ; 2019 ; Disponível em :*

<<https://www.youtube.com/watch?v=AyA0E4xANzA>> Acesso 03/2024.

*Mamute Eletrônica ; 087 - Sensor de Distância Laser - VL53L0X ; 2023 ; Disponível em:*

<<https://www.youtube.com/watch?v=MXIiKhuPfxU>> Acesso em 03/2024.

*Smart Kits ; Usando Múltiplos Sensores de Distância Laser VL53L0X; 2023 ; Disponível em:*

<<https://blog.smartkits.com.br/usando-multiplos-sensores-de-distancia-laser-vl53l0x/>> Acesso em 03/2024.

*SparkFun ; VL53L1X 4m Laser Distance Sensor; Disponível em:*

<<https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/sparkfun-vl53l1x-4m-laser-distance-sensor/>> Acesso em 03/2024.

*Embarcados ; Sensor de distância a laser – Time-of-Flight(ToF) ; 2020 ; Disponível em:*

<<https://embarcados.com.br/sensor-de-distancia-a-laser-time-of-flighttof/>> Acesso em 03/2024.

*Embarcados ; Como usar o sensor ToF para fazer LiDAR 2D ; 2022 ; Disponível em:*

<<https://embarcados.com.br/lidar-2d-sensor-tof/>> Acesso em 03/2024.

*Geo Sem Fronteiras ; O futuro do mapeamento e levantamento com sensores LiDAR ; 2023 ; Disponível em:*

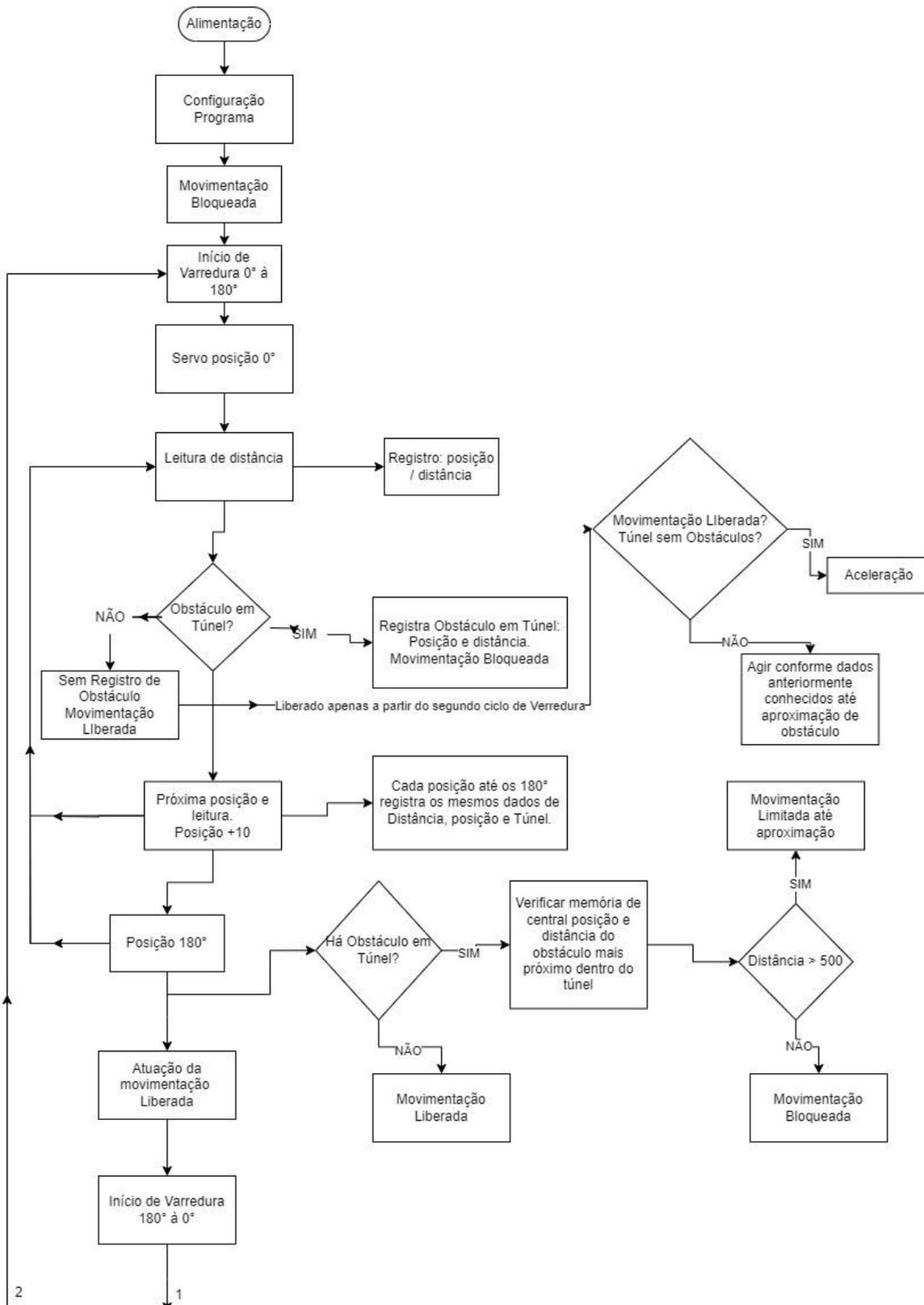
<<https://www.geosemfronteiras.org/blog/mapeamento-com-sensores-lidar/>> Acesso em 03/2024.

*Draw.io ; Criação de Fluxograma ; 2024 ; Disponível em:*

<<https://app.diagrams.net/>> Acesso em 05/2024.

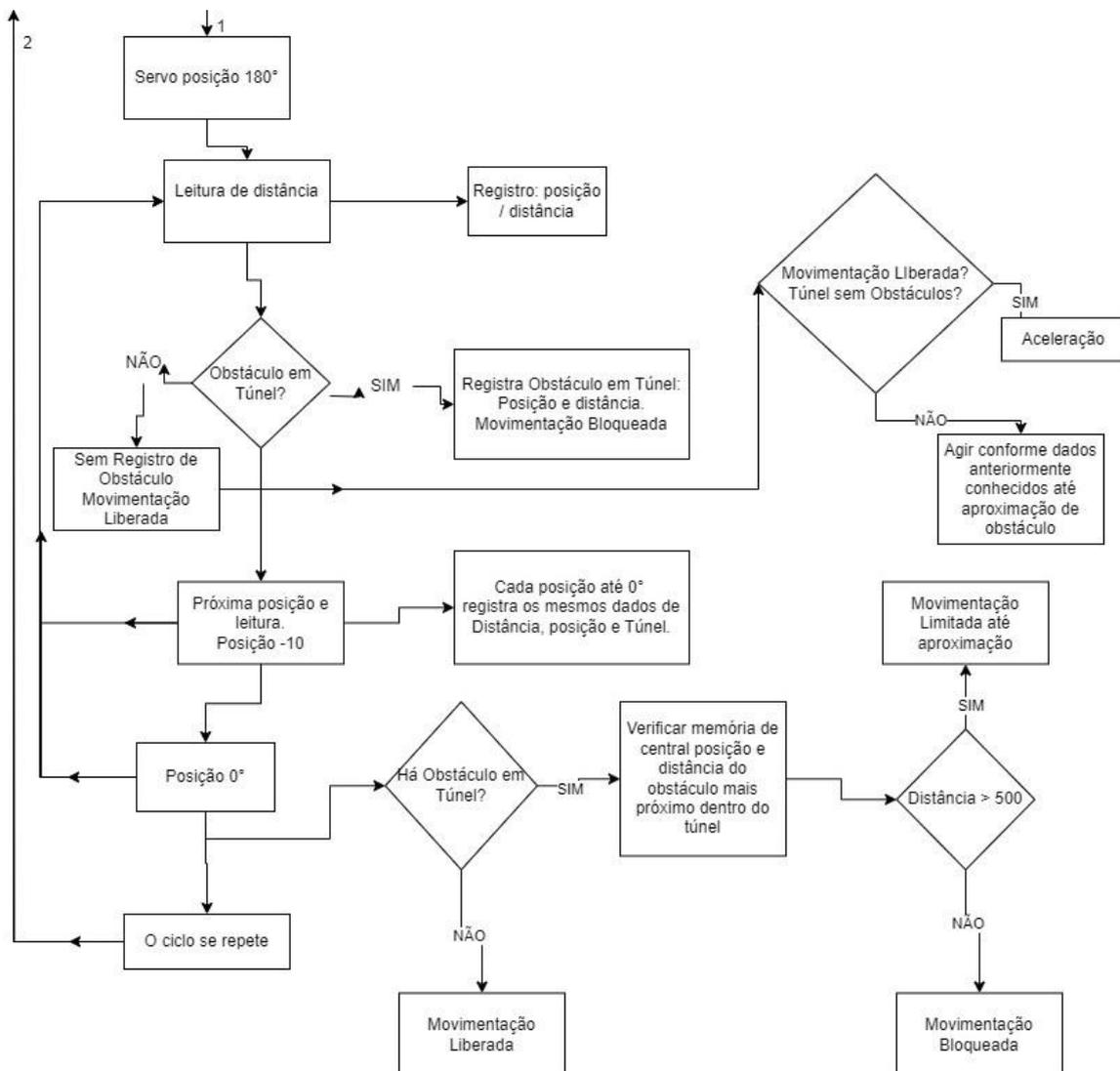
6.1 Fluxograma

Figura 19 – Fluxograma do Projeto - Página 1.



Fonte: draw.io – Autor, 2024.

Figura 20 – Fluxograma do Projeto - Página 2.



Fonte: draw.io – Autor, 2024.

## 6.2 Código Fonte

```
#include <Servo.h>

#include <Wire.h>

#include <VL53L0X.h>

#include <Math.h>

VL53L0X sensor;

#define SERVO 6 // Porta Digital 6 PWM

Servo s; // Variável Servo

int pos = -5; // Posição inicial Servo

int i = 0; //contagem leituras

int z; // contagem de medidas

int y; // contagem de medidas

int h; // contagem de medidas

int c = 0; // A < 1 rota de colisão

int d = 0; // A < 1 rota de colisão]

int e = 0; // Objeto continua ali?

double a;

int L = 250; //Largura total do veiculo em mm

int l = L / 2; // Metade de largura do veículo em mm

int C = 300; //Comprimento total do veiculo em mm

int D = 1200; // Valor máximo distância de leitura do sensor em mm
```

```
int g = 10; // Valor em graus movimento servo

int G = 180 / g;

int S[38];

int Smenor[38];

int menorS;

int menori;

double A[38];

int posmenor[38];

int T; // tunel

int H; //hipotenusa

int Hipcos; // distancia hipotenusa cosseno para descobrir cateto adjacente

int Hipsen; // distancia hipotenusa seno para descobrir cateto oposto

float ang;

float radsen;

float radcos;

double b[38];

int ciclo = 0;

int acelera = 200;

//Definicoes pinos Arduino ligados a entrada da Ponte H

int IN3 = 32 ;

int IN4 = 33 ;

int velocidade = 2;//pwn

void setup ()

{

  s.attach(SERVO);
```

```
Serial.begin(9600);

s.write(-5); // Inicia motor posição "zero"

Wire.begin();

sensor.setTimeout(500);

if (!sensor.init())
{
  Serial.println("Failed to detect and initialize sensor!");
  while (1) {}
}

// Start continuous back-to-back mode (take readings as
// fast as possible). To use continuous timed mode
// instead, provide a desired inter-measurement period in
// ms (e.g. sensor.startContinuous(100)).

sensor.startContinuous();

pinMode(IN3,OUTPUT);

pinMode(IN4,OUTPUT);

pinMode(velocidade,OUTPUT);
}

void loop()
{
  i = 0;
  for (i = 0 ; i <= G ; i++){
    Posicao180();
    s.write(pos);
```

```
//Serial.print("Posição: ");
//Serial.println(pos);

Leitura();

Pitagoras();

valorA();

//Serial.print("d : ");
//Serial.println(d);

//Serial.print("c : ");
//Serial.println(c);

objetotunel();

posicaoobjeto();

parede();

PonteH();

}

valorAi180();

//Serial.print("c : ");
//Serial.println(c);

checatunel180();

i = G + 1;

ciclo = 1;

for (i = G+1 ; i <= (G*2)+1 ; i++){

    Posicao0();

    s.write(pos);

    //Serial.print("Posição: ");

    //Serial.println(pos);
```

```
Leitura();
Pitagoras();
valorA();
//Serial.print("d : ");
//Serial.println(d);
//Serial.print("c : ");
//Serial.println(c);
objetotunel();
posicaoobjeto();
parede();
PonteH();

}

valorAi0();
//Serial.print("c : ");
//Serial.println(c);
checatunel0();

}

void posicaoobjeto(){
    if(c <= 0 && d <= 0){
        return;
    }
    if(c >= 1 || d >= 1){
```

```

//Serial.print("posição menor distancia: ");

//Serial.println(posmenor[menori]);

//Serial.print("Menor distancia : ");

//Serial.println(menorS);

    if(((posmenor[menori] <= posmenor[(((G+G)+1) - menori)] && (posmenor[menori]
    >= posmenor[(((G+G)+1) - menori])) && ((menorS <= menorS+10)&&(menorS >= menorS-
    10))) {

        //Serial.print("posmenor[");

        //Serial.print(menori);

        //Serial.print("]:");

        //Serial.println(posmenor[menori]);

        //Serial.print("Mesma distancia: ");

        //Serial.println(menorS);

        e = 1; // objeto na mesma posição

        //Serial.print("Valor e : ");

        //Serial.println(e);

        return e;

    }

    if(((posmenor[menori] <= posmenor[(((G+G)+1) - menori)] && (posmenor[menori]
    >= posmenor[(((G+G)+1) - menori])) && (menorS < menorS-10)) {

        //Serial.print("posmenor[");

        //Serial.print(menori);

        //Serial.print("]:");

        //Serial.println(posmenor[menori]);

        //Serial.print("Se aproximando: ");

        //Serial.println(menorS);

```

```

e = 1; // objeto na mesma posição
//Serial.print("Valor e : ");
//Serial.println(e);
return e;

}

if((posmenor[menori] != posmenor[((G+G)+1) - menori]) && (menorS > menorS+50)){
//Serial.print("posmenor[");
//Serial.print(menori);
//Serial.print("]:");
//Serial.println(posmenor[menori]);
//Serial.print("Objeto retirado, Se distanciando: ");
//Serial.println(menorS);
e = 0; // objeto em posição diferente
//Serial.print("Valor e : ");
//Serial.println(e);
return e;

}

}

}

void objetotunel(){

```

```
if(d <= 0 || (d <= 0 && c <= 0)){
    //Smenor[i] = S[i];
    return;
}
if(c >= 1 || d >= 1){
    Smenor[i] = S[i];
    //Serial.print("i menor : ");
    //Serial.println(i);
    //Serial.print("pos menor : ");
    //Serial.println(pos);
    posmenor[i] = pos;
}
return posmenor[i], Smenor[i];

}

void checatunel180(){
    if(c <= 0 && d <= 0){
        menorS = D;

        return;
    }
    if( c >= 1 || d >= 1){
        z=0;
```

```

y=0;

menorS = D;

//menori = -1;

for (z=0; z<=G; z++ )
{
    Serial.print("Smenor[");
    Serial.print(z);
    Serial.print("] : ");
    Serial.println(Smenor[z]);

    if (Smenor[z] < menorS && Smenor[z] > 0) { // Verifica se Smenor[z] é menor que
menorS e maior que zero

        menorS = Smenor[z]; // Atualiza menorS com o novo valor
        menori = z;
    }
}

for (y = 0; y <= G; y++) {
    Smenor[y] = 0; // Limpa os elementos relevantes de Smenor
}

return menorS, menori;

}

void checatunel0(){
    if(c <= 0 && d <= 0){

```

```

    menorS = D;

    return;
}

if( c >= 1 || d >= 1){

    z = G+1;

    y = G+1;

    menorS = D;

    //menori = -1;

    for (z = G+1 ; z<=(G*2)+1; z++ ){

        Serial.print("Smenor[");

        Serial.print(z);

        Serial.print("] : ");

        Serial.println(Smenor[z]);

        if (Smenor[z] < menorS && Smenor[z] > 0) { // Verifica se Smenor[z] é menor que
menorS e maior que zero

            menorS = Smenor[z]; // Atualiza menorS com o novo valor

            menori = z;

        }

    }

}

for (y = G+1 ; y <= (G*2)+1; y++) {

    Smenor[y] = 0; // Limpa os elementos relevantes de Smenor

}

return menorS, menori;

}

```

```

void parede(){

    Hipcos = S[i];

    //Serial.print("Valor de ang cosseno = ");

    //Serial.println(ang);

    radcos = radians(ang);

    //Serial.print("Valor de rad cosseno = ");

    //Serial.println(radcos);

    //A = sqrt((B*B) + (C*C)); // pitagoras - triangulo retangulo

    //H = sqrt((B*B) + (110*110));

    //cos(ang) = cat adj / hip

    b[i] = cos(radcos) * Hipcos; // descobrindo Cateto adjascente.

    if (b[i] < 0){

        b[i] = b[i] * -1;

    }

    if ((b[i] <= b[i-1]+10) && (b[i] >= b[i-1]-10)){ // se cateto adjascente de valor lido for
    proximo ao valor anterior encontrado

        //Serial.println("parede encontrada");

        //Serial.print("posição parede:");

        //Serial.print(posmenor[i]);

        //Serial.print("[");

        //Serial.print(i);

        //Serial.println("]");

        return b[i];
    }
}

```

```
    }  
    return;  
}  
  
void tunel(){  
    T = L*D; // area do tunel  
    return;  
}  
  
void Posicao180(){  
    if(i <= 0){  
        pos = -5;  
        return pos;  
    }  
    pos = pos + g;  
  
    return pos;  
}  
  
void Posicao0(){  
    if(i <= G+1 && i >= G+1){  
        pos = 175;  
        return pos;  
    }  
    pos = pos - g;
```

```
    return pos;
}

void Leitura(){
    delay(20);
    S[i] = sensor.readRangeSingleMillimeters();
    delay(20);
    if (S[i] >= D){ // Definindo um valor maximo ao sensor
        S[i] = D;
    }
    //Serial.print("i : ");
    //Serial.println(i);
    //Serial.print("S[");
    //Serial.print(i);
    //Serial.print("] : ");
    //Serial.println(S[i]);
    return S[i];
}

void valorA(){

    if (A[i] <= 1 && A[i] >= 1){
        d = 1;
        c = 1;
        return d;
    }
}
```

```
    if (A[i] >= 1){
        d = 0;
    }

    return d;
}

void valorAi180(){
    h=0;
    for (h=0; h<=G; h++ )
    {
        //Serial.print("A[");
        //Serial.print(h);
        //Serial.print("] : ");
        //Serial.println(A[h]);
        if (A[h] <= 1 && A[h] >= 1){
            c = 1;
            return c;
        }
        if (A[h] >= 1){
            c = 0;
        }
    }
    return c;
}
```

```
void valorAi0(){
h=G+1;
for (h=G+1 ; h<=(G*2)-1; h++ )
{
//Serial.print("A[");
//Serial.print(h);
//Serial.print("] : ");
//Serial.println(A[h]);
if (A[h] <= 1 && A[h] >= 1){
c = 1;
return c;
}
if (A[h] >= 1){
c = 0;
}

}
return c;
}
```

```
void Pitagoras()
{
ang = ((pos + 5) - 90);
if (ang == 0){
```

```
H = S[i];

a = 0;

return a;

}

if (ang == 90 || ang == -90){

    a = 0;

    return a;

}

//Serial.print("Valor de ang seno = ");

//Serial.println(ang);

radsen = radians(ang);

//Serial.print("Valor de rad seno = ");

//Serial.println(radsen);

Hipsen = S[i];

//sin(ang) = a / C;

//sin(ang)= cat op / hip

a = sin(radsen) * Hipsen; // descobrindo cateto oposto, tunel

if (a < 0){

    a = a * -1;

}

A[i] = a;

//Serial.print("A[");

//Serial.print(i);

//Serial.print("] : ");

//Serial.println(A[i]);

return a;
```

```

}

void PonteH ()
{
  if (ciclo <= 0){
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, HIGH);
    analogWrite(velocidade, acelera);
    return;
  }

  if ((pos >= 175 || pos <= -5) && (c <= 0 && d <= 0)){
    if(S[i] >= (D/3)+1 && S[i] <= D){
      digitalWrite(IN3, HIGH);
      digitalWrite(IN4, LOW);
      analogWrite(velocidade, acelera);
      Serial.print("Objeto distante ao lado de veículo");
      Serial.println();
      return;
    }

    if(S[i] >= 1+1 && S[i] <= D/3){
      digitalWrite(IN3, HIGH);
      digitalWrite(IN4, LOW);
      analogWrite(velocidade, acelera-50 );
    }
  }
}

```

```

Serial.print("Objeto próximo ao lado de veículo");

Serial.println();

return;

}

if(S[i] <= 1){

    digitalWrite(IN3, HIGH);

    digitalWrite(IN4, HIGH);

    analogWrite(velocidade, acelera);

    Serial.print("Objeto em colisão ao lado de veículo");

    Serial.println();

    c = 1;

    return;

}

}

if ((pos >= 175 || pos <= -5) && (c >= 1 || d >= 1 || e >= 1)){

    //digitalWrite(IN3, HIGH);

    //digitalWrite(IN4, HIGH);

    //analogWrite(velocidade, 100);

    //Serial.print("Objeto detectado a frente de veículo");

    //Serial.println();

    if (S[i] <= D-1 && S[i] >= (D/2)+1 && (c >= 1 || d >= 1 || e >= 1)){

        Serial.print("posmenor : ");

        Serial.println(posmenor[menori]);

        Serial.print("Menor distancia : ");

```

```

Serial.println(menorS);
if(menorS <= D-1 && menorS >= (D/2)+1){
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, LOW);
    analogWrite(velocidade, acelera-50);
    Serial.print("Objeto detectado em rota de colisão");
    Serial.println();
}
return;
}
if (S[i] <= D/2 && S[i] >= (D/3)+1 && (c >= 1 || d >=1 || e >= 1)){
    Serial.print("posmenor : ");
    Serial.println(posmenor[menori]);
    Serial.print("Menor distancia : ");
    Serial.println(menorS);
    if(menorS <= D/2 && menorS >= (D/3)+1){
        digitalWrite(IN3, HIGH);
        digitalWrite(IN4, LOW);
        analogWrite(velocidade, acelera/2);
        Serial.print("Objeto próximo em rota de colisão");
        Serial.println();
        c = 1;
    }
    return;
}
if (S[i] <= D/3 && (c >= 1 || d >=1 || e >= 1)){

```

```

Serial.print("posmenor : ");
Serial.println(posmenor[menori]);
Serial.print("Menor distancia : ");
Serial.println(menorS);
if(menorS <= D/3){
    Serial.println("Rota de colisão");
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, HIGH);
    analogWrite(velocidade, acelera);
}
return;
}

return;
}

if ((pos >= 84 && pos <=86) && (c <= 0 && d <= 0)){
    if(S[i] >= D){
        digitalWrite(IN3, HIGH);
        digitalWrite(IN4, LOW);
        analogWrite(velocidade, acelera);
        Serial.print("Frente livre");
        Serial.println();
        return;
    }
    if(S[i] <= D-1 && S[i] >= (D/2)+1){

```

```
digitalWrite(IN3, HIGH);  
digitalWrite(IN4, LOW);  
analogWrite(velocidade, acelera-50);  
Serial.print("Objeto detectado a frente de veículo");  
Serial.println();  
d = 1;  
c = 1;  
return;  
}  
if(S[i] <= D/2 && S[i] >= D/3){  
digitalWrite(IN3, LOW);  
digitalWrite(IN4, HIGH);  
analogWrite(velocidade, acelera);  
delay(20);  
digitalWrite(IN3, HIGH);  
digitalWrite(IN4, LOW);  
analogWrite(velocidade, acelera/2);  
Serial.print("Objeto proximo a frente de veículo");  
Serial.println();  
d = 1;  
c = 1;  
return;  
}  
if(S[i] <= D/3){  
digitalWrite(IN3, LOW);  
digitalWrite(IN4, HIGH);
```

```

analogWrite(velocidade, acelera);

delay(100);

digitalWrite(IN3, HIGH);

digitalWrite(IN4, HIGH);

analogWrite(velocidade, acelera);

Serial.print("Objeto em rota de colisão a frente do veículo");

Serial.println();

d = 1;

c = 1;

return;

}

}

if ((pos >= 84 && pos <=86) && (c >= 1 || d >= 1 || e >= 1)){

  if(S[i] <= menorS){

    if(S[i] >= D){

      digitalWrite(IN3, HIGH);

      digitalWrite(IN4, LOW);

      analogWrite(velocidade, acelera);

      Serial.print("Objeto distante a frente de veículo");

      Serial.println();

      return;

    }

    if(S[i] <= D-1 && S[i] >= (D/2)+1){

      digitalWrite(IN3, HIGH);

      digitalWrite(IN4, LOW);

```

```
analogWrite(velocidade, acelera-50);

Serial.print("Objeto detectado a frente de veículo");

Serial.println();

return;

}

if(S[i] <= D/2 && S[i] >= D/3){

    digitalWrite(IN3, LOW);

    digitalWrite(IN4, HIGH);

    analogWrite(velocidade, acelera);

    delay(20);

    digitalWrite(IN3, HIGH);

    digitalWrite(IN4, LOW);

    analogWrite(velocidade, acelera/2);

    Serial.print("Objeto proximo a frente de veículo");

    Serial.println();

    return;

}

if(S[i] <= D/3){

    digitalWrite(IN3, LOW);

    digitalWrite(IN4, HIGH);

    analogWrite(velocidade, acelera);

    delay(100);

    digitalWrite(IN3, HIGH);

    digitalWrite(IN4, HIGH);

    analogWrite(velocidade, acelera);

    Serial.print("Objeto em rota de colisão a frente do veículo");
```

```
Serial.println();  
  
return;  
  
}  
  
}  
  
if(S[i] >= menorS){  
  
    if(menorS <= D-1 && menorS >= (D/2)+1){  
  
        digitalWrite(IN3, HIGH);  
  
        digitalWrite(IN4, LOW);  
  
        analogWrite(velocidade, acelera-50);  
  
        Serial.print("Objeto detectado em rota de colisão");  
  
        Serial.println();  
  
        return;  
  
    }  
  
    if(menorS <= D/2 && menorS >= (D/3)+1){  
  
        digitalWrite(IN3, LOW);  
  
        digitalWrite(IN4, HIGH);  
  
        analogWrite(velocidade, acelera);  
  
        delay(20);  
  
        digitalWrite(IN3, HIGH);  
  
        digitalWrite(IN4, LOW);  
  
        analogWrite(velocidade, acelera/2);  
  
        Serial.print("Objeto próximo em rota de colisão");  
  
        Serial.println();  
  
        return;  
  
    }  
  
    if(menorS <= D/3){
```

```

Serial.println("Rota de colisão");
digitalWrite(IN3, LOW);
digitalWrite(IN4, HIGH);
analogWrite(velocidade, acelera);
delay(100);
digitalWrite(IN3, HIGH);
digitalWrite(IN4, HIGH);
analogWrite(velocidade, acelera);
return;
}
}
}

```

```

if ((S[i] >= D && c <= 0 && d <= 0 && e <= 0) || (S[i] <= D-1 && c <= 0 && d <=
0 && e <= 0)){

```

```

    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, LOW);
    analogWrite(velocidade, acelera);
    Serial.print("Frente Livre");
    Serial.println();
    return;
}

```

```

if (S[i] <= D-1 && S[i] >= (D/2)+1 && (c >= 1 || d >= 1 || e >= 1)){
    Serial.print("posmenor : ");
    Serial.println(posmenor[menori]);
    Serial.print("Menor distancia : ");

```

```

Serial.println(menorS);

if(menorS <= D-1 && menorS >= (D/2)+1){

    digitalWrite(IN3, HIGH);

    digitalWrite(IN4, LOW);

    analogWrite(velocidade, acelera-50);

    Serial.print("Objeto detectado em rota de colis3o");

    Serial.println();

}

return;

}

if (S[i] <= D/2 && S[i] >= (D/3)+1 && (c >= 1 || d >=1 || e >= 1)){

    Serial.print("posmenor : ");

    Serial.println(posmenor[menori]);

    Serial.print("Menor distancia : ");

    Serial.println(menorS);

    if(menorS <= D/2 && menorS >= (D/3)+1){

        digitalWrite(IN3, LOW);

        digitalWrite(IN4, HIGH);

        analogWrite(velocidade, acelera);

        delay(20);

        digitalWrite(IN3, HIGH);

        digitalWrite(IN4, LOW);

        analogWrite(velocidade, acelera/2);

        Serial.print("Objeto pr3ximo em rota de colis3o");

        Serial.println();

    }

```

```
    return;
}
if (S[i] <= D/3 && (c >= 1 || d >=1 || e >= 1)){
    Serial.print("posmenor : ");
    Serial.println(posmenor[menori]);
    Serial.print("Menor distancia : ");
    Serial.println(menorS);
    if(menorS <= D/3){
        Serial.println("Rota de colisão");
        digitalWrite(IN3, LOW);
        digitalWrite(IN4, HIGH);
        analogWrite(velocidade, acelera);
        delay(100);
        digitalWrite(IN3, HIGH);
        digitalWrite(IN4, HIGH);
        analogWrite(velocidade, acelera);
    }
}
return;
}
}
```