

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Goiás - IFG**

Câmpus Itumbiara

**Bacharelado em Engenharia de Controle e
Automação**



**Desenvolvimento de Protótipo voltado à
Substituição da Visão Através de Alertas
Táteis para Deficientes Visuais**

Lucas Eusebio Lima

Itumbiara- GO

2019



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Lucas Eusebio Lima

Matrícula: 20151040102019

Título do Trabalho: Desenvolvimento de Protótipo voltado à Substituição da Visão Através de Alertas Táteis para Deficientes Visuais

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Local

_____, 23 / 11 / 2020.

Local

Data

Lucas Eusebio Lima

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Lucas Eusebio Lima

Desenvolvimento de Protótipo voltado à Substituição da Visão Através de Alertas Táteis para Deficientes Visuais

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Dr. Wellington do Prado

Itumbiara- GO
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L732d

Lima, Lucas Eusébio

Desenvolvimento de protótipo voltado à substituição da visão através de alertas táteis para deficientes visuais. / Lucas Eusébio Lucas. -- 2019.

138 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Wellington do Prado

1.Arduíno (Controlador programável) 2. Pessoas com deficiência visual
3. Tato (Sentidos) I. Título. II. Prado, Wellington.

CDD: 005.1

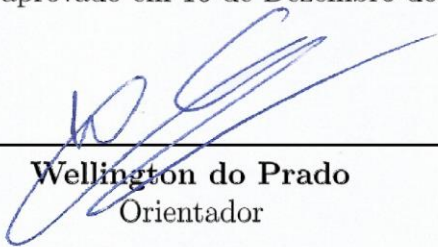
Bibliotecária: Rosiane Gonçalves de Lima CRB/1-1684

Lucas Eusebio Lima

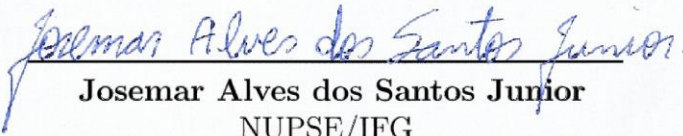
Desenvolvimento de Protótipo voltado à Substituição da Visão Através de Alertas Táteis para Deficientes Visuais

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

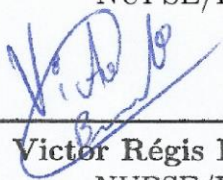
Trabalho aprovado em 16 de Dezembro de 2019.



Wellington do Prado
Orientador



Josemar Alves dos Santos Junior
NUPSE/IFG



Victor Régis Bernadeli
NUPSE/IFG

Itumbiara- GO
2019

Dedicado àquela que, em meio a inmensuráveis sacrifícios, me possibilitou tudo.

Dedicado a Eliene E. Tomaz, mãe.

Agradecimentos

Os agradecimentos principais são direcionados à senhora Eliene E. Tomaz, mãe, que se manteve como um imprescindível pilar para minha graduação, suportando, para isso, enormes dificuldades. Esta, assim como quaisquer demais conquistas alcançadas por mim, terão meus mais sinceros agradecimentos direcionados à sua presença em minha criação e formação.

Agradeço também toda motivação e apoio fornecido por minhas famílias, tanto biológica quanto a de consideração, que tive o grande prazer de conhecer na cidade de Itumbiara e que me acolheram de braços abertos, sua participação será sempre de imensa importância e terá a todo momento minha gratidão e apreço.

Agradeço ainda aos meus grandes amigos, tanto os que conheci durante a graduação quanto os que me acompanham desde muito antes, por suportarem ao meu lado as muitas adversidades que acabam por surgir e, também, por compartilharem e proporcionarem muitos momentos de alegria.

Deixo aqui também diversos agradecimentos a todos os professores que me guiaram durante o processo de graduação, por sua grande capacidade técnica e ensinamentos.

Ainda, gostaria de agradecer em especial ao orientador deste projeto, Wellington do Prado, por me confiar este trabalho, pelo claro entusiasmo, auxílio fornecido durante o processo de desenvolvimento e, também, pela atuação como um tutor de grande valor, me demonstrando as diversas capacidades e áreas de atuação que um engenheiro de Controle e Automação possui.

Resumo

Eusebio, L. **Desenvolvimento de Protótipo voltado à Substituição da Visão Através de Alertas Táteis para Deficientes Visuais**. 136 p. Monografia – Câmpus Itumbiara, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG, 2019.

Não é nenhuma novidade que uma pessoa, ao perder sua visão ou mesmo nascer sem ela, possa apresentar grandes dificuldades relacionadas à mobilidade. Indicadores alarmantes publicados no ano de 2017 pela Organização Mundial da Saúde, nos mostram que, por conta do envelhecimento da população mundial, o número de deficientes visuais possa triplicar até 2050. Dessa forma, existe uma crescente necessidade do desenvolvimento de sistemas eletrônicos que atuem como ferramentas de auxílio à este grupo. Atualmente, as opções mais simples e acessíveis são o uso de bengalas e/ou cães treinados os quais, mesmo com sua alta popularidade, não são opções capazes de fornecer ao deficiente visual toda a informação necessária para tornar sua mobilidade segura. Mesmo existindo uma clara demanda por tecnologias voltadas para este fim, a falta de sucesso dos projetos desenvolvidos anteriormente abre espaço para que novas pesquisas sejam realizadas, buscando aprimorar conceitos já colocados e apresentar novos, capazes de realmente se tornarem aplicáveis e úteis para quem os necessita. Baseado nisso, surge então a proposta deste projeto de conclusão de curso, que apresenta uma revisão bibliográfica de trabalhos já desenvolvidos no âmbito da mobilidade de deficientes visuais e, com base em dados de informações metodológicas e técnicas, realiza o desenvolvimento de um protótipo para testes de conceito, utilizando para isso um conjunto de sensores ultrassônicos e de motores vibradores para emissão de alertas táteis ao usuário, de forma a indicar tanto posição quanto a distância que ele se encontra de um obstáculo no ambiente. Posteriormente, são apresentados os resultados dos testes práticos realizados com o protótipo final sendo que, juntamente a isso, se encontra uma etapa dedicada à modelagem estatística dos erros de aferição do modelo de sensor aplicado quando submetido à uma situação ideal para seu funcionamento, afim de demonstrar o melhor desempenho que se pode esperar destes sensores. Finalmente, é feita uma avaliação geral sobre o funcionamento do trabalho, onde são listados os problemas encontrados e propostas de soluções e melhorias para serem avaliadas em trabalhos futuros.

Palavras-chave: Arduíno, Detecção de Obstáculos, Deficientes Visuais, Sensores Ultrassônicos

Abstract

Eusebio, L. **Prototype Development for Vision Replacement Using Tactile Alerts for the Visually Impaired**. 136 p. BS. Thesis – Faculty of Automation & Control, Federal Institute of Goias, 2019.

There is no news in stating that a person, after the loss of his vision or even when born without it, may present great problems related to mobility. Alarming indicators published in 2017 by the World Health Organization show us that, due to the global population aging, the number of visually impaired, along with the blind, could triple by 2050. Thus, there is a growing need for the development of electronic systems that act as tools to assist this group. Currently, the simplest and most affordable options are the use of canes and / or trained dogs which, despite their high popularity, are not options capable of providing to those persons with all the information necessary to make their mobility safe. Even though there is a clear demand for technologies aimed at this purpose, the lack of success of previously developed projects opens space for new research to be done, seeking to improve concepts already put forward and present new ones, capable of really becoming applicable and useful to those in need of them. Based on this, comes the proposal of this project, which presents a bibliographic review of some works already developed in the field of aiding the mobility of the visually impaired and, based on methodological and technical information data, develops a prototype for proof-of-concept, by using an array of ultrasonic sensors along with vibrating motors to send tactile alerts to the user, seeking to indicate both position and distance he is from an obstacle in the environment. Subsequently, the results obtained from the practical tests performed with the final prototype are presented and, also, this chapter shows a step dedicated to the statistical modeling of the absolute measurement errors of the sensor model applied, when subjected to an ideal situation for its operation, in order to demonstrate the best performance expected from these sensors. Finally, a general evaluation of the work is done, where are listed the problems encountered, along with solution proposals of improvements to be evaluated in future work.

Keywords: Arduino, Obstacle Detection, Ultrasonic Sensors, Visually Impaired People

Lista de ilustrações

Figura 1 – Número de pessoas com deficiência (IBGE, 2012)	25
Figura 2 – Interação entre a tecnologia assistiva e o usuário.	27
Figura 3 – Raios-X mostram o chip e a unidade de controle conectadas por cabos.	29
Figura 4 – Vista superior (esquerda) e lateral (direta) do sistema de Shin.	30
Figura 5 – Configuração do Sistema de Shin.	30
Figura 6 – Princípio de funcionamento do projeto de Cardin, Thalmann e Vexo (2007).	31
Figura 7 – Posição da câmera 1 (direita), 2 (esquerda) e do plano vertical virtual.	32
Figura 8 – Localização do córtex visual primário, secundário e do lobo temporal direito.	35
Figura 9 – Princípio de funcionamento básico do sensor de visão.	42
Figura 10 – Exemplo de paralaxe com o uso de duas câmeras.	43
Figura 11 – Funcionamento dos sensores ópticos de barreira.	44
Figura 12 – Funcionamento dos sensores ópticos reflexivos.	45
Figura 13 – Funcionamento dos sensores ópticos por difusão.	46
Figura 14 – Métodos de montagem e posicionamento de diferentes sensores ultrassônicos.	47
Figura 15 – Efeito do comprimento de onda sonora emitida por sensores US em corpos pequenos.	48
Figura 16 – Tipos de transdutores ultrassônicos.	49
Figura 17 – Exemplos de aplicação dos sensores ultrassônicos no meio industrial.	50
Figura 18 – Exemplos de modelos disponíveis comercialmente das placas Arduino.	51
Figura 19 – Resumo de recursos da placa Arduino MEGA 2560.	52
Figura 20 – Diagrama genérico em <i>box-plot</i> para identificação de quartis.	55
Figura 21 – Diagrama genérico em histograma.	56
Figura 22 – Distribuição Probabilística de Poisson.	57
Figura 23 – Curva de Distribuição Probabilística Normal.	58
Figura 24 – Curva de Distribuição Probabilística Uniforme.	59

Figura 25 – Sensor de visão PresencePlus P4 AREA.	62
Figura 26 – Sensor HC-SR04.	63
Figura 27 – Diagrama gráfico do ângulo útil de medição do sensor ultrassônico HC-SR04.	64
Figura 28 – Diagrama temporizado do processo de funcionamento do sensor HC-SR04.	65
Figura 29 – Motor do tipo <i>vibracall</i> modelo 1027.	66
Figura 30 – Efeito causado pela alteração do <i>Duty Cycle</i> em um módulo de PWM.	68
Figura 31 – Circuito para controle dos motores <i>vibracalls</i> via PWM.	69
Figura 32 – Circuito em PCI para utilização dos módulos USs com um único pino PWM.	70
Figura 33 – PCI projetada.	73
Figura 34 – Vistas de frente e perfil da peça frontal projetada.	74
Figura 35 – Vistas de frente e perfil da peça base projetada.	75
Figura 36 – Divisões feitas na peça de base para facilitar o processo de impressão 3D.	76
Figura 37 – Fluxograma genérico do funcionamento de um algoritmo orientado a eventos.	78
Figura 38 – Fluxograma simplificado do processo de execução do algoritmo desen- volvido.	79
Figura 39 – Conceitos de exatidão e precisão.	81
Figura 40 – Aplicação e resultados de um Filtro Digital de Médias Móveis.	82
Figura 41 – Ilustração do campo de visão disponível para o equipamento e exemplos de obstáculos comuns.	83
Figura 42 – Ciclo de alertas táteis.	84
Figura 43 – δ do aplicado sobre o sinal de PWM em relação linear.	85
Figura 44 – δ aplicado sobre o sinal de PWM em relação exponencial.	86
Figura 45 – Comparação entre as sequências de aferição.	88
Figura 46 – Fenômeno de reflexão sonora em superfície plana lisa.	89
Figura 47 – Situação montada para obtenção das amostras de distância.	92
Figura 48 – <i>Box-Plot</i> referente ao espaço amostral amostrado.	93
Figura 49 – Histograma referente ao espaço amostral analisado.	94
Figura 50 – PCI construída para o projeto.	99
Figura 51 – Peça frontal durante o procedimento de impressão 3D.	100
Figura 52 – Partes da peça de base após impressão 3D.	100
Figura 53 – Pulseira de silicone utilizada para acoplamento dos motores <i>vibracall</i> . .	101
Figura 54 – Preenchimento em resina epóxi juntamente a um dos quatro motores <i>vibracall</i>	101
Figura 55 – Fechos e engate rápido fixados por costura nas alças de tira elástica. . .	102
Figura 56 – Resultado construtivo final do projeto.	103

Figura 57 – Valores Críticos para a Distribuição Qui-Quadrado. Fonte: (CHWIF; MEDINA, 2014).	134
Figura 58 – Valores Críticos para o teste de Kolmogorov-Smirnov. Fonte: (CHWIF; MEDINA, 2014).	136

Lista de tabelas

Tabela 1	–	Lista de materiais utilizados para confecção da PCI.	72
Tabela 2	–	Padrões de alerta com base na localização do obstáculo.	83
Tabela 3	–	Distâncias limite para alerta ao usuário (em cm).	88
Tabela 4	–	Dados para construção do gráfico de quartis.	93
Tabela 5	–	Medidas de tendência central e de dispersão do espaço amostral completo.	93
Tabela 6	–	Medidas de tendência central e de dispersão sem <i>outliers</i>	94
Tabela 7	–	Distribuição por classes com correção para teste qui-quadrado.	96
Tabela 8	–	Dados para análise do teste de Qui-Quadrado.	97
Tabela 9	–	Espaço amostral para Testes de Aderência.	116
Tabela 10	–	Tabela de dados para teste de Kolmogorov-Smirnov.	118

Lista de abreviaturas e siglas

Siglas

AEV	Auxiliar Eletrônico de Viagem
DV(s)	Deficiência(s) Visual(is)
PCI	Placa de Circuito Impresso
PWM	Pulse Width Modulation
US	Ultrassônico
uC	Microcontrolador

Simbologia

λ	Comprimento de onda (metros)
δ	Razão cíclica (Duty) de sinal do tipo PWM (ad.)

Sumário

1	Introdução	25
1.1	Tecnologias Assistivas para cegos	26
1.1.1	Melhoria da Visão	27
1.1.2	Substituição da Visão	27
1.1.3	Restituição da Visão	28
1.1.4	Trabalhos Relacionados	29
1.2	Cegueira e DVs	33
1.2.1	Classificações	33
1.3	Efeitos Neurológicos das DVs	33
1.3.1	Plasticidade Cerebral	34
1.3.2	Compensação Sensorial	35
1.4	Objetivos	36
1.4.1	Objetivos específicos	36
1.5	Organização Metodológica	37
2	Referencial teórico	39
2.1	Transdutores	39
2.2	Sensores	40
2.2.1	Sensores de Visão Digitais	41
2.2.1.1	Detecção de Obstáculos com Sensores de Visão	42
2.2.2	Sensores Ópticos	43
2.2.2.1	Sensores Ópticos de Barreira ou Feixe Contínuo	44

2.2.2.2	Sensores Ópticos Reflexivos	44
2.2.2.3	Sensores Ópticos por Difusão	45
2.2.3	Sensores Ultrassônicos	46
2.2.3.1	Princípio de Funcionamento e Tipos de Transdutores . . .	47
2.2.3.2	Detecção de Obstáculos e Obtenção de Distância com Sensores Ultrassônicos	49
2.2.4	Plataforma Arduino	51
2.3	Modelagem Estatística	52
2.3.1	Coleta de Dados	53
2.3.2	Tratamento de Dados	53
2.3.2.1	Discriminação de <i>Outliers</i>	54
2.3.3	Inferência	55
2.3.4	Exemplos de Modelos Probabilísticos	56
2.3.4.1	Poisson ou Exponencial	56
2.3.4.2	Normal	57
2.3.4.3	Uniforme	58
3	Considerações Técnicas	61
3.1	Escolha de Sensor	61
3.2	Interface de Comunicação com o Usuário	65
3.2.1	Atuador	66
3.2.2	Controle de motores de Corrente Contínua	66
3.3	Microcontrolador	69
3.3.1	Operação de Sensores HC-SR04 via PWM Único	70
4	Desenvolvimento	71
4.1	Placa de Circuito Impresso	71
4.1.1	Materiais Utilizados	72
4.2	<i>Design</i> Construtivo Tridimensional	73
4.3	Algoritmo	76
4.3.1	Orientação a Eventos	77
4.3.2	Fluxograma de Operação	79

4.3.3	Filtro de Médias Móveis	80
4.3.4	Detecção de Obstáculos e Envio de Respostas Vibratórias	82
4.3.4.1	Padrões de Respostas Vibratórias	83
4.3.4.2	Intensidade dos Sinais Táteis	84
4.3.5	Atraso de Resposta	87
4.3.6	Alteração de Ambiente	88
4.3.7	Detecção de Obstáculos no Chão	88
5	Resultados e discussões	91
5.1	Modelagem de Erro Absoluto	91
5.1.1	Procedimento para Coleta de Dados	91
5.1.2	Tratamento dos Dados	92
5.1.3	Inferência	94
5.1.4	Testes de Aderência	95
5.2	Construção	99
5.2.1	Placa de Circuito Impresso	99
5.2.2	Peças em Impressão 3D	99
5.2.3	Pulseiras e Tornozeleiras	100
5.2.4	Alças	101
5.2.5	Protótipo Finalizado	102
5.3	Resultados de Funcionamento Geral	103
6	Conclusão	105
6.1	Considerações Finais	105
6.2	Trabalhos Futuros	106
	Referências	109
	 Apêndices	 113
	APÊNDICE A Espaço Amostral para Testes de Aderência	115
	APÊNDICE B Tabela para o Teste de Kolmogorov-Smirnov	117

APÊNDICE C Algoritmo - Detector de Obstáculos	119
---	-----

Anexos	131
--------	-----

ANEXO A Valores Críticos para Qui-quadrado	133
--	-----

ANEXO B Valores Críticos para Kolmogorov-Smirnov	135
--	-----

Introdução

De todos os cinco sentidos humanos, a visão desenvolve um papel essencial nas situações do cotidiano. Quando combinada à audição, estes sentidos fornecem a maioria das informações necessárias para perceber e interagir com o mundo à volta.

Por conta disso, a perda da capacidade de ver acaba por se tornar a causa de inúmeros desafios na vida de uma pessoa, quando colocada sob situações que usualmente não seriam problema para alguém sem dificuldades visuais. Desviar de obstáculos, ter acesso à informação visual (seja por meio escrito ou gráfico) e mesmo a interação com o ambiente e com outras pessoas passam a apresentar um alto grau de dificuldade.

Dados levantados pelo IBGE (2012) no ano de 2010 revelam que, na época, cerca de 23,9% da população brasileira apresentava alguma forma de deficiência, sendo que a grande maioria se encontra em situação de deficiência visual (DV). Os números são apresentados na Figura 1.

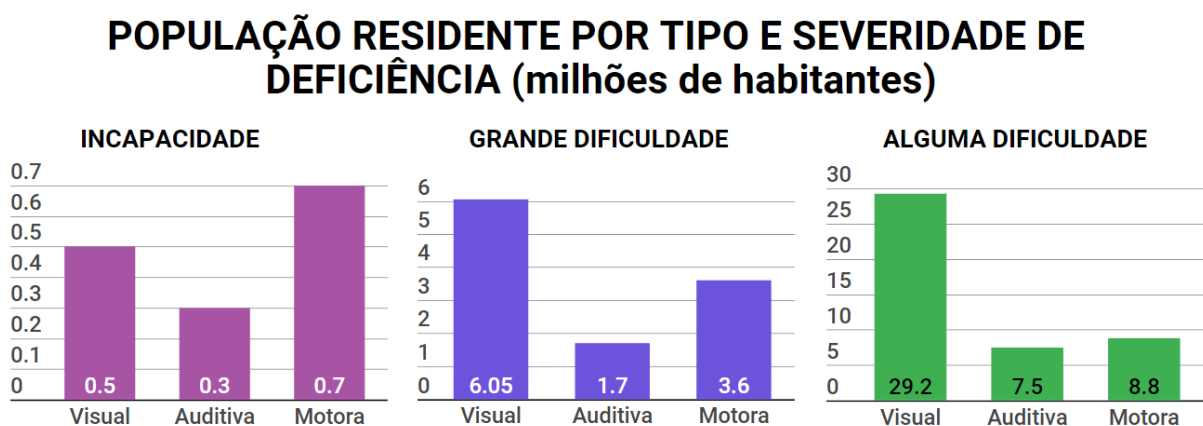


Figura 1: Número de pessoas com deficiência (IBGE, 2012)

No ano de 2019, a WHO (do inglês *World Health Organization*, em português Organização Mundial da Saúde ou OMS) reportou que o número de pessoas com algum

tipo de DV, ou mesmo a cegueira absoluta, chega aos assustadores índices de 2,2 bilhões de pessoas em todo o mundo. Estima-se ainda que deste total, cerca de 1 bilhão tenha alguma forma de doença que poderia ter sido evitada ou que ainda não foi resolvida.

Ainda com base em dados da WHO (2019), dentro desse bilhão de pessoas, estão inclusos os indivíduos com comprometimento da visão à distância moderada/grave ou cegueira devido a problemas como:

- Erro de refração não corrigido (123,7 milhões);
- Catarata (65 milhões);
- Glaucoma (7 milhões);
- Opacidades da córnea (4,2 milhões);
- Retinopatia diabética (3 milhões);
- Tracoma (2 milhões);
- Presbiopia não tratada (826 milhões).

A distribuição demográfica das DVs varia significativamente em diferentes locais do mundo. Como exemplo, podemos citar a catarata, que demonstra proporções maiores de ocorrência em países de baixa renda. Já nos locais desenvolvidos, onde a população apresenta maior renda, são mais comuns doenças como a retinopatia diabética, glaucoma e degeneração macular relacionada à idade (WHO, 2019).

Durante os últimos 20 anos, a taxa da população com algum tipo de deficiência visual diminuiu, devido a fatores como o desenvolvimento socioeconômico, aumento na disponibilidade de serviços oftalmológicos, maior conhecimento da população sobre soluções existentes para certos problemas de visão, dentre outros. Entretanto, ainda assim é estimado que os números totais possam triplicar até o ano de 2050 devido ao envelhecimento e aumento populacional.

1.1 Tecnologias Assistivas para cegos

Na década de 1960, foram introduzidas tecnologias com foco em auxiliar nas dificuldades enfrentadas por pessoas portadoras de deficiências. Procurava-se resolver problemas associados à transmissão de informações e mobilidade, além de orientação e navegação (ELMANNAI; ELLEITHY, 2018).

A Figura 2 demonstra os serviços e capacidades que são fornecidos às pessoas deficientes, através da sua interação com tecnologias assistivas.

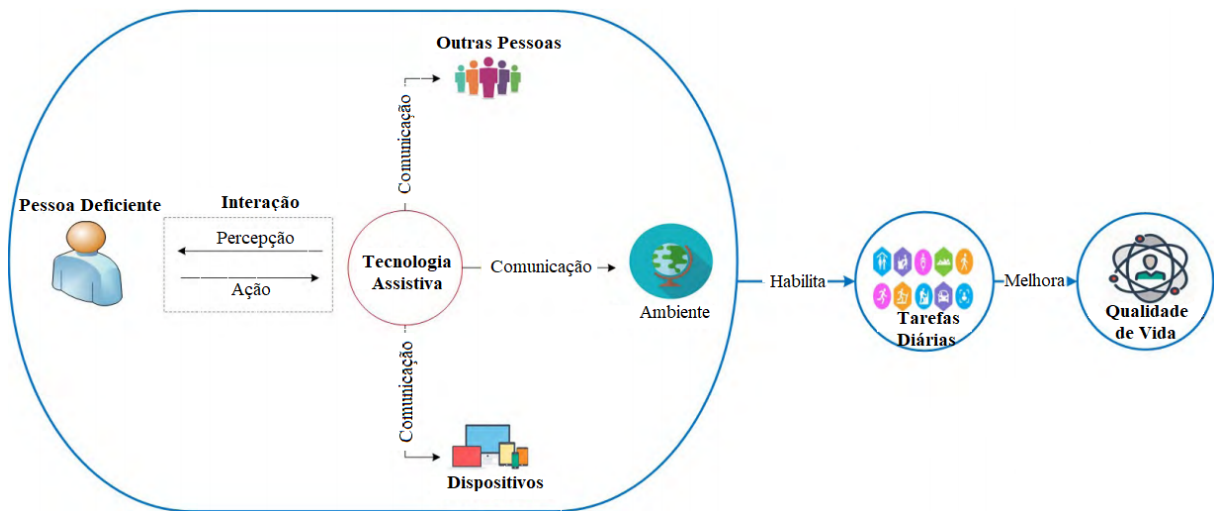


Figura 2: Interação entre a tecnologia assistiva e o usuário.

Dentro das tecnologias assistivas, estão inclusos todos os serviços, sistemas, aplicações e dispositivos, utilizados por pessoas deficientes em seu dia-a-dia, e que busquem facilitar a mobilidade e realização de atividades diárias, trazendo benefícios gerais à sua qualidade de vida. O usuário passa a conseguir se comunicar com outras pessoas e a interagir com o ambiente, tudo com auxílio de sensores ou sistemas de visão computadorizados.

Dentro das tecnologias assistivas, existem três subcategorias relacionadas à visão, sendo, segundo Elmannai e Elleithy (2018), as que atuam com foco em: Melhoria da Visão; Substituição da Visão; e Reposição da Visão.

1.1.1 Melhoria da Visão

Envolve a captura de imagens utilizando câmeras, processamento das informações e envio de respostas por meio de um *display* visual. Trata-se de algo como um sistema de realidade virtual, onde a imagem gerada é adaptada às condições dos olhos do usuário, de forma com que ele possa então visualizar o ambiente ao seu redor através de câmeras e uma tela. Este tipo de técnica não é aplicável às pessoas cegas, uma vez que eles não possuem qualquer capacidade de visão (NGUYEN, 2014).

1.1.2 Substituição da Visão

É semelhante à melhoria da visão, com a diferença de que o retorno das informações não é feito de forma visual, mas geralmente de forma tátil ou através de sons. As funções mais comuns para equipamentos que visem se encaixar nesta categoria são os detectores de obstáculos, navegação e acesso a informações.

Ao se falar em substituição da visão, existem ainda três outras subcategorias

definidas por Elmannai e Elleithy (2018) como sendo:

- *Electronic travel aids* (ETAs, em português, Auxiliares Eletrônicos de Viagem): Engloba os dispositivos que transformam informações do ambiente, que normalmente seriam obtidas através da visão, em uma forma que possa ser enviada ao usuário através de outra modalidade sensorial. Consistem de câmeras, GPS, e redes de sensores ultrassônicos ou infravermelhos;
- *Electronic orientation aids* (EOAs, em português Auxiliares Eletrônicos de Orientação): São dispositivos que provém informações a respeito da orientação antes ou durante um deslocamento;
- *Position locator devices* (PLDs, em português Dispositivos Localizadores de Posição): Incluem recursos de navegação, tais como o GPS.

1.1.3 Restituição da Visão

Nos casos em que a visão do cego não estiver altamente danificada, é possível que ela seja recuperada por meio de intervenções médicas. Uma das formas mais comuns é a remoção de cataratas, procedimento que traz de volta a visão quase que completamente.

Entretanto, a categoria de Restituição da Visão também engloba procedimentos muito mais complexos, envolvendo técnicas médicas e eletrônicas de ponta, onde a informação que deve repassada ao usuário é enviada diretamente à região cerebral de seu córtex visual ou através de algum nervo específico (ELMANNAI; ELLEITHY, 2018).

Em pesquisas recentes, são desenvolvidos modos de realizar a implantação de dispositivos eletrônicos diretamente no córtex visual do cérebro humano ou na retina, isso afim de tentar gerar gatilhos que tragam sensações de estímulos externos. Alguns desses experimentos foram capazes de construir e implantar dispositivos de baixa resolução, apenas o suficiente para ajudar pessoas cegas a se moverem de forma autônoma, além de reconhecerem rostos e objetos. A Figura 3 mostra uma fotografia de Raios-X do crânio de um paciente, revelando a posição do dispositivo eletrônico (NGUYEN, 2014).



Figura 3: Raios-X mostram o chip e a unidade de controle conectadas por cabos.

1.1.4 Trabalhos Relacionados

A necessidade de sistemas que auxiliem na mobilidade de cegos aumentou, e continuará crescendo drasticamente. Atualmente, as opções mais simples são o uso de bengalas e/ou cães treinados. Porém, mesmo com a alta popularidade destas ferramentas, elas não são capazes de fornecer ao deficiente visual toda a informação necessária para tornar sua mobilidade de fato segura.

Em se tratando de evitar obstáculos, esta é a tarefa mais crucial para portadores de DVs, fazendo desta uma área de grande interesse e necessidade. Nesta seção serão apresentados alguns trabalhos já realizados e que se assemelham à proposta deste trabalho de graduação.

Em Hersh e Johnson (2008), é apresentada uma visão ampla da história e desenvolvimento de equipamentos eletrônicos auxiliares voltados para mobilidade de deficientes visuais, compilando diversos projetos existentes na área. O primeiro trabalho realizado neste âmbito data de 1897, porém, grandes evoluções na área ocorreram apenas após a Segunda Guerra, durante os anos de 1950 e 1960, uma vez que potenciais aplicações de sensoriamento remoto, com a utilização do ultrassom e da radiação infravermelha, foram realizadas. Neste momento, os esforços de pesquisa foram direcionados a obter informação do ambiente através destas tecnologias. Mais tarde, com o desenvolvimento dos lasers houve também a criação das chamadas “bengalas laser”.

No trabalho de Shin e Lim (2007), é utilizado um grupo de sensores ultrassônicos (USs) organizados em conjunto, somando um total de oito (Figura 4). Cada um apontando para uma direção diferente de forma com que suas linhas de visão não se cruzem, tornando possível obter uma grande quantidade de informações a respeito do ambiente próximo ao usuário. Um controlador é responsável por decidir qual o melhor caminho que o usuário deve tomar para evitar o obstáculo, enviando respostas através de fones de ouvido e

vibradores acoplados a uma jaqueta.

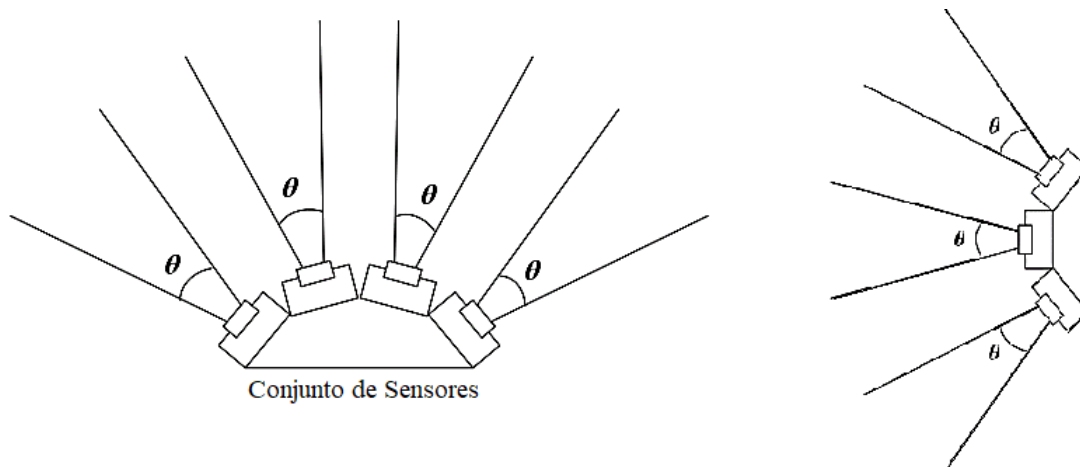


Figura 4: Vista superior (esquerda) e lateral (direita) do sistema de Shin.

Na Figura 5, é apresentada a configuração prática do protótipo de Shin, composto por uma placa embutida baseada em ARM9, um microprocessador de 32 bits que utiliza da tecnologia ARM (do inglês, *Reduced Instruction Set Computing* ou Computação por Conjunto de Instruções Reduzido, em português), bateria de Li-ion, conjunto de sensores USs.



Figura 5: Configuração do Sistema de Shin.

Em Cardin, Thalmann e Vexo (2007), é apresentado um sistema que consiste no sensoriamento do ambiente, através de dois sensores, e no envio de respostas vibratórias, que indicam ao usuário a posição dos obstáculos mais próximos, caracterizando uma espécie de extensão do sentido de tato. Basicamente, um sensor de ultrassom é posicionado à altura

do ombro, sendo que, uma vez acionado, este se mantém enviando a um microcontrolador as informações captadas sobre o ambiente dentro do seu alcance. Dependendo dos dados obtidos, pequenos dispositivos de vibração são ativados, informando o usuário da existência de um obstáculo em seu caminho.

A Figura 6 ilustra como o trabalho de Cardin, Thalmann e Vexo (2007) é implementado. Pode-se observar que o equipamento possui dificuldades em encontrar obstáculos muito próximos, uma vez que estes se localizam fora do alcance do sensor.

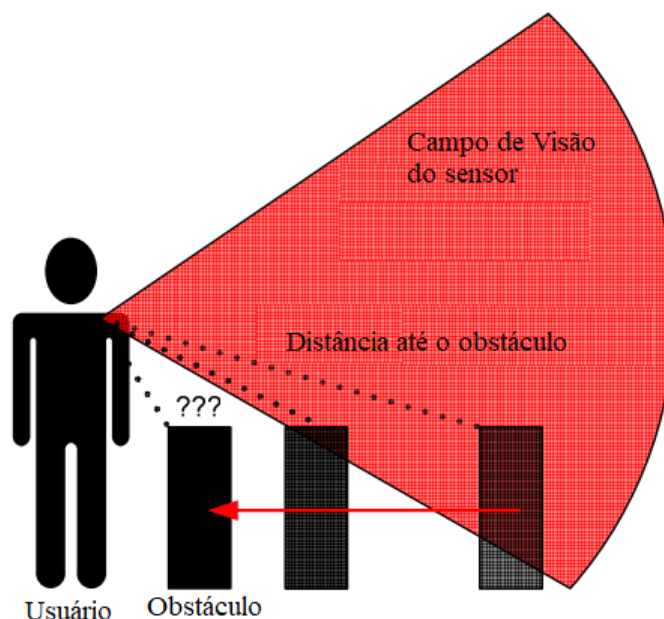


Figura 6: Princípio de funcionamento do projeto de Cardin, Thalmann e Vexo (2007).

Ao utilizar apenas dois sensores, o projeto de Cardin, Thalmann e Vexo (2007) possui um custo de produção inferior quando comparado ao de Shin e Lim (2007). Entretanto, o alcance do sistema é prejudicado, gerando áreas cegas que podem vir a ser causadoras de acidentes.

Outra proposta de equipamento para mobilidade é a de Mohajeri, Raste e Daneshvar (2011), que utiliza duas câmeras, instaladas nos óculos do deficiente visual, e que são responsáveis por enviar fotos do ambiente a um microcontrolador, as analisa e então alerta sobre a existência de obstáculos. Neste sistema, não existe a necessidade de identificar e nem analisar todos os objetos capturados na imagem, mas apenas aqueles que estão a uma certa distância e em uma determinada posição no campo de visão. Este projeto utiliza do fenômeno de paralaxe para cálculo da distância até os objetos encontrados.

Existem diversos outros tipos de trabalhos na área, realizados utilizando diferentes técnicas no intuito de proporcionar melhor qualidade de vida para deficientes visuais. Projetos como o *“Enactive Torch”* de Favela (2014), as pesquisas de Zelek et al. (2015), Kay (1974), dentre outros, também utilizam de sensoriamento do ambiente no objetivo de

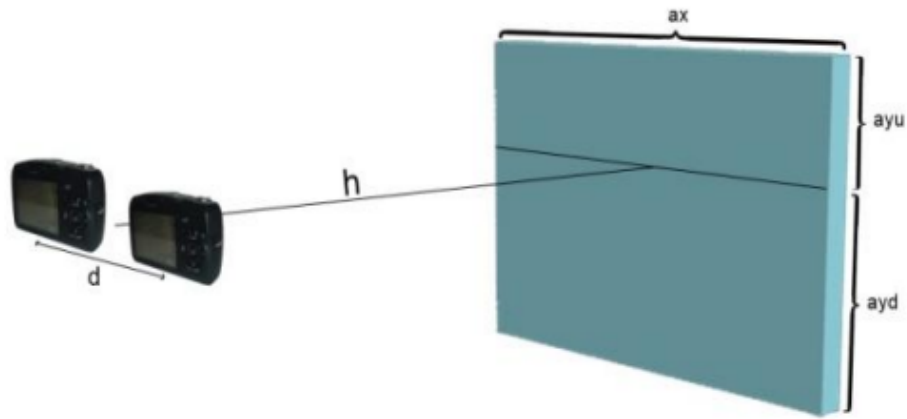


Figura 7: Posição da câmera 1 (direita), 2 (esquerda) e do plano vertical virtual.

substituir a visão.

1.2 Cegueira e DVs

1.2.1 Classificações

Tal como citado por Crós et al. (2006), existem diversas formas de classificações para os diferentes graus de cegueira e DVs. Isso se deve ao fato de que, apesar das pessoas com este tipo de condição apresentarem em comum o comprometimento dos olhos, existem divergências por conta de alterações anatômicas e estruturais, que interferem de forma diferente no desempenho de cada indivíduo. Alguns termos se mostram recorrentes e de grande importância para o melhor entendimento das funções visuais, sendo:

- Acuidade Visual - Capacidade de distinguir detalhes, dada pela relação entre o tamanho do objeto e a distância onde está situado;
- Binocularidade - Capacidade de fusão da imagem proveniente de ambos os olhos em convergência ideal, o que proporciona a noção de profundidade;
- Campo Visual - Determina a área circundante visível ao mesmo tempo pelos dois olhos;
- Visão de Cores - Capacidade para distinguir diferentes tons e nuances das cores;
- Sensibilidade à Luz - Capacidade de adaptação frente aos diferentes níveis de luminosidade do ambiente;
- Sensibilidade ao Contraste - Habilidade para discernir pequenas diferenças na luminosidade de superfícies adjacentes.

Na literatura disponível on-line, a classificação das DVs baseia-se principalmente em parâmetros Legais, Clínicos, Educacionais e Esportivos. Mas, de uma forma generalizada, uma pessoa é de fato considerada cega quando apresenta perda completa ou quase total da percepção luminosa (Portal Educação, n.d.).

1.3 Efeitos Neurológicos das DVs

Segundo Hollins (1989), citado por Nguyen (2014), à idade que a pessoa se torna cega tem grande importância, e pode afetar sua atitude em frente à cegueira. A incapacidade de enxergar desde o nascimento é definida como sendo uma cegueira congênita, sendo que, pessoas que perderam sua visão por algum motivo em seus primeiros anos de vida também entram nesta categoria. Já a cegueira tardia se refere às pessoas que perderam sua visão mais à frente na vida.

Naturalmente, vítimas de cegueira congênita têm maior facilidade em se adaptar às dificuldades causadas por esta condição, aprendendo mais rapidamente a perceber o mundo de uma forma bastante diferente de quem apresenta nenhuma ou mesmo pouca DV. Em diversas pesquisas das áreas neurológicas, são demonstrados resultados que fortalecem a ideia de que pessoas cegas possuem uma melhor capacidade de audição e tato, apontando dois fatores como causas para esse desenvolvimento dos sentidos remanescentes: a plasticidade cerebral e a compensação sensorial.

1.3.1 Plasticidade Cerebral

Um conceito muito popular com relação a cegos afirma que, estas pessoas, por conta da falta de visão, fortalecem seus sentidos remanescentes de forma compensativa a esta condição. Um exemplo disso correlaciona a capacidade que pessoas cegas têm de compreender falas em velocidades muito superiores às possíveis para a maioria das pessoas, as quais não apresentam problemas relacionados à visão.

Tal como citado por Fields (2010), pesquisadores do Instituto Hertie de Pesquisa Clínica Cerebral da Universidade de Tübingen na Alemanha, encontraram indícios científicos que dão suporte a esta crença popular. Pessoas com a visão normal, geralmente possuem um limite de compreensão da fala de no máximo 10 sílabas por segundo. Entretanto, cegos são capazes de compreender impressionantes 25 sílabas por segundo. Para a realização dos testes, os pesquisadores utilizaram de sons computadorizados para reproduzir falas a esta velocidade, algo que para pessoas com visão é basicamente ruído.

Exames realizados no cérebro de cegos que participaram da pesquisa, enquanto ouviam aos áudios de falas a altas velocidades, revelaram que a parte do córtex cerebral que normalmente seria responsável por responder a estímulos visuais estava sendo ativada como resposta aos sons de conversação.

Esta região examinada se localiza na parte traseira do crânio e é chamada de V1 e geralmente responde apenas a estímulos luminosos. Como a visão é um sentido de imenso valor para seres humanos, uma grande porção do cérebro é dedicada apenas para esta tarefa de processar informações visuais, representando uma parcela muito maior do que a dedicada às outras respostas sensoriais como tato ou mesmo a audição. Em cegos, todo esse poder seria completamente desperdiçado mas, de alguma forma, o cérebro é capaz de se adaptar a esta situação e “conectar” suas demais funções sensoriais à região de processamento visual do córtex. Este fenômeno recebe o nome de Plasticidade Cerebral e depende muito do período em que a pessoa perdeu sua visão (FIELDS, 2010).

A Figura 8 indica a localização da região V1 (córtex visual primário), além do córtex visual secundário e do Lobo temporal direito no cérebro humano.

Ainda de acordo com Fields (2010), existem três diferentes situações relacionadas

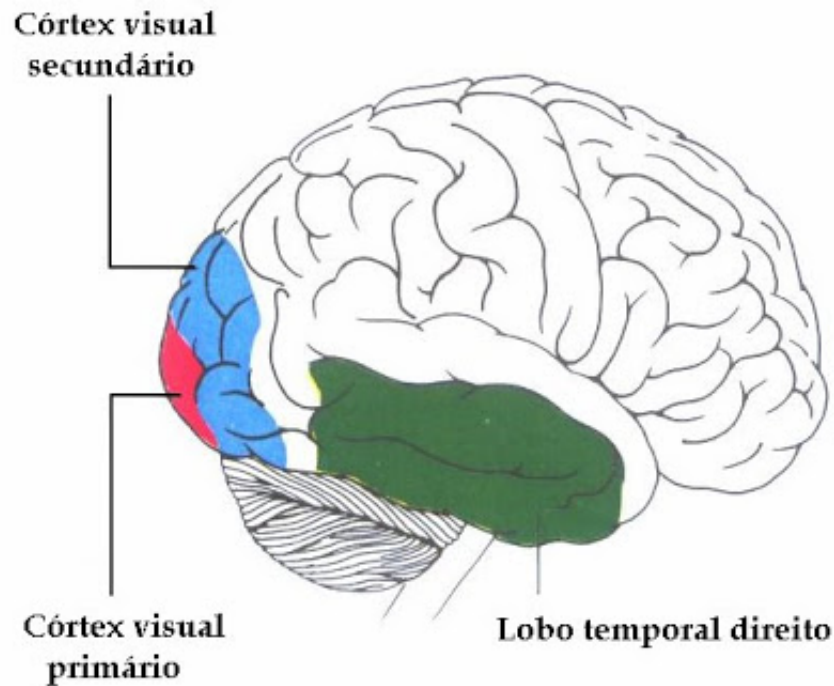


Figura 8: Localização do córtex visual primário, secundário e do lobo temporal direito.

à Plasticidade Cerebral que acabam por definir se uma pessoa, ao perder ou nascer sem sua visão, terá seu cérebro reorganizado de forma com que seus sentidos remanescentes sejam fortalecidos. Logo, temos então que indivíduos em condição de cegueira congênita apresentam um córtex visual completamente irresponsivo a qualquer estímulo luminoso ou auditório, fazendo com que esta região cerebral se torne funcionalmente “desconectada” uma vez que é necessário um certo nível de entrada visual no começo da vida para que estas funções sejam corretamente estabelecidas e, por conta disso, é muito pouco provável que ocorra o fenômeno da Plasticidade Cerebral.

Já pessoas que perdem sua visão pouco após a formação dessas conexões, necessárias para o correto funcionamento da região cerebral V1, são capazes de redirecionar estas conexões para processar, por exemplo, informações auditivas após se tornarem cegas.

Por outro lado, os indivíduos que perdem sua visão mais tardiamente também são pouco prováveis de apresentar esta forma de reconexão cerebral, uma vez que o período crítico para que isso ocorra é limitado aos primeiros anos de vida.

1.3.2 Compensação Sensorial

Como a visão acaba por ser a fonte do maior número de informações obtidas pelas pessoas capazes de enxergar, estas acabam por dar uma menor atenção aos seus demais sentidos, como se fossem distraídos pela existência da visão. Ao perder suas capacidade de ver, o cego se torna obrigado a utilizar de forma mais eficiente seus demais sentidos, os

exercitando continuamente até que suas sensibilidades sejam melhor desenvolvidas.

Como ótimo exemplo disso, é possível citar o caso de pessoas que desenvolvem a habilidade de sentir obstáculos ao seu redor utilizando de mecanismos auditivos, que se assemelham à ecolocalização de morcegos. Este é o caso de diversas pessoas, assim como Ben Underwood (Green Nation, 2014, *Conheça a história Ben Underwood, o garoto que enxergava com os ouvidos*) ou Daniel Kish (Folha de S. Paulo, 2019, *Americano ensina cegos e não cegos a “ver” objetos com sons feitos pela boca*), que são alguns exemplos dentre vários outros de pessoas capazes de identificar obstáculos no ambiente a partir da audição, utilizando estalos feitos com a boca e escutando os ecos que retornam até eles.

1.4 Objetivos

Apesar de muitas pesquisas e avanços alcançados no âmbito de substituir a visão de deficientes, fazendo uso de equipamentos eletrônicos a fim de proporcioná-los uma melhor mobilidade, autonomia e conseqüentemente, a ampliação de sua qualidade de vida. A aplicação e popularização deste tipo de produto ainda é inexistente, seja pelo alto custo, inviabilidade de utilização no dia-a-dia ou simplesmente por não serem capazes de substituir as clássicas bengalas ou cães guia.

Mesmo havendo uma clara demanda por essa tecnologia, a falta de sucesso destes dispositivos torna válido questionar se eles estão satisfazendo a necessidade para qual foram projetados, abrindo espaço para que novas pesquisas sejam realizadas no intuito de melhorar ideias já propostas ou apresentar novas capazes de realmente se tornarem aplicáveis e úteis para quem necessita.

Dessa forma, juntamente com a disponibilização de tratamentos médicos, se encontra a crescente necessidade do desenvolvimento de sistemas tecnológicos assistivos, que atuem em benefício à mobilidade desse imenso grupo de forma funcional e prática. Tomando como principais características a capacidade de auxiliar deficientes visuais a evitar obstáculos, desde a altura da cabeça até os pés, de maneira confiável e intuitiva. Portanto, este é tido como o objetivo cardinal deste projeto, visando produzir um protótipo capaz de ser utilizado por uma pessoa DV sem a necessidade de qualquer ferramenta ou auxílio adicional como as bengalas, cães guia ou mesmo outras pessoas.

1.4.1 Objetivos específicos

- Desenvolvimento de um protótipo funcional: capaz de ser realmente utilizado por uma pessoa com o objetivo de evitar obstáculos;
- Interface Homem Máquina (IHM) simples e intuitiva: o usuário deve ser capaz de compreender facilmente o funcionamento do equipamento e compreender as respostas

táteis geradas com facilidade;

- Capacidade de detectar obstáculos desde a altura da cabeça até os pés, tal como rampas, escadas, *etc.*: fornecendo segurança ao usuário ao se deslocar confiando apenas nos sinais táteis;
- Apresentar confiabilidade na detecção de obstáculos: o sistema não deve dar resposta errôneas sobre a existência ou não de um obstáculo, é necessário que 100% das informações enviadas ao usuário sejam corretas;
- Baixo custo: não superar cerca de R\$ 500,00 em todos os materiais e equipamentos necessários para o desenvolvimento e construção;
- Incentivar a produção de trabalhos acadêmicos voltados às tecnologias assistivas: visando a criação e o desenvolvimento de novas alternativas afim de, de fato, auxiliar na melhoria da qualidade de vida de pessoas em condição de cegueira.

1.5 Organização Metodológica

Este trabalho se caracteriza como uma opção de tecnologia assistiva para a substituição da visão que, utilizando de sensores USs para a captura de informações do ambiente, deve realizar o envio de respostas táteis ao usuário através de intensidades e padrões de vibração que indicam as condições do local onde ele se encontra.

Buscando obter como resultado final um protótipo funcional e capaz de atender aos objetivos estipulados ao projeto, o processo de desenvolvimento deste trabalho se inicia com uma revisão bibliográfica que visa, principalmente, listar a atual situação das pesquisas e equipamentos relacionados ao tema central aqui exposto, afim de encontrar soluções já existentes para alguns problemas que possam ser encontrados ao longo do processo de desenvolvimento, abrindo assim lugar para que novas propostas sejam trabalhadas.

Após esta primeira etapa, o restante do percurso se dá de forma predominantemente prática, mas ainda reservando períodos de tempo para estudos e pesquisas adicionais sobre temas que possam se mostrar necessários para a correta continuidade do projeto.

Quanto às etapas práticas, estas vão desde testar as opções de sensores disponíveis até avaliar o desempenho final do protótipo, compreendendo etapas de programação, *design* e impressão tridimensional, fabricação de PCIs, testes e modelagem estatística dos erros nas medidas dos sensores.

Este documento se encontra organizado em três partes principais, sendo que a primeira se trata de uma etapa introdutória que provê informações a respeito da condição de pessoas em situação de cegueira ou DV, além de subseções sobre termos neurológicos e técnicos associados ao processo de reabilitação destes indivíduos além de dados sobre

pesquisas atuais desenvolvidas no ramo das Tecnologias Assistivas. O objetivo é oferecer ao leitor um melhor entendimento dos temas centrais aqui abordados.

O capítulo seguinte de número 2 se trata de um espaço dedicado exclusivamente para Referencial Teórico, onde são apresentadas definições de diversos sensores e como eles são aplicados na detecção de obstáculos e medidas de distância. Também são providas informações a respeito de dispositivos controladores, item essencial para a realização deste trabalho.

Posteriormente, é apresentado no capítulo 3 uma área reservada para colocação de considerações acerca de alguns métodos e informações de grande importância para o correto desenvolvimento prático do projeto, tal como critérios para escolha do sensor a ser aplicado, circuitos eletrônicos necessários, dentre outros.

Logo após, é proposta uma solução tátil de sensoriamento do ambiente acompanhada pelo processo de desenvolvimento. Por fim, são apresentados os resultados obtidos tanto em questões de análise estatística quanto de funcionamento geral do equipamento e, então, é feita a finalização deste trabalho de graduação por meio de uma conclusão a cerca do projeto, sendo reservado ainda um espaço para adição de Apêndices com dados adicionais sobre o processo de modelagem estatística.

Referencial teórico

Para o desenvolvimento de um equipamento capaz de aferir o ambiente em busca de obstáculos e enviar sinais ao usuário, se mostrou de extrema importância a realização de uma enumeração e avaliação de diversas alternativas que pudessem ser aplicadas como solução aos problemas previstos para o processo de construção do protótipo.

a fim de apresentar diferentes opções para a realização deste projeto, este capítulo contém informações a respeito de diferentes alternativas para sensoriamento e processamento dos dados fazendo inicialmente uma descrição a respeito da definição dos equipamentos e métodos necessários para uma boa compreensão deste trabalho.

2.1 Transdutores

Por conta das semelhanças existentes na função de um sensor e de um transdutor, é muito comum que ocorram confusões quanto a definição destes dois termos. Mesmo na literatura, é possível encontrar diferenças na classificação quando feita por vários autores. Trata-se de uma questão que ainda necessita de uniformidade.

Os transdutores, são equipamentos que atuam realizando a conversão de um sinal de uma forma física para outra de maneira correspondente. Ou seja, é um conversor de grandezas.

Também existe uma diferenciação quanto à definição dos transdutores. Segundo Balbinot (2011), esta classificação pode ser feita da forma como segue:

- Transdutores de entrada - São utilizados a fim de detectar sinais, fornecendo uma grandeza de saída elétrica que se correlaciona com a grandeza física de entrada. Como exemplos, pode-se citar os termopares, transformadores de corrente, dentre outros;
- Transdutores de saída - Tal como o próprio nome sugere, estes atuam de forma inversa aos de entrada, sendo utilizados para gerar movimentos mecânicos ou executar

uma ação, sendo neste caso chamados de atuadores. Como exemplos, podemos citar os motores, que convertem energia elétrica em mecânica.

2.2 Sensores

Segundo o INMETRO (2012), sensores são definidos como elementos presentes em sistemas de medição que são diretamente afetados por um fenômeno, corpo ou substância que contém a grandeza a ser medida.

De forma breve, um sensor pode ser definido como um dispositivo (eletrônico ou não), que responde a um certo estímulo físico ou químico de maneira específica e que pode possuir algum mecanismo transdutor, sendo este o responsável por transformar de fato este estímulo em alguma outra grandeza para fins de medição e/ou monitoramento.

Trata-se de um equipamento de extrema importância e de larga aplicação nos mais diversos tipos de sistemas, seja na medicina, engenharia, agricultura. São formas substituir a capacidade humana de fornecer informações sobre algum processo químico, biológico ou físico, apoiando no monitoramento e controle desses processos.

De acordo com Balbinot (2011), se classificam em dois grandes grupos, sendo:

- Sensores naturais - encontrados em organismos vivos e que geralmente respondem na forma de biosinais (divididos em sinais bioelétricos, biomagnéticos, bioquímicos, biomecânicos, bioacústicos e bio-ópticos) a eventos caracterizados por atividades de natureza elétrica, química ou mecânica.
- Sensores industriais - são dispositivos para medição de variáveis físicas em sistemas genéricos. A informação, em geral, é transmitida e processada na forma elétrica.

Balbinot (2011) ainda afirma que devemos subclassificar os sensores industriais de mais duas formas a fim de que possam ser estudados de maneira mais organizada. Se levarmos em conta a necessidade ou não de uma fonte de alimentação, os sensores podem ser divididos entre passivos e ativos.

Os do tipo passivo não demandam fontes de alimentação adicionais, uma vez que geram um sinal elétrico em resposta a um estímulo externo, retirando potência do próprio fenômeno que os excitou. Como exemplos podemos citar os termopares e sensores piezoelétricos.

Já os classificados como ativos necessitam da existência de uma fonte externa para sua operação, que é de onde retiram toda a potência de sua própria alimentação e parte ou toda a energia de emissão do sinal de saída, o qual é apenas controlado pela entrada. Atuam adicionando energia ao ambiente de medida como parte do processo de medição.

De uma forma simplificada: os sensores ativos enviam alguma forma de energia para o ambiente como, por exemplo, luz ou vibração e analisam como esse sinal retorna até eles para obter alguma medida do ambiente, seja por tempo de viagem do sinal ou amplitude de retorno.

Além disso, os sensores também podem ser classificados quanto à sua saída, se são analógicos ou digitais, ou quanto ao seu modo de operação, se são de deflexão ou ponto nulo.

Nesta seção, são apresentados e definidos alguns tipos de sensores que passaram por indagação sobre seu uso ou não neste projeto, apresentando suas características básicas de funcionamento, além de vantagens e desvantagens associadas à sua utilização.

2.2.1 Sensores de Visão Digitais

Quando comparados aos naturais, os sensores de visão atuam em substituição ao sentido da visão humana. Por conta disso, é um equipamento extremamente poderoso e dinâmico, podendo ser aplicado em uma gama imensa de processos.

O sensor de visão é um produto que vem se tornando rapidamente conhecido na indústria e, por essa razão, também ganhou muito espaço em diversas aplicações. O motivo principal para isso é por conta da sua capacidade de realizar a mesma função do olho humano, com as vantagens de ser muito mais veloz e preciso em processos repetitivos, principalmente os de inspeção em linhas de produção (SILVEIRA, 2016).

Seu funcionamento é baseado no princípio fotoelétrico, que utiliza transdutores, construídos a partir de silício, que como o próprio nome sugere: transformam um sinal de entrada luminoso composto por fótons (partículas de luz) em sinais elétricos específicos, os quais são processados por um microcontrolador (μC) e organizados para construir uma matriz de cores que corresponde à luz captada.

Como pode-se imaginar, a quantidade de detalhes que um sensor deste tipo é capaz de identificar e adicionar a uma imagem depende muito da quantidade de luz que chega até ele e do número de células fotoelétricas presentes em sua construção.

Tal como afirmado anteriormente, uma das grandes vantagens deste tipo de sensor é justamente sua capacidade de realizar a função do olho humano, sendo capaz de detectar obstáculos a longas distâncias e com um amplo ângulo de visão.

Entretanto, mesmo modelos simples e baratos demandam uma maior potência de alimentação para sua operação quando comparado a outras alternativas para sensoramento de distância. Além disso, consomem um maior poder de processamento do μC a ser aplicado na análise das imagens obtidas e dependem muito da presença de uma boa iluminação quando não existem aparatos de emissão de luz ou visão noturna para acompanharem as

câmeras. Este tipo de sensor também apresenta dificuldades em detectar obstáculos que sejam transparentes.

A Figura 9 representa um modelo básico do funcionamento de um sensor do tipo fotoelétrico.

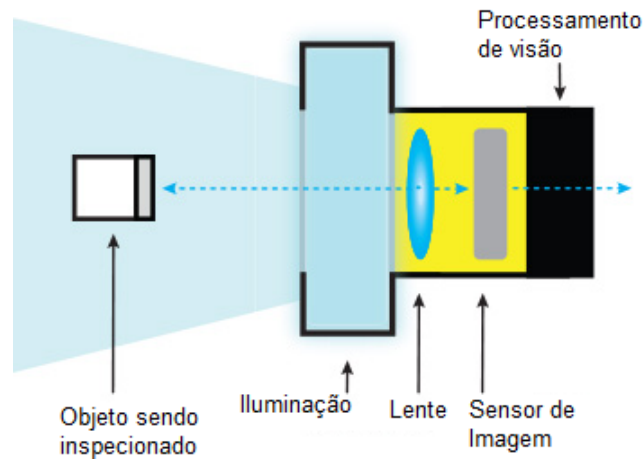


Figura 9: Princípio de funcionamento básico do sensor de visão.

2.2.1.1 Detecção de Obstáculos com Sensores de Visão

Quando se fala em detecção de obstáculos com o uso de câmeras, é comum que um dos, se não o primeiro método a ser citado, seja a aplicação do efeito de paralaxe, que se obtém ao capturar simultaneamente duas imagens diferentes por duas câmeras apontadas para uma mesma direção e separadas por uma distância fixa.

Trata-se de uma técnica muito aplicada na astronomia para medir a distância do planeta Terra até outros astros e que, segundo Oliveira (2018), é a aparente diferença de posição que um objeto ocupa em relação ao plano de fundo quando visto por dois observadores em locais diferentes.

Sabendo a distância entre os pontos de instalação das câmeras e o número de *pixels* existentes entre o centro da imagem capturada por cada um destes sensores e o objeto detectado, é possível aplicar técnicas de trigonometria com o objetivo de mensurar a distância do objeto alvo da observação e o ponto central da linha entre as câmeras.

No trabalho de Munhoz (2010), esta técnica é aplicada com o propósito de calcular a distância até obstáculos para navegação de embarcações autônomas.

A Figura 10 ilustra uma situação onde são aplicadas duas câmeras a fim de medir a distância até um objeto através do efeito de paralaxe.

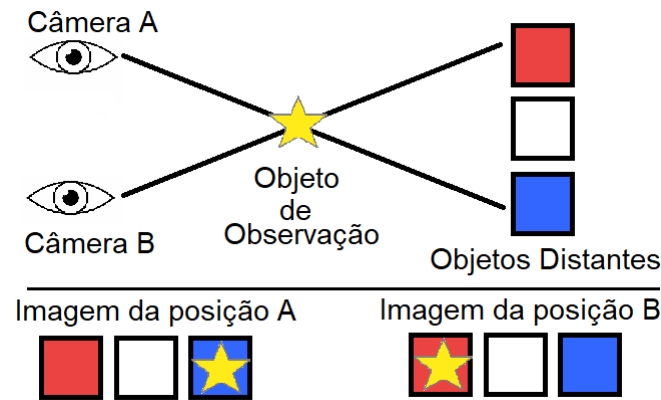


Figura 10: Exemplo de paralaxe com o uso de duas câmeras.

2.2.2 Sensores Ópticos

Sensores do tipo ópticos atuam emitindo um feixe de luz (visível ou infravermelho) através de sua própria fonte de luz, o qual é recebido por um elemento fotoelétrico, de forma semelhante à apresentada anteriormente na subseção 2.2.1, onde são definidos os sensores de visão.

Quanto a luz emitida pelos sensores do tipo ópticos, esta pode ser provinda de um Led Vermelho, de um emissor laser ou infravermelho.

- Led Vermelho:

Curto alcance;

Utilizada na detecção de objetos médios/grandes de cor levemente opaca;

Visível ao olho humano;

- Laser:

Longo alcance;

Aplicada na detecção de objetos reflexivos pequenos;

Visível ao olho humano;

- Infravermelha:

Curto alcance;

Aplicada na detecção de objetos transparentes;

Não visível ao olho humano.

Segundo Silveira (2017), estes equipamentos são divididos em três sistemas de atuação: os de Barreira, Difusão e Reflexão. Mais detalhes sobre as características de cada uma destas classes são apresentados nas subseções a seguir.

2.2.2.1 Sensores Ópticos de Barreira ou Feixe Contínuo

Neste caso, sensor e receptor de luz são componentes separados que são instalados apontando um para o outro. Tal como os próprios nomes sugerem, a unidade emissora é responsável por emitir um feixe de luz contínuo que será recebido pela unidade receptora.

Caso algum obstáculo interrompa o fluxo de luz entre o emissor e receptor, o sensor será atuado indicando a existência desse obstáculo para algum controlador responsável por analisar este sinal. A Figura 11 apresenta uma ilustração da atuação de um sensor óptico do tipo de barreira.

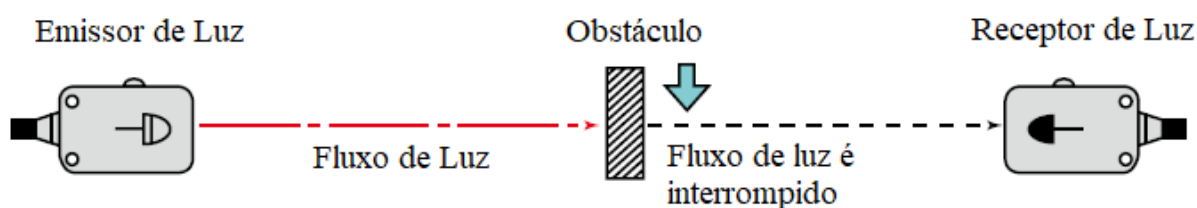


Figura 11: Funcionamento dos sensores ópticos de barreira.

Este tipo de sensor é muito utilizado em sistemas de segurança que, por exemplo, acionam a parada de alguma máquina ao detectar a presença de qualquer objeto, como a mão de um operador em áreas de risco.

Os sensores óticos de barreira apresentam um alcance maior do que os reflexivos e por difusão, alcançando distâncias de até 200 metros.

2.2.2.2 Sensores Ópticos Reflexivos

Assim como os de barreira, atuam ao detectar a presença de algum obstáculo que impeça o fluxo de luz entre emissor e receptor. A diferença, no entanto, está na forma como este sensor é montado: seu emissor e receptor compõe uma única unidade. O feixe que é enviado pelo emissor é refletido de volta para o receptor por conta da existência de um reflexor onde seria posicionado o receptor do sensor de barreira. A Figura 12 apresenta uma ilustração da atuação de um sensor óptico reflexivo.

Este modelo assim como os por difusão, tratados a seguir, são comumente aplicados em situação onde um espelho ou o próprio objeto a ser detectado é capaz de refletir o fluxo de luz. Naturalmente, as superfícies não podem ter uma característica opaca, uma vez que prejudicarão a detecção.

Em geral, sensores reflexivos e por difusão não são capazes de detectar objetos posicionados a mais que 10 metros.

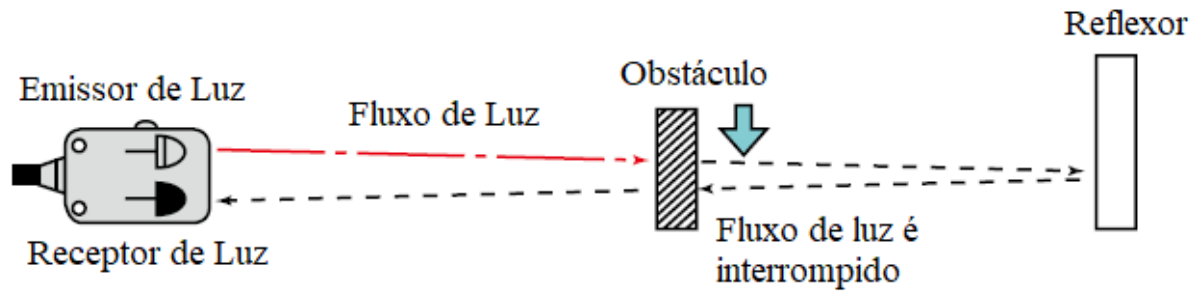


Figura 12: Funcionamento dos sensores ópticos reflexivos.

2.2.2.3 Sensores Ópticos por Difusão

Assim como os de reflexão, os sensores ópticos por difusão possuem tanto emissor quanto receptor montados em um único conjunto. A grande diferença está no fato de que este modelo não utiliza um fluxo contínuo de luz e não necessita que o objeto a ser detectado possua uma superfície completamente reflexiva.

O emissor envia um curto feixe de luz que reflete sobre o objeto e retorna em direção ao receptor, provocando o chaveamento eletrônico do sensor. Este processo ocorre sempre que houver um obstáculo em frente ao equipamento que não seja altamente opaco, pois é necessário que ocorra um retorno do feixe de luz para que o receptor seja excitado. Quanto mais escuro for o obstáculo, menor a distância que este sensor é capaz de atuar.

Os modelos reflexivo e de barreira são aplicados somente para situações booleanas, ou seja, indicam a existência ou não de algum obstáculo no caminho do feixe de luz. Já os difusos são capazes de detectar a existência de obstáculo e medir a distância entre o sensor e este objeto.

Como o feixe de luz utilizado não é contínuo, torna-se possível medir o tempo decorrido desde a emissão do sinal luminoso até o chaveamento do receptor. Como a velocidade da luz é conhecida, a distância entre sensor e obstáculo é calculada pela Equação 2.1.

$$d = \frac{t * c}{2 * n} \quad (2.1)$$

Onde:

- d - Distância entre o sensor e o obstáculo (m).
- t - Tempo entre a emissão e recepção do sinal luminoso (s).
- c - Velocidade da luz no vácuo = 299.792.458 (m/s).
- n - Índice de refração da luz vermelha no ar = 1,0002914 (*adimens.*).

A Figura 13 apresenta uma ilustração da atuação de um sensor óptico por difusão.

Tal como apresentado nesta seção, sensores deste tipo são aplicados em situações

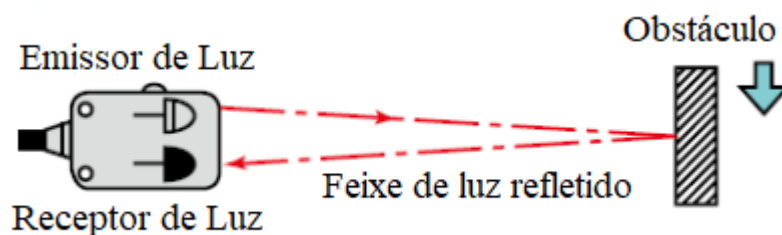


Figura 13: Funcionamento dos sensores ópticos por difusão.

onde é necessário realizar uma medida de distância entre o sensor e algum objeto.

Trata-se de um equipamento que consome pouca potência para sua operação, possui excelente precisão e alcança longas distâncias quando se comparado aos sensores ultrassônicos, tratados na subseção 2.2.3.

Entretanto, necessitam que o obstáculo a ser detectado se encontre exatamente à frente do sensor, uma vez que o ângulo de detecção é extremamente pequeno, podendo ser praticamente aproximado a um único ponto. Também não são capazes de detectar obstáculos com tonalidade escura ou muito transparentes.

2.2.3 Sensores Ultrassônicos

Até agora, todas as opções para detecção de obstáculos apresentadas têm seu funcionamento baseado no princípio fotoelétrico, ou seja, realizam leituras de luz. Já os sensores ultrassônicos (USs) utilizam do som para realizar aferições de presença e distância.

O termo ultrassom remete a “uma frequência muito alta que é inaudível para os humanos” (KEYENCE, 2016). Ou seja, como o som é expresso em unidades de oscilação, quanto maior a frequência, maior o tom do som. Uma vez que o alcance audível dos seres humanos se encontra na faixa de 20 Hz a 20 kHz, classifica-se então ondas ultrassônicas como sendo as de frequência igual ou superior a 20 kHz. Para que seja alcançada uma boa imunidade aos sons humanos, geralmente os sensores ultrassônicos trabalham com frequências de 40 a 240 kHz.

Sensores que fazem uso da tecnologia de US são encontrados nas mais variadas aplicações tanto na indústria quanto em diversas outras áreas. Seu funcionamento não gera interferências eletromagnéticas ou necessita de qualquer contato com o alvo de aferição. Tal característica o torna uma ferramenta poderosa para detecção de objetos e obtenção de distâncias, as quais podem ir desde poucos milímetros a cerca de 10 metros. Dependendo das especificações de modelo podem ser encontrados valores que possam até ultrapassar esta faixa.

Ainda, por não necessitarem de luz na sua operação, são capazes de atuar em

ambientes sob escuridão absoluta ou mesmo na detecção de corpos completamente opacos, tudo isso enquanto consomem valores muito pequenos de potência para sua operação.

Na prática um sensor ultrassônico é formado por um emissor e um receptor, tanto fixados num mesmo conjunto como separados, dependendo do posicionamento relativo desejado, conforme mostra a figura 14.

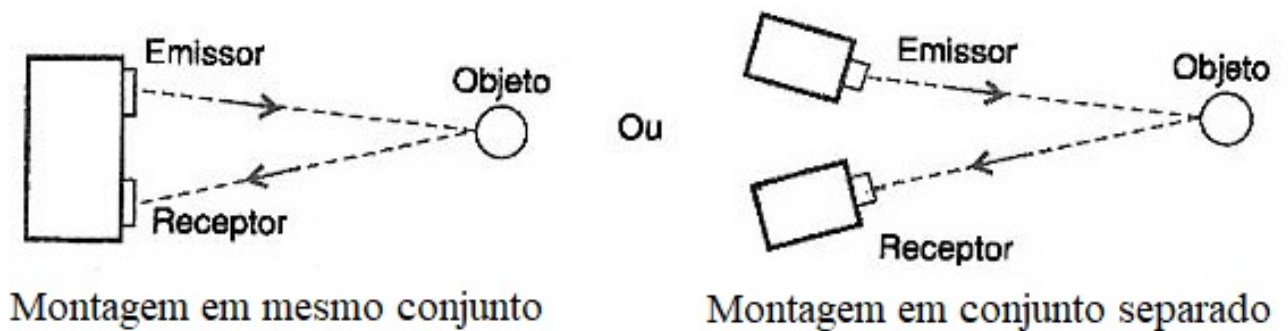


Figura 14: Métodos de montagem e posicionamento de diferentes sensores ultrassônicos.

2.2.3.1 Princípio de Funcionamento e Tipos de Transdutores

O sensor US atua emitindo ondas sonoras ao ambiente e através do tempo decorrido desde a emissão do sinal até que um eco retorne ao seu receptor, é possível identificar a existência de objetos presentes em sua faixa de atuação e medir a distância até eles. Basicamente, trata-se de um método análogo ao apresentado anteriormente na subseção 2.2.2, onde apresentou-se sobre os sensores ópticos por refração.

O funcionamento de um sensor US gira completamente em torno de gerar e receber estímulos sonoros. Inicialmente, uma excitação elétrica é enviada a um transdutor, que reage emitindo uma onda acústica de frequência fixa, a qual irá se propagar pelo ambiente até se chocar com um objeto. Uma vez em contato com algum corpo, a onda acústica é parcialmente refletida na forma de um eco que retorna ao transdutor, causando neste componente um estímulo mecânico que é então convertido em um sinal elétrico equivalente (NDT Resource Center, 2013).

O motivo destes sensores operarem em altas frequências sonoras deve-se à necessidade de emitir sinais com um curto comprimento de onda, tornando assim possível detectar pequenos objetos conforme mostra a Figura 15, onde o comprimento de onda é representado pelo símbolo λ .

Temos então que o valor de λ e, portanto, a frequência do sinal sonoro são de extrema importância nesse tipo de sensor, pois este é o fator que determina as dimensões mínimas do objeto que pode ser detectado.

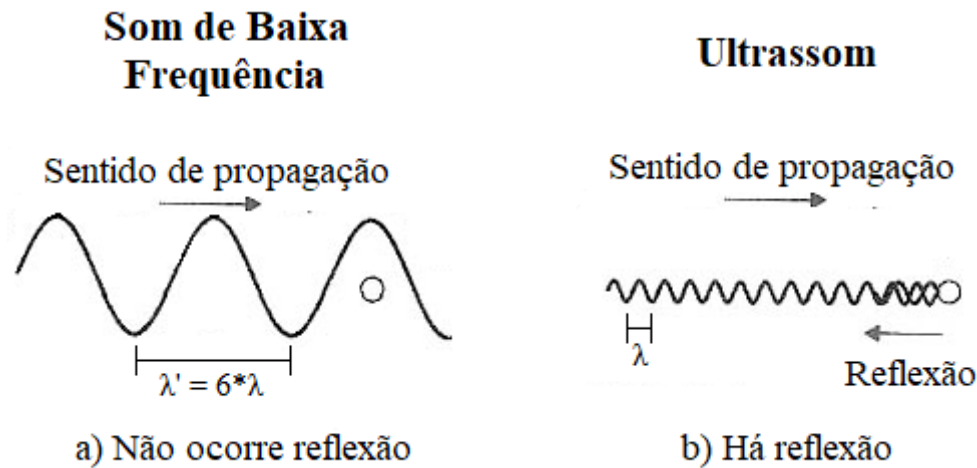


Figura 15: Efeito do comprimento de onda sonora emitida por sensores US em corpos pequenos.

Portanto, fica evidente que apenas ocorrerá reflexão em intensidade suficiente para se obter um bom sinal se o objeto tiver dimensões iguais ou superiores ao valor de λ do sinal. Caso contrário, os sinais passam através de objetos.

Sabendo que o comprimento de onda pode ser calculado pela Equação 2.2:

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (2.2)$$

Onde:

- λ - Comprimento de onda (m).
- V - Velocidade de propagação (m/s).
- f - Frequência (Hz).

Sabendo disso, se considerarmos como exemplo uma velocidade aproximada de 340 m/s para o som e uma frequência de 1000 Hz, obtém-se um λ de 0,34 m ou 34 cm, sendo teoricamente esse o tamanho do menor objeto que poderia ser detectado aplicando esta frequência. Por conta desse motivo é que sons comuns não podem ser usados nesse tipo de detector (Instituto Newton C. Braga, 2012).

Quanto a sua construção, os sensores US podem ser tanto dos tipos Magnetostritivo ou Piezoelétrico. Ambos com o mesmo objetivo: gerar sinais elétricos quando excitados por uma determinada frequência sonora. De acordo com Carneiro e Lugli (2014), estas tecnologias podem ser definidas da seguinte forma:

- Transdutor Magnetostritivo: ao enviar um sinal elétrico para a bobina presente nesta configuração, um diafragma de metal vibra a partir do campo magnética alternado que é produzido por um circuito de metal, emitindo assim um sinal sonoro

de frequência fixa. Nesta mesma configuração, ao receber um retorno de eco do ambiente ocorre uma deformação ou tensão física no diafragma metálico, alterando a configuração de magnetização no transdutor e gerando um sinal elétrico que pode ser então analisado por algum μC ;

- **Transdutor Piezoelétrico:** Neste caso, temos a aplicação de uma cerâmica do tipo piezoelétrica, que apresenta a característica de vibrar por deformação quando é submetida a uma alta tensão alternada. Esse material, ao ser submetido a uma deformação mecânica realiza o processo conhecido como efeito piezoelétrico inverso, onde sua deformação física é convertida em energia elétrica.

A Figura 16 ilustra os dois tipos de configuração encontradas em sensores US. À esquerda, um esquema de transdutor magnetostritivo; à direita, uma configuração com material piezoelétrico.

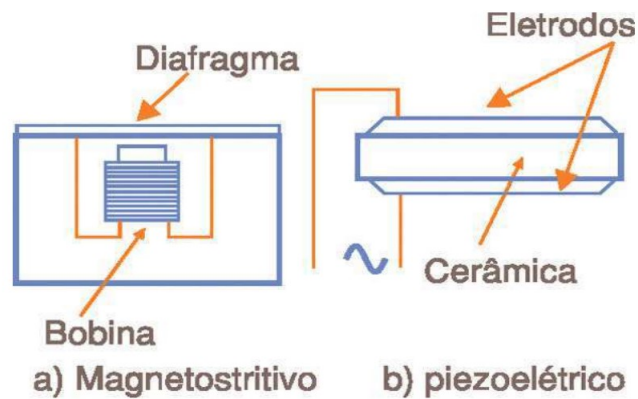


Figura 16: Tipos de transdutores ultrassônicos.

2.2.3.2 Detecção de Obstáculos e Obtenção de Distância com Sensores Ultrassônicos

Assim como afirmado anteriormente, o processo para detecção de obstáculos e cálculo de distâncias utilizando sensores USs é análogo ao já apresentado para os sensores ópticos na subseção 2.2.2.

Portanto, é natural que a equação básica aplicada também seja de um formato parecido logo, para os sensores USs, temos que a distância até um obstáculo é dada pela Equação 2.3.

$$d = \frac{t * v * n}{2} \quad (2.3)$$

Onde:

- d - Distância entre o sensor e o obstáculo (m).
- t - Tempo entre a emissão e detecção do eco (s).
- v - Velocidade do som no ar a $0^{\circ}\text{C} = 331,45$ (m/s).
- n - Fator de correção da velocidade do som no ar a $30^{\circ}\text{C} = 1,053485$ (*adimensional*).

Considerações

Pelas características apresentadas, este tipo de sensor é muito aplicado em situações onde se necessita simplesmente de detectar presença ou posição de objetos ou, também, obter a distância destes objetos até o corpo do sensor.

O sensor ultrassônico apresenta uma detecção confiável e independe de contato físico, textura, cor ou formato do objeto a ser identificado. Névoa, poeira ou sujeira são fatores que não influenciam no resultado da detecção (BALLUFF Blog, 2018).

Além disso, diferente dos sensores do tipo óptico, os USs possuem um ângulo de detecção amplo, que geralmente varia entre 5 e 15° , tornando possível identificar objetos que não estejam exatamente de frente para o sensor.

A Figura 17 apresenta exemplos de aplicações de sensores ultrassônicos no meio industrial, realizando a detecção de objetos e medida de nível em reservatórios.

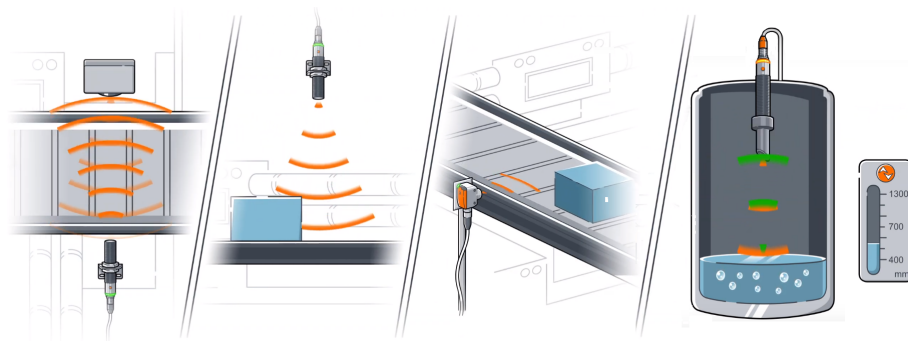


Figura 17: Exemplos de aplicação dos sensores ultrassônicos no meio industrial.

Ainda, devido à relativa baixa velocidade de propagação do som e de seu princípio de funcionamento simples, estes sensores retornam boas precisões sem a necessidade de cálculos complexos.

Como é de se esperar, este tipo de sensor também necessita de cuidados para sua correta aplicação. As principais causas de erros na utilização destes equipamentos estão associadas principalmente a fatores de inclinação e coeficiente de absorção sonora do objeto a ser detectado, pois estes podem impedir ou prejudicar que a reflexão ocorra em intensidade suficiente para se obter um sinal elétrico confiável.

2.2.4 Plataforma Arduino

Trata-se de um projeto originalmente italiano, nascido no ano de 2005, que buscava desenvolver uma plataforma de prototipagem eletrônica de fácil utilização e baixo custo, a fim de se tornar uma alternativa aos *hardwares* disponíveis para estudantes das áreas de eletrônica, que eram caros e complexos.

Ao longo dos anos, o projeto original foi aperfeiçoado por pesquisadores até que se tornasse o que é atualmente: um dispositivo funcional, barato e fácil de se programar. (LEMOS, 2013)

Uma vez que uma comunidade mais ampla foi alcançada, as placas Arduino foram modificadas para se tornarem mais adaptáveis às novas necessidades e desafios, ampliando a oferta desde placas simples de 8 bits a produtos mais completos para aplicações de IoT (Do inglês “*Internet of Things*” ou em português “Internet das Coisas”), sistemas embarcados, impressão 3D, dentre diversos outros.

Uma característica de grande valor desta plataforma é que todas as placas são de código aberto, o que permite aos usuários construí-las de forma independente e adaptá-las às suas necessidades particulares. Seu *software* também é de código aberto e cresce diariamente com contribuições de usuários em todo o mundo. (ARDUINO, 2019)

A Figura 18 ilustra parte dos diversos modelos das placas Arduino disponíveis no mercado. Destaca-se que é possível perceber uma grande variedade até nos formatos, tornando simples adaptá-las para diversas aplicações.

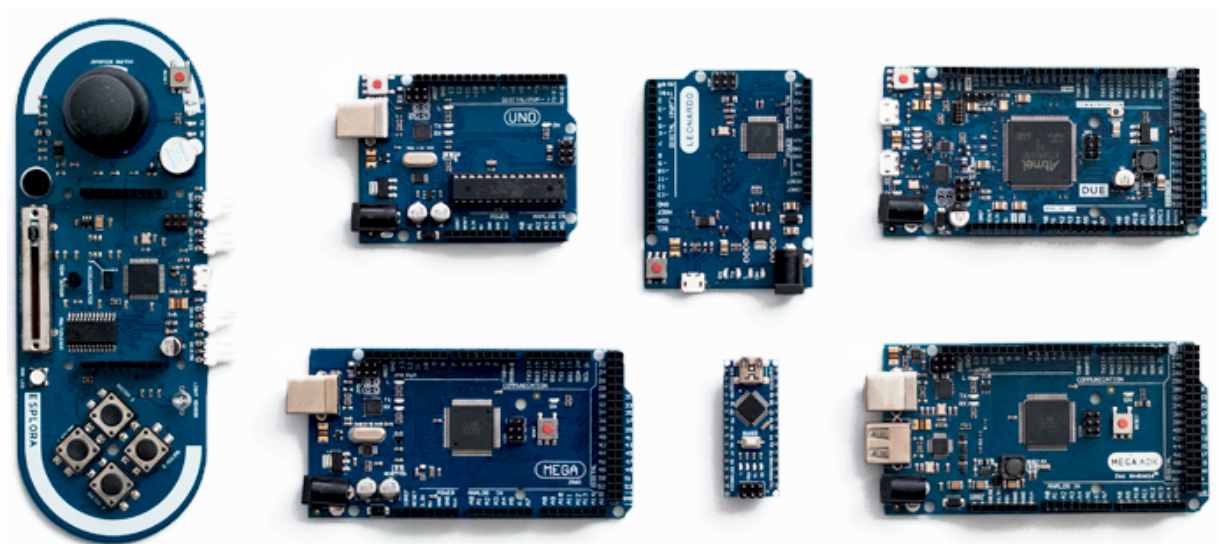


Figura 18: Exemplos de modelos disponíveis comercialmente das placas Arduino.

Falando de forma simplificada, este equipamento assemelha-se a um pequeno computador, onde é possível programar a maneira como suas entradas e saídas devem se

comportar diante dos diversos componentes e módulos externos que podem ser conectados a elas.

São equipamentos que abrem ao desenvolvedor uma imensa faixa de possibilidades, fornecendo não somente funções básicas de um μC , tal como apresentado anteriormente na subseção ??, mas também a possibilidade de acoplamento de diversos outros módulos a fim de desempenhar as mais diversas tarefas, tais como interfaces de comunicação *Bluetooth*, Wi-Fi, sensores variados, relés, multiplexadores, dentre outros.

A Figura 19 a seguir lista os recursos básicos presentes numa placa Arduino modelo MEGA 2560.

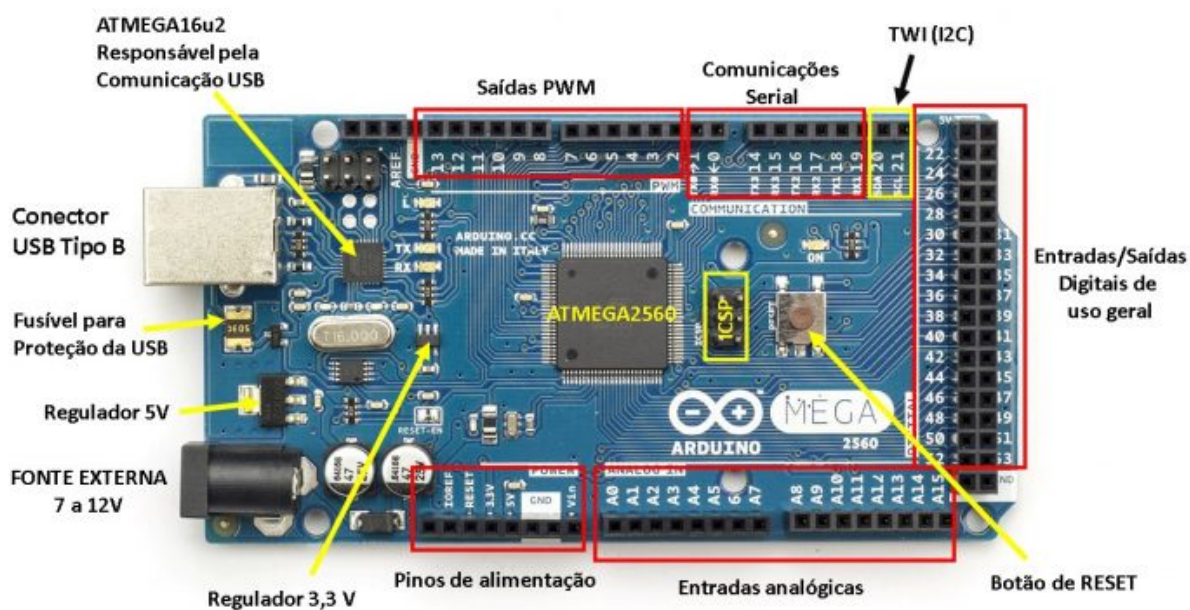


Figura 19: Resumo de recursos da placa Arduino MEGA 2560.

2.3 Modelagem Estatística

A fim de facilitar a realização de pesquisas futuras no âmbito de simular o desempenho sensor aplicado neste projeto, é necessário que seja realizado um estudo de modelagem estatística do seu desempenho.

Geralmente, o estudo estatístico e probabilístico de algum evento aleatório ocorre no intuito de, com certa faixa de confiabilidade e significância, aproximá-lo de um modelo probabilístico conhecido e padronizado de forma a tornar possível simular este evento e realizar previsões de possíveis situações que possam vir a ocorrer.

Um modelo de simulação procura capturar o comportamento de um dado sistema

e representá-lo como um modelo computacional, que deve ser capaz de representar os diversos fenômenos aleatórios existentes no sistema, construídos a partir da observação e do levantamento de dados do fenômeno, de modo que esse modelo de simulação seja o mais representativo possível do sistema real. Trata-se de uma técnica para aproximar um determinado espaço amostral a algum modelo probabilístico conhecido com base em dependendo de certos parâmetros (CHWIF; MEDINA, 2014).

O estudo da modelagem de dados pode ser resumido em três etapas principais, sendo:

- Coleta de dados;
- Tratamento dos dados;
- Inferência.

2.3.1 Coleta de Dados

Trata-se da primeira etapa do processo de modelagem estatística. Se inicia com a escolha de quais serão as variáveis de entrada, ou seja, as informações do sistema que se deseja modelar, seja este qualquer for.

Corresponde ao chamado processo de amostragem. Uma amostra é um conjunto de valores retirados da população de interesse, no caso os dados de erro nas aferições de distância, e é utilizada para representar a população no estudo estatístico. Nesta etapa, o objetivo é garantir que a amostra obtida seja a mais representativa possível do fenômeno (CHWIF; MEDINA, 2014).

2.3.2 Tratamento de Dados

É o momento para aplicação de técnicas que descrevem os dados levantados, buscando identificar possível falhas nos valores encontrados e aumentar a taxa de confiabilidade do estudo com relação ao fenômeno abordado. Com base em ferramentas da Estatística Descritiva, é possível avaliar o conjunto de dados a fim de compreender melhor o fenômeno. É neste momento onde são extraídas as medidas de:

- Posição, que dão uma ideia condensada de todo o conjunto de dados, sendo composta por elementos tais como a média, mediana, moda, etc., as quais se tratam de medidas de tendência central, sendo assim chamadas por se encontrarem próximas ao valor central de um conjunto de dados ordenado (GOUVEIA, 2018a);
- Dispersão, que indicam o grau de afastamento em relação à média do conjunto de dados, sendo composta por elementos tais como a variância e o desvio padrão de um conjunto de dados (GOUVEIA, 2018b).

2.3.2.1 Discriminação de *Outliers*

Tal como afirmado por Chwif e Medina (2014), todo levantamento de dados se encontra sujeito à ocorrência de valores não usuais, chamados de *outliers*, que geralmente surgem por conta de algum erro na coleta de dados ou por algum evento raro e inesperado.

Mesmo sendo uma situação atípica, estes valores continuam como itens pertencentes ao fenômeno de estudo. Entretanto, os *outliers* são um problema, pois afetam os resultados causando distorções nas estimativas, nos níveis de significância dos testes e levando a conclusões que podem ser equivocadas sobre o fenômeno.

Existem certas técnicas que, quando aplicadas ao espaço amostral, possibilitam a discriminação dos *outliers* de forma confiável. Um dos métodos mais comuns trata-se definir uma classificação dos dados na forma de quartis.

Segundo Chwif e Medina (2014), se ordenarmos os valores observados do maior para o menor, e então dividirmos em quatro partes iguais, o primeiro quartil (chamado de Q1) é o valor que deixa 25% das observações à sua esquerda, enquanto que o segundo quartil (Q2) deixa 50% das observações à sua esquerda e, por fim, o terceiro quartil (Q3), que deixa 75% das observações à sua esquerda.

Basicamente, trata-se de um procedimento onde deve-se, primeiro, ordenar o conjunto de amostras em ordem crescente e então, com base na quantidade de valores desse conjunto, dividi-lo em três partes iguais, fazendo uso da equação:

$$Q_i = \frac{i * n}{4} \quad (2.4)$$

Onde:

- i - Quartil que se deseja obter ($i = 1, 2, 3$);
- n - Quantidade de elementos observados, ou tamanho da amostra.

Feito isso, define-se então a amplitude interquartil, que é calculada pela diferença:

$$A = Q_3 - Q_1 \quad (2.5)$$

Onde:

- A - Amplitude *interquartil*;
- Q_3 - Valor do elemento na posição Q3;
- Q_1 - Valor do elemento na posição Q1.

Por fim, é considerado como valor discrepante ou como um *outlier* moderado, qualquer um que estiver abaixo de $Q_1 - 1,5A$ ou acima de $Q_3 + 1,5A$. O modelo gráfico mais comum para representação de quartis é através do *box-plot*, ilustrado pela Figura 20, onde são exemplificadas as posições de cada valor equacionado anteriormente para três

conjuntos amostrais hipotéticos A, B e C, sendo que os *outliers* são representados pelos asteriscos fora das linhas verticais.

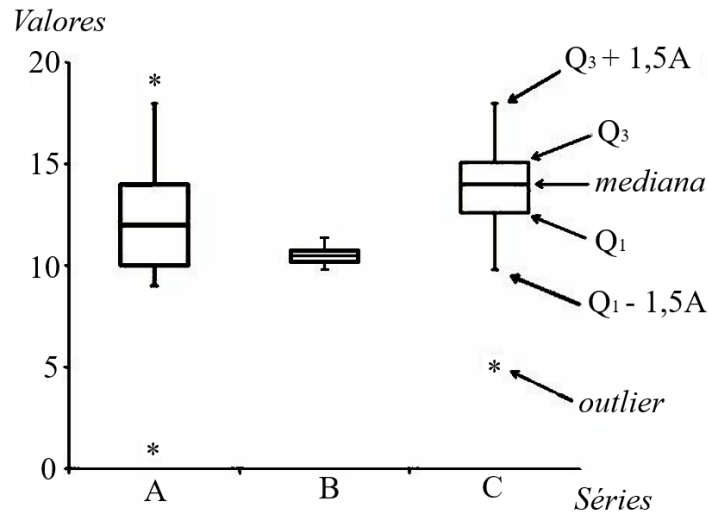


Figura 20: Diagrama genérico em *box-plot* para identificação de quartis.

2.3.3 Inferência

Uma vez definida a amostra que será estudada, deve-se identificar, se possível for, uma distribuição de probabilidades que represente o fenômeno. Existem diversas distribuições de probabilidade que podem ser utilizadas, algumas delas se encontram exemplificadas na subseção 2.3.4.

O primeiro passo para descobrirmos a consistência dos dados, ou seja, ter uma visualização gráfica da sua forma, é construindo um histograma com uma divisão adequada de classes. Na literatura, existem vários critérios que podem ser utilizados para se decidir o número de classes a ser utilizado no histograma. Assim como em Chwif e Medina (2014), neste trabalho será aplicada a regra de Sturges, que adota um número de classes igual a:

$$K = 1 + 3,3 * \log n \quad (2.6)$$

Onde:

- K - Número de classes (arredondado para o inteiro mais próximo);
- n - Número de observações na amostra (sem os *outliers*).

Por fim, para que a amostra seja posicionada em cada uma das classes encontradas pela equação anterior, deve-se calcular a amplitude h de classe através da equação:

$$h = \frac{\text{maior valor amostrado}}{K} \quad (2.7)$$

Sendo que, para se definir o maior valor amostrado, os *outliers* já devem ter sido removidos através do método dos quartis.

Um exemplo de gráfico em histograma pode ser observado na Figura 21 a seguir.

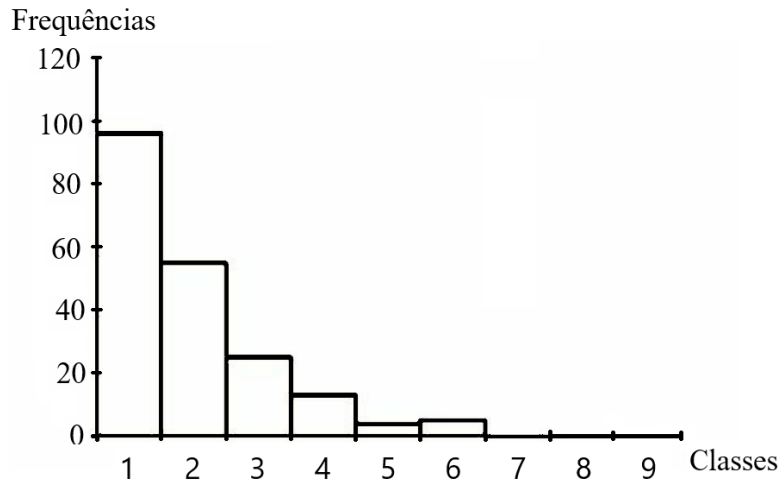


Figura 21: Diagrama genérico em histograma.

2.3.4 Exemplos de Modelos Probabilísticos

Dentre os diversos modelos probabilísticos que podem ser testados em busca de um representante certo sistema aleatório, existem alguns que, por serem mais recorrentes, merecem ser apresentados inicialmente como possíveis candidatos a análise.

2.3.4.1 Poisson ou Exponencial

Se, por exemplo, o tempo entre ocorrências sucessivas de um evento é exponencialmente distribuído, então o número de eventos que ocorrem em certo intervalo de tempo é um processo de Poisson. A Figura 22 representa esse modelo probabilístico (CHWIF; MEDINA, 2014).

Percebe-se que, este modelo, se assemelha muito ao formato dos dados do histograma apresentado anteriormente na Figura 21. Tal situação indica que o modelo de distribuição probabilística exponencial de Poisson seria um bom teste inicial para modelagem daquele fenômeno.

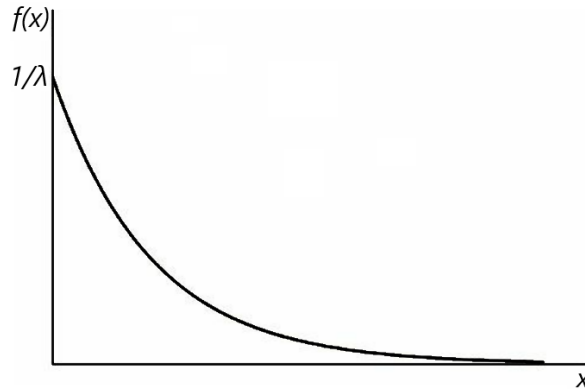


Figura 22: Distribuição Probabilística de Poisson.

Parâmetros

$$\lambda = \frac{1}{\mu} \quad (2.8)$$

$$f(x) = \lambda * e^{-\lambda * x} \quad (2.9)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda * x} \quad (2.10)$$

Onde:

- $f(x)$ - Função de Densidade Probabilística;
- $F(x)$ - Função de Distribuição Cumulativa;
- λ - Taxa de ocorrências;
- x - Domínio (composto pelos eventos exclusivos da amostra);
- μ - Média aritmética do espaço amostral.

2.3.4.2 Normal

Distribuições normais modelam situações em que a distribuição do processo envolvido pode ser considerada como a soma de um conjunto de processos componentes. Por exemplo, o tempo execução de uma operação, que é a soma dos tempos de execução de etapas da operação. A Figura 23 apresenta um exemplo de modelo probabilístico do tipo Normal (CHWIF; MEDINA, 2014).

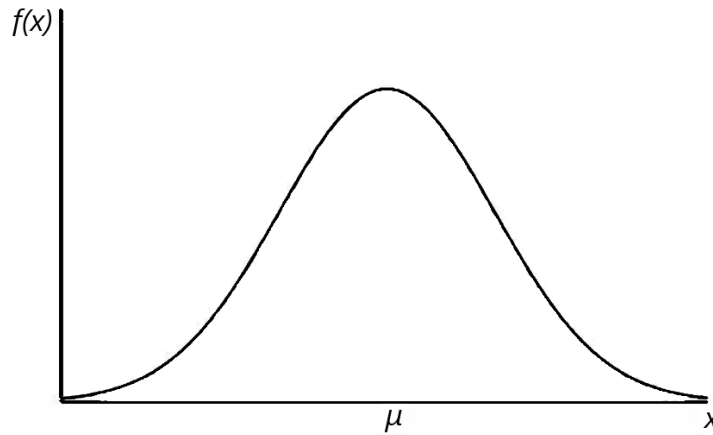


Figura 23: Curva de Distribuição Probabilística Normal.

Parâmetros

$$f(x) = \frac{1}{\sigma * \sqrt{2 * \pi}} * e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2*\sigma^2}} \quad (2.11)$$

Onde:

- $f(x)$ - Função de Densidade Probabilística;
- σ^2 - Variância;
- σ - Desvio Padrão;
- x - Domínio (composto pelos eventos exclusivos da amostra);
- μ - Média aritmética do espaço amostral.

2.3.4.3 Uniforme

Distribuições do tipo uniforme modelam processos em que todos os valores em um intervalo $[a, b]$ têm igual probabilidade de ocorrência. A Figura 24 apresenta um exemplo de modelo probabilístico do tipo Uniforme. (CHWIF; MEDINA, 2014).

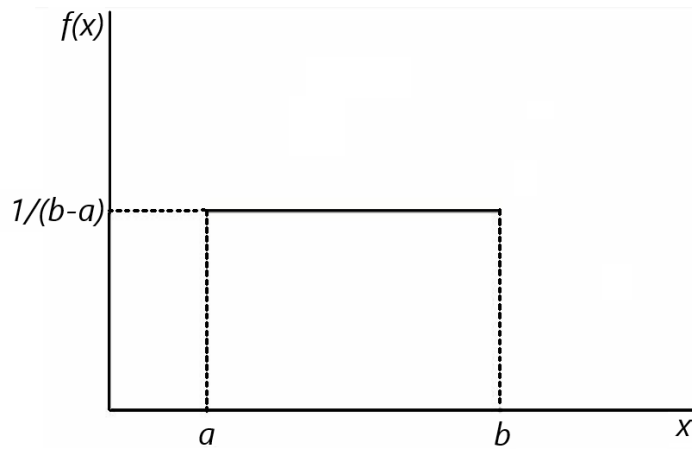


Figura 24: Curva de Distribuição Probabilística Uniforme.

Parâmetros

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & \text{se } a \leq x \leq b \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Onde:

- $f(x)$ - Função de Densidade Probabilística;
- a - Limite Inferior do Espaço Amostral;
- b - Limite Superior do Espaço Amostral;
- x - Domínio (composto pelos eventos exclusivos da amostra);

Considerações Técnicas

3.1 Escolha de Sensor

Como etapa inicial para o processo de desenvolvimento do protótipo de dispositivo Auxiliar Eletrônico de Viagem (AEV), foi feita a escolha de quais sensores melhor se encaixariam às necessidades do projeto. Tomando como base as informações apresentadas anteriormente no capítulo de Referencial Teórico, mais especificamente na seção 2.2 onde falou-se sobre alguns tipos de sensores que possam ser aplicados para detecção de obstáculos e cálculo de distâncias, escolheu-se os de visão e ultrassônicos para serem avaliados devido ao maior ângulo de detecção apresentado por estes.

Os sensores do tipo infravermelho não se mostram como uma boa opção para esta aplicação principalmente devido ao seu pequeno ângulo de detecção de obstáculos, que é praticamente pontual, sendo necessário então que o corpo se encontre exatamente à frente do módulo para que seja então detectado.

Sensor de Visão

A primeira opção analisada foi a utilização de uma câmera industrial, modelo *PresencePLUS P4 AREA* da fabricante Banner Engineering Corp. (2009), disponibilizada pelo orientador deste projeto para que pudesse ser aplicada em um trabalho deste tipo. A principal vantagem deste sensor está na sua capacidade de calcular distâncias dentro de seu campo de visão por conta própria, sem a necessidade da implementação de algoritmos que realizassem esta tarefa com base no fenômeno de paralaxe.

Foi feita a conexão da câmera a um *notebook* via comunicação *ethernet* para averiguar seu funcionamento e avaliar as funções disponível no *software* próprio da fabricante para programação deste equipamento. A Figura 25 apresenta uma fotografia da câmera.

Entretanto, diversos motivos inviabilizam a utilização deste sensor para o projeto final. A falta de informações disponíveis on-line sobre sua programação dificulta muito a



Figura 25: Sensor de visão PresencePlus P4 AREA.

etapa de implementação, o que faria necessário disponibilizar um grande período de tempo dedicado apenas a dominar o *software* de programação e realizar a correta comunicação da câmera ao μC , o qual deve receber todas as informações de obstáculos e distância encontradas pelo sensor.

Além disso, segundo o manual do usuário do equipamento, a tensão de alimentação recomendada é de 24 Vcc, valor este que se torna muito difícil de ser fornecido por um sistema que deve ser alimentado por baterias de baixa tensão. A corrente requisitada por este sensor também não se mostra favorável, chegando a 550 mA em operação nominal (Banner Engineering Corp., 2009).

Tais características fariam com que todo o sistema tivesse de ser dimensionado e planejado quase que unicamente para atender aos requisitos de alimentação da câmera, sendo inviável utilizar baterias para atenderem a tais níveis de corrente e tensão. Outro ponto que impossibilita sua utilização é seu elevado custo, que chega a casa de R\$ 5.000,00 em alguns revendedores, tornando impossível adquirir outras unidades deste modelo para reprodução do projeto.

Sensor Ultrassônico

Por conta das dificuldades encontradas com o sensor de visão, foi preciso estipular critérios de escolha baseados nos objetivos específicos propostos para este trabalho, apresentados na Seção 1.4. Com isso, o sensor ideal deve se encaixar em quesitos de:

- Dimensão - Espera-se que o equipamento final auxilie na mobilidade de pessoas cegas, portanto é preciso escolher componentes que não necessitem de muito espaço ou apresentem grande peso.
- Custo - A fim de que as soluções aqui propostas alcancem um maior público, é preciso que o dispositivo não necessite de grandes investimentos financeiros em sua construção;

- Dificuldade de Implementação - Uma característica de grande valia na escolha do sensor está no nível de dificuldade necessário para que este seja colocado em pleno funcionamento juntamente ao μC , levando em conta tensão e corrente de alimentação, esforço de programação, disponibilidade de conteúdo por fabricantes e/ou usuários;
- Características de Funcionamento - Espera-se ainda que seja possível detectar obstáculos de qualquer cor e sob quaisquer condições de iluminação.

Logo, definiu-se então que o sensoramento do ambiente seria realizado com o uso de sensores do tipo ultrassônico, que mesmo em grandes quantidades apresentam um custo muito baixo, ocupam pouco espaço, são extremamente leves, consomem quantidades muito pequenas de potência, demonstram bom desempenho em detectar diversos tipos de obstáculos, com exceção dos materiais com alto coeficiente de absorção sonora, tais como corpos altamente porosos. Além disso, apresentam uma larga quantidade de conteúdos disponíveis on-line que vão desde seus princípios básicos de funcionamento até os problemas mais comuns encontrados em aplicações que os utilizem.

Ao se aplicar um conjunto de sensores deste tipo, é possível posicioná-los de maneira estratégica para se obtenha um campo de detecção suficiente para garantir a segurança do usuário em diversos ângulos, indo desde objetos na altura da cabeça até os pés.

O modelo escolhido para a realização desta tarefa de sensoramento foi o sensor ultrassônico HC-SR04, facilmente encontrando em lojas especializadas na venda de componentes eletrônicos. Seu preço se encontra na faixa de R\$ 9,00 por unidade, são alimentados com tensões de 5 Vcc e não requerem mais que 1 5mA de corrente, ideais para serem alimentados diretamente pela mesma fonte utilizada pela maioria dos μC s. A Figura 26 apresenta uma fotografia deste sensor.



Figura 26: Sensor HC-SR04.

Segundo as informações de especificação deste modelo, que podem ser encontradas em Elec Freaks (2011), apesar do baixo custo o sensor dispõe de um alcance ideal para este projeto, que não possui a pretensão de detectar obstáculos a mais que 2 metros de

distância. Em situações ideais, o seu *range* de medição vai dos 4 centímetros a um máximo de 4 metros. Além disso, trabalha em frequências com 40kHz, que como apresentado anteriormente na seção 2.2.3, nos indica a capacidade de detectar corpos que apresentem diâmetro pouco inferior a 10 milímetros.

Ainda, seu ângulo útil de medição se encontra na casa de 15° com um formato cônico que parte de sua linha central, tal como pode ser observado na Figura 27.

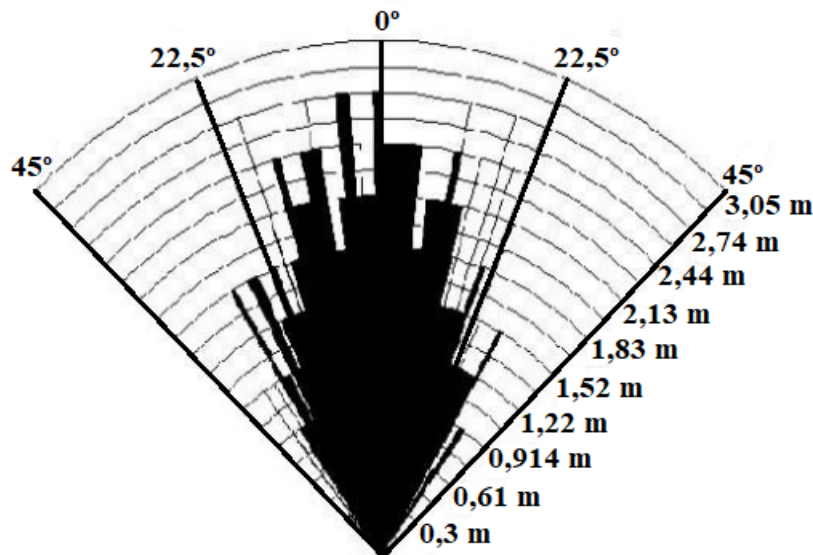


Figura 27: Diagrama gráfico do ângulo útil de medição do sensor ultrassônico HC-SR04.

O funcionamento deste sensor se baseia em três etapas, sendo que inicialmente o μC emite um curto pulso de 10 μs para que o processo de medição de distâncias seja iniciado. Com isso, o sensor ultrassônico envia oito pulsos de ultrassom a 40 kHz de frequência através de um dos seus dois transdutores. Caso estes pulsos colidam com algum obstáculo no alcance de detecção do sensor, estes pulsos retornam ao módulo e excitam o transdutor de eco, o qual envia um sinal digital 1 de volta ao controlador.

Com isso, a distância até o obstáculo encontrado pode então ser calculada através da diferença de tempo entre o sinal inicial emitido pelo μC e a resposta digital 1 recebida do transdutor de eco. Este processo é ilustrado pela Figura 28.

Espera-se do dispositivo AEV que ele possa ser “vestido” pelo usuário. Por conta disso, é necessário posicionar os sensores em um local onde ocorra a menor quantidade de movimentos durante o ato de andar. Esta necessidade torna a região superior do torso ideal para esta aplicação, visto que se trata de uma área que se mantém em uma posição quase que perfeitamente vertical e quase imóvel durante a movimentação de uma pessoa.

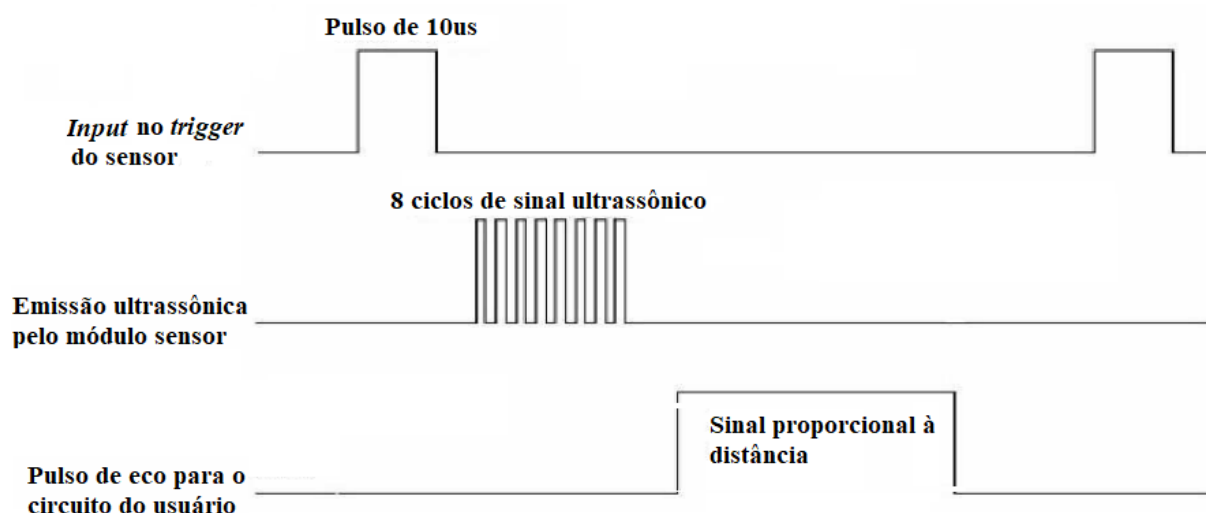


Figura 28: Diagrama temporizado do processo de funcionamento do sensor HC-SR04.

3.2 Interface de Comunicação com o Usuário

A fim de compensar a falta da visão, além de sensorar o ambiente é preciso que o AEV repasse essas informações ao usuário por meio dos outros quatro sentidos remanescentes. Uma vez que o paladar e olfato são relativamente difíceis de se lidar e não são utilizados com esse objetivo, nos resta então a audição e o tato, que são muito mais amigáveis para se enviar informações.

Tal como afirmado anteriormente na seção introdutória 1.3, que trata sobre os Efeitos Neurológicos das DVs, pessoas cegas direcionam para a audição grande parte da energia e atenção que originalmente seriam dedicadas à visão, tornando então essa sua principal fonte de sensoriamento do ambiente.

Desenvolver um equipamento que utilize deste sentido para informar ao usuário sobre obstáculos se torna uma tarefa muito difícil, uma vez que o áudio enviado não pode interferir nos demais sons do ambiente, situação que poderia acabar por prejudicar o correto funcionamento da audição e se tornar mais um empecilho do que um auxílio.

Assim, apesar de possuir uma sensibilidade inferior quando comparado a audição, nos resta como melhor opção para se utilizar como interface para envio de informações ao usuário o seu sentido de tato, que utiliza de receptores biológicos divididos em três grupos principais: os termorreceptores para a percepção térmica; os nociceptores, que envia sinais causadores da sensação de dor; e os mecanorreceptores, responsáveis pelos estímulos mecânicos e deformações na pele (AFH Bio, n.d.).

Nosso foco fica então direcionado aos mecanorreceptores, que captam deformações na pele causadas por quaisquer forças externas, como toques e vibrações.

3.2.1 Atuador

Como solução para gerar as respostas táteis necessárias para repassar ao usuários as informações a respeito do ambiente onde ele se encontra, serão utilizados motores do tipo *vibracall* modelo 1027, os quais são muito comuns em aparelhos celulares, responsáveis pelo efeito de vibração dos mesmos.

Trata-se de um pequeno motor DC que quando excitado gira causando um efeito vibratório de intensidade que pode facilmente ser controlada como uso de um sinal PWM provindo de um μC . Com isso, é possível não apenas alertar ao usuário sobre a existência de obstáculos, mas também lhe informar sobre a distância até aquele obstáculo com base na intensidade das vibrações emitidas pelo motor.

Seu pequeno tamanho e formato torna simples posicioná-los em qualquer região sem grandes dificuldades, além de que apresentam um baixo consumo de potência. A Figura 29 demonstra uma fotografia deste motor.



Figura 29: Motor do tipo *vibracall* modelo 1027.

Como especificações deste motor, temos:

- Tensão de operação: 2,5 a 4 V;
- Corrente de operação nominal: 58 mA;
- Corrente de partida: 90 mA;
- Velocidade de rotação: 9000 RPM;
- Dimensões totais: 40 x 10 x 3 mm.

3.2.2 Controle de motores de Corrente Contínua

Quando se trabalha com motores de corrente contínua (ou DC, como são chamados na sigla em inglês que significa *Direct Current*), é possível controlar sua velocidade simplesmente alterando a tensão aplicada sob seus terminais. Uma opção para isso é a utilização de resistores variáveis que, apesar de ser funcional, não é uma alternativa adequada, uma vez que, por conta do aumento na impedância do circuito e conseqüente redução da corrente,

reduz também o torque do motor. Além disso, ainda existe a perda de energia causada pela inserção de um elemento resistivo em série com o motor. Alternativamente, são utilizados sinais do tipo PWM para executar esta tarefa.

PWM (do inglês *Pulse Width Modulation*, que em português significa Modulação de Largura de Banda), é uma forma de se controlar dispositivos analógicos com uma saída digital. Trata-se de um dos principais meios pelos quais μ Cs são capazes de controlar, por exemplo, motores de velocidade variável, lâmpadas reguláveis, atuadores, auto-falantes. Não se trata de uma saída de fato analógica, mas que simula a ação de um sinal analógico ao aplicar potência em pulsos digitais de tensão regulada (HEATH, 2017).

Sinais digitais consistem em apenas dois valores: 1 ou 0. Por outro lado, os analógicos são compostos por um conjunto infinito de valores, podendo assumir qualquer um deles. Ambos são de extrema importância na eletrônica.

Os dispositivos μ Cs trabalham apenas com valores digitais, logo é muito comum que possuam módulos conversores A/D (analógico - digital) responsáveis por realizar a conversão dos sinais analógicos de entrada, provindos de um sensor, por exemplo, em sinais digitais.

Apesar de não ser uma tarefa difícil encontrar μ Cs que disponibilizem conversores do tipo D/A (digital - analógico), os quais emitem um certo nível de tensão, por exemplo, com base em algum valor digital configurado em sua programação, o mais comum é que existam apenas pinos com função de PWM.

Módulos PWM são constituídos basicamente por um oscilador de onda retangular, onde a frequência é fixa e o parâmetro possível de ser modificado é a duração do ciclo ativo (*duty cycle*), o qual será referido neste documento pela letra grega δ , tal como pode ser observado na Figura 30 (CASTRO; TRINDADE, 2013).

Numa situação onde são aplicados pulsos retangulares com tensão igual a nominal de um motor DC, mas que se mantenham em estado alto por apenas 50% do tempo, ou seja, configurado com um δ de 50%, pode-se dizer então que a potência eficaz transferida para o motor será metade da máxima.

Considerando que o sinal de PWM possua uma frequência suficiente, o efeito de inércia do rotor faz com que não sejam geradas oscilações perceptíveis na rotação, enquanto que, se a amplitude dos pulsos for igual à tensão nominal do motor, seu conjugado será mantido inalterado. Dessa forma, elevar ou reduzir o valor de δ resulta na alteração da energia fornecida para o motor, modificando também sua velocidade.

Em suma, a utilização dos sinais de PWM, quando aplicado a motores DC, permite um excelente controle de velocidade enquanto mantém o torque numa faixa próxima do máximo, por conta de não causar alterações no fluxo de corrente.

Modulação de Largura de Pulso (Resolução de 8 bits)

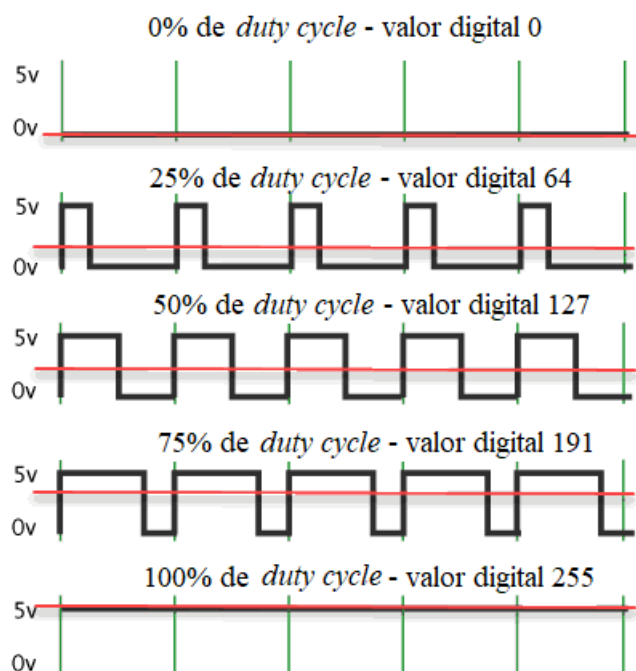


Figura 30: Efeito causado pela alteração do *Duty Cycle* em um módulo de PWM.

Na maioria das situações, é inviável acionar um motor diretamente conectado a uma saída PWM, principalmente por questões de corrente, visto que μ Cs não são construídos visando esta finalidade. Logo, para que seja possível aplicar um controle via PWM em motores DC, a prática mais comum é a utilização do sinal enviado pelo μ C para excitar a base de um transistor bipolar de junção, normalmente do tipo NPN. Onde o transistor é utilizado como uma chave, que fecha o circuito e permite a circulação de corrente quando o pulso PWM se encontra em estado alto, atuando no acionamento e controle de intensidade da vibração dos motores *vibracall*.

Quando é feito o acionamento de motores DC, um problema muito comum e que pode vir inclusive a danificar componentes no circuito eletrônico, ou pelo menos prejudicar seu pleno funcionamento, são as tensões reversas causadas pelo chaveamento deste tipo de máquina.

Uma vez realizada a excitação de um motor DC, abrir sua chave de alimentação não para imediatamente com o fluxo de corrente no circuito. Isso se deve ao comportamento indutivo dos seus enrolamentos que, ao liberar a energia armazenada em seu campo magnético, tendem a manter o do fluxo de corrente elétrica constante, causando um rápido pico de tensão que pode atingir amplitudes muito superiores ao aplicado pela alimentação.

Por essa razão, é preciso então prever uma forma segura de dissipar a energia armazenada nos enrolamentos do motor, tornando possível realizar seu chaveamento eletrônico com segurança para o restante dos componentes do circuito. Para isso, uma

solução extremamente simples e eficiente é adição de um diodo em paralelo ao motor, que dissipa a energia indutiva sem que ocorram problemas causados por tensão reversa na eletrônica.

A Figura 31 representa o circuito adequado para este tipo de controle com a adição de um diodo para dissipação de tensões contra-eletromotrizes geradas durante o chaveamento.

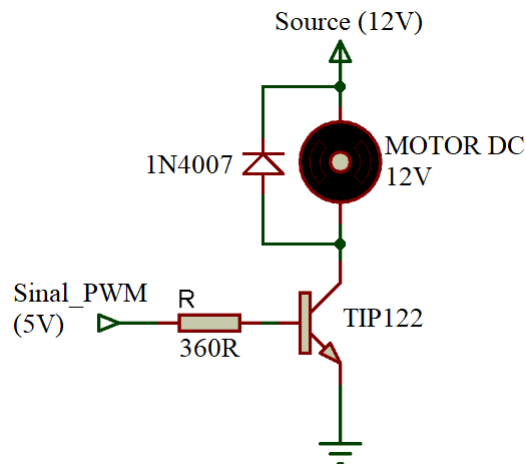


Figura 31: Circuito para controle dos motores *vibracalls* via PWM.

3.3 Microcontrolador

Por conta das características dos sensores ultrassônicos e atuadores escolhidos para serem aplicados neste projeto, necessita-se de um μC que disponibilize uma grande quantidade de pinos que possuam a função de PWM. Por conta deste requisito, foi escolhida então a placa Arduino Mega 2560, baseada no μC ATmega2560, que apresenta um total de 15 pinos capazes de fornecer sinais desse tipo (Arduino, 2019).

Além disso, a grande quantidade de bibliotecas disponibilizadas pela comunidade que utiliza as placas Arduino trazem grandes facilidades na realização de algumas tarefas. Um exemplo disso é a biblioteca *NewPing*, desenvolvida especialmente para realizar a interface entre o μC e sensores do tipo ultrassônicos de vários modelos, dentre eles o HC-SR04 (ECKEL, 2017).

Com relação a custo, uma placa compatível deste modelo se encontra numa faixa de valores entre R\$ 60,00 e R\$ 80,00. Este modelo de placa Arduino apresenta as seguintes características técnicas:

- μC : ATmega2560;
- Tensão de Operação: 5 V;

- Tensão de alimentação recomendada: 7-12 V;
- Tensão de Alimentação limite: 6-20 V;
- Pinos Digitais de I/O: 54 (dos quais 15 fornecem saídas PWM);
- Pinos de Entrada Analógica: 16;
- Corrente DC por pino I/O: 20 mA;
- Memória *Flash*: 256 KB (dos quais 8 KB são utilizados pelo *bootloader*);
- SRAM: 8 KB;
- EEPROM: 4 KB;
- Velocidade de *Clock*: 16 MHz.

3.3.1 Operação de Sensores HC-SR04 via PWM Único

Idealmente, além de ser alimentando com 5 V, este sensor deve ter seu *Trigger* e *Echo* conectados a dois pinos distintos do μC , ambos com função PWM. Entretanto, como para este trabalho é necessária a utilização de diversos sensores deste tipo, além de mais quatro motores DC a serem controlados via PWM, fez-se necessário encontrar formas de operar este módulo US a partir de um único pino deste tipo, uma vez que seriam insuficientes para todos os componentes do projeto.

Para isso, uma solução extremamente simples se baseia em inserir um resistor de 10 k Ω em série ao pino de *ECHO* do módulo US. Com isso, e as devidas modificações no *software* do μC , que devem configurar um único pino tanto para a operação do *TRIGGER* quanto leitura do *ECHO*, já se é obtido um formato de sensor que necessita a reserve de apenas um pino para seu funcionamento. Esta modificação se encontra ilustrada na Figura 32.

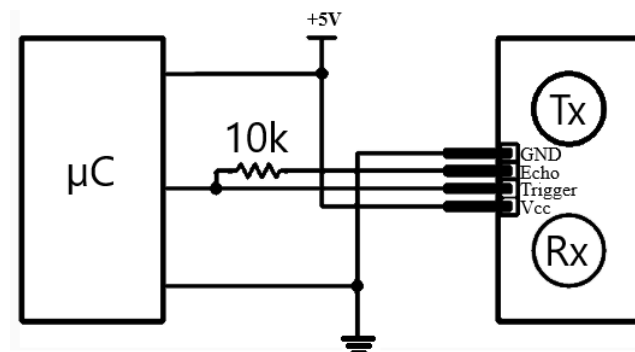


Figura 32: Circuito em PCI para utilização dos módulos USs com um único pino PWM.

Desenvolvimento

Uma vez definidos os equipamentos e métodos que seriam utilizados para a construção do protótipo AEV, dando início às etapas de:

- *Design* da Placa de Circuito Impressa, composta pelos elementos essenciais para a correta integração de todos os componentes do protótipo;
- Projeto via software de desenho 3D do *design* da caixa que abriga todo o conjunto composto por sensores, baterias, μC e Placa de Circuito Impressa;
- Desenvolvimento do algoritmo que coordena a operação de todo o sistema, assim como definição de funções e padrões de alerta, calibração, troca de ambientes.

4.1 Placa de Circuito Impresso

PCI, ou Placa de Circuito Impresso, remete a um conjunto de barramentos condutores que se destinam a conectar determinados componentes, de forma a formar um circuito elétrico para realizar alguma tarefa de desejo do projetista.

Grande parte dos componentes deste projeto necessita de condicionamentos, seja de sinal ou alimentação para seu correto funcionamento. Dentre as questões que tiveram de ser resolvidas através de soluções eletrônicas, está o rebaixamento da tensão de alimentação dos motores DC, que deve ser ajustada de 9 V para 4 V, e o problema da força contra-eletromotriz reversa induzida por eles quando desconectados de sua alimentação ou terra. Além disso, ainda houve a necessidade de se reduzir a quantidade de pinos PWM utilizados na operação dos módulos USs.

Os métodos eletrônicos para resolver a maioria destas dificuldades foram apresentados anteriormente, no Capítulo 3. Resta então apenas o rebaixamento da tensão de alimentação dos motores *vibracall*, que pode ser realizado com o uso de um simples regulador de tensão ajustável.

4.1.1 Materiais Utilizados

Quanto aos componentes eletrônicos e demais materiais utilizados para a manufatura da PCI, estes se encontram listados na Tabela 1 que, além dos nomes, apresenta também informações sobre a função de cada um e quantidades necessárias.

Nome	Função	Quantidade
Bornes bipolares	Conexão das entradas e saídas do circuito a cabos externos	15
Regulador de Tensão Ajustável	Rebaixamento da tensão das baterias para alimentação dos motores	1
Capacitor Cerâmico 100nF	Para uso em conjunto ao regulador de tensão	1
Capacitor Eletrolítico 1uF	Para uso em conjunto ao regulador de tensão	1
Transistor NPN BD139	Acionamento dos Motores DC via PWM	4
Resistores 360Ω	Inseridos na Base dos Transistores	4
Diodos 1N4007	Dissipação da energia acumulada nas bobinas dos motores	4
Placa de fenolite cobreada	Posicionamento dos componentes e barramentos condutores	1
Percloroeto de Ferro	Remoção das áreas cobreadas desnecessárias na placa de fenolite	1

Tabela 1: Lista de materiais utilizados para confecção da PCI.

Para projeto e *design* da PCI, foi utilizado o *software* gratuito EAGLE, que se trata de uma plataforma para automação de projetos eletrônicos. Onde é possível produzir diagramas esquemáticos, realizar o posicionamento de componentes e utilizar de ferramentas destinadas a automatizar o processo de conexão dos elementos do circuito (Autodesk, 2017).

A Figura 33 apresenta o circuito projetado através do *software* EAGLE com uso dos componentes listados.

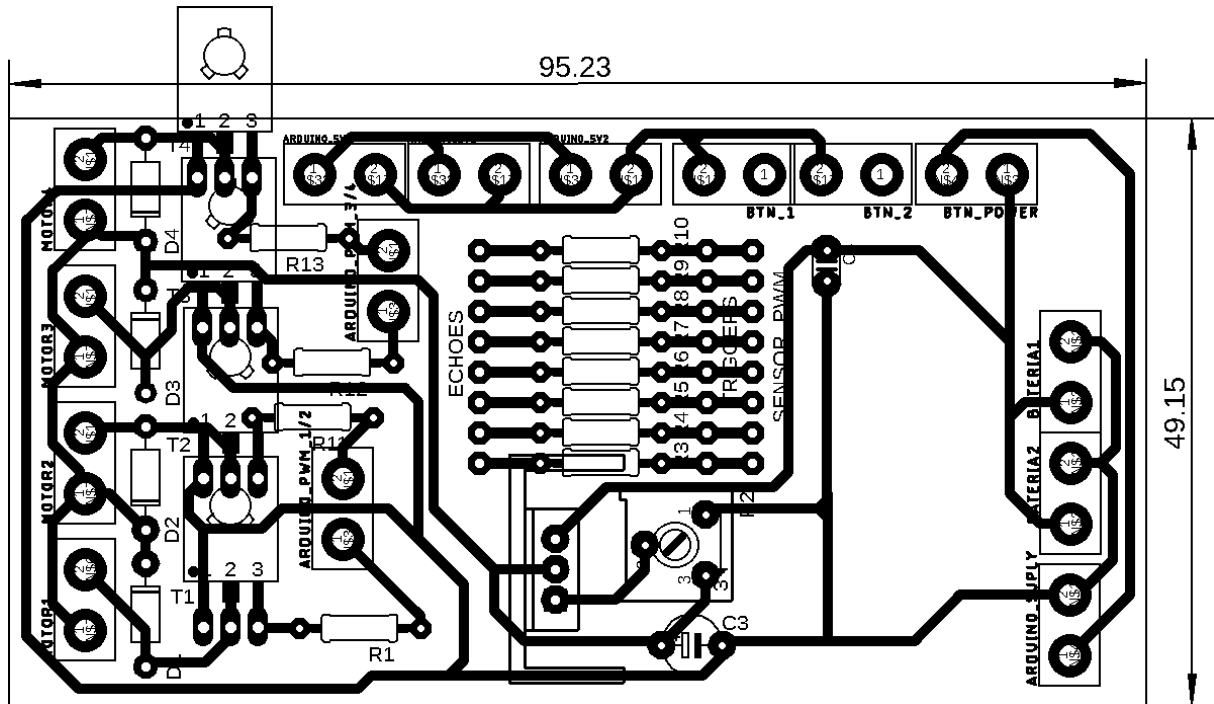


Figura 33: PCI projetada.

4.2 Design Construtivo Tridimensional

Inicialmente, planejava-se utilizar um total de 9 sensores USs HC-SR04, posicionados simetricamente ao longo de uma forma semi-esférica, a qual deveria ser posicionada na região superior do torso acoplada às roupas do usuário. Entretanto, esta forma dificulta o dimensionamento dos espaços internos para posicionamento das baterias, μC , sensores e de uma placa de circuito impresso que se faz necessária pelas razões indicadas anteriormente.

Posteriormente, baseado no modelo desenvolvido por Shin e Lim (2007), já apresentado previamente na seção introdutória deste documento, mais especificamente na subseção 1.1.4, onde foram listados alguns trabalhos voltados à mobilidade de pessoas com DVs, optou-se por construir um modelo que posicionasse oito sensores USs de forma semelhante, defasando-os por 45° no espaço, buscando alcançar um ângulo de detecção total que alcançasse 60° em um formato cônico.

Com relação aos atuadores, foi projetado um sistema capaz de gerar alertas claros sobre obstáculos em qualquer posição, desde que dentro do campo de visão dos sensores e suas respectivas distâncias limiares, utilizando uma pequena quantidade de motores vibracalls, quatro no total, sendo dois posicionados nos pulsos e outros dois nos tornozelos. Este ponto será melhor tratado na subseção 4.3.4, onde é apresentado o modelo de Detecção de Obstáculos e Envio de Respostas Vibratórias.

Modelagem e Impressão 3D

Uma vez determinados os padrões a serem construídos, foi dado início à etapa de design do modelo de carcaça a ser manufaturada via impressão 3D. Para tanto, foi utilizado, em licença estudantil, o *software* Inventor® da Autodesk, que fornece ferramentas profissionais para projetos mecânicos 3D e simulação de produtos (Autodesk, 2019).

Dentre as peças projetadas, as duas principais têm a função de posicionar todos os elementos componentes do sistema AEV, em tamanho pequeno suficiente para ser acoplado no peito do usuário sem interferir em sua mobilidade. Os modelos tridimensionais desenvolvidos podem ser observados nas Figuras 34 e 35, onde são apresentadas, respectivamente, a peça responsável por acoplar os sensores USs HC-SR04 e três botões para fácil acesso pelo usuário e a peça onde são instalados o Arduino Mega 2560, as duas baterias de 9V conectadas em paralelo e uma placa de circuito impresso.

Ainda na Figura 34, é possível observar que nas posições frontais existem dois espaços para a instalação de módulos USs. A intenção por trás disso está em trazer maior segurança a estas áreas consideradas críticas, utilizando de dois sensores apontados para uma mesma direção, visando criar uma redundância nas leituras e, conseqüentemente, uma maior garantia da detecção de obstáculos nestas direções. Para que seja facilitada a citação dos sensores ao longo do texto, eles serão referidos pela nomenclatura apresentada nesta mesma imagem.

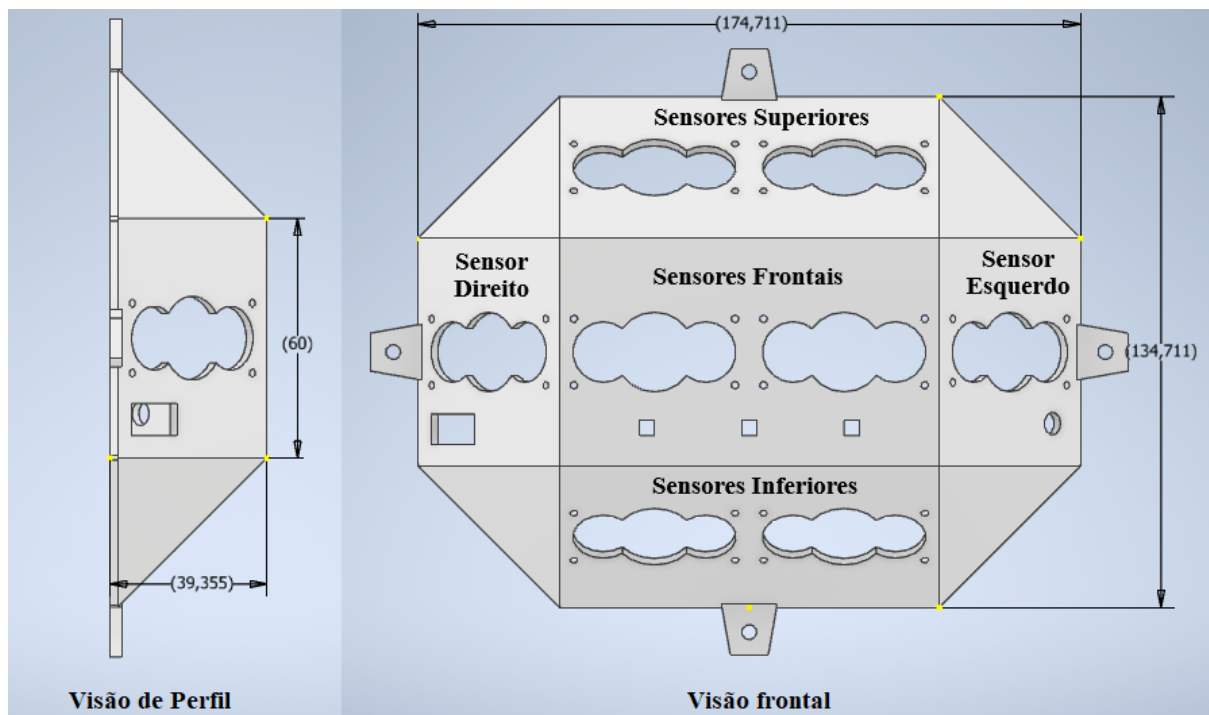


Figura 34: Vistas de frente e perfil da peça frontal projetada.

Já com relação a base, onde todo o restante dos componentes são instalados, é

previsto espaço para posicionamento e fixação da placa Arduino Mega, das duas baterias e da PCI apresentada anteriormente. A elevação existente nas paredes foi adicionada posteriormente, resultado da necessidade de disponibilização de mais espaço para que tudo pudesse ser corretamente montado.

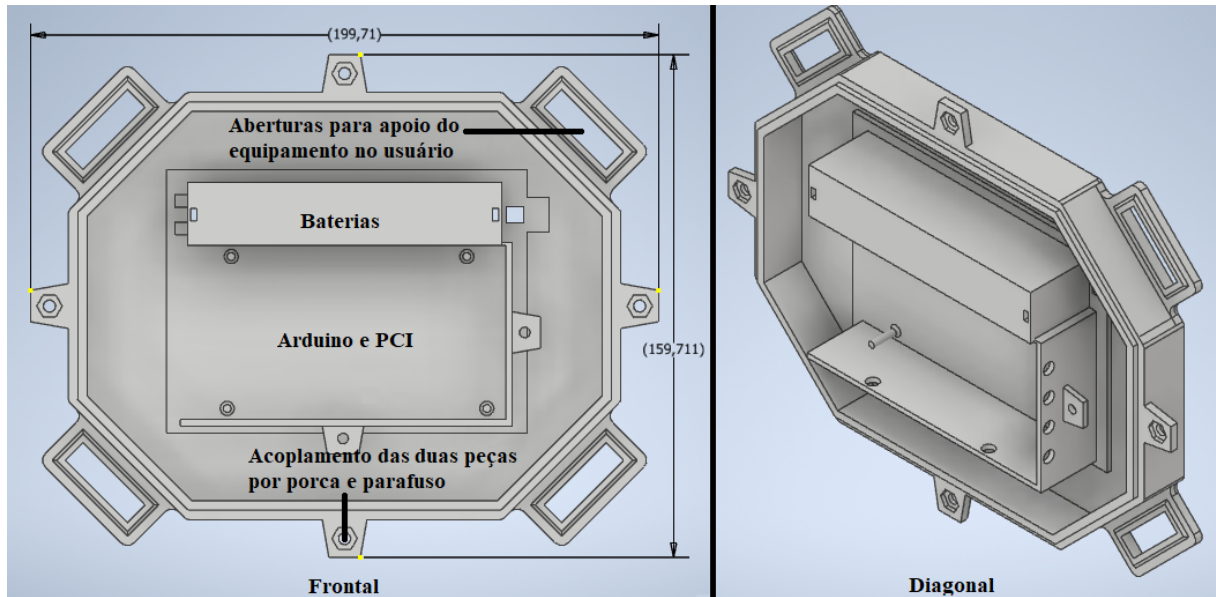


Figura 35: Vistas de frente e perfil da peça base projetada.

Percebe-se que, nesta peça, existem ainda lacunas nas extremidades diagonais, estas são utilizadas para a passagem de faixas elásticas, responsáveis por posicionar e segurar o equipamento no corpo do usuário.

Para possibilitar o encaixe e fixação das duas partes, foram desenhados relevos nas extremidades da peça apresentada na Figura 35, além de saliências para utilização de parafusos e porcas.

O processo de manufatura dos modelos desenvolvidos será feito de forma terceirizada, enviando os desenhos para uma empresa que se encarregará de fabricá-los, em material ABS, através de impressora 3D.

Por conta do tamanho da base projetada, sua impressão será feita por partes, sendo dividida em três componentes que posteriormente serão colados um ao outro, com o uso de resina epóxi, a fim de formar toda a peça. Na Figura 36, é ilustrado como foi feita essa divisão da peça.

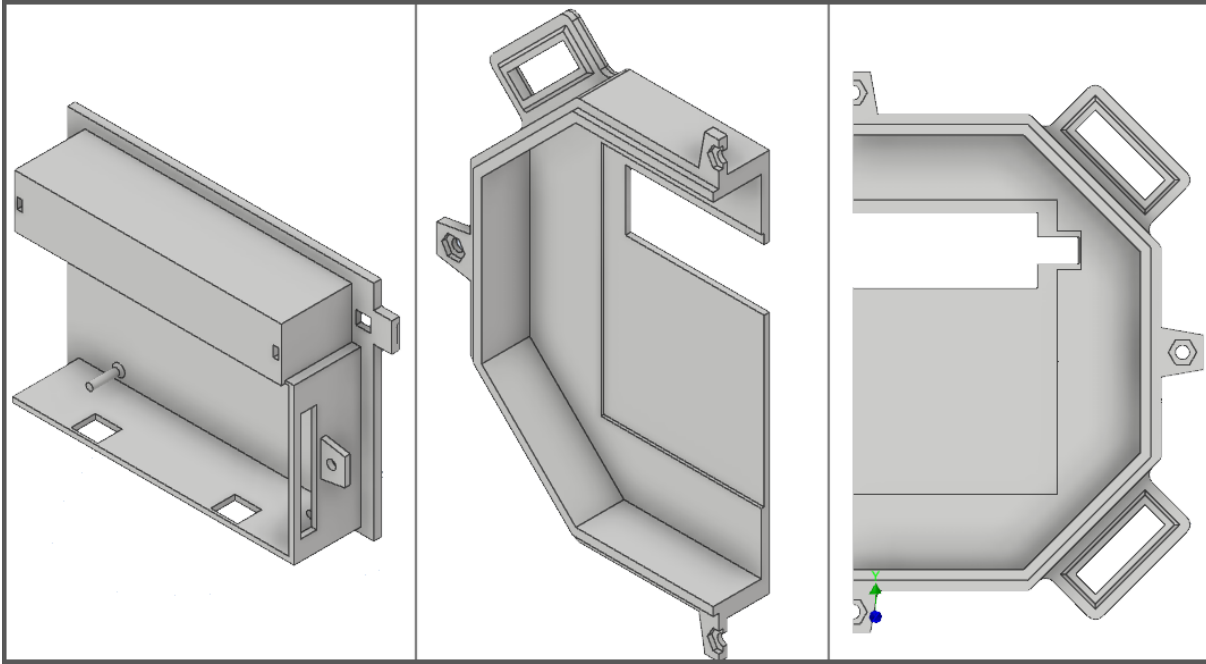


Figura 36: Divisões feitas na peça de base para facilitar o processo de impressão 3D.

4.3 Algoritmo

Um ponto de grande importância, e que deve ser levado em consideração ao se utilizar sensores USs, são os chamados ecos fantasma. Ao acionar o pino *trigger*, são enviadas ondas sonoras para várias direções no ambiente que, ao se chocarem com algum obstáculo, são refletidas de volta ao sensor, produzindo então um sinal que é analisado pelo μC para o cálculo da distância até o corpo encontrado, definindo assim seu funcionamento básico já contemplado anteriormente. Entretanto, caso existam outros objetos dentro do alcance de aferição, é muito provável que ondas sonoras refletidas por eles também acionem o sensor, que enviará um sinal ao μC causando erros nos cálculos (Wikiwand, 2019).

Para que este fenômeno seja evitado, é preciso reservar um determinado período de tempo entre cada leitura de distância para que o som emitido no início do processo de medição seja, pelo menos em grande parte, dissipado no ambiente, impedindo a ocorrência de falhas por esta razão. Usualmente, um prazo de 30 milissegundos entre cada aferição do HC-SR04 já fornece bastante segurança contra este efeito, sendo suficiente para que o som se propague por cerca de 10 metros, tornando sua intensidade incapaz de acionar o transdutor de eco.

O problema relacionado a isto está no fato de que, como são utilizados um total de 8 sensores, até que todas as leituras fossem realizadas seria necessário aguardar um espaço de tempo relativamente grande, totalizando 240 milissegundos de espera. Somando isto às etapas de cálculo das distâncias, filtragem dos resultados e emissão de respostas ao usuário, seria causado um grande atraso com o algoritmo em espera, prejudicando o bom

funcionamento do equipamento.

Por conta do grande número de etapas diretamente dependentes ao tempo, é inviável implementar um código que se organize com base em comandos do tipo *delay(t)*, no Arduíno, o qual obriga que o algoritmo aguarde em estado inerte um determinado tempo t , definido na função, para que então seja dado prosseguimento às demais tarefas. Além disso, tal como será detalhado posteriormente na subseção 4.3.4, os sinais vibratórios enviados ao usuário também dependem diretamente do tempo, sendo impossível parar a execução das aferições dos sensores enquanto é feita a variação na intensidade das respostas táteis geradas.

Buscando solucionar estas dificuldades, desenvolveu-se então um algoritmo construído de forma orientada a eventos, que se assemelha na prática a uma execução paralela de comandos — ressaltando que este não é o caso de fato, visto que o μC utilizado dispõe de um único núcleo em seu microprocessador, tornando então impossível realizar múltiplas tarefas simultaneamente.

Todo o algoritmo utilizado no projeto se encontra no Apêndice C.

4.3.1 Orientação a Eventos

A primeira etapa para se compreender o funcionamento dum algoritmo orientado a eventos é conhecer a definição de “evento”, que não muito fora do conhecimento comum, se trata da indicação de que algo aconteceu ou resultado de alguma ação/fenômeno.

A ideia central por trás da programação orientada a eventos está no fato de que o algoritmo é criado para reagir a algo, sendo criadas rotinas responsáveis por capturar o acontecimento de algum evento e então, executar algum determinado comportamento como resposta.

Este tipo de técnica é altamente utilizada em *GUIs* (do inglês de Graphic User Interface, que em português significa Interface Gráfica de Usuário). Limitando a execução de tarefas que ocorrem de forma ininterrupta, sendo preciso aguardar alguma ação por parte do usuário para então seguir uma determinada sequência de comandos, sendo então desnecessário dizer o quanto *softwares* deste tipo se beneficiam das vantagens providas por este método (HELENDI, 2018).

Um evento, no entanto, não necessariamente precisa ser algo externo ao algoritmo, como alguma certa situação do ambiente ou usuário, sendo também possível configurar o algoritmo para responder a um certo cronograma, que se torna responsável por acionar ações de forma ordenada baseando-se em condições ou mesmo outros eventos.

Utilizando de uma variável que armazene informações relativas à passagem do tempo, é possível, por exemplo, definir que a operação de dum determinado sensor só será

realizada 30 milissegundos após o anterior, sem que seja necessário parar a execução do algoritmo enquanto é aguardado este momento. Feito isso, esta leitura realizada pode então acionar ou não alguma outra ação baseado numa condição de “Obstáculo Encontrado”.

Dessa forma, após a realização de cada tarefa são determinados cronogramas para quando esta mesma ação deve vir a ocorrer novamente, retirando então a necessidade de pausar o fluxo de comandos em qualquer ponto, seja para variar a intensidade das respostas táteis enviadas ao usuário, ou mesmo aguardar que os ecos fantasma se dissipem suficientemente, a ponto de não terem mais efeito nos resultados finais. A Figura 37 apresenta um fluxograma genérico do funcionamento de um simples algoritmo orientado a eventos.

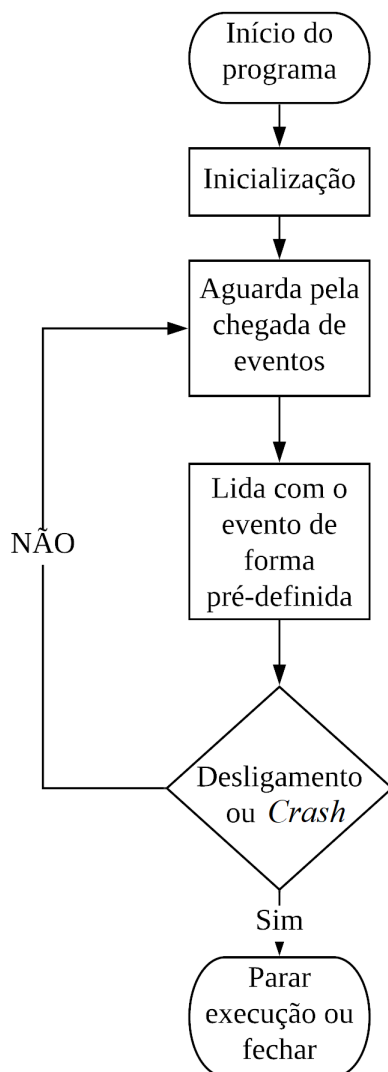


Figura 37: Fluxograma genérico do funcionamento de um algoritmo orientado a eventos.

4.3.2 Fluxograma de Operação

Buscando facilitar o entendimento do leitor com relação às etapas e processos de funcionamento do algoritmo implementado, é apresentado na Figura 38 um fluxograma simplificado das principais tarefas realizadas, onde é possível observar que em momento algum ocorrem tarefas de espera, onde o algoritmo deveria ficar preso enquanto aguarda a chegada de um determinado momento.

Os processos relativos ao Filtro de Médias Móveis, Calibração, Alteração de Ambiente e emissão/atualização dos alertas táteis serão apresentados detalhadamente nas subseções seguintes.

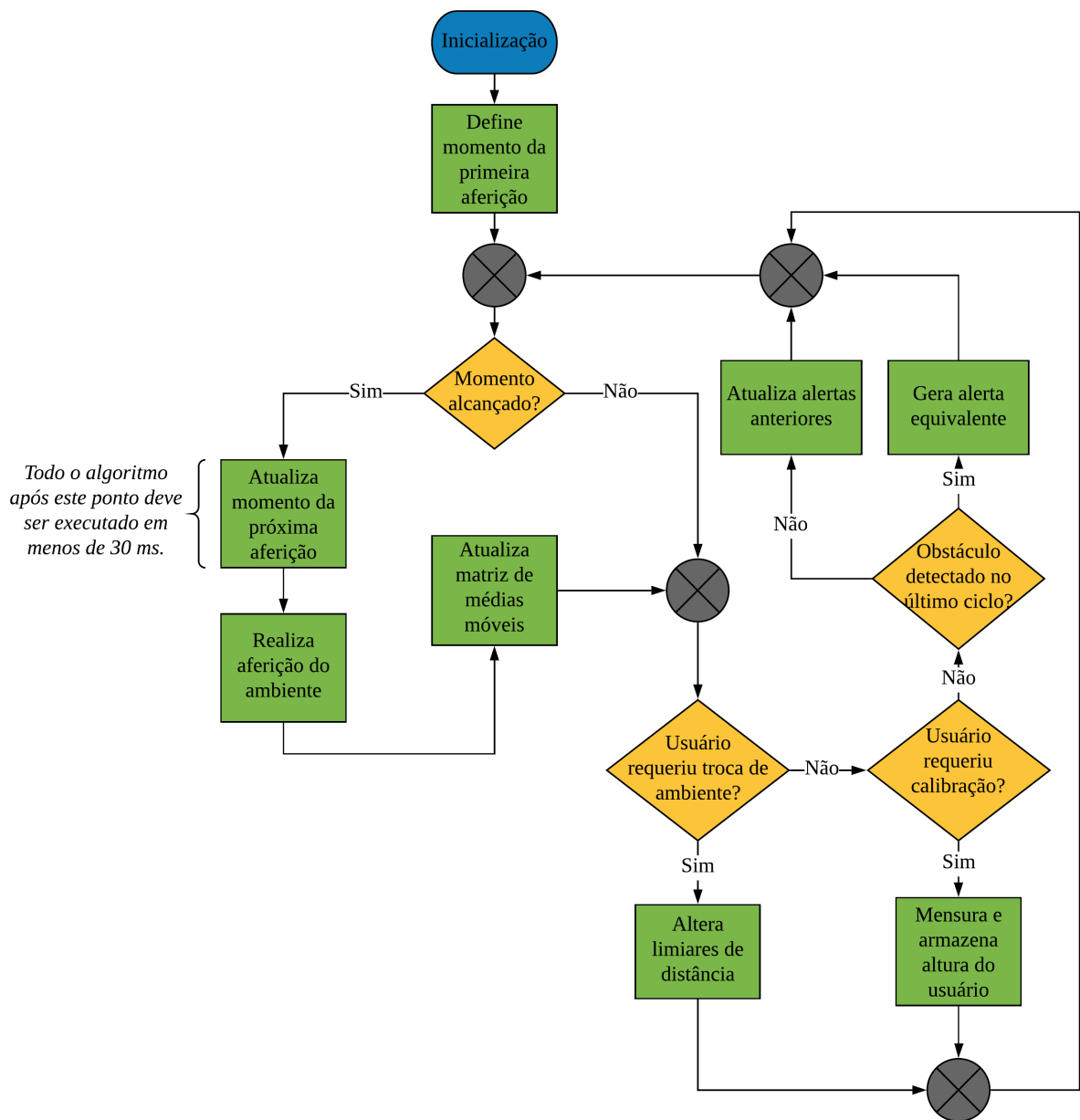


Figura 38: Fluxograma simplificado do processo de execução do algoritmo desenvolvido.

Após a energização do μC , que é realizada por um botão do tipo retentivo presente no protótipo, prontamente é definido o momento em que o primeiro sensor deve realizar sua leitura de obstáculos no ambiente, definido como 75 milissegundos após a inicialização do sistema. Até que este momento chegue, o algoritmo se mantém circulando pelas demais tarefas, verificando se o usuário requer a execução de alguma função específica ou simplesmente atualizando os alertas táteis, que até o momento não emitirão qualquer tipo de vibração, visto que ainda não foi detectado qualquer obstáculo. Uma vez alcançado o momento definido, é realizada a primeira leitura do ambiente através de um sensor específico. Feito isso, são adicionados mais 30 milissegundos à variável responsável por armazenar o momento de operação do próximo sensor, programando a próxima detecção de obstáculos para ser realizada 100 milissegundos após a inicialização do sistema. Este ciclo então se repete continuamente, sempre definindo um prazo de 30 milissegundos entre cada aferição até que o sistema seja desenergizado.

Até que todos os oito sensores tenham realizado pelo menos uma leitura do ambiente não será emitido qualquer sinal tátil. Uma vez que esta condição é cumprida, os resultados são inseridos numa matriz de médias móveis — a qual é tratada com maiores detalhes na seção 4.3.3 — para serem analisados pelo restante do algoritmo buscando determinar se existem obstáculos, se estão dentro das distâncias de alerta, onde se encontram e qual será o padrão e intensidade das vibrações apresentada ao usuário.

4.3.3 Filtro de Médias Móveis

Apesar do baixíssimo custo dos sensores USs HC-SR04, seus resultados são muito confiáveis e apresentam ótimas taxas de exatidão e precisão, termos que quando referidos aos conceitos de instrumentação, segundo Balbinot (2011) e Brandão (n.d.), indicam:

- Exatidão - a aptidão de um instrumento para fornecer respostas próximas a um valor verdadeiro, ou seja, uma classificação qualitativa sobre seus resultados;
- Precisão - grau de concordância entre os valores obtidos por sucessivas medições de um mesmo mensurando quando efetuadas sob as mesmas condições de aferição.

A Figura 39 ilustra estes termos, demonstrando como são definidos com relação a um determinado alvo, o qual no caso deste trabalho se refere ao real valor de distância que os sensores devem indicar ao mensurar o ambiente.

Entretanto, ainda assim existem eventos onde o sensor pode apresentar valores bastante ruidosos, com pouca precisão mas que oscilam em torno da distância real com boa exatidão. Sendo assim, foi necessário o desenvolvimento de algum método para filtragem destes valores, a fim de anular ou, pelo menos, atenuar o impacto que leituras ruidosas

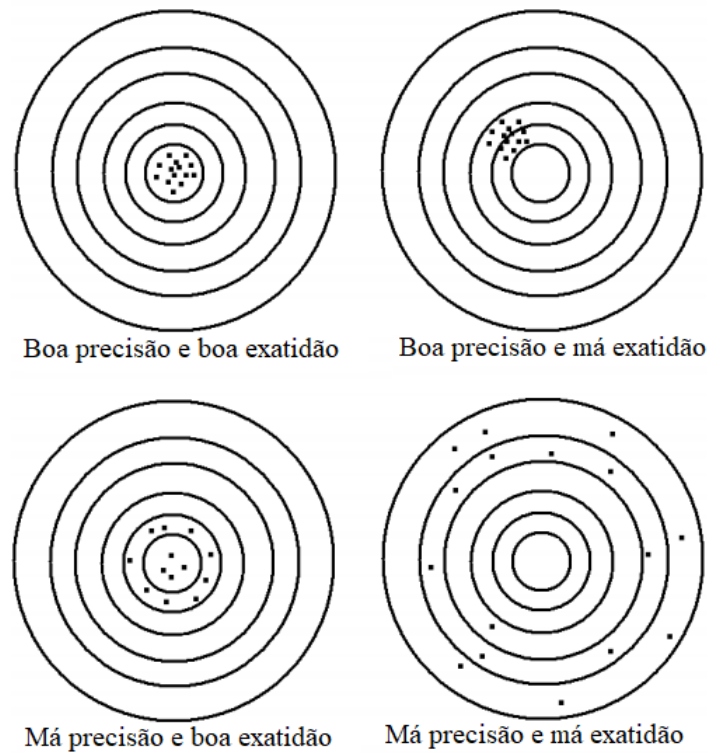


Figura 39: Conceitos de exatidão e precisão.

podem ter sob as respostas do AEV. Para tanto, foi implementado um filtro de Médias Móveis associado a cada sensor, de forma independente dos demais.

O Filtro de Médias Móveis demonstra bons resultados em diversas aplicações, sendo muitas vezes o suficiente para reduzir substancialmente os efeitos de ruídos brancos (termo associado a sinais aleatórios com igual intensidade mas em diferentes frequências (Mancini (2009)) enquanto, ao mesmo tempo, preserva a resposta do sistema à entrada degrau e possui baixíssimo custo computacional, já que realiza apenas operações de soma e divisão (Borges Corporation, 2013).

Na prática, o filtro de Médias Móveis se trata de um sistema recursivo, ou seja, que utiliza de amostras passadas, e resulta num sistema de filtragem do tipo passa-baixas, caracterizado por reduzir a interferência causada por sinais de alta frequência. A Figura 40 compara duas situações, um sinal original ruidoso e o resultado da filtragem por esta técnica, a fim de ilustrar a atuação do filtro implementado simulado via *software* GNU Octave, que se trata de um ambiente para programação em alto nível, primariamente destinado a computações numéricas (GNU Octave, 2019).

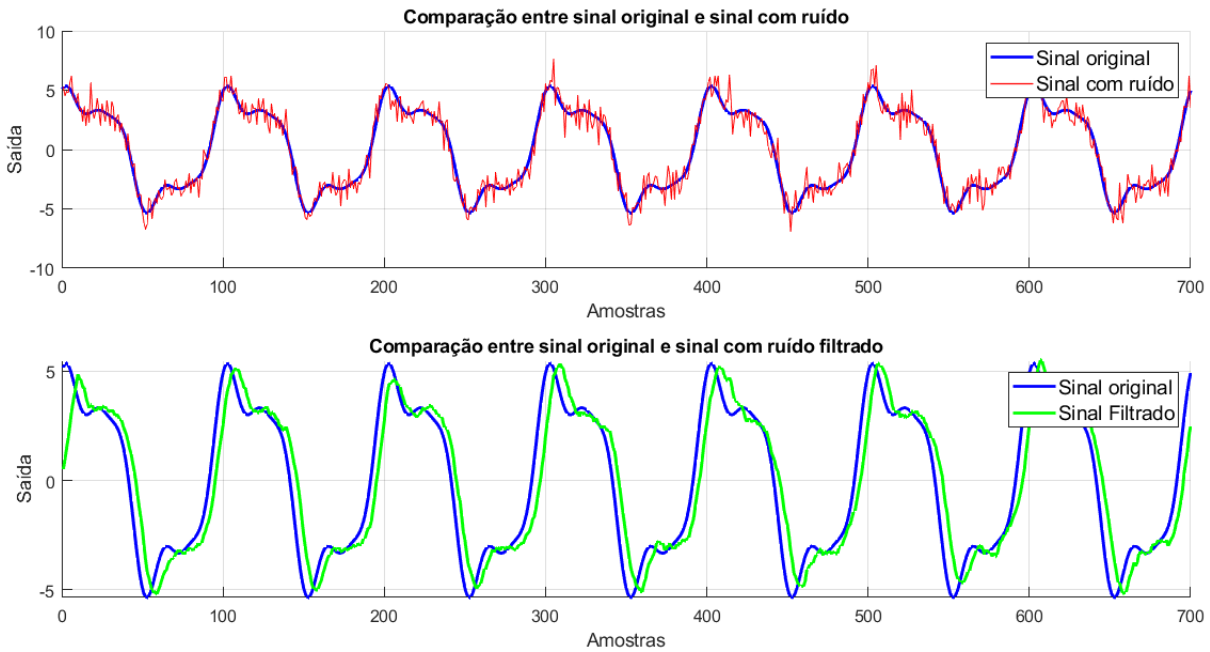


Figura 40: Aplicação e resultados de um Filtro Digital de Médias Móveis.

4.3.4 Detecção de Obstáculos e Envio de Respostas Vibratórias

Com relação às vantagens da estrutura escolhida para a construção do sistema, a principal está no posicionamento estratégico dos sensores, que traz uma grande segurança quanto à capacidade de detecção de obstáculos em diversas direções. O campo de visão, formado pelos oito sensores, dificulta que um objeto, desde que em dimensões detectáveis, adentre a área de risco sem que sua presença seja alertada ao usuário.

Os campos de detecção do equipamento são melhor demonstrados na Figura 41, onde é apresentada uma ilustração de como se decorre o uso do equipamento e algumas situações de obstáculos ao longo do caminho de uma pessoa que esteja caminhando.

Quando um obstáculo é detectado, são gerados ciclos de alerta que indicam a distância, através da intensidade das vibrações, e a posição, com base em quais atuadores são acionados e de que forma, podendo haver situações onde as vibrações decrescem partindo de uma amplitude máxima ou crescem até um determinado valor máximo.

No total existem quatro atuadores, posicionados nos pulsos e tornozelos do usuário, visando indicar intuitivamente onde se encontram os obstáculos detectados pelo equipamento.

Devido à grande diferença entre a quantidade de “combinações” possíveis para as posições onde obstáculos possam se encontrar e o número de motores existentes, foi necessário definir padrões de alerta para as situações mais comuns que possam acontecer. Esta organização visa, principalmente, reduzir a curva de aprendizado a respeito das respostas táteis do sistema causando, ainda, uma simplificação sobre a compreensão do

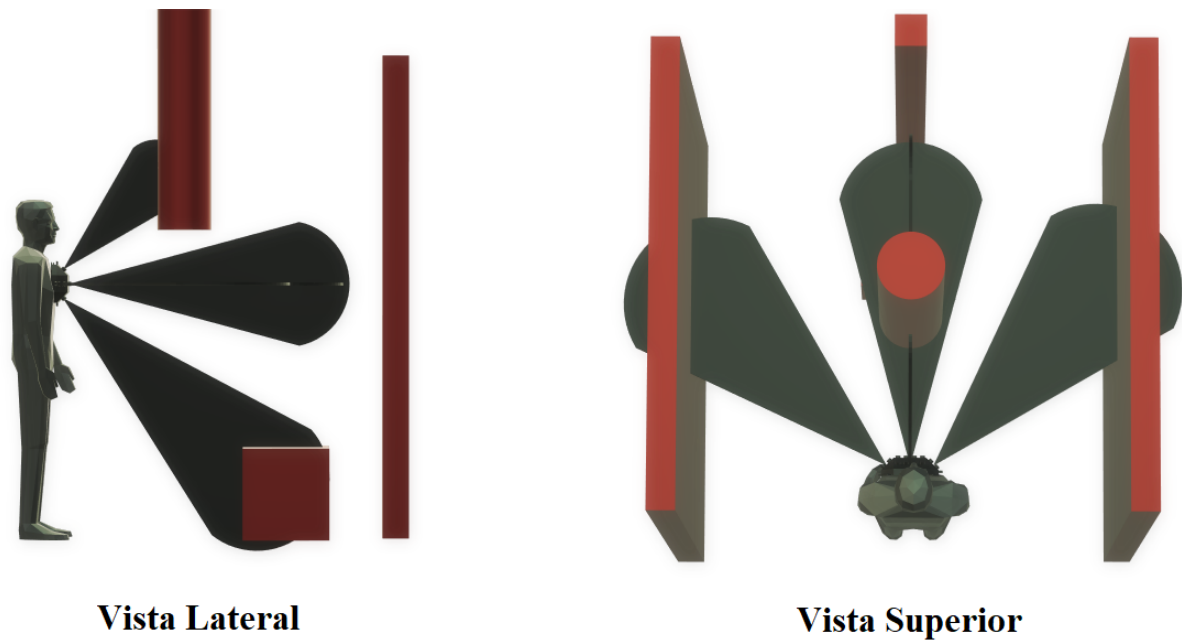


Figura 41: Ilustração do campo de visão disponível para o equipamento e exemplos de obstáculos comuns.

usuário com relação às condições do ambiente onde ele se encontra.

4.3.4.1 Padrões de Respostas Vibratórias

Considerando as situações com maior probabilidade de ocorrência, alguns modos de alerta vibratórios foram especificados para serem enviados nesses momentos, sendo exclusivos para tais casos. Além disso, existindo a necessidade de alertar sobre a existência de múltiplos obstáculos, posicionados em locais de risco, se iniciará um ciclo entre os padrões, sendo que cada sinal tátil dura 0,5 segundos, seja para um aviso contínuo ou uma vibração que altera sua intensidade durante este período de tempo.

A Tabela 2 lista todas as cinco formas de alerta pré-definidas e suas respectivas descrições.

Posição do obstáculo	Atuador(es)	Forma de Sinal
Elevação no chão	Tornozelos	Crescente
Acima da Cabeça	Pulsos	Decrescente
Esquerda	Pulso Esquerdo	Contínuo
Direita	Pulso Direito	Contínuo
Frente	Pulsos	Contínuo

Tabela 2: Padrões de alerta com base na localização do obstáculo.

Quanto à sequência dos alertas, esta é fixada para que seja seguida uma ordem pré-definida no μC . Caso sejam detectados obstáculos que resultem em múltiplos alertas, a alternância entre eles decorre da forma apresentada na Figura 42.

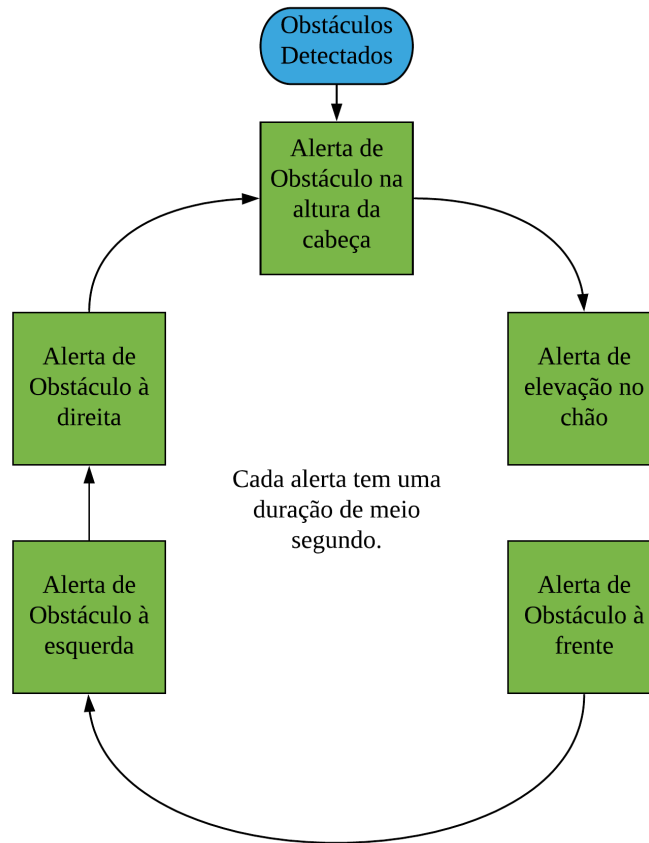


Figura 42: Ciclo de alertas táteis.

Em se tratando das possíveis formas do sinal, apresentadas na tabela anterior, o critério para definição entre vibrações, seja em intensidade contínua, crescente ou decrescente, se baseia na posição do atuador em relação à direção até um certo obstáculo. Como exemplo, podemos citar um alerta de objeto acima da cabeça, situação em que os motores acionados são os dos pulsos, que se encontram *abaixo* do objeto. Um sinal *decrescente* busca então indicar esta relação: “existe algo de cima para baixo”.

O mesmo ocorre para o caso restante: quando uma elevação no chão é detectada, os atuadores operados serão os dos tornozelos de forma *crescente*, indicando que “existe algo de baixo para cima” em relação à aquele local.

4.3.4.2 Intensidade dos Sinais Táteis

Ao analisar formas de correlacionar duas informações, onde se tem total controle sobre a saída em função da entrada, a primeira e mais simples ideia é a utilização de uma relação do tipo linear, na qual o valor máximo de um se associa com a máxima ou mínima

amplitude do outro por meio duma taxa de variação constante entre eles, definindo então uma reta. Com base nisso, a primeira proposta estudada para relacionar a distância até um obstáculo, com relação ao limiar máximo configurado para um sensor, se baseou em uma forma linear descrita pela Equação 4.1.

$$\delta = 255 * \frac{(d_{max} - d) * 100}{d_{lim}} \quad (4.1)$$

Onde:

- d - Distância entre o sensor e o obstáculo (m).
- d_{lim} - Distância limite para alerta (m).
- δ - Razão cíclica do sinal de PWM (*adimensional*).

A reta resultante desta equação, quando posta em função da razão entre a distância mensurada e a máxima, se encontra ilustrada na Figura 43.

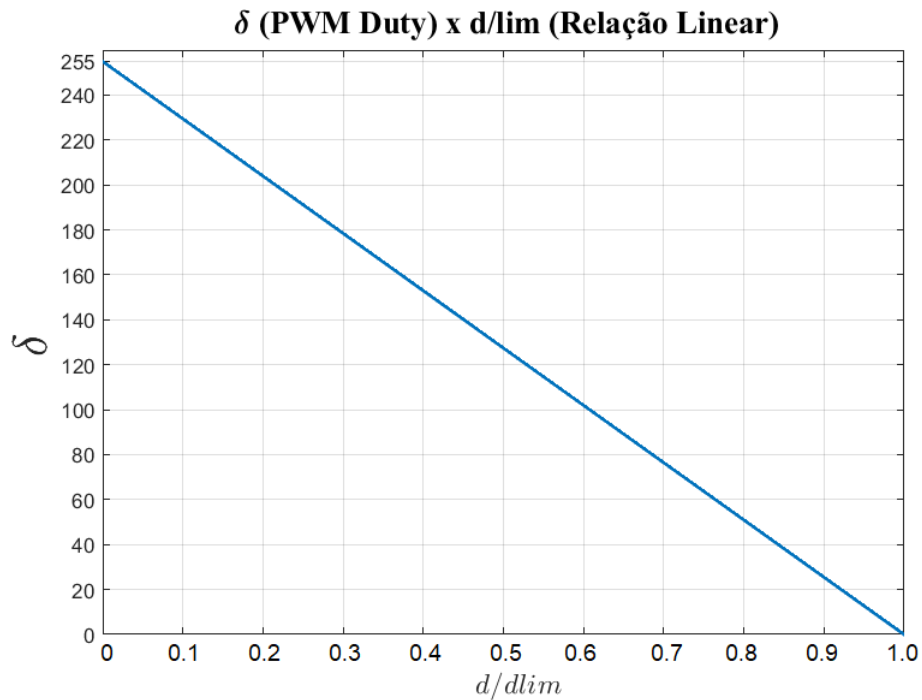


Figura 43: δ do aplicado sobre o sinal de PWM em relação linear.

Entretanto, esta técnica demonstrou certos problemas, os quais trouxeram a necessidade do desenvolvimento de um método mais eficiente para correlacionar a distância até obstáculo com o valor do aplicada sobre o sinal PWM.

Caso um obstáculo se localize precisamente na distância limiar, não será emitido qualquer alerta, uma vez que o δ resultante será nulo, necessitando então de uma maior aproximação para que seja possível sentir uma leve vibração. Além disso, observou-se que uma relação linear para a evolução da intensidade dos alertas táteis não é compreendida

pelo usuário de maneira intuitiva, sendo difícil perceber as variações que indicam a posição de algum objeto próximo.

Buscando solucionar estes problemas, foi implementada então a equação exponencial 4.2, a qual recebe como entrada a distância medida por um sensor e em sua saída, retorna valores, que se dentro da devida faixa de distância máxima definida para o grupo de sensores, são positivos e com máximo de 255, sendo esta a maior atuação possível do μC sobre a intensidade das vibrações nos motores.

$$\delta = 255^{1-d*k/dlim} \quad (4.2)$$

Onde:

- d - Distância entre o sensor e obstáculo (m).
- $dlim$ - Distância limite para alerta (m).
- δ - Razão cíclica do sinal de PWM ($ad.$).
- k - Constante para ajuste da curva ($ad.$).

O gráfico que ilustra as respostas desta equação, quando posta em função da razão entre a distância mensurada e a máxima é apresentado na Figura 44, onde é possível observar ainda que, para cada valor associado à constante k , a curva resultante é alterada, variando seu grau de exponencialidade e valor inicial para um obstáculo na posição limiar.

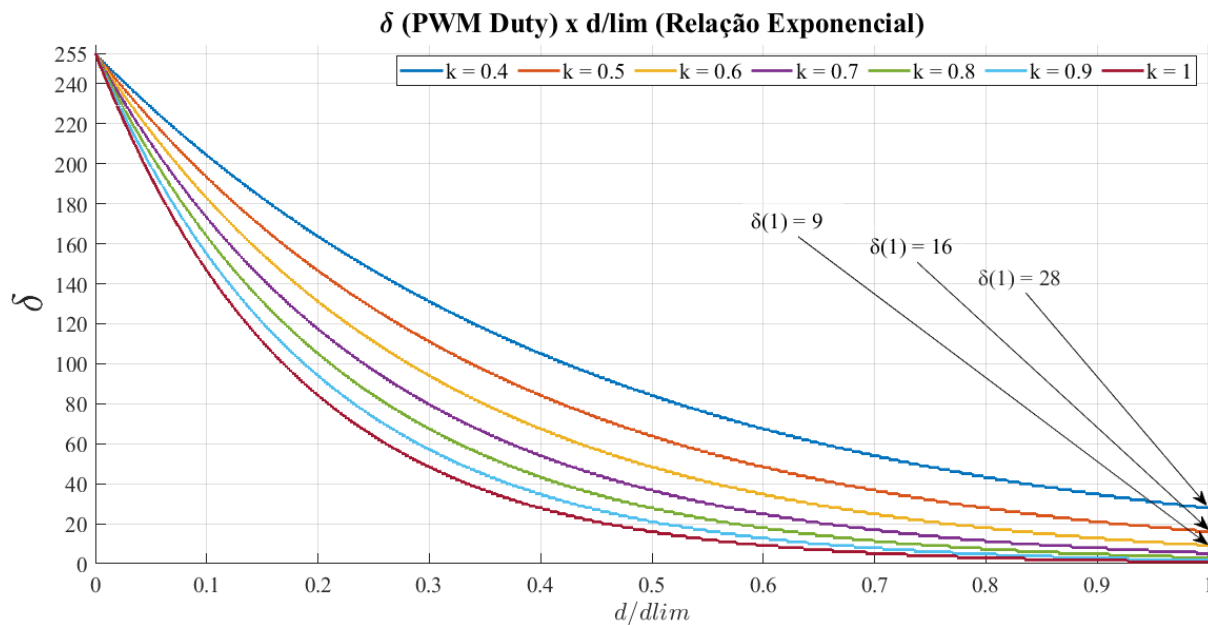


Figura 44: δ aplicado sobre o sinal de PWM em relação exponencial.

Escolhendo a curva formada pela aplicação do valor de constante $k = 0,5$, são percebidas duas vantagens quando comparada a uma resposta do tipo linear: mesmo na distância limiar para alerta da existência de um obstáculo, a função ainda retorna um

valor de δ que torna possível perceber esta informação; além disso, curvas exponenciais para o controle, via PWM, da intensidade das vibrações do motor, se mostram muito mais intuitivas, sendo mais simples para o usuário notar, através do sentido de tato, as variações nas distâncias aferidas pelos sensores.

4.3.5 Atraso de Resposta

Em testes iniciais do sistema, um problema detectado foi o longo tempo de resposta desde a detecção de um obstáculo até a emissão do alerta, por meio dos padrões de vibração.

Apesar de serem utilizadas quatro fontes para emissão dos sinais táteis, a necessidade de se definir diversos padrões cíclicos de alerta acaba por tornar necessário que um ciclo anterior se complete antes que novos alertas possam ser adicionados.

Se considerarmos uma situação onde existam três obstáculos em posições diferentes, um a frente, outro aos pés e outro à esquerda, por exemplo, é requerido um tempo de 1,5 segundos para que este ciclo de seja finalizado por completo, já que cada alerta dura 500 milissegundos.

Por conta disso, fez-se necessária a criação de prioridades para os sinais de alerta ao usuário. Basicamente, foram previstos métodos de interrupção dos ciclos, possibilitando que uma nova informação possa ser enviada a qualquer momento.

Tal como afirmado anteriormente, existem regiões do equipamento em que uma mesma direção é vistoriada por dois sensores simultaneamente, sendo estas as áreas consideradas como críticas, por conta de que a existência de obstáculos nesses locais representam um maior perigo de choque contra o usuário.

Desta forma, definiu-se então que, caso seja detectado qualquer obstáculo nestas regiões críticas a uma distância igual ou inferior que 50 centímetros, valor equivalente a aproximadamente 500 milissegundos de caminhada de uma pessoa normal, quaisquer outros alertas serão imediatamente interrompidos, permanecendo apenas a informações relativas à existência deste objeto em específico.

Ainda neste âmbito, a sequência seguida pelo sistema para o controle de aferições foi alterada, de forma a utilizar de maneira mais proveitosa a existência de dois sensores nas regiões frontais. A Figura 45 ilustra as alterações realizadas e os resultados obtidos para a sequência antiga à esquerda e para a nova à direita.

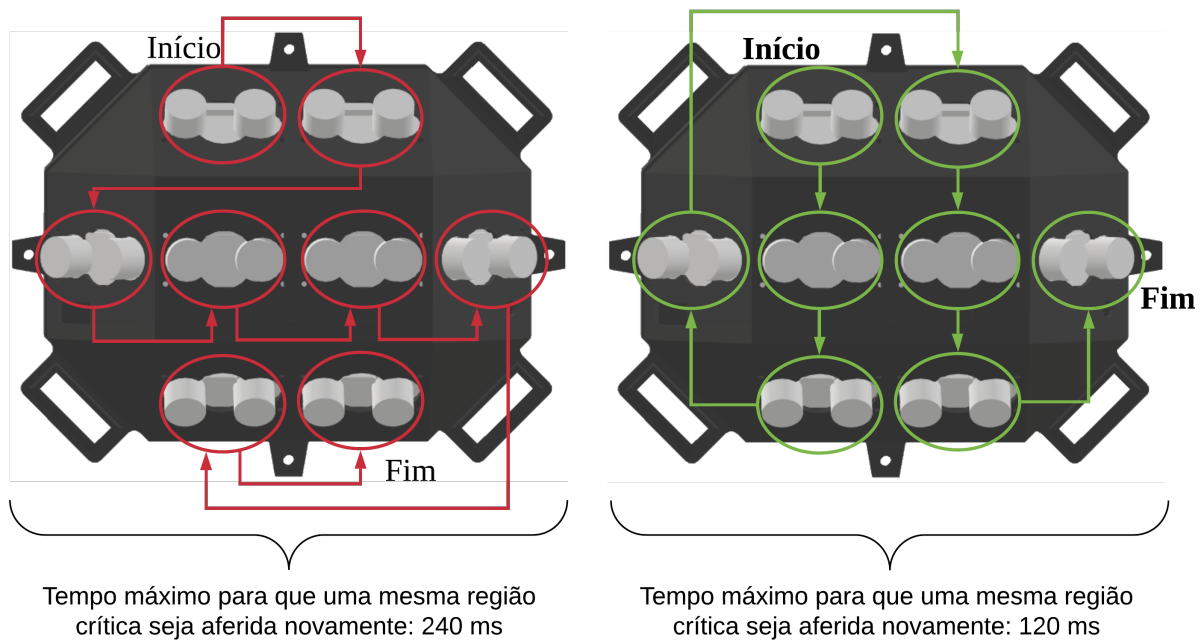


Figura 45: Comparação entre as sequências de aferição.

4.3.6 Alteração de Ambiente

Devido às diferenças existentes entre cada ambiente, foi previsto um método que altera os valores configurados para as distâncias limiares de alerta. Para isso, além do botão retentivo, utilizado para energizar o circuito, ainda existem mais dois botões pulsantes, que possibilitam ao usuário executar os processos de calibragem e troca de ambiente, que altera os valores de distâncias mínimas para adequar o alcance dos sensores a ambientes externos e internos, aumentando e reduzindo as distâncias limiares, respectivamente.

A Tabela 3 lista os padrões das distâncias limiares, utilizadas como critério para alerta sobre a existência de um obstáculo. Em se tratando dos sensores inferiores, este valor se mantém constantes. A razão para isso será melhor detalhada no próximo tópico.

Ambiente / Sensor(es)	Superior	Direito	Frontais	Esquerdo	Inferiores
Externo	60	150	200	150	200
Interno	50	100	100	100	200

Tabela 3: Distâncias limite para alerta ao usuário (em cm).

4.3.7 Detecção de Obstáculos no Chão

Uma das propostas deste projeto está em projetar um sistema que identifique também a presença de objetos ou alterações brusca no relevo, podendo ser causadas por rampas ou escadas, por exemplo. Inicialmente, acreditava-se que seria necessária a

implementação de um função que mensurasse a altura dos sensores até o chão, de forma com que fosse possível criar um limiar que não o detectasse.

Entretanto, isto acabou se mostrando desnecessário. O posicionamento dos sensores inferiores acaba por torná-los completamente incapazes de detectar o chão como um obstáculo, já que não é possível aferir a distância até este ponto. Isto ocorre por conta do fenômeno de Reflexão do Som.

A reflexão do som segue a mesma lei aplicada para a luz, onde é dito que “o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão”. Por conta disso, quando existe uma inclinação superior a 15° entre a face do sensor US e a face do objeto a ser detectado, as ondas sonoras acabam por, ao alcançarem o objeto alvo, não retornarem ao sensor para que o transdutor de eco possa ser acionado de forma a possibilitar que a distância até aquele obstáculo seja mensurada. Este problema se torna ainda mais perceptível caso o obstáculo apresente uma superfície de textura lisa, fazendo com que praticamente todo o sinal sonoro se perca no ambiente. A Figura 46 ilustra essa situação.

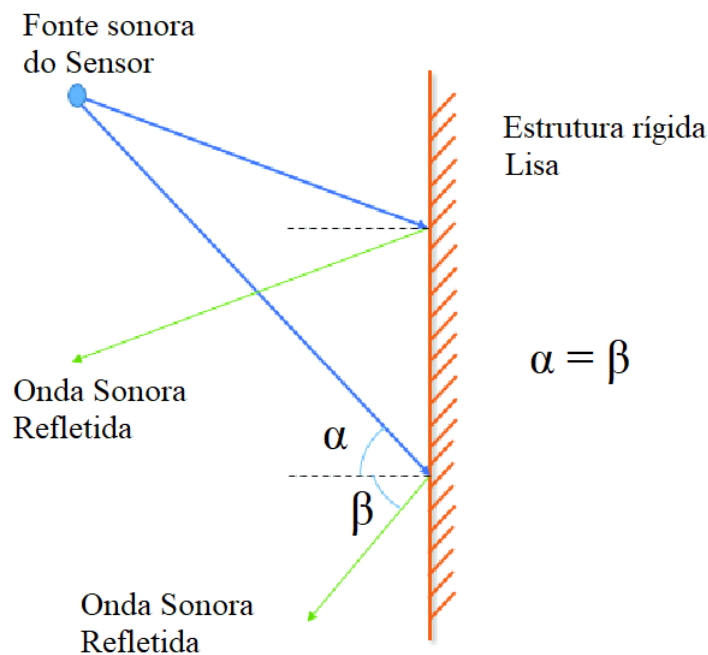


Figura 46: Fenômeno de reflexão sonora em superfície plana lisa.

Devido a isso, fez-se então necessário identificar outro método para que estes sensores pudessem ser utilizados de alguma forma. Como eles são incapazes de retornar qualquer resultado referente à distância até o chão, ainda uma alternativa encontrada foi a de aplicá-los para detectar apenas objetos ou degraus de escadas, por exemplo, que se encontrem nesta área.

Apesar da dificuldade causada pelos ângulos de reflexão, a presença de um objeto

de formato não plano se mostrou suficiente para que parte do sinal emitido pelos sensores fosse refletido corretamente, propiciando então uma situação onde as aferições de distância pudessem ser devidamente realizadas com este intuito.

Sendo assim, foi definido um valor de distância limiar fixo para os dois sensores inferiores, de forma com que seja possível detectar qualquer obstáculo presente na altura dos pés, mas sem receber ecos causados pelo próprio chão, já que o ângulo de reflexão formado impossibilita que isto ocorra.

Com os devidos ajustes no algoritmo, o sistema se tornou então capaz de detectar a maioria dos obstáculos no ambiente de forma satisfatória, sendo agora possível detectar grande parte dos obstáculos da forma como foi proposta inicialmente.

O ponto negativo fica por conta da exatidão das aferições: o ângulo existente faz com que o som leve mais tempo para chegar até o obstáculo e retornar ao sensor, causando erros substancialmente grandes na aferição de distância.

Resultados e discussões

5.1 Modelagem de Erro Absoluto

Utilizando das informações e procedimentos apresentados anteriormente, na seção de Modelagem Estatística 2.3, foi realizado um estudo neste âmbito sobre os valores de erro absoluto nas medidas de um dos oito sensores ultrassônicos aplicados neste projeto.

Segundo McCullagh (2002), o modelo estatístico se trata de um conjunto de hipóteses sobre a geração de dados provindos de um determinado fenômeno. O processo de modelagem estatística tem por objetivo descrever a relação entre as variáveis aleatórias com outras variáveis (não aleatórias), no intuito de possibilitar que predições a cerca do alvo de estudo possam ser feitas.

Para o caso deste trabalho, o estudo estatístico com relação aos valores de erro absoluto do HC-SR04 busca permitir uma visualização, mais detalhada, sobre sua exatidão em uma determinada situação, considerada ideal para o pleno funcionamento desse sensor.

5.1.1 Procedimento para Coleta de Dados

Utilizando de um sensor ultrassônico e um Arduino Mega 2560 conectado a um computador via conexão serial USB, foram tomadas quatrocentas medidas de distância em dez posições diferentes. A situação construída, apresentada na Figura 47, resume-se em posicionar todo o equipamento construído na horizontal, sob um suporte móvel em uma mesa plana, de forma com que os sensores frontais se encontrem apontados diretamente para uma parede. Com o auxílio de uma trena, o suporte onde os sensores se encontram foi movido para pontos de distância pré-definidas, variando de 20 a 200 centímetros com passos de 20 centímetros.

Apesar de não serem considerados neste estudo, é importante frisar que, para a realização de análises com maior rigor metodológico, faz-se necessário corrigir os valores de distância encontrados, levando em conta a ação de fatores que possam ter efeito sobre

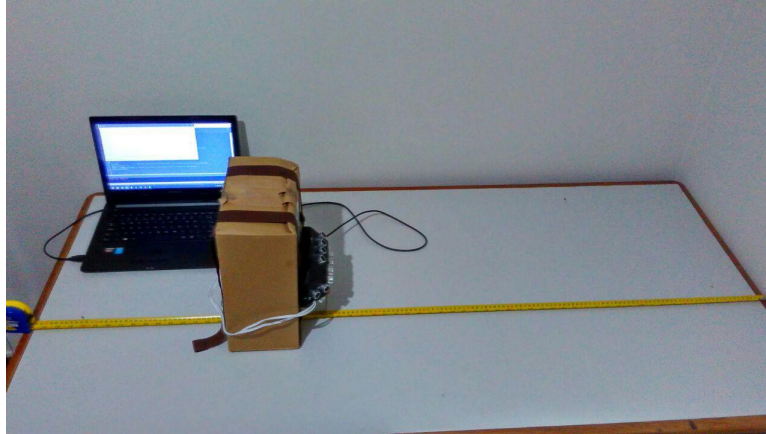


Figura 47: Situação montada para obtenção das amostras de distância.

a velocidade de propagação do som pelo espaço, tais como pressão atmosférica, grau de absorção acústica do material que constitui o obstáculo utilizado, umidade do ar, dentre outros. O único fator aplicado foi então a correção da velocidade de propagação do som no ar para a temperatura ambiente, que se encontrava em 30 °C no momento das aferições.

Uma vez tomadas as medidas de distância, foi feita a comparação dos resultados obtidos com os esperados, através do módulo da diferença entre o valor obtido e o valor esperado, da forma como é descrita pela equação 5.1. Desta forma, foram obtidos os erros absolutos para cada ponto de distância.

$$E = |\text{esperado} - \text{obtido}| \quad (5.1)$$

Onde:

- E - Erro absoluto;
- esperado - Distância esperada referenciada pela trena;
- obtido - Valor de distância obtido pelo sensor

Estes valores de erro são o foco desta seção, que se baseará em buscar por um modelo probabilístico conhecido que se aproxime da forma como o espaço amostral se encontra distribuído. Estes dados são apresentados no Apêndice A.

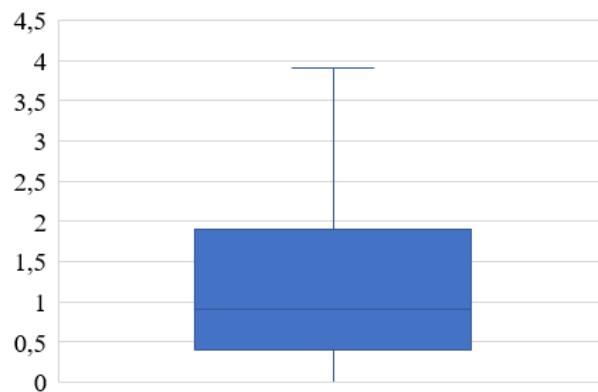
5.1.2 Tratamento dos Dados

Antes de iniciar o estudo dos dados encontrados, é preciso procurar por *outliers*, que são valores atípicos e discrepantes na amostra.

Tal como explanado na seção 2.3, uma forma de identificar os *outliers* do espaço amostral é através da construção de um intervalo de valores a partir do quartil das amostras. Logo, com base na Equação 2.4, foram definidos os dados da Tabela 4. O gráfico *box-plot* resultado destas informações se encontra na Figura 48.

n° do Quartil	Posição do Quartil	Valor do Quartil
1	100	0,4
2	200	0,9
3	300	1,5
Alcance Interquartil		1,5
Limite Superior		4,15
Limite Inferior		-0,35

Tabela 4: Dados para construção do gráfico de quartis.

Figura 48: *Box-Plot* referente ao espaço amostral amostrado.

Através deste método, os *outliers* são definidos como sendo os valores que excedem os limites Superior e Inferior dos quartis, ou seja, para este caso, são considerados como *outliers* quaisquer dados inferiores a -0,35 cm ou maiores que 4,15 cm. No total, existem 31 amostras tidas como *outliers* logo, nosso espaço amostral que antes possuía 400 dados passa a ter 369.

Para efeito de comparação, as Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados de análise das medidas de tendência central e de dispersão, com e sem os valores *outliers*, respectivamente. A diferença entre estes resultados deixa clara a interferência que esses dados, classificados como *outliers*, podem ter nas análises estatísticas.

Análise do Espaço Amostral Completo				
Medidas de Tendência Central			Medidas de Dispersão	
Média	Mediana	Moda	Variância	Desvio Padrão
2,22	0,9	0,2	32,3	5,68

Tabela 5: Medidas de tendência central e de dispersão do espaço amostral completo.

Análise do Espaço Amostral Sem (Outliers)				
Medidas de Tendência Central			Medidas de Dispersão	
Média	Mediana	Moda	Variância	Desvio Padrão
1,05	0,9	0,2	0,84	0,91

Tabela 6: Medidas de tendência central e de dispersão sem *outliers*.

5.1.3 Inferência

Tendo sido construída a amostra, devemos identificar, visualmente, se existe algum padrão de distribuição de probabilidades que se assemelhe ao formato do espaço amostral. Para isso, foi definido um histograma, utilizando a regra de Sturges apresentada na subseção 2.3.3, que adota um número de classes igual a:

$$K = 1 + 3,3 * \log(369) \rightarrow K = 9,47 \approx 10 \quad (5.2)$$

Arredondando para o primeiro número inteiro superior, temos então que a quantidade de classes será $K = 10$. Além disso, para que a amostra seja dividida em dez classes, o tamanho de cada classe h deve ser:

$$h = \frac{3,9}{10} \rightarrow h = 0,39 \quad (5.3)$$

Por fim, tendo em mãos o número de classes e a amplitude de cada classe, é possível, finalmente, construir um histograma relativo ao espaço amostral em questão, o qual se encontra na Figura 49.

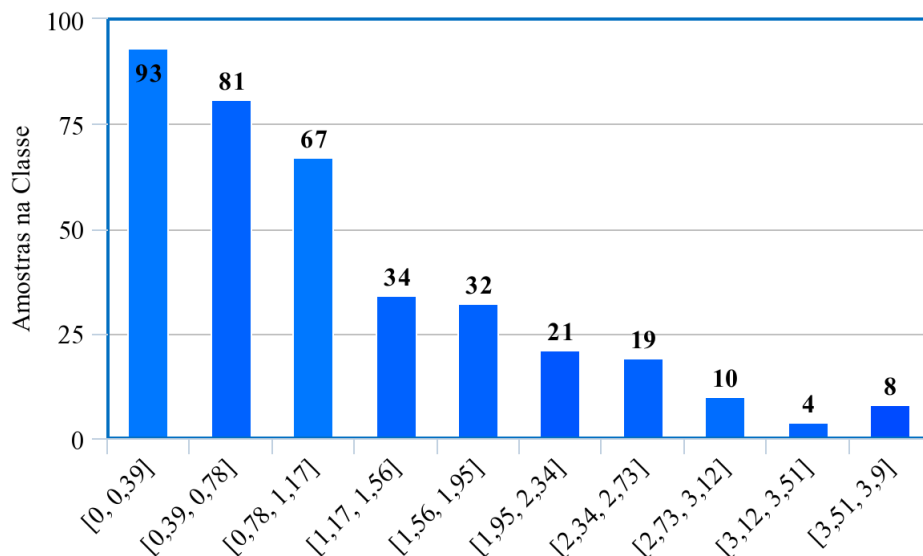


Figura 49: Histograma referente ao espaço amostral analisado.

Imediatamente, é possível inferir da observação do histograma que a forma como o gráfico está organizado se assemelha à distribuição apresentada na Figura 22, no início deste documento. Por conta disto, os testes de aderência do próximo item serão feitos com base no modelo probabilístico de Poisson.

5.1.4 Testes de Aderência

Como etapa final do processo de modelagem dos dados, estão os testes de aderência do modelo. Basicamente, são métodos utilizados para verificar se uma hipótese de modelo probabilístico é confiável para representar um determinado sistema aleatório.

Tal como apresentado anteriormente, foi proposta a hipótese de que o modelo probabilístico de Poisson seja uma boa escolha para o estudo em questão, uma vez que, visualmente, o histograma obtido demonstra semelhanças com relação a este padrão.

Na subseção 2.3.4, foi apresentado que, para este tipo de modelo probabilístico, é tido que sua função densidade de probabilidade é:

$$f(x) = \lambda * e^{-\lambda * x} \quad (5.4)$$

Onde,

$$\lambda = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{1,05} = 0.9524 \quad (5.5)$$

Teste do qui-quadrado

O teste do qui-quadrado baseia-se no cálculo dos desvios entre as frequências acumuladas observadas em cada classe e as frequências teóricas (previstas pelo modelo escolhido) nas mesmas classes (CHWIF; MEDINA, 2014).

Um ponto importante e que deve ser considerado, se refere ao fato de que a hipótese de que a estatística E segue a distribuição do qui-quadrado é, geralmente, satisfatória desde que todas as classes tenham uma frequência (O_K) maior ou igual a 5. Nos casos em que alguma classe não tenha essa característica, ela deve ser agrupada com outra classe de modo com que a condição seja satisfeita. Como é possível observar no histograma da Figura 49, a classe que compreende a faixa de 3,12 e 3,51 possui apenas quatro valores, portanto, agrupando-a com a classe seguinte, são encontrados os resultados apresentados na Tabela 7.

Este teste compara as frequências observadas com as teóricas (T_k) para cada classe. Para isso, inicialmente, é preciso determinar qual a probabilidade teórica (P_k) para a frequência em cada uma das classes da Tabela 7, sendo este um parâmetro que representa a chance de valores dentro de uma determinada classe K , definida pelo intervalo $[a, b]$,

K	Faixa da Classe		Frequência (O_K)
1	0	0,39	93
2	0,39	0,78	81
3	0,78	1,17	67
4	1,17	1,56	34
5	1,56	1,95	32
6	1,95	2,34	21
7	2,34	2,73	19
8	2,73	3,12	10
9	3,12	3,9	12

Tabela 7: Distribuição por classes com correção para teste qui-quadrado.

ocorrem, e é facilmente obtida pela integral da função densidade de probabilidade do modelo de distribuição de Poisson, adotado para este teste, ou seja:

$$P_k = \int_a^b \lambda * e^{-\lambda * x} dx \rightarrow P_k = -e^{-\lambda * b} + e^{-\lambda * a} \quad (5.6)$$

Onde,

- P_k - Probabilidade para ocorrência de uma classe;
- a - Limite Inferior da Classe;
- b - Limite Superior da Classe.

Uma vez que foram determinados os valores de P_k , as frequências teóricas (T_k) de cada classe K são calculadas, diretamente, pela multiplicação das probabilidades de ocorrência de cada classe pelo total de observações disponíveis, ou seja:

$$T_k = P_k * n \quad (5.7)$$

Onde,

- T_k - Frequência Teórica de uma classe;
- n - Número de elementos da amostra.

Além disso, em cada classe K, deve ser calculado o valor de E_k , que se trata da diferença quadrática entre o número observado de elementos (O_K), e a Frequência Teórica da classe (T_K), sendo que o resultado desta operação também deve ser dividido por esse mesmo valor teórico da classe, tal como demonstra a equação 5.8:

$$E_k = \frac{(O_k - T_k)^2}{T_k} \quad (5.8)$$

Aplicando as operações apresentadas anteriormente, obtemos a Tabela 8, que demonstra os resultados obtidos para o teste de qui-quadrado.

K	Faixa da Classe		Frequência (O_K)	Probabilidade (P_k)	Frequência Teórica (T_k)	(E_k)
1	0	0,39	93	0,3094	114,154	3,9202
2	0,39	0,78	81	0,2137	78,839	0,0592
3	0,78	1,17	67	0,1476	54,450	2,8928
4	1,17	1,56	34	0,1019	37,605	0,3456
5	1,56	1,95	32	0,0704	25,971	1,3994
6	1,95	2,34	21	0,0486	17,937	0,5231
7	2,34	2,73	19	0,0336	12,388	3,5293
8	2,73	3,12	10	0,0232	8,556	0,2439
9	3,12	3,9	12	0,0271	9,990	0,4046
E_{total}						13,3

Tabela 8: Dados para análise do teste de Qui-Quadrado.

Por fim, devem ser somados todos os valores de E_k encontrados para as K classes envolvidas. Com isso, é determinado o valor E_{total} , cuja distribuição é a qui-quadrado com $v = K - 1 - n$ graus de liberdade, onde n é o número de parâmetros estimados a partir da amostra coletada. Como nesta análise foi estimada somente a média da distribuição a partir da amostra, temos então que o número de graus de liberdade será $v = 9 - 1 - 1 = 7$.

Posteriormente, deve-se escolher um nível de significância $\alpha(100\%)$ para que, com auxílio da tabela da distribuição qui-quadrado (disponível no Anexo A), seja obtido o valor $E_{critico}$. Se o E_{total} encontrado for superior ao $E_{critico}$ tabelado, rejeita-se a hipótese de que a amostra observada provém de uma população com a distribuição teórica adotada, no caso a de Poisson (CHWIF; MEDINA, 2014).

Assumindo um nível de significância, $\alpha(100\%)$ igual a 5%, e 7 graus de liberdade, o valor $E_{critico}$, retirado da tabela da distribuição qui-quadrado no Anexo A, é de 14,07.

Portanto, tal como pode-se observar nos resultados da Tabela 8, o E_{total} encontrado é de 13,3, valor este que não supera o $E_{critico}$ obtido via tabela logo, pelo teste de qui-quadrado com os procedimentos descritos em Chwif e Medina (2014), não se rejeita a hipótese nula de que a distribuição exponencial de Poisson adere aos dados observados.

Teste de Kolmogorov-Smirnov

De acordo com Chwif e Medina (2014), este método realiza a comparação entre a função acumulada, ou função de repartição, do modelo teórico com a função acumulada de probabilidade observada, feita a partir dos valores observados. A ideia é simples: para comparar se o modelo observado adere ao modelo teórico, o teste calcula a distância absoluta máxima entre as duas distribuições acumuladas, através da equação 5.9:

$$D = \max |F(x) - S(x)| \quad (5.9)$$

Onde,

- D - distância absoluta máxima;
- $S(x)$ - Função acumulada observada;
- $F(x)$ - Função acumulada teórica.

Se os dados observados aderem ao modelo teórico, é natural supor que os valores de $S(x)$ e $F(x)$ estejam próximos, isto é: a distância absoluta entre os valores esteja dentro de limites de erros aleatórios. Ou seja, quanto menor o valor da estatística D , mais próximas entre si estarão as duas funções acumuladas.

$S(X)$ pode ser calculado de acordo com a equação 5.10:

$$S(x) = \frac{\text{numero de eventos} \leq x}{\text{Total de valores observados}} \quad (5.10)$$

De acordo com Zibetti (n.d.), os valores de $F(x)$ são obtidos pela Função Acumulada da distribuição exponencial, descrita por:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \lambda * e^{-\lambda * \tau} d\tau \rightarrow F(x) = 1 - e^{-\lambda * x} \quad (5.11)$$

Temos também que:

$$D_{esq} = |F_{esq}(x) - S(x)| \quad (5.12)$$

e

$$D_{dir} = |F_{esq}(x) - S(x)| \quad (5.13)$$

E por fim:

$$D = \max(D_{esq}; D_{dir}) \quad (5.14)$$

Para a realização do teste, é necessário que os dados observados sejam organizados do menor para o maior valor. A tabela resultante dos cálculos para o teste de *Kolmogorov-Sminorv* se encontra no Apêndice B deste documento, nela é demonstrado todo o procedimento para o cálculo de D_{max} , utilizando o espaço amostral sem *outliers*.

Através do Anexo B, é possível verificar que o valor de $D_{critico}$ para uma amostra que possua 40 ou mais elementos e, considerando um nível de significância $\alpha = 0,05$, será dada pela seguinte equação:

$$D_{critico} = \frac{1,36}{\sqrt{n}} \rightarrow D_{critico} = \frac{1,36}{\sqrt{369}} = 0,071 \quad (5.15)$$

Tal como mostrado no Apêndice B, o valor de D_{max} é igual a 0,068, sendo então inferior ao $D_{crítico}$ tabelado. Assim, tal como no teste do Qui-Quadrado, o teste de Komogorv-Smirnov também nos retorna a informação de que a hipótese nula de que a distribuição exponencial de Poisson adere aos dados observados não deve ser rejeitada.

Portanto, com base nos resultados obtidos para ambos os testes, é possível afirmar com bastante segurança que, ao se utilizar um padrão de distribuição probabilística de Poisson, é obtida uma ótima alternativa de modelagem dos valores de erro para sensores ultrassônicos HC-SR04, em um range de distância que vai de 20 a 200 centímetros para obstáculos que se encontrem orientados diretamente para eles.

5.2 Construção

Através das etapas, métodos e componentes listados anteriormente no Capítulo de Desenvolvimento, foram construídas todas as partes de hardware necessárias para a construção final do sistema AEV proposto.

5.2.1 Placa de Circuito Impresso

Na placa de circuito desenvolvida, foram adicionados bornes de parafuso e soquetes para a conexão de cabos e *jumpers*. Tal como exposto anteriormente, sua função é condicionar a tensão de alimentação dos motores juntamente de seu acionamento via PWM. Além disso, também são utilizado resistores de $10k\Omega$, que possibilitam a utilização dos sensores USs com uma única saída PWM do μC .

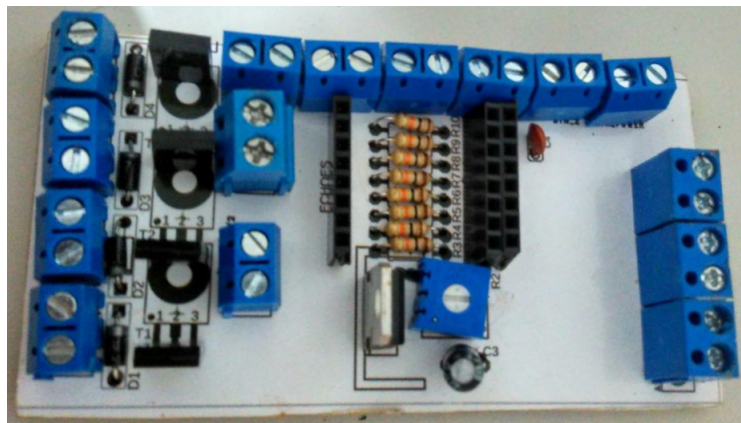


Figura 50: PCI construída para o projeto.

5.2.2 Peças em Impressão 3D

Uma vez finalizados, os desenhos tridimensionais foram enviados para que podem ser impressos em termoplástico ABS. Os resultados desta etapa podem ser observados

nas Figuras 51 e 52, que apresentam a peça frontal ao final de sua impressão e as partes componentes da base após a finalização da fabricação.

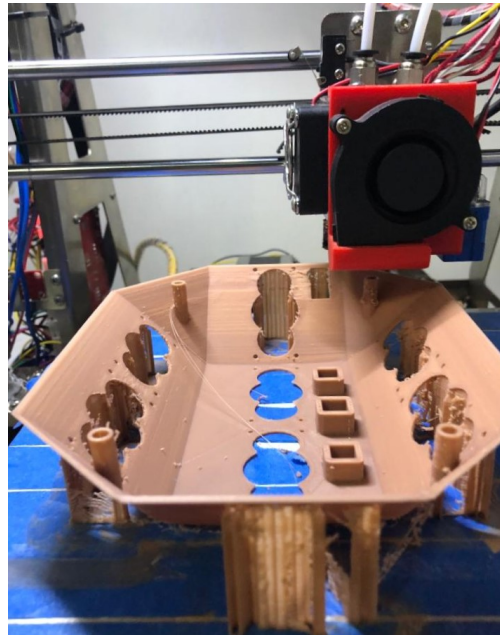


Figura 51: Peça frontal durante o procedimento de impressão 3D.

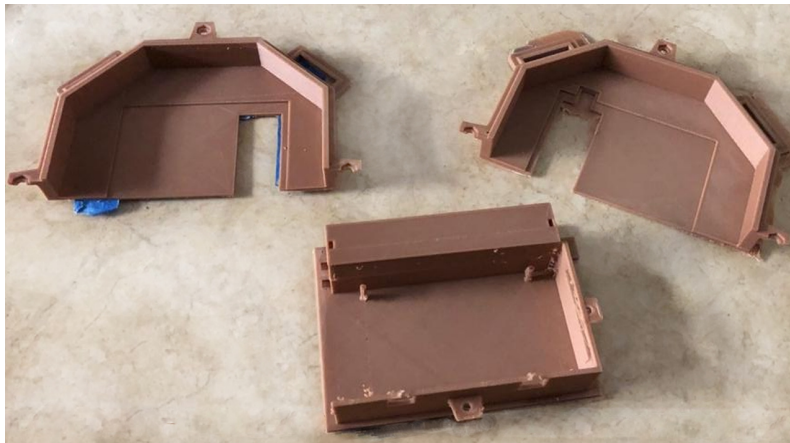


Figura 52: Partes da peça de base após impressão 3D.

5.2.3 Pulseiras e Tornozeleiras

Buscando possibilitar ao usuário posicionar os motores *vibracall* em seus pulsos e tornozelos, locais escolhidos para enviar os alertas táteis gerados pelo sistema, foram compradas pulseiras de silicone, que além possuírem um baixo custo, se mostraram de excelente formato para aplicação neste projeto. As Figura 53 apresenta o modelo da pulseira utilizada.



Figura 53: Pulseira de silicone utilizada para acoplamento dos motores *vibracall*.

Para que o motor pudesse ser acoplado no espaço disponível da pulseira, foi feito um preenchimento aplicando resina epóxi, que possibilitou ainda colar o motor na área inferior, onde é feita a interface tátil do sistema com o usuário. Por questões estéticas, a resina foi pintada com tinta preta.

Para acionamento dos motores, foram utilizados cabos paralelos de $0,5\text{mm}^2$ soldados nos polos dos motores e que se conectam diretamente a seus respectivos bornes bipolares na PCI. Estes elementos podem ser visualizados na Figura 54.

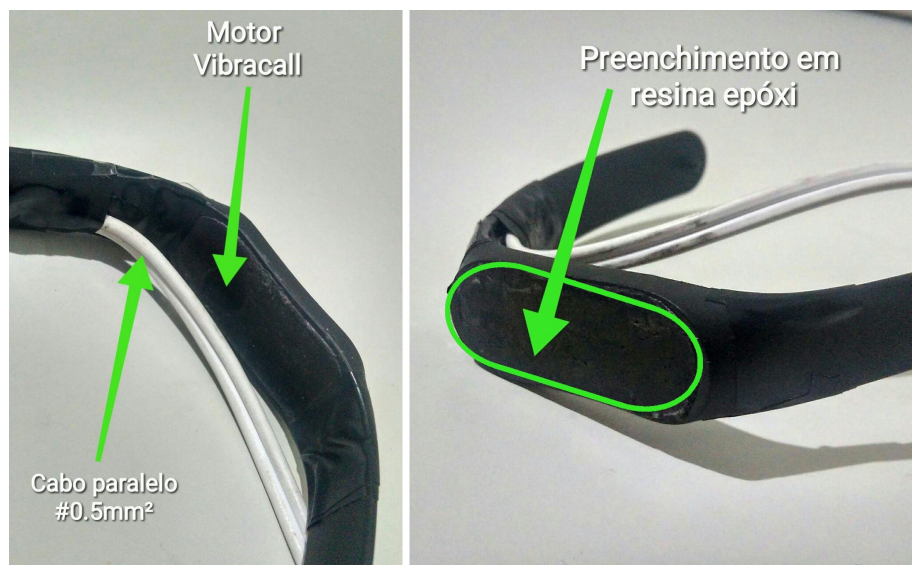


Figura 54: Preenchimento em resina epóxi juntamente a um dos quatro motores *vibracall*.

5.2.4 Alças

Para que o usuário possa fixar o equipamento a seu corpo, foram utilizados fechos de engate rápido, que além de fornecerem uma excelente segurança ainda permitem que o tamanho das alças, feitas de tiras elásticas, possa ser modificado para melhor se adequar ao porte físico da pessoa que for utilizar o equipamento. As tiras foram fixadas por costura

em seus devidos suportes, previstos no desenho tridimensional da peça de base. A Figura 55 demonstra o resultado desta etapa.



Figura 55: Fechos e engate rápido fixados por costura nas alças de tira elástica.

5.2.5 Protótipo Finalizado

Por fim, após terem sido finalizados todos os procedimentos para a construção do *hardware* que compõe o protótipo, obteve-se o resultado final da forma como foi planejada durante o desenvolvimento. Todos os componentes se encontram em pleno funcionamento, desde os sensores até os motores para alertas táteis.

Utilizando das pulseiras de silicone e alças elásticas, é possível vestir todo o equipamento de forma segura, quanto à estabilidade do AEV, retirando qualquer risco de que ele possa se desprender, e pouco invasiva quanto à limitar os movimentos do usuário ou causar desconfortos relacionados ao peso do equipamento, que não chega a 400 grama totais de massa.

Entretanto, o grande problema com relação ao aspecto construtivo, de uma forma geral, fica por conta da necessidade dos cabos para alimentação dos motores nos pulsos e tornozelos. Mesmo sem causar qualquer dificuldade de movimentação, o fato de se encontrarem soltos em torno do corpo do usuário, além de ser uma situação incômoda, pode vir a se tornar um perigo, visto que estes cabos podem se prender ou enrolar a algum objeto no ambiente. A Figura 56, exibe o resultado final do trabalho de construção e demonstra como deve ser feito seu correto uso.



Figura 56: Resultado construtivo final do projeto.

5.3 Resultados de Funcionamento Geral

A realização dos procedimentos para testes finais se deu de forma bastante simples, uma vez que os principais aspectos que se buscava mensurar eram a capacidade do sistema em detectar obstáculos em todas as direções vistoriadas pelos sensores, a capacidade do usuário em prever a distância até um determinado obstáculo apenas com base nos sinais táteis emitidos e, por fim, os tempos de resposta até que algum objeto acionasse o devido alerta.

Com uma pessoa devidamente vestida com o equipamento e de olhos vendados, outros participantes foram se responsabilizaram por colocar obstáculos em sua frente e lados de forma aleatória. Durante estes testes realizados, notou-se diversos pontos relacionados ao funcionamento geral do sistema quanto à sua capacidade de atender às necessidades propostas para este trabalho.

A capacidade dos sensores frontais e laterais para detecção de obstáculos em seu campo de visão se mostrou excelente, sendo que somente são notadas falhas nas situações onde o objeto seja muito pequeno ou se encontre muito próximo dos limites angulares de sensoreamento.

Já com relação aos sensores superiores, seu posicionamento acaba por não se mostrar favorável para a detecção de obstáculos na altura da cabeça. Isso se deve ao ângulo formado entre o sensor e a face do alvo de detecção atingida pelos sinais sonoros emitidos, dificuldade causada por conta do fenômeno de Reflexão do Som. Entretanto, esta situação se mostra, em parte, amenizada por conta de que a distância limiar configurada para este grupo é inferior a dos demais, o que acaba por torná-los mais sensíveis a pequenos ecos.

As maiores dificuldades relacionadas à detecção de obstáculos acabou ficando por conta dos sensores inferiores. Tal como mencionado anteriormente, no capítulo de desenvolvimento, os efeitos de reflexão sonora se mostram altamente perceptíveis, principalmente em objetos de textura lisa ou inferiores a 10 centímetros de altura, causando falhas nas leituras e erros substanciais na aferição de distância, acarretando em resultados pouco confiáveis para esta região.

Ainda que este problema se amenize com obstáculos maiores, de altura próxima à aos joelhos, esta variação na precisão e exatidão das leituras não pode ser ignorada, caracterizando assim um ponto de melhoria que merece a colocação de novas propostas para implementação em trabalhos futuros.

Inicialmente, o tempo de detecção se mostrou muito elevado, sendo que nas piores situações foram necessários cerca de 2 segundos desde a colocação de um obstáculo no alcance dos sensores até a emissão dos devidos alertas.

Com a instauração dos novos critérios de alertas, onde foi estabelecido que obstáculos mais críticos teriam seus alertas priorizados com relação aos demais, foi obtida uma melhora substancial, reduzindo o tempo apenas ao necessário para a aferição do sensor responsável por detectar aquele objeto, ou seja, aproximadamente 150 milissegundos.

Conclusão

6.1 Considerações Finais

O objetivo principal deste projeto foi o desenvolvimento de um método de tecnologia assistiva que atuasse como um auxiliar para que deficientes visuais consigam evitar obstáculos no ambiente de forma segura e de baixo custo. O protótipo de testes construído utiliza oito sensores ultrassônicos do modelo de baixo custo HC-SR04, uma placa Arduino Mega 2560 e quatro motores *vibracall* posicionados nos pulsos e tornozelos do usuário como componentes principais para avaliação dos conceitos.

Os resultados mostram que a utilização de um grande conjunto de sensores ultrassônicos juntamente ao algoritmo proposto apresentam uma performance satisfatória para um modelo de testes inicial. Apesar das grandes dificuldades encontradas, causadas pelos efeitos de reflexão sonora devido a questões de mal posicionamento, que leva à incapacidade de se realizar certas aferições, parte destes problemas puderam ser contornados alterando a forma como o algoritmo se comporta quanto ao controle dos sensores em posições específicas.

Os métodos propostos para os alertas táteis se mostram bastante intuitivos, sendo possível discernir o local onde se encontra um obstáculo com bastante facilidade. Além disso, a implementação de técnicas para interrupção dos ciclos de alerta, ao se encontrar obstáculos em áreas de maior risco ao usuário, soma uma maior segurança à utilização do equipamento, já que reduz grandemente o atraso no envio da informação, sendo necessário um tempo máximo de apenas 120 milissegundos até que um obstáculo em áreas críticas seja detectado e notificado à pessoa.

Adicionalmente, é possível ainda citar que uma grande vantagem associada aos sensores US está no fato de que é possível detectar obstáculos mesmo em situações de absoluta escuridão, já que a luz não se faz necessária. Fator este que também contribui com uma maior segurança para o usuário.

Dentre os problemas encontrados nos resultados no protótipo, é possível listar os de maior impacto como sendo: a dificuldade em se detectar obstáculos que façam com que o som seja refletido para direções fora do alcance dos sensores, impedindo então sua detecção, principalmente os de superfície lisa; além disso, a existência dos diversos cabos necessário para o acionamento dos motores nos pulsos e tornozelos, se demonstra como uma causa de desconforto e possibilitadora de acidentes, já que estes cabos podem se prender a objetos no ambiente.

Por fim, conclui-se então que grande parte dos objetivos inicialmente propostos foram cumpridos, uma vez que o projeto prova que o esquema projetado, juntamente aos algoritmos desenvolvidos, são capazes de retornar ao usuário resultados confiáveis para a medição de distância e detecção de obstáculos com o objetivo de auxiliar deficientes visuais em sua mobilidade.

Apesar de ainda não ser possível afirmar que o equipamento desenvolvido possa ser utilizado por uma pessoa cega sem qualquer outro auxílio, este trabalho se mostra como um ponto de partida, uma vez que apresenta bons resultados e abre espaço para que novas propostas sejam desenvolvidas em trabalhos futuros, a fim de utilizar da característica associada à Engenharia de Controle e Automação, que é a solução de problemas em diversas áreas.

6.2 Trabalhos Futuros

O protótipo desenvolvido foi testado apenas pelo autor, que não possui qualquer forma de deficiência visual. Por conta disso, obter avaliações sobre os alertas táteis vindas de pessoas cegas pode ser listado como um importante passo a ser tomado em seguida. Uma vez que tais pessoas, em geral, possuem um sentido de tato mais sensível, possibilitando que os parâmetros de intensidade e frequência dos alertas táteis possam ser ajustados de forma mais adequada.

Ainda, com base nos problemas encontrados, podem ser feitas algumas propostas no âmbito de superá-los em projetos futuros.

Tal como afirmado anteriormente, o principal fator causador de problemas relacionados ao objetivo básico deste projeto, que é detectar obstáculos, se trata do efeito de reflexão sonora causada pelo ângulo existente entre o sensor realizando a leitura do ambiente e o objetivo ou superfície que se encontra a sua frente. Uma possível solução para isso seria, talvez, o desenvolvimento de um sistema de sensoriamento híbrido, que utilize de sensores ultrassônicos e câmeras de visão, aplicando a paralaxe para que se possa obter valores de distância.

O motivo para isto se deve ao fato de que câmeras são um equipamento extrema-

mente poderoso e dinâmico, sendo possível afirmar que os únicos limites existentes são a distância que o sensor é capaz de capturar imagens com qualidade, a iluminação do ambiente e o algoritmo desenvolvido pelo projetista para realizar a análise destas imagens.

Outra proposta que pode ser feita se trata de, ao invés de enviar informações para o usuário somente através de sinais táteis, realizar essa interface homem-máquina fazendo uso também da audição.

Atualmente, as tecnologias de reprodução sonora têm evoluído de forma impressionante. Os sistemas de som *surround 7.1* possuem uma capacidade imensa de emitir áudios numa forma muito próxima à realidade. De maneira simplificada, o termo “*surround*” vem do inglês e pode ser entendido como “ao redor”. Determina um padrão de som que visa reproduzir áudio de diferentes direções, criando um ambiente que envolve o ouvinte a fim de produzir uma sensação imersiva.

Se implementada de forma com que não prejudique a capacidade do deficiente visual de escutar o ambiente ao seu redor, é possível passar para ele informações sobre a direção de obstáculos utilizando desta tecnologia sonora, retirando a necessidade de se espalhar motores pelo corpo do usuário e contribuindo com a segurança e o conforto durante do uso do equipamento.

Referências

- AFH Bio. **A PELE E O SENTIDO DO TATO**. n.d. Disponível em: <<https://afh.bio.br/sistemas/sensorial/10.php>>. Acessado em: 25 de novembro de 2019.
- Arduino. **ARDUINO MEGA 2560 REV3**. 2019. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>>. Acessado em: 25 de novembro de 2019.
- ARDUINO. **What is Arduino?** 2019. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>>. Acessado em: 15 de novembro de 2019.
- Autodesk. **EAGLE**. 2017. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/eagle/overview>>. Acessado em: 02 de dezembro de 2019.
- _____. **Software CAD 3D profissional para engenharia e projetos de produtos**. 2019. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/inventor/overview>>. Acessado em: 25 de novembro de 2019.
- BALBINOT, A. **Instrumentacao e Fundamentos de Medidas - Vol. 1**. [S.l.]: LTC - GRUPO GEN, 2011. ISBN 8521618794.
- BALLUFF Blog. **Sensor ultrassônico: como ele funciona e de que modo pode ajudar a sua indústria?** 2018. Disponível em: <<https://balluffbrasil.com.br/sensor-ultrassonico-como-ele-funciona-e-de-que-modo-pode-ajudar-a-sua-industria/>>. Acessado em: 15 de novembro de 2019.
- Banner Engineering Corp. **PresencePLUS® P4 AREA/AREA 1.3 - User's Manual**. [S.l.: s.n.], 2009. 254 p. Disponível em: <<http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/125439.pdf>>. Acessado em: 25 de novembro de 2019.
- Borges Corporation. **Filtro de Média Móvel**. 2013. Disponível em: <<http://borgescorporation.blogspot.com/2013/05/filtro-de-media-movel.html>>. Acessado em: 30 de novembro de 2019.
- BRANDÃO, D. **Conceitos de Instrumentação**. n.d. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3983384/mod_resource/content/1/SEL0432_2017_Instrumenta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acessado em: 01 de dezembro de 2019.
- CARDIN, S.; THALMANN, D.; VEXO, F. **Wearable Obstacle Detection System for visually impaired People**. [S.l.]: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), CH-1015 Lausanne, Switzerland, 2007.

- CARNEIRO, J. B. S.; LUGLI, A. B. **Estudo de Sensores ultrassônicos e suas Aplicações**. [S.l.]: I Seminário de Redes e Sistemas de Telecomunicações, 2014.
- CASTRO Édilus C.; TRINDADE, R. S. **Microcontroladores**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Ouro Preto.: Rede e-Tec Brasil, 2013. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifmg/tecnico_automacao_industrial/microcontroladores.pdf>. ISBN 978-85-86473-12-8.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. **Modelagem e simulação de eventos discretos, 4a edição**. [S.l.: s.n.], 2014. ISBN 9788535279337.
- CRÓS, C. X. et al. **Classificações da deficiência visual: compreendendo conceitos esportivos, educacionais, médicos e legais**. 2006. Disponível em: <<https://www.efdeportes.com/efd93/defic.htm>>. Acessado em: 21 de novembro de 2019.
- ECKEL, T. **NewPing Arduino Library for Arduino**. 2017. Disponível em: <<https://bitbucket.org/teckel12/arduino-new-ping/wiki/Home>>. Acessado em: 25 de novembro de 2019.
- Elec Freaks. **HC-SR04 - Datasheet**. 2011. Disponível em: <<https://www.electroschematics.com/wp-content/uploads/2013/07/HC-SR04-datasheet-version-2.pdf>>. Acessado em: 25 de novembro de 2019.
- ELMANNAI, W. M.; ELLEITHY, K. M. **A Highly Accurate and Reliable Data Fusion Framework for Guiding the Visually Impaired**. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2018. v. 6. 33029–33054 p. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/access.2018.2817164>>.
- FAVELA, L. **The Enactive Torch Is A Sensor That Helps The Blind “See”**. 2014. Disponível em: <<https://techcrunch.com/2014/08/13/the-enactive-torch-is-a-sensor-that-helps-the-blind-see/>>. Acessado em: 24 de agosto de 2018.
- FIELDS, R. D. **Why Can Some Blind People Process Speech Far Faster Than Sighted Persons?** 2010. Disponível em: <<https://www.scientificamerican.com/article/why-can-some-blind-people-process/>>. Acessado em: 21 de novembro de 2019.
- Folha de S. Paulo. **Americano ensina cegos e não cegos a “ver” objetos com sons feitos pela boca**. 2019. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/equilibrioesaude/2019/03/americano-ensina-cegos-e-nao-cegos-a-ver-objetos-com-sons-feitos-pela-boca.shtml>>. Acessado em: 21 de novembro de 2019.
- GNU Octave. **GNU Octave - About**. 2019. Disponível em: <<https://www.gnu.org/software/octave/about.html>>. Acessado em: 01 de dezembro de 2019.
- GOUVEIA, R. **Média, Moda e Mediana**. 2018. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/media-moda-e-mediana/>>. Acessado em: 03 de dezembro de 2019.
- _____. **Medidas de Dispersão**. 2018. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/medidas-de-dispersao/>>. Acessado em: 03 de dezembro de 2019.

Green Nation. **Conheça a história Ben Underwood, o garoto que enxergava com os ouvidos**. 2014. Disponível em: <<http://www.greennation.com.br/blog/conheca-a-historia-ben-underwood-o-garoto-que-enxergava-com-os-ouvidos/3877>>.

HEATH, J. **PWM: Pulse Width Modulation: What is it and how does it work?** 2017. Disponível em: <<https://www.analogictips.com/pulse-width-modulation-pwm/>>. Acessado em: 02 de dezembro de 2019.

HELENDI, A. **What Is Event-Driven Programming And Why Is It So Popular?** 2018. Disponível em: <<https://dzone.com/articles/what-is-event-driven-programming-and-why-is-it-so>>. Acessado em: 28 de novembro de 2019.

HERSH, M. A.; JOHNSON, M. A. **Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People**. Springer London, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/978-1-84628-867-8>>.

HOLLINS, M. **Understanding blindness: An integrative approach**. [S.l.]: Lawrence Erlbaum Associates, Inc, 1989.

IBGE. **Censo Demográfico de 2010**. 2012. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf>. Acessado em: 21 de novembro de 2019.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia - Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados**. [S.l.]: IPQ, 1^o Edição Luso-Brasileira, 2012. ISBN 978-85-86920-09-7.

Instituto Newton C. Braga. **Como funcionam os sensores ultrassônicos (ART691)**. 2012. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/5273-art691>>. Acessado em: 15 de novembro de 2019.

KAY, L. **A sonar aid to enhance spatial perception of the blind: engineering design and evaluation**. Institution of Engineering and Technology (IET), 1974. v. 44. 605 p. Disponível em: <<https://doi.org/10.1049/ree.1974.0148>>.

KEYENCE. **Comparação entre sensores ultrassônicos e sensores ópticos**. 2016. Disponível em: <<https://www.keyence.de/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/comparison/>>. Acessado em: 15 de novembro de 2019.

LE MOS, M. **Arduino : Conheça esta plataforma de hardware livre e suas aplicações**. 2013. Disponível em: <<https://blog.fazedores.com/arduino-conheca-esta-plataforma-de-hardware-livre-e-suas-aplicacoes/>>. Acessado em: 15 de novembro de 2019.

MANCINI, R. **Op amps for everyone**. Amsterdam Boston: Newnes/Elsevier, 2009. ISBN 0080949487.

MCCULLAGH, P. What is a statistical model? **Annals of statistics**, JSTOR, p. 1225–1267, 2002.

MOHAJERI, N.; RASTE, R.; DANESHVAR, S. **An Obstacle Detection System for Blind People**. [S.l.]: IEEE Access, Institute of Electrical and Electronics Engineers, London, U.K., 2011. II.

- MUNHOZ, A. **Metodologia para detecção de obstáculos para navegação de embarcações autônomas usando visão computacional**. [S.l.]: São Carlos, 2010.
- NDT Resource Center. **Sensores Ópticos**. 2013. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/sensores-opticos/>>. Acessado em: 15 de novembro de 2019.
- NGUYEN, T. C. **Haptic obstacle detector for the blind**. [S.l.]: KTH Industrial Engineering and Management Machine Design, 2014. Disponível em: <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:818827/FULLTEXT01.pdf>>.
- OLIVEIRA, M. de F. **Determinação da distância de Marte por paparalaxe**. 2018. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/paralaxe-e-distancia-de-marte.htm#footnote1>>. Acessado em: 16 de outubro de 2019.
- Portal Educação. **Quem é o Deficiente Visual? E o Cego?** n.d. Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/educacao-fisica/quem-e-o-deficiente-visual-e-o-cego/31979>>. Acessado em: 21 de novembro de 2019.
- SHIN, B.-S.; LIM, C.-S. **Obstacle Detection and Avoidance System for Visually Impaired People**. [S.l.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
- SILVEIRA, C. B. **Sensor de Visão: Você Conhece?** 2016. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/sensor-de-visao/>>. Acessado em: 24 de outubro de 2019.
- _____. **Sensores Ópticos**. 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/sensores-opticos/>>. Acessado em: 15 de novembro de 2019.
- WHO, W. H. O. **Blindness and vision impairment**. 2019. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment/>>. Acessado em: 21 de novembro de 2019.
- Wikiwand. **Radar signal characteristics**. 2019. Disponível em: <https://www.wikiwand.com/en/Radar_signal_characteristics>. Acessado em: 2 de novembro de 2019.
- ZELEK, J. et al. **A Stereo-vision System for the Visually Impaired**. [S.l.]: School of Engineering, University of Guelph, Guelph, ON, Canada, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/2324947_A_Stereo-vision_System_for_the_Visually_Impaired>.
- ZIBETTI, A. **Distribuição Exponencial (ou exponencial negativa)**. n.d. Disponível em: <<https://www.inf.ufsc.br/~andre.zibetti/probabilidade/exponencial.html>>. Acessado em: 04 de dezembro de 2019.

Apêndices

Espaço Amostral (Erro Absoluto)										
Medida	Valores Esperados (centímetros)									
	20	30	60	80	100	120	140	160	180	200
	Valores de Erro (Centímetros)									
1	0,9	0,6	0,4	1,3	6,6	8,3	2,5	0,3	0,1	0,1
2	0,6	8,8	1,3	1,6	4,7	6,5	1,5	0,6	0,9	0,4
3	0,6	2,9	1	0,8	0,5	4,2	3,8	0,3	0,8	0,6
4	0,2	29,2	1,5	0	0,9	1,4	0,2	1	0	0,7
5	0,8	0,9	0	0,8	0,2	0,3	0	0,6	1,8	0,2
6	1,5	0,4	1,6	1,6	0,1	0,2	0,1	1,8	2	0,5
7	0,1	0,6	0,4	1,3	0,3	2,5	0,6	0,3	1,8	0,9
8	0,9	0,5	0,8	2,5	0,3	0,5	0,2	0,7	0,1	0,1
9	1,3	5,7	0,6	2,2	0,2	0,9	1,4	0,4	0,2	0
10	1,8	2,8	1,3	1,5	0,9	1,3	0,5	0,5	1	0,2
11	0,1	3	0,6	1,1	1,4	1,5	1,1	0,7	0,3	0,9
12	1	2,5	0,1	2,2	1,6	0,3	2,9	2	1	0,9
13	0,2	2,7	0,8	1,1	2	2	0,8	4,3	0,1	0,1
14	0,5	3	0,1	0,9	1,3	0,8	1,7	3,4	3,5	0
15	0,2	2,2	31	2	2,5	1,5	2,9	19	1,5	0,8
16	0,4	0,4	1,4	2,2	2,4	0,5	0,7	3,6	3,7	0,8
17	1,8	0,4	2,1	46,5	0,6	0,6	2,3	3	0,6	0,2
18	1,6	0	0,9	0	2,1	3,9	6,4	9	1,2	1
19	1,1	0,1	0,9	2,2	1,4	1	0,6	1,9	0,8	0,8
20	0,7	0,9	0,7	2,4	2,3	1,1	7,5	1,3	0,3	0,1
Continua na próxima página										

Espaço Amostral (Erro Absoluto)										
Medida	Valores Esperados (centímetros)									
	20	30	60	80	100	120	140	160	180	200
Valores de Erro (Centímetros)										
21	0,1	0,7	0,7	46,9	0,4	0,5	1,5	9,4	1,6	0,1
22	1,1	1,9	0,4	1,2	0,6	0,5	6,5	1,9	0,2	0,2
23	1,7	1,7	14,9	47	0,2	0,6	20,4	2,9	1	0,3
24	0,4	1,6	13,9	1,4	0,1	0,5	0,1	1,7	0,3	0,9
25	0,9	0,9	1,2	0,7	0,6	0,3	1,1	0,5	14,6	0,4
26	1,9	0,2	4,4	0,9	0,1	0,2	1	0,2	0,7	0,3
27	1,2	1,9	0,2	0,4	2,5	0,2	40,3	3,9	3,3	0,3
28	0,4	1	2	0,7	2,2	0,4	3,7	0,5	1	0,2
29	0,3	0,1	0,5	0,4	0,6	2,5	2,5	11,2	2,4	0,1
30	1,4	0,8	1,4	0,2	1,6	0,4	5,1	6,4	3,6	0,1
31	0,9	0,4	1	0,5	0,2	0,8	2	3,5	0,3	0,6
32	1,3	0,6	0,1	0,2	0	0,5	0,2	13	1,2	0,6
33	0,3	0,5	0,4	0,8	0,2	2,6	2,1	2,7	1,9	0,3
34	0,3	0,9	0,6	0,5	3,7	0,3	0,3	0,5	1,6	1,6
35	1,8	2	0,2	1,3	2,9	0,4	2,5	0,6	0,8	0,6
36	1,7	0,1	2,2	2,3	0,1	2,7	6,5	0,9	0,4	1
37	0,9	0,2	0,7	1,2	1,9	1,1	0,1	1,2	0,3	0,2
38	0,2	0,1	0,9	1,9	0,7	2,7	1,8	0,7	0,1	0,9
39	0,4	1,6	0,1	0,4	1	0,2	2,4	41	0	0,3
40	1,8	1,1	2,6	1,5	0,8	2,9	0,6	1	0,9	1

Tabela 9: Espaço amostral para Testes de Aderência.

Tabela para o Teste de Kolmogorov-Smirnov

Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov (Distribuição Exponencial ou Poisson com K=1)								
Valores Amostrados (X)	Frequência Observada	Frequência acumulada observada	S(x)	F(x)_esq	F(x)_dir	D_esq	D_dir	D
0	10	10	0,027	0,000	0,091	0,0271	0,063	0,063
0,1	29	39	0,106	0,091	0,173	0,0151	0,067	0,067
0,2	31	70	0,190	0,173	0,248	0,0168	0,058	0,058
0,3	23	93	0,252	0,248	0,316	0,0043	0,064	0,064
0,4	23	116	0,314	0,316	0,378	0,0015	0,063	0,063
0,5	19	135	0,366	0,378	0,434	0,0120	0,068	0,068
0,6	25	160	0,434	0,434	0,485	0,0006	0,052	0,052
0,7	14	174	0,472	0,485	0,532	0,0138	0,060	0,060
0,8	17	191	0,518	0,532	0,574	0,0144	0,057	0,057
0,9	25	216	0,585	0,574	0,613	0,0110	0,028	0,028
1	16	232	0,629	0,613	0,648	0,0158	0,019	0,019
1,1	9	241	0,653	0,648	0,680	0,0052	0,027	0,027
1,2	7	248	0,672	0,680	0,709	0,0077	0,037	0,037
1,3	10	258	0,699	0,709	0,735	0,0096	0,036	0,036
1,4	8	266	0,721	0,735	0,759	0,0143	0,038	0,038
1,5	9	275	0,745	0,759	0,781	0,0139	0,036	0,036
1,6	11	286	0,775	0,781	0,801	0,0059	0,026	0,026
1,7	5	291	0,789	0,801	0,819	0,0122	0,030	0,030
1,8	8	299	0,810	0,819	0,835	0,0085	0,025	0,025
Continua na Próxima Página								

Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov (Distribuição Exponencial ou Poisson com K=1)								
Valores Amostrados (X)	Frequência Observada	Frequência acumulada observada	S(x)	F(x)_esq	F(x)_dir	D_esq	D_dir	D
1,9	8	307	0,832	0,835	0,850	0,0033	0,018	0,018
2	8	315	0,854	0,850	0,864	0,0035	0,010	0,010
2,1	3	318	0,862	0,864	0,876	0,0019	0,014	0,014
2,2	7	325	0,881	0,876	0,887	0,0047	0,007	0,007
2,3	3	328	0,889	0,887	0,897	0,0016	0,009	0,009
2,4	4	332	0,900	0,897	0,907	0,0022	0,007	0,007
2,5	9	341	0,924	0,907	0,915	0,0173	0,009	0,017
2,6	2	343	0,930	0,915	0,923	0,0143	0,007	0,014
2,7	4	347	0,940	0,923	0,930	0,0175	0,011	0,017
2,8	1	348	0,943	0,930	0,936	0,0132	0,007	0,013
2,9	6	354	0,959	0,936	0,942	0,0231	0,017	0,023
3	3	357	0,967	0,942	0,956	0,0255	0,011	0,025
3,3	1	358	0,970	0,956	0,960	0,0138	0,010	0,014
3,4	1	359	0,973	0,960	0,964	0,0126	0,009	0,013
3,5	2	361	0,978	0,964	0,967	0,0144	0,011	0,014
3,6	2	363	0,984	0,967	0,970	0,0166	0,014	0,017
3,7	3	366	0,992	0,970	0,973	0,0217	0,019	0,022
3,8	1	367	0,995	0,973	0,975	0,0217	0,019	0,022
3,9	2	369	1,000	0,975	0,978	0,0247	0,022	0,025
$D_{\text{máximo}}$								0,068

Tabela 10: Tabela de dados para teste de Kolmogorov-Smirnov.

Algoritmo - Detector de Obstáculos

```

1  /* Informações à respeito do algoritmo
3
5      Desenvolvido por Lucas Eusebio Lima como algoritmo de controle para
6      sistema embarcado de detecção de obstáculos e feedback tátil por
7      vibração. Projeto apresentado ao IFG – Campus Itumbiara como
8      Trabalho de Conclusão do Curso do curso de Bacharelado em Engenharia
9      de Controle e Automação.
10
11  ——— Protótipo – Detector de Obstáculos ———
12  *** Funções do tipo delay não podem ser utilizadas em qualquer área;
13  *** Em oneSensorCycle, o tempo de execução não pode ultrapassar o tempo
14      em milisegundos configurado na constante PING_INTERVAL;
15  *** Caso seja necessário realizar alguma ação que leve mais tempo que o
16      configurado em PING_INTERVAL, pode-se parar a execução dos pings
17      utilizando:
18      for (uint8_t i = 0; i < SONAR_NUM; i++) pingTimer[i] = -1;
19  *** Para reiniciar os pings, pode-se utilizar:
20      pingTimer[0] = millis();
21      for (uint8_t i = 1; i < SONAR_NUM; i++) pingTimer[i] = pingTimer[i -
22          1] + PING_INTERVAL;
23  *** Deve-se considerar sempre que este algoritmo é projetado de forma
24      orientada a eventos. Todo o sketch deve ser escrito para que não hajam
25      comandos de delay e os ciclos de loop() devem ser mais rápidos que o
26      valor de PING_INTERVAL. Caso algum processo leve mais tempo que isso,
27      será preciso elevar o PING_INTERVAL para que ele não fique para trás;
28  */
29
30  // ===== Inserção de Bibliotecas =====
31  #include <NewPing.h>
32  #include <math.h>
33
34  // ===== Definição de Constantes =====

```

```

35 #define SONAR_NUM      8      // Número de sensores;
   #define MAX_DISTANCE  300    // Distância máxima padrão (em cm);
37 #define PING_INTERVAL  30    // Tempo entre o ping dos sensores;
   #define ITERATIONS    5      // Número de iterações média de distância;
39 #define MEMORY          8      // Tamanho da memória
   #define NUMCOMBS      7      // Quantidade de combinações pré-definidas;
41
   NewPing sonar[SONAR_NUM] = {      // Armazena as handles dos sensores;
43     NewPing(2, 2, MAX_DISTANCE),    // Sensor 1 – Cabeça esquerda;
     NewPing(3, 3, MAX_DISTANCE),    // Sensor 0 – Cabeça direita;
45     NewPing(4, 4, MAX_DISTANCE),    // Sensor 2 – Lateral esquerdo;
     NewPing(5, 5, MAX_DISTANCE),    // Sensor 3 – Frente esquerdo;
47     NewPing(6, 6, MAX_DISTANCE),    // Sensor 4 – Frente direito;
     NewPing(7, 7, MAX_DISTANCE),    // Sensor 5 – Lateral direito;
49     NewPing(8, 8, MAX_DISTANCE),    // Sensor 6 – Pé esquerdo;
     NewPing(9, 9, MAX_DISTANCE)     // Sensor 6 – Pé esquerdo;
51 };

53
   // Definição dos pinos PWM relativos a cada motor de vibração;
55 const uint8_t leftArm  = 45;        // Braço esquerdo;
   const uint8_t rightArm = 11;        // Braço direito;
57 const uint8_t leftLeg  = 12;        // Perna esquerda;
   const uint8_t rightLeg = 13;        // Perna direita;
59
   // Botão para troca entre ambientes (interno e externo);
61 const uint8_t btn_ambiente = 22;

63 // ===== Definição de Variáveis =====
   // Momento em que o próximo ping deve ocorrer para cada sensor;
65 unsigned long pingTimer[SONAR_NUM];
   // Momento em que o padrão de vibrações deve ser alterado;
67 unsigned long pwmTimer = 0;
   // Marca o momento em que o próximo alerta deve ser enviado;
69 unsigned long alertTimer;
   // Auxiliares para marcação de tempo:
71 unsigned long toc = 0;
   unsigned long tic = 0;
73
   float cm[ITERATIONS][SONAR_NUM];    // Armazena as aferições;
75 float cm_median[MEMORY][SONAR_NUM];  // Armazena as médias;
   uint8_t currentSensor = 0;           // Marca qual sensor está ativo;
77
   /* Armazena a informação de qual ambiente se encontra ativo
79     (Padrão: 1 -> Ambiente externo; opção: 0 -> Ambiente interno)*/
   uint8_t ambiente = 1;
81

```

```

// Armazena a combinação de motores que deve ser acionada;
83 uint8_t combo[NUMCOMBS];

85 /* Armazena o duty máximo a ser aplicado nos motores para cada combinação;
   As colunas representam cada motor e seguem a sequência da declaração
87 de pinos 0 – Braço Esquerdo; 1 – Braço Direito; 2 – Perna Esquerda;
   3 – Perna Direita;*/
89 uint8_t duty[NUMCOMBS][4];

91 uint8_t wait = 0; // Variáveis auxiliares;
uint8_t aux = 0; // ""
93 uint8_t firstCycle = 0; // ""
double steps = 0; // ""
95 double pwmAtual = 0; // ""
float maxDistances[4] = { // Vetor de distâncias máximas
97 0.0, // Sensores 0, 1 – Cabeça;
0.0, // Laterais 2, 5 – Laterais;
99 0.0, // Sensor 2, 3, 4, 5 – Frente;
200.0 // Sensor 6, 7 – Pés
101 };

103 // ===== Inicialização do algoritmo =====
void setup() {
105 Serial.begin(115200);
// Inicialização de Pinos
107 pinMode(btn_ambiente, INPUT_PULLUP); pinMode(leftLeg, OUTPUT);
pinMode(leftArm, OUTPUT); pinMode(rightArm, OUTPUT);
109 pinMode(rightLeg, OUTPUT);

111 for (int i = 0; i < ITERATIONS; i++) { // Inicializa com zeros;
for (int j = 0; j < SONAR_NUM; j++) {
113 cm[i][j] = 0;
}
115 }
for (int i = 0; i < MEMORY; i++) { // Inicializa com zeros;
117 for (int j = 0; j < SONAR_NUM; j++) {
cm_median[i][j] = 0;
119 }
}

121 // Primeiro ping ocorre 75ms após o microprocessador ser inicializado;
pingTimer[0] = millis() + 75;
123 // Configura o tempo de primeiro ping para cada sensor;
for (uint8_t i = 1; i < SONAR_NUM; i++)
125 pingTimer[i] = pingTimer[i - 1] + PING_INTERVAL;
// Primeiro alerta ocorre 2 segundos após a inicialização;
127 alertTimer = millis() + 2000;
}

```

```

129 void loop() {
131   // Faz um loop de aferição por todos os sensores;
   for (uint8_t k = 0; k < SONAR_NUM; k++) {
133     // Verifica se é o momento do sensor atual realizar a medição;
     if (millis() >= pingTimer[k]) {
135       // Configura o próximo momento em que este sensor atuará;
       pingTimer[k] += PING_INTERVAL * SONAR_NUM;
137       // Verifica se todos os sensores foram utilizados;
       if (k == 0 && currentSensor == SONAR_NUM - 1 && firstCycle == 0)
139         firstCycle = 1;
       if (firstCycle == 1) oneSensorCycle();
141       // Para o timer antes de começar um novo ciclo;
       sonar[currentSensor].timer_stop();
143       // Armazena qual sensor está sendo acessado;
       currentSensor = k;
145       // Para o caso de nenhum sinal ser recebido:
       if (currentSensor == 6 || currentSensor == 7) {
147         cm[0][currentSensor] = 0;
       }
149       else {
         cm[0][currentSensor] = 400;
151       }
       // Envia o ping (Processamento continua, a interrupção chama
153       // pela função echoCheck para buscar o echo);
       sonar[currentSensor].ping_timer(echoCheck);
155       // Corrige os valores das aferições com base na angulação:
       if (currentSensor == 3 || currentSensor == 4) {
157         cm[0][currentSensor] = cm[0][currentSensor];
       }
159       else {
         cm[0][currentSensor] = cos(0.785398) * cm[0][currentSensor];
161       }
     }
163   }

165   /* ## Qualquer código que não analise os resultados dos pings
       pode ser adicionado aqui ## */

167   /* ----- */

169   // Se o botão de ambiente for pressionado
   // (Botão input_pullup é normalmente fechado);
171   if (digitalRead(btn_ambiente) == 1 ) {
     maxDistances[0] = 90.0;
173     maxDistances[1] = 125.0;
     maxDistances[2] = 180.0;
175     maxDistances[3] = maxDistances[3];

```

```

}
177 else {
    maxDistances[0] = 70.0;
179 maxDistances[1] = 90.0;
    maxDistances[2] = 130.0;
181 maxDistances[3] = maxDistances[3];
}
183 /*
    Configuração das emissões de sinais táteis:
185 Caso mais de uma situação seja detectada, será feita uma
    alternância entre os modos de vibração. Cada resposta tátil
187 enviada ao usuário tem uma duração de cerca de 1000ms antes que
    ela se repita (caso seja a única necessária) ou seja iniciada
189 outra (caso existam dois ou mais alertas para serem enviados);
*/
191
// ----- Cabeça -----
193 if (wait == 0 && millis() >= alertTimer) {
    if (combo[0] == 1) {
195         if (aux == 0) {
            aux = 1;
197             pwmAtual = duty[0][1];
            steps = pwmAtual / 20;
199             analogWrite(leftArm, pwmAtual);
            analogWrite(rightArm, pwmAtual);
201             // Impede que o PWM seja imediatamente reduzido em um passo;
            pwmTimer = millis() + 50;
203         }
        if (millis() >= pwmTimer) {
205             pwmAtual = pwmAtual - steps;
            analogWrite(leftArm, round(pwmAtual));
207             analogWrite(rightArm, round(pwmAtual));
            if (pwmAtual <= 0) {
209                 wait = 1;
                aux = 0;
211                 steps = 0;
                alertTimer = millis() + 200;
213                 analogWrite(leftArm, 0);
                analogWrite(rightArm, 0);
215                 analogWrite(leftLeg, 0);
                analogWrite(rightLeg, 0);
217             }
            // Próxima execução ocorre após 50 milisegudnos;
219             pwmTimer = millis() + 50;
        }
    }
221 }
    else {

```

```

223     wait = 1;
224     aux = 0;
225     steps = 0;
226     analogWrite(leftArm , 0);
227     analogWrite(rightArm , 0);
228     analogWrite(leftLeg , 0);
229     analogWrite(rightLeg , 0);
230 }
231 }

233 // ----- Esquerda -----
234 else if (wait == 1 && millis() >= alertTimer) {
235     if (combo[1] == 1) {
236         if (aux == 0) {
237             aux = 1;
238             pwmTimer = millis() + 1000;
239             analogWrite(leftArm , duty[1][0]);
240         }
241         if (millis() >= pwmTimer) {
242             wait = 2;
243             aux = 0;
244             steps = 0;
245             alertTimer = millis() + 200;
246             analogWrite(leftArm , 0);
247             analogWrite(rightArm , 0);
248             analogWrite(leftLeg , 0);
249             analogWrite(rightLeg , 0);
250         }
251     }
252     else {
253         wait = 2;
254         aux = 0;
255         steps = 0;
256         analogWrite(leftArm , 0);
257         analogWrite(rightArm , 0);
258         analogWrite(leftLeg , 0);
259         analogWrite(rightLeg , 0);
260     }
261 }

263 // ----- Frente -----
264 else if (wait == 2 && millis() >= alertTimer) {
265     if (combo[2] == 1) {
266         if (aux == 0) {
267             aux = 1;
268             pwmTimer = millis() + 1000;
269         }

```

```

271     analogWrite(leftArm , duty[2][0]);
272     analogWrite(rightArm , duty[2][1]);
273     if ( millis() >= pwmTimer) {
274         wait = 3;
275         aux = 0;
276         steps = 0;
277         alertTimer = millis() + 200;
278         analogWrite(leftArm , 0);
279         analogWrite(rightArm , 0);
280         analogWrite(leftLeg , 0);
281         analogWrite(rightLeg , 0);
282     }
283 }
284 else {
285     wait = 3;
286     aux = 0;
287     steps = 0;
288     analogWrite(leftArm , 0);
289     analogWrite(rightArm , 0);
290     analogWrite(leftLeg , 0);
291     analogWrite(rightLeg , 0);
292 }
293 }
294
295 // ----- Direita -----
296 else if (wait == 3 && millis() >= alertTimer) {
297     if (combo[3] == 1) {
298         if (aux == 0) {
299             aux = 1;
300             pwmTimer = millis() + 1000;
301         }
302         analogWrite(rightArm , duty[3][1]);
303         if ( millis() >= pwmTimer) {
304             wait = 4;
305             aux = 0;
306             steps = 0;
307             alertTimer = millis() + 200;
308             analogWrite(leftArm , 0);
309             analogWrite(rightArm , 0);
310             analogWrite(leftLeg , 0);
311             analogWrite(rightLeg , 0);
312         }
313     }
314 }
315 else {
316     wait = 4;
317     aux = 0;
318     steps = 0;

```

```

317     analogWrite(leftArm , 0);
318     analogWrite(rightArm , 0);
319     analogWrite(leftLeg , 0);
320     analogWrite(rightLeg , 0);
321 }
322 }
323
324 //----- Elevação -----
325 else if (wait == 4 && millis() >= alertTimer) {
326     if (combo[4] == 1) {
327         if (aux == 0) {
328             aux = 1;
329             pwmAtual = 0;
330             steps = (duty[4][2] - pwmAtual) / 20;
331             analogWrite(leftLeg , pwmAtual);
332             analogWrite(rightLeg , pwmAtual);
333             // Impede que o PWM seja imediatamente reduzido em um passo de
334             // seu máximo;
335             pwmTimer = millis() + 50;
336         }
337         if (millis() >= pwmTimer) {
338             pwmAtual = pwmAtual + steps;
339             analogWrite(leftLeg , round(pwmAtual));
340             analogWrite(rightLeg , round(pwmAtual));
341             if (pwmAtual >= steps * 20) {
342                 wait = 5;
343                 aux = 0;
344                 steps = 0;
345                 alertTimer = millis() + 200;
346                 analogWrite(leftArm , 0);
347                 analogWrite(rightArm , 0);
348                 analogWrite(leftLeg , 0);
349                 analogWrite(rightLeg , 0);
350             }
351             // Próxima execução ocorre após 50 milisegudnos;
352             pwmTimer = millis() + 50;
353         }
354     }
355 }
356 else {
357     wait = 0;
358     aux = 0;
359     steps = 0;
360     analogWrite(leftArm , 0);
361     analogWrite(rightArm , 0);
362     analogWrite(leftLeg , 0);
363     analogWrite(rightLeg , 0);
364 }

```

```

    }
365 }

367 void oneSensorCycle() {
    /* Função chamada após cada sensor realizar um processo de ping*/
369 /*Qualquer código pode ser adicionado aqui desde que seu tempo de
    execução não ultrapasse o PING_INTERVAL*/

371 //printValues();
373 // Executa os cálculos das médias móveis;
    medians();
375 // Configura as amplitudes de vibração
    // dos motores;
377 setAmplitudes();
}

379 void echoCheck() { // Realiza a leitura dos sensores;
381 // Checa se o sinal de echo foi recebido dentro do limite;
    if (sonar[currentSensor].check_timer()) {
383 // Converte e armazena a aferição na matriz 'cm';
        cm[0][currentSensor] = sonar[currentSensor].ping_result /
385 US_ROUNDTRIP_CM;
    }
387 }

389 void medians() { // Organiza os dados e calcula os valores de médias
    //móveis;

391 // Variável utilizada para contar o número de zeros nas medidas;
    uint8_t zeros = 0;
393 // for (uint8_t i = 0; i < SONAR_NUM; i++) {
    uint8_t i = currentSensor;
395 // Move as médias anteriores uma posição à frente;
    for (int j = MEMORY - 1; j > 0; j--) {
397 cm_median[j][i] = cm_median[j - 1][i];
    }
399 cm_median[0][i] = 0; // Zera a posição da aferição atual;

401 // Soma os elementos da matriz de aferição ignorando os zeros;
    for (int j = 0; j < ITERATIONS; j++) {
403 if (cm[j][i] != 0) {
        cm_median[0][i] = cm_median[0][i] + cm[j][i];
405 }
        else {
407 zeros = zeros + 1;
        }
409 }
    // Calcula a média das aferições para o sensor atual;

```

```

411     if (zeros < ITERATIONS)
412         cm_median[0][i] = cm_median[0][i] / (ITERATIONS - zeros);
413     else
414         cm_median[0][i] = 0;
415     // Move as aferições anteriores uma posição à frente;
416     for (int j = (ITERATIONS - 1); j > 0; j--) {
417         cm[j][i] = cm[j - 1][i];
418     }
419 }

421 void setAmplitudes() { /* Configura os valores de PWM para cada motor */

423     /* Armazena 0 se o respectivo sensor não houver encontrado obstáculos
424        dentro das distâncias limite */
425     int finds[9] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
426     // Variável Auxiliar;
427     int PWM = 0;
428     // Verifica os resultados das leituras;
429     for (int i = 0; i < SONAR_NUM; i++) {
430         if (i <= 1) {
431             if (cm_median[0][i] < maxDistances[0]) {
432                 finds[i] = 1;
433             }
434         }
435         else if (i == 2 || i == 5) {
436             if (cm_median[0][i] < maxDistances[1]) {
437                 finds[i] = 1;
438             }
439         }
440         else if (i == 3 || i == 4) {
441             if (cm_median[0][i] < maxDistances[2]) {
442                 finds[i] = 1;
443             }
444         }
445         if (i > 5) {
446             if ((cm_median[0][i] < maxDistances[3] - 5.0) && (cm[0][i] != 0)) {
447                 finds[i] = 1;
448             }
449             else if ((cm_median[0][i] > maxDistances[3] + 5.0) || (cm[0][i] == 0)) {
450                 finds[8] = 1;
451             }
452         }
453     }
454     // Zera o array de combinações e o array de dutys de PWM;
455     for (int i = 0; i < NUMCOMBS; i++) {
456         combo[i] = 0;
457         for (int j = 0; j < 4; j++) {

```

```

    duty[i][j] = 0;
459 }
}
461
if (cm_median[0][3] <= 40.0 || cm_median[0][4] <= 40.0) {
463 // Obstáculo à frente sem nada acima dos pés;
    if (finds[3] == 1 || finds[4] == 1) {
465         combo[2] = 1;
        // Calcula e arredonda o valor do PWM (0 a 255):
467         if (cm_median[0][3] <= cm_median[0][4]) {
            PWM = round(pow(255, (1 - (cm_median[0][3]) * 0.4 /
469             (maxDistances[2]))));
        }
        else {
            PWM = round(pow(255, (1 - (cm_median[0][4]) * 0.4 /
473             (maxDistances[2]))));
        }
        duty[2][0] = PWM + 15;
        duty[2][1] = PWM + 15;
477     }
}
479 else {
    // Obstáculo na altura da cabeça;
    if (finds[0] == 1 || finds[1] == 1) {
        combo[0] = 1;
483 // Calcula e arredonda o valor do PWM (0 a 255):
        if (cm_median[0][0] <= cm_median[0][1]) {
            PWM = round(pow(255, (1 - (cm_median[0][0]) * 0.4 /
485             (maxDistances[0]))));
        }
        else if (cm_median[0][1] < cm_median[0][0]) {
            PWM = round(pow(255, (1 - (cm_median[0][1]) * 0.4 /
489             (maxDistances[0]))));
        }
        duty[0][0] = PWM + 15;
        duty[0][1] = PWM + 15;
493     }
    // Obstáculo à esquerda;
    if (finds[2] == 1) {
497         combo[1] = 1;
        // Calcula e arredonda o valor do PWM (0 a 255):
        PWM = round(pow(255, (1 - cm_median[0][2]*0.4 / (maxDistances[1]))));
        duty[1][0] = PWM + 15;
501     }
    // Obstáculo à frente;
503     if (finds[3] == 1 || finds[4] == 1) {
        combo[2] = 1;

```

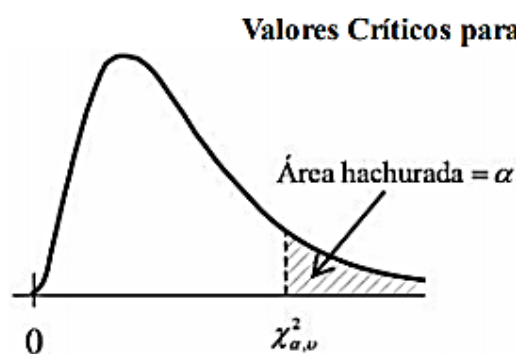
```

505 // Calcula e arredonda o valor do PWM (0 a 255):
    if (cm_median[0][3] <= cm_median[0][4]) {
507         PWM = round(pow(255, (1 - (cm_median[0][3]) * 0.4 /
            (maxDistances[2]))));
509     }
    else {
511         PWM = round(pow(255, (1 - (cm_median[0][4]) * 0.4 /
            (maxDistances[2]))));
513     }
    duty[2][0] = PWM + 15;
515 }
// Obstáculo à direita;
517 if (finds[5] == 1) {
    combo[3] = 1;
519     // Calcula e arredonda o valor do PWM (0 a 255):
    PWM = round(pow(255, (1 - cm_median[0][5] * 0.4 / maxDistances[1])));
521     duty[3][1] = PWM + 15;
    }
523 // Obstáculo abaixo da cintura;
    if (finds[6] == 1 || finds[7] == 1) {
525         combo[4] = 1;
        // Calcula e arredonda o valor do PWM (0 a 255):
527         if (cm_median[0][6] <= cm_median[0][7]) {
            PWM = round(pow(255, (1 - (cm_median[0][6]) * 0.4 /
529                 (maxDistances[3]))));
        }
        else {
531             PWM = round(pow(255, (1 - (cm_median[0][7]) * 0.4 /
533                 (maxDistances[3]))));
        }
535         duty[4][2] = PWM + 15;
        duty[4][3] = PWM + 15;
537     }
    }
539 for (int i = 0; i < NUMCOMBS; i++) {
    for (int j = 0; j < 4; j++) {
541         if (duty[i][j] > 255) {
            duty[i][j] = 255;
543         }
        else if (duty[i][j] < 75) {
545             duty[i][j] = 75;
        }
547     }
    }
549 }

```

Anexos

Valores Críticos para Qui-quadrado



v	α									
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,90	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88
2	0,01	0,02	0,05	0,10	0,21	4,61	5,99	7,38	9,21	10,60
3	0,07	0,11	0,22	0,35	0,58	6,25	7,81	9,35	11,34	12,84
4	0,21	0,30	0,48	0,71	1,06	7,78	9,49	11,14	13,28	14,86
5	0,41	0,55	0,83	1,15	1,61	9,24	11,07	12,83	15,09	16,75
6	0,68	0,87	1,24	1,64	2,20	10,64	12,59	14,45	16,81	18,55
7	0,99	1,24	1,69	2,17	2,83	12,02	14,07	16,01	18,48	20,28
8	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	13,36	15,51	17,53	20,09	21,95
9	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	14,68	16,92	19,02	21,67	23,59

10	2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	15,99	18,31	20,48	23,21	25,19
11	2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	17,28	19,68	21,92	24,73	26,76
12	3,07	3,57	4,40	5,23	6,30	18,55	21,03	23,34	26,22	28,30
13	3,57	4,11	5,01	5,89	7,04	19,81	22,36	24,74	27,69	29,82
14	4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	21,06	23,68	26,12	29,14	31,32
15	4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	22,31	25,00	27,49	30,58	32,80
16	5,14	5,81	6,91	7,96	9,31	23,54	26,30	28,85	32,00	34,27
17	5,70	6,41	7,56	8,67	10,09	24,77	27,59	30,19	33,41	35,72
18	6,26	7,01	8,23	9,39	10,86	25,99	28,87	31,53	34,81	37,16
19	6,84	7,63	8,91	10,12	11,65	27,20	30,14	32,85	36,19	38,58

Figura 57: Valores Críticos para a Distribuição Qui-Quadrado. Fonte: (CHWIF; MEDINA, 2014).

Valores Críticos para Kolmogorov-Smirnov

Valores Críticos para o Teste de Kolmogorov-Smirnov			
<i>n</i>	Nível de significância		
	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
1	0,900	0,975	0,995
2	0,684	0,842	0,929
3	0,565	0,708	0,829
4	0,493	0,624	0,734
5	0,447	0,563	0,669
6	0,410	0,519	0,617
7	0,381	0,483	0,576
8	0,358	0,454	0,542
9	0,339	0,430	0,513
10	0,323	0,409	0,489
11	0,308	0,391	0,468
12	0,296	0,375	0,449
13	0,285	0,361	0,432
14	0,275	0,349	0,418
15	0,266	0,338	0,404
16	0,258	0,327	0,392

17	0,250	0,318	0,381
18	0,244	0,309	0,371
19	0,237	0,301	0,361
20	0,232	0,294	0,352
25	0,208	0,264	0,317
30	0,190	0,242	0,290
35	0,177	0,224	0,269
40	0,165	0,210	0,252
$n > 40$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Figura 58: Valores Críticos para o teste de Kolmogorov-Smirnov. Fonte: (CHWIF; MEDINA, 2014).