

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**GABRIELA CRISTINA ROSS
MATHEUS CARNEIRO DE MATTOS**

**DISPOSITIVO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA PESSOAS COM
DEFICIÊNCIA VISUAL**

CURITIBA

2022

**GABRIELA CRISTINA ROSS
MATHEUS CARNEIRO DE MATTOS**

**DISPOSITIVO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA PESSOAS COM
DEFICIÊNCIA VISUAL**

Assistive Technology Device for Visually Impaired Persons

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

Orientador: Prof. Dr. José Jair Alves Mendes Junior

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

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

**GABRIELA CRISTINA ROSS
MATHEUS CARNEIRO DE MATTOS**

**DISPOSITIVO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA PESSOAS COM
DEFICIÊNCIA VISUAL**

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

Data de aprovação: 28/junho/2022

José Jair Alves Mendes Junior
Título Prof. Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carmen Caroline Rasera
Título Profa. Dra.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Clayton Moura Belo
Título Prof. Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CURITIBA
2022**

Dedicamos este trabalho a todos os nossos
professores, familiares, amigos e colegas de
curso que nos apoiaram nesta difícil etapa da
vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos em primeiro lugar às nossas famílias e amigos por todo o apoio incondicional sempre fornecido e pela presença nos momentos de maior importância.

Agradecemos à Deus, que fez com que nossos objetivos fossem alcançados, durante todos esses anos de estudos.

Gratificamos ao professor José Jair, por ser nosso orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

Reconhecemos a Universidade Tecnológica Federal do Paraná por toda a formação que nos foi passada, essencial ao nosso processo de desenvolvimento profissional. Também pela dedicação, estrutura fornecida durante esse período e por tudo o que aprendemos ao longo dos anos do curso.

Eu não creio que exista algo mais emocionante para o coração humano do que a emoção sentida pelo inventor quando ele vê alguma criação da mente se tornando algo de sucesso. Essas emoções fazem o homem esquecer comida, sono, amigos, amor, tudo. (Nikola Tesla).

Em seu coração, a engenharia é sobre usar a ciência para encontrar soluções criativas e práticas. É uma profissão nobre". (Rainha Elizabeth II).

RESUMO

A partir de uma pesquisa feita sobre acessibilidade, é possível verificar que uma parcela da população brasileira declara ter algum tipo de deficiência visual. Partindo de suportes teóricos embasados em leis, foi notado que muitos instrumentos legais foram elaborados e divulgados para promover a acessibilidades destas pessoas, porém sem ações efetivas que promovessem a real aceitação desses indivíduos na sociedade. Mesmo após anos da criação dessa proteção legislativa, esse grupo ainda se locomove com dificuldades de segurança e autonomia pelas ruas. Pensando nisso e na necessidade de maior inclusão, este trabalho apresenta a construção de um dispositivo de acessibilidade capaz de guiar pessoas com deficiência visual, sendo possível complementar o uso das bengalas e cães-guias. O dispositivo possui sensores laser de distância de alta precisão que emitem um laser invisível a olho nu, que é refletido e retorna, fazendo com que o sensor consiga medir com exatidão o tempo de resposta e, após isso, converta-o para a distância obtida. Deste modo, o dispositivo irá emitir uma vibração em um dos seus pontos, alternando a sua intensidade conforme a leitura da distância do objeto de tal forma a guiar as pessoas com deficiência visual nas suas atividades rotineiras.

Palavras-chave: acessibilidade; sistemas embarcados; pessoas com deficiência visual; sensores.

ABSTRACT

From a research carried out on accessibility, it is possible to verify that a portion of the Brazilian population declares to have some type of visual impairment. Starting from theoretical supports grounded in laws, it was noticed that many legal instruments were designed and disseminated to promote the accessibility of these people, but without effective actions that promoted the real acceptance of these individuals in society. Even after years of the creation of this legislative protection, this group still moves around with difficulties of security and autonomy on the streets. With this in mind and the need for greater inclusion, this work presents the building of an accessibility device capable of guiding visually impaired people, being possible to complement the use of canes and guide dogs. The device has high-precision laser distance sensors that emit a laser invisible to the naked eye, which is reflected and returns, making the sensor able to measure with accuracy the response time and, after that, convert it to the obtained distance. In this way, the device will emit a vibration at one of its points, alternating its intensity as per the distance reading of the object in such a way as to guide people with disabilities vision in your daily activities.

Keywords: accessibility; embedded systems; visually impaired people; sensors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bengala inteligente <i>WeWalk</i>	21
Figura 2 – Diagrama de Blocos Funcionais ESP32.	29
Figura 3 – (a) Comunicação Unidirecional <i>ESP-NOW</i> . (b) Comunicação <i>ESP-NOW</i> entre um <i>ESP</i> mestre e varios <i>ESPs</i> escravos.	31
Figura 4 – (a) Comunicação <i>ESP-NOW</i> entre um <i>ESP</i> escravo e varios <i>ESPs</i> mestres. (b) Comunicação <i>ESP-NOW</i> de duas vias.	31
Figura 5 – Exemplo diagrama I ² C.	32
Figura 6 – Exemplo de condição <i>START</i> e <i>STOP</i>	32
Figura 7 – Exemplo do conjunto básicos do <i>laser</i>	33
Figura 8 – Buzzer ativo e passivo	36
Figura 9 – Diagrama estrutural do dispositivo	41
Figura 10 – Diagrama funcional do dispositivo	42
Figura 11 – Fluxograma funcional do dispositivo.	43
Figura 12 – Esboço de um indivíduo utilizando o dispositivo.	44
Figura 13 – Conceitos de precisão e exatidão.	45
Figura 14 – <i>Datasheet</i> ESP32.	46
Figura 15 – Validação da comunicação entre os <i>ESPs</i> via monitor serial do <i>Arduino</i>	46
Figura 16 – Sensor laser VL53L0X.	47
Figura 17 – Montagem do circuito mestre, com dois lasers VL53L0X.	48
Figura 18 – (a) Validação da leitura da distância de um objeto com os laser VL53L0X. (b) Validação da leitura da distância maior que 901 mm com os lasers VL53L0X.	48
Figura 19 – Motor de vibração 1027.	49
Figura 20 – Montagem do circuito escravo, com três motores de vibração e um <i>buzzer</i>	50
Figura 21 – Validação da leitura da distância com o ESP32 escravo e acionamento dos motores de vibração via monitor serial do <i>Arduino</i>	51
Figura 22 – Vista frontal da haste esquerda.	52
Figura 23 – Vista frontal da haste direita.	52
Figura 24 – Vista frontal da armação do óculos.	53
Figura 25 – Vista superior da armação do óculos.	53
Figura 26 – Vista frontal do verso da armação do óculos.	53

Figura 27 – Vista frontal do pino.	54
Figura 28 – Vista frontal da tampa dos cabos da armação.	54
Figura 29 – Vista frontal da tampa.	54
Figura 30 – Construção final do óculos pelo <i>software Solidworks</i>	55
Figura 31 – Simulação das peças pelo <i>software</i> da impressora 3D.	55
Figura 32 – Peças finalizadas pela impressora 3D.	56
Figura 33 – Suporte da pulseira.	56
Figura 34 – Vista frontal da tampa.	57
Figura 35 – Vista lateral do óculos.	58
Figura 36 – Vista frontal do óculos.	59
Figura 37 – Vista superior do óculos.	59
Figura 38 – Posicionamento dos motores de vibração na pulseira de <i>feedback</i> tátil.	60
Figura 39 – Pulseira de <i>feedback</i> tátil.	61
Figura 40 – Método utilizado para validar os resultados.	62
Figura 41 – Protótipo finalizado.	66
Figura 42 – Representação da utilização do dispositivo.	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Sistemas mais frequentes criados para pessoas com deficiência visual. . .	24
Gráfico 2 – Sensores/Hardware mais utilizados no desenvolvimento de Tecnologia Assistiva (TA).	24
Gráfico 3 – Erros absolutos e seus respectivos desvios padrão para cada uma das distâncias avaliadas para o sensor laser 1.	64
Gráfico 4 – Erros absolutos e seus respectivos desvios padrão para cada uma das distâncias avaliadas para o sensor laser 2.	64
Gráfico 5 – Frequência de ocorrência do erro absoluto.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Artigos analisados.	25
Tabela 2 – Acurácia sensor VL53L0X.	45
Tabela 3 – Custo.	57
Tabela 4 – Distância média obtida.	62
Tabela 5 – Erro absoluto das distâncias.	63
Tabela 6 – Desvio padrão das distâncias.	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas

μ C	Microcontrolador
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
EPROM	<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
I ² C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
ROM	<i>Read Only Memory</i>
AP	<i>Access Point</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CAA	Comunicação Aumentativa e Alternativa
CC	Corrente Contínua
ERM	<i>Eccentric Rotating Mass</i>
IoT	Internet da Coisas
LBI	Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência
ONU	Organização das Nações Unidas
P2P	<i>Peer to Peer</i>
PR	<i>Prototipagem rápida</i>
PROM	<i>Programmable Read Only Memory</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
SCL	<i>Serial clock</i>
SDA	<i>Serial data</i>
SNDPD	Secretaria Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência

SO	Sistema Operacional
SoC	<i>System on Chip</i>
SPAD	<i>Single-Photon Avalanche Diode</i>
STA	<i>Station</i>
TA	Tecnologia Assistiva
ToF	<i>Time-of-Flight</i>
Vcc	Tensão em corrente contínua

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Tema da pesquisa	18
1.2	Problema	18
1.3	Hipótese	19
1.4	Objetivos	19
1.4.1	Objetivo geral	19
1.4.2	Objetivos específicos	19
1.5	Justificativa	20
1.6	Método da pesquisa	22
1.7	Estado da Arte	23
1.8	Organização do trabalho	26
2	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	Microcontroladores	27
2.1.1	ESP32	28
2.2	Meios de comunicação entre ESPs32	29
2.2.1	ESP-NOW	30
2.3	Comunicação I ² C	31
2.4	Laser	33
2.4.1	Funcionamento do sensor <i>laser</i>	33
2.4.2	Cálculo da distância via <i>laser</i>	34
2.5	Biofeedback	35
2.5.1	Motor de vibração	35
2.5.2	Buzzer	35
2.6	Manufatura aditiva	36
2.6.1	Impressão 3D	37
3	METODOLOGIA	38
3.1	Materiais	38
3.2	Estudo dos dispositivos eletrônicos envolvidos no protótipo	38
3.3	Desenvolvimento do <i>Hardware</i>	38
3.4	Desenvolvimento do algoritmo do <i>laser</i>	38

3.5	Parametrização do <i>laser</i>	39
3.6	Teste de funcionalidade do algoritmo do <i>laser</i>	39
3.7	Desenvolvimento do algoritmo do <i>vibracall</i>	39
3.8	Teste de funcionalidade do algoritmo do <i>vibracall</i>	39
3.9	Teste de integração dos algoritmos	39
3.10	Montagem do dispositivo	40
3.11	Testes de validação	40
4	DESENVOLVIMENTO	41
4.1	Precisão e exatidão	44
4.2	Comunicação entre ESPs	45
4.3	Laser VL53L0X	46
4.4	Motor de vibração 1027	49
4.5	Construção do Protótipo	51
4.6	Custos	57
5	RESULTADOS	58
6	CONCLUSÃO	67
6.1	Trabalhos Futuros	68
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Biomédica é um ramo que alia preceitos das Ciências Exatas e Ciências Biológicas para tratamentos, terapias, diagnósticos de doenças e deficiências (LOPES, 2019) e, dentre a vasta gama de subcampos, encontra-se a Engenharia de Reabilitação e Tecnologias Assistivas. No Brasil, foi-se consignado na Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (LBI), Lei nº 13.146 (BRASIL, 2015), também conhecida como Estatuto da Pessoa com Deficiência, o conceito legal de tecnologia assistiva, que se define como os produtos, serviços e metodologias que tem como objetivo promover a atividade independente, qualidade de vida e inclusão social de pessoas com deficiência. Ou seja, é a aplicação das ciências, tecnologias e práticas voltadas a facilitar a participação do público que possui algum tipo de dificuldade, compreendendo desde deficiências genéticas, acidentes de saúde, doenças degenerativas, incluindo a própria população idosa (GARCÍA; BRASIL, 2017).

A tecnologia assistiva busca o aprimoramento e a criação de diferentes aparelhos e procedimentos para o grupo-alvo portador de deficiência física, visando a ampliação de seu padrão de vida e reintrodução na comunidade. Assim, tem-se o campo de estudo da acessibilidade, que ganhou destaque nos últimos anos, principalmente após a criação das exigências da NBR 9050 (ABNT, 2004). Essa normativa trata dos requisitos para alguns equipamentos essenciais em estabelecimentos públicos e privados, além de normas para ruas e calçadas, e foi recentemente atualizada ampliando o conceito de mobilidade reduzida também para gestantes, idosos e obesos.

A deficiência, em sua classificação, partiu de uma ideologia principalmente médica, entendendo-a como uma restrição do ser humano, para uma convicção coletiva e mais extensiva, que a assimila como consequência das fraquezas e condições da estrutura física, mas também leva em consideração alguns fatores ambientais e comunitários (MAIA, 2013).

No Brasil, tem-se que dentre 23,9% dos indivíduos da população brasileira que declararam ter algum tipo de deficiência, 18,8% possuem alguma deficiência visual. De acordo com o Censo do IBGE (2010), mais de 45 milhões de pessoas apresentavam algum tipo de deficiência, sendo cerca de 29 milhões com alguma dificuldade de visão, 6 milhões com dificuldade visual severa e 500 mil pessoas incapazes de enxergar de forma alguma, ou seja, eram totalmente cegas.

É por meio da visão que o ser humano é capaz de reconhecer objetos, bem como distinguir cores, formas, tamanhos e se situar da sua distância em relação às pessoas e objetos, ou seja, a visão apresenta-se como um sentido expressivo na captação de estímulos e projeções espaciais, facilitando a relação em sociedade (ALMEIDA; LOCH, 2005). Apesar da evolução da ciência, tecnologia, e todos os dispositivos criados, nenhum deles conseguiu superar os olhos dos seres humanos em sua sinergia com o próprio corpo. Diante dessa evolução tecnológica e demanda atual da sociedade, além da iniciativa privada investir em soluções específicas para a pesquisa, produção e comercialização dos equipamentos assistivos, tem-se algumas frentes

públicas, por meio de políticas específicas que visam dar suporte e incentivo a órgãos, instituições e mesmo empresas privadas para a promoção da integração dessas pessoas na sociedade, como por exemplo a Lei nº 7.853 (BRASIL, 1989), que dispõe sobre o apoio às pessoas portadoras de deficiência.

O governo brasileiro possui um departamento dentro do Ministério da Mulher, da Família e dos Direitos Humanos, chamado de Secretaria Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência (SNDPD), que se dedica às pessoas com deficiência, desenvolvendo e implementando políticas para garantir sua inclusão na sociedade e igualdade de acesso às oportunidades (BRASIL, 2022). Dentre as atribuições da SNDPD, a secretaria: coordena assuntos e ações governamentais, inclusive de prevenção e eliminação de todas as formas de discriminação, propiciando sua plena inclusão na sociedade; e gerencia, orienta e acompanha as medidas envolvendo a defesa das diretrizes da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, promulgada pelo Decreto nº 6.949/2009 (BRASIL, 2009), mediante o desenvolvimento de políticas públicas.

O tema é evidentemente relevante para a humanidade, inclusive para o Brasil, tanto que o trouxe expressamente previsto na própria Constituição da República Federativa do Brasil (BRASIL, 1988), com diferentes garantias às pessoas com deficiência, como a não discriminação (artigo 7º, inciso XXXI), o direito à seguridade social (artigo 204, inciso V), a inclusão social (artigo 208, inciso III), e a garantia de assistência social (artigo 203, inciso IV). Ainda, prevê que a responsabilidade de legislar a respeito das garantias e inclusão social das pessoas com deficiência é da União, conforme o artigo 23, inciso XIV, todos da própria Constituição.

Sobre a importância do tema em um cenário global, diversos tratados internacionais da Organização das Nações Unidas (ONU) e outras instituições já foram observadas pelo Brasil, seja pela manifestação do consentimento, validação, ou a própria incorporação como emenda à Constituição. A respeito dessa última possibilidade, a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência é o único tratado assinado e efetivamente ratificado pelo Brasil, que passou pelo trâmite legislativo, ganhando força e forma de emenda constitucional, promulgada pelo Decreto 6.949/2009, mencionado anteriormente.

Apesar da importância pública, formal e democraticamente reconhecida, e com a criação de diversas políticas, incentivos e demais questões que visam amparar a vida dessas pessoas, inclusive aquelas com deficiência visual, há uma série de obstáculos práticos que continuam enfrentando diariamente no seu deslocamento, mesmo com a ajuda de ferramentas assistivas como a bengala (também conhecida como bastão de *Hoover*) e o cão-guia, por exemplo. Para essas pessoas, a sua comutação torna-se uma experiência de aprendizado contínuo sobre seu próprio corpo e suas interações com outros objetos do ambiente, e essa curva de aprendizado, inclusive na adaptação com as ferramentas assistivas, pode ser aprimorada trazendo segurança e conforto aos usuários (BERSCH, 2009).

Em harmonia com exposto, este projeto tem como objetivo a criação de um dispositivo de tecnologia assistiva incorporado às ferramentas que promovem a acessibilidade que podem adquirir novas nomenclaturas, dentre elas: equipamentos adaptados, recursos tecnoló-

gicos adaptados, atividade motora adaptada e ajudas técnicas (ARRUDA, 2008). Portanto, esta tecnologia assistiva pretende auxiliar na mobilidade dessas pessoas, possibilitando maior autonomia de locomoção em todos os ambientes, sejam internos como cômodos de uma residência, mercados, shoppings, e externos, como calçadas, parques, praias e florestas. Essa tecnologia assistiva consiste em um par de óculos e uma pulseira que serão capazes de guiar pessoas com deficiência visual, complementando o uso das bengalas e cães-guias, especialmente pela limitação de detecção de obstáculos acima da linha da cintura.

O dispositivo é equipado com dois microcontroladores, sendo um localizado nos próprios óculos e o outro na pulseira. Os óculos possuem dois sensores de distância que atuam por meio de um *laser* de alta precisão emitindo um feixe contínuo de fótons, regulado para se comportar de forma invisível a olho nu. Este feixe luminoso é refletido e retorna ao sensor, fazendo com que ele consiga medir o tempo de resposta e, após isso, converta-o para uma unidade de distância. Deste modo, o dispositivo irá vibrar em um dos seus três pontos estrategicamente localizados na pulseira, alternando a sua intensidade e posicionamento conforme a leitura da distância e localização do objeto em relação ao usuário. Quanto maior distância entre o dispositivo e o objeto, menor a amplitude e a frequência da vibração nos pontos da pulseira, aumentando a intensidade, à medida que objetos ficam mais próximos do portador de deficiência visual, permitindo-lhe mais dinâmica com o meio físico, facilitando sua locomoção e melhor desenvolvimento das atividades diárias.

1.1 Tema da pesquisa

Equipamento assistivo contendo um par de óculos e uma pulseira para auxiliar na locomoção de pessoas com deficiência visual, por meio de *lasers* acoplados aos óculos que farão a captação do retorno do feixe emitido convertendo-o em unidades de distância em relação aos objetos no ambiente. Os *feedbacks* dessa distância serão sinalizados ao usuário por meio da pulseira contendo motores de vibração localizados em pontos específicos cuja intensidade irá variar conforme tal distância entre o usuário e o objeto.

1.2 Problema

Esta pesquisa aborda questões envolvendo o desenvolvimento de um aparelho assistivo que visa auxiliar os deficientes visuais em sua inclusão na sociedade, conciliando os conceitos científicos e biológicos que se encontram perante essa questão social.

No desenvolvimento deste trabalho, abordam-se questões acerca de indivíduos com deficiência visual e suas dificuldades de locomoção, bem como as adversidades no atendimento dos seus direitos previstos nas legislações, como por exemplo a Lei nº 13.146 (BRASIL, 2015), chamada de Estatuto da Pessoa com Deficiência, além de destacar a necessidade do aumento

da inserção dessas pessoas na sociedade, mostrando os avanços tecnológicos e a preocupação com esses cidadãos.

Vista esta indagação, e pretendendo trazer novos conhecimentos e provocações ao meio acadêmico, o problema fundamentador foi solucionar a seguinte questão: como é possível colaborar com as pessoas que possuem algum tipo de deficiência visual e suas limitações de locomoção em diversos tipos de ambiente, levando em consideração as peculiaridades da incapacidade específica, e as ferramentas e equipamentos que já são utilizados para este fim?

1.3 Hipótese

Ao desfecho deste trabalho, pretende-se desenvolver um dispositivo que auxilie na locomoção de deficientes visuais, através da aferição de distâncias dos objetos realizada por *lasers* acoplados, com retorno tátil mediante um dispositivo secundário que fará o uso de motores de vibração para propiciar ao usuário qualidade nas informações adquiridas sobre o ambiente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste projeto é o desenvolvimento de um dispositivo de acessibilidade com uma alta precisão que seja capaz de auxiliar e guiar pessoas com deficiência visual.

1.4.2 Objetivos específicos

- Desenvolver o *hardware* para gerenciar a emissão do *laser* e o funcionamento do *vibracall*, além de promover a interface com o usuário;
- Criar um algoritmo *laser* que terá a função de interpretação dos sinais e de convertê-los para um sinal tátil que indique a distância do objeto ao usuário;
- Desenvolver um algoritmo que fará o controle dos sensores *vibracall*, emitindo uma vibração em um dos seus pontos, alternando a sua intensidade conforme a leitura dos dados processados pelo microcontrolador;
- Projetar um aparato que irá conter o *hardware*, para sua usabilidade;
- Montar o protótipo do dispositivo para realização de testes de eficácia.

1.5 Justificativa

Facilitar a locomoção de pessoas com deficiência visual, promovendo a acessibilidade e maior integração deste grupo na sociedade, questão esta que está preconizada na Lei de nº 10.098 (BRASIL, 2000), e regulamentada pelo Decreto no 5.296/2004 (BRASIL, 2004), porém não atendida na grande maioria dos espaços públicos, fazendo com que este público ainda viva os transtornos e as dificuldades de se locomover com segurança e autonomia.

Segundo o Instituto Benjamin Constant (IBC, 2019), tem-se que a deficiência visual é considerada a perda ou redução de capacidade visual nos dois olhos de modo definitivo, que não tenha a possibilidade de ser melhorada ou reparada com o uso de lentes, tratamento clínico ou por meio de cirurgia. Além disso, existem indivíduos com baixa visão, cujas limitações variam com outras condições, por exemplo: fusão, visão cromática, adaptação ao claro e escuro, sensibilidades a contrastes, entre outros.

O dispositivo pretendido tem como objetivo complementar os meios facilitadores já existentes utilizados por esse grupo de pessoas, como cães guias e bengalas, possibilitando o usuário a detectar objetos ao seu redor com maior facilidade e precisão, fazendo com que esse grupo de pessoas tenha uma maior segurança e confiança para realizar suas atividades rotineiras e, assim, sintam-se mais inseridos na sociedade. Muitas tecnologias vêm sendo desenvolvidas e pesquisadas com o intuito de auxiliar os deficientes visuais, de modo a melhorar sua locomoção e inclusão social, evidenciando a pertinência do tema em relação à consciência de inclusão atual.

Pode-se definir tecnologia assistiva, segundo Bersch (2017), como um novo termo utilizado para se identificar todo o arsenal de artifícios e atividades que proporcionam ou amplificam as habilidades funcionais dos deficientes, promovendo a sua independência e inclusão social. Nos Estados Unidos da América - EUA, o termo foi definido em 1988, através de uma lei pública (*Technology-Related Assistance for Individuals with Disabilities Act - Public 100-407*), como qualquer item, equipamento ou sistema de produtos, quando adquiridos comercialmente, modificados, ou feitos sob medida, que é usado para aumentar ou melhorar as habilidades funcionais do indivíduo com limitações funcionais. Ou seja, conforme a pesquisadora Maria Aparecida Ferreira de Mello (MELLO, 1999) em conclusão à definição trazida pela lei americana, a tecnologia é considerada assistiva quando utilizada para ajudar no desempenho funcional de atividades, reduzindo a incapacidade para realização de atividades da vida diária e da vida prática, nos diversos domínios do cotidiano.

Em consonância com essas definições, a LBI, conforme mencionada anteriormente, caracteriza a tecnologia assistiva, também legalmente denominada como 'ajuda técnica', como os produtos, estratégias e serviços que promovam a funcionalidade relacionada à atividade e participação da pessoa com deficiência visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. A evolução da tecnologia assistiva ocorre de maneira contínua, concretizando-

se em diversas ferramentas e soluções que atendem ao público-alvo a que se direcionam, e tem o objetivo de melhorar as condições e qualidade de vida desses indivíduos.

Em relação às tecnologias assistivas existentes e prototipadas no mercado, no caso dos portadores de deficiência visual, algumas das soluções incluem, por exemplo, a automação de casas controladas por reconhecimento de voz, como os sistemas da Apple (APPLE, 2022) e da Amazon (AMAZON, 2022), ou os *softwares* que fazem leituras de telas e possibilitam a utilização de computadores e outros programas digitais, como o Virtual Vision (MICROPOWER, 2022) e o NVDA (CURRAN; TEH, 2006). A inovação e criação de produtos assistivos são direcionados à utilização de meios que aproveitem os demais sentidos das pessoas com deficiência para que possam tornar as dificuldades cotidianas superáveis, em um primeiro momento, e até extintas, como objetivo ideal, minimizando sua exclusão social (SOARES, 2013). A evolução dessas ferramentas consiste na maior integração tecnológica com outros produtos e serviços, se aproveitando do reconhecimento da fala para a comunicação com terceiros ou mesmo a utilização de um *software*, sendo que a própria integração mencionada é o que diferencia a usabilidade de um sistema como esses, otimizando e viabilizando, sem demasiado atrito, seu uso pela pessoa com deficiência.

Objetiva-se um equipamento com um custo inicial mais baixo do que os existentes no atual mercado, visto que dispositivos eletrônicos e altamente tecnológicos disponíveis para este nicho possuem uma precificação elevada, como a bengala inteligente *WeWalk* (Figura 1), que é capaz de fazer a sincronização com celular e possui integração com diversos recursos, por exemplo: conexão com a internet, *Google Maps* e assistente de voz. Este equipamento possui sensores ultrassônicos localizados acima do nível do peito e alerta com vibração (WEWALK, 2017).

Figura 1 – Bengala inteligente *WeWalk*



Fonte: (WEWALK, 2017).

O dispositivo proposto irá oferecer uma maior autonomia e praticidade para os seus usuários, pois suas mãos ficarão livres para uso, seja na utilização conjunta com outra ferramenta assistiva, seja para a própria utilização nas tarefas comuns do dia. Ele utiliza sensores *lasers*, o que garante precisão na detecção de objetos grandes e pequenos, além de sensores *vibracall* que irão ficar em pontos estratégicos para melhorar a experiência do usuário e passar maior confiança sobre a localização dos objetos, reduzindo os casos de acidente ou impacto com obstáculos. Para cobrir alguns pontos frágeis e não assistidos pelas ferramentas assistivas

majoritariamente utilizadas pelos deficientes visuais, a solução proposta opta por identificar obstáculos acima da linha da cintura, o que não é possível com o tradicional bastão de *Hoover*, e de realizado forma precária no uso do cão-guia, por exemplo. Ainda, visando não obstruir outros sentidos humanos utilizados para localização e interação, como a própria audição, em qualquer nível, a opção foi pela utilização dos sensores *laser*, e o retorno tátil por meio de motores vibratórios localizados no pulso do usuário.

1.6 Método da pesquisa

O desenvolvimento deste trabalho foi mediante a pesquisa exploratória, sendo ela tipificada por meio de análises quali-quantitativas, consentindo uma verificação de informações para pautar diretrizes, além de arraigar as indagações e adversidades singulares do dispositivo em análise. O estudo científico em questão é passível de ser classificado, no que se refere a análise do assunto, como quali-quantitativo, modalidade que:

"Interpreta as informações quantitativas por meio de símbolos numéricos e os dados qualitativos mediante a observação, a interação participativa e a interpretação do discurso dos sujeitos (semântica) (KNECHTEL, 2014)."

Um dos procedimentos de pesquisa foi o estudo de caso, através do qual é possível compreender diferentes perspectivas do usuário em questão, analisar a sua conduta, costumes e adversidades vivenciadas no cotidiano, buscando assimilar os diferentes aspectos dos indivíduos analisados. Segundo (GIL, 2008), o estudo de caso consiste no estudo profundo e exaustivo de um poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento.

Alguns panoramas significativos que precisam ser elaborados para a dissertação são as amostras dos dados a serem considerados, a forma de verificação das informações, o limiar de erro e os processos de seleção do público alvo. Assim, pode-se fazer uso da pesquisa descritiva quantitativa, pois ela tem como intuito a identificação do perfil dos usuários do artefato em estudo.

Por meio de pesquisas bibliográficas, torna-se possível a análise de perspectivas e propensões das pessoas sobre o dispositivo a ser elaborado, tendo como objetivo a tomada de decisões sobre seu desenvolvimento, levando sempre em consideração os motivos e pretextos que levam o usuário a fazer alguma escolha. Deste modo, pode ser realizada uma análise baseando-se em parâmetros das escolhas já realizadas por esse público em situações semelhantes para dar-se prosseguimento na desenvolvimento do projeto. Estes estudos são o suporte de fundamentação teórica para o progresso do trabalho. Ademais, foi pesquisada uma identificação de panoramas relevantes sobre a dificuldade de locomoção dos indivíduos em questão desta dissertação.

Assim sendo, nesta abordagem da pesquisa há uma estruturação do objeto de estudo, análise de dados, além de uma inspeção de amostras e o confrontamento de conclusões para que o desenvolvimento do projeto seja realizado com embasamento social e científico.

1.7 Estado da Arte

Este trabalho visa utilizar os conceitos observados e os estudos empregados no desenvolvimento de um dispositivo de acessibilidade de locomoção para deficientes visuais e é de suma relevância analisar o estado da arte, correspondendo à uma avaliação sobre o que já foi realizado nessa área, além de averiguar os progressos científicos.

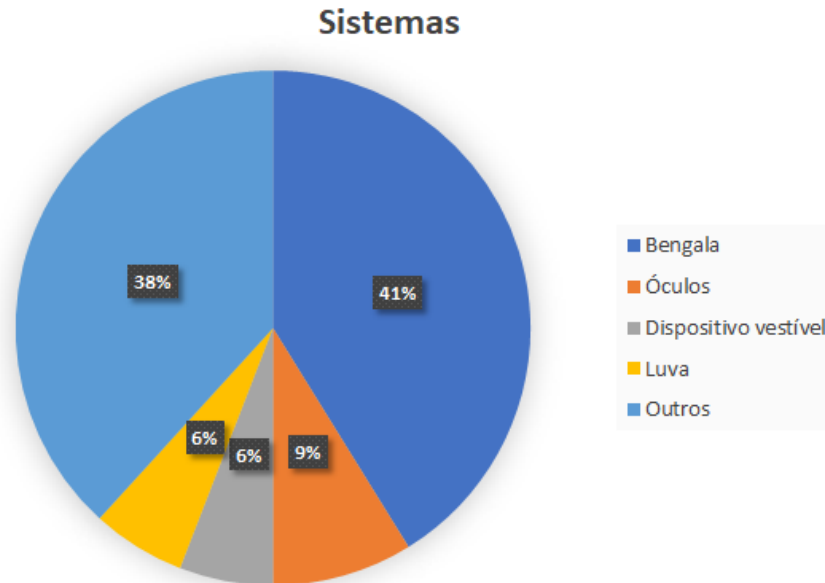
Um deficiente visual faz a utilização de seus outros sentidos como auxílio de sua locomoção, tal qual a audição para atravessar uma rua, identificar pessoas, além da utilização do tato em ambientes fechados para verificar a existência de objetos próximos e detectar sua natureza, a fim de evitar uma colisão indesejada ou até executar uma tarefa específica. Para facilitar a movimentação desses indivíduos, transformando-os em mais independentes, existem diversos dispositivos e equipamentos para os assessorar.

Sabe-se que a criação desses aparatos de auxílio aos cegos são relativamente novas se comparadas à história da humanidade. Foram registradas somente no século XX tentativas concretas para descobrir um meio seguro e eficiente para locomoção dos deficientes visuais. Em 1930, o *Lions Club Peoria Illinois* (EUA), apresentou uma proposta lei que foi nomeada Lei da Bengala Branca. Essa lei dava preferência no trânsito as pessoas com deficiência visual que conduzissem uma bengala branca. No ano de 1931, em uma reunião no *Lions Club* de Toronto (Canadá), se determinou a data de 15 de outubro como "Dia Mundial da Bengala Branca", que passou a disseminar a lei internacionalmente, reafirmando a importância do tema. Mais tarde, em 1945, o exército americano sentia-se passivo e impotente perante os soldados que tiveram sua visão debilitada ou até cessada durante guerra, o que levou a 2.358 recrutas receberem pensão do governo. Assim, o Primeiro Tenente Oftalmologista Richard Hoover, juntamente de sua equipe, propôs estudar e tratar o problema da cegueira, criando um modo inovador de locomoção. Ele elaborou um utensílio que recordava um bastão, mas com funcionalidades, materiais e comprimento diferentes, chamada bengala. Esta técnica obteve um grande sucesso, originando um sistema de reconhecimento para ser executado com o toque da ponta da bengala, que propagaria todas as sensações táteis identificadas por ela e transmitidas mecanicamente ao tato do usuário, ou seja, diferentes solos, elevações e materiais poderiam ser identificados. Terminada a primeira etapa em 1948, o projeto foi estendido aos demais soldados cegos e, vendo o interesse da sociedade e familiares, difundiu-se a todos os interessados a técnica da bengala longa. Por fim, em 1957, Joseph Albert Apenjo, enviado pela ONU, propagou as técnicas de orientação e mobilidade ao primeiro grupo de profissionais interessados no assunto no Brasil (MELO, 1991).

Assim, partindo do princípio da criação desses utensílios, tem-se as inovações tecnológicas atuais. Uma pesquisa de artigos acadêmicos foi realizada para verificar quais os tipos de sistemas mais frequentes que estão sendo criados para esse público, além de verificar quais os sensores e hardwares foram utilizados para desenvolvê-los. Dentre os diversos estudos e

dispositivos analisados, foi constatado que a maioria se tratava de reinvenções de bengalas, adicionando novos recursos. Esses dados podem ser visualizados no Gráfico 1.

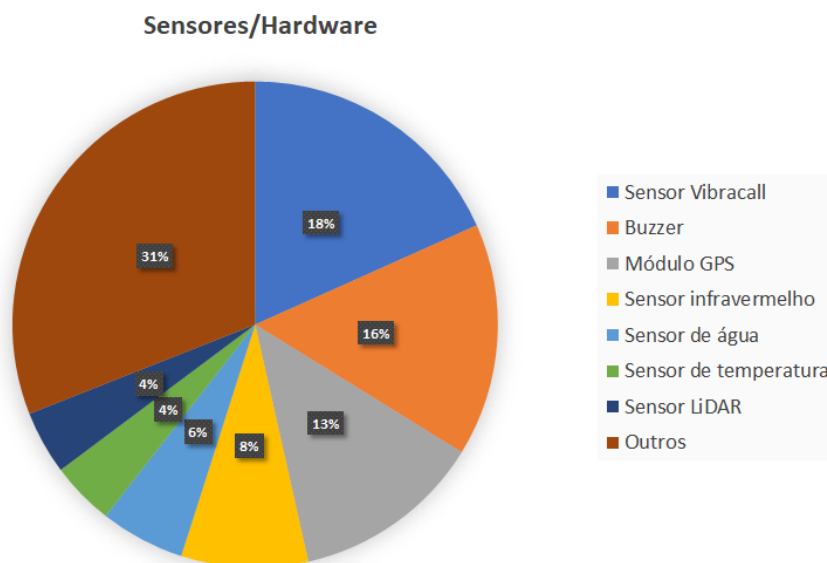
Gráfico 1 – Sistemas mais frequentes criados para pessoas com deficiência visual.



Fonte: Autoria própria.

Tanto os sistemas quanto os sensores e *hardware* constituídos foram examinados, sendo que as tecnologias mais frequentes encontradas neste dispositivo foram sensores de vibração, *buzzers* e módulos GPS. Essas informações podem ser observadas no gráfico compilado (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Sensores/Hardware mais utilizados no desenvolvimento de TA.



Fonte: Autoria própria.

Os artigos analisados estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Artigos analisados.

Autores/Ano	Sistemas	Sensores/Hardware
Nada, Fakhr e Seddik (2015)	Bengala	Sensor infravermelho
Harsur. e M. (2015)	Dispositivo vestível	Módulo GPS, sensor ultrassônico, buzzer
Pereira <i>et al.</i> (2015)	Dispositivo vestível como jaqueta e joelheiras (elastic bands)	Sensor ultrassônico
Cardillo <i>et al.</i> (2018)	Bengala	Sensor eletromagnético
Chen <i>et al.</i> (2019)	Óculos, bengala	Sensor Infravermelho no óculos. Módulo GPS, Sensor MPU e Sensor Vibracall na bengala
Dey <i>et al.</i> (2018)	Bengala	Módulo GPS, Sensor ultrassônicos, Buzzer
Daudpota <i>et al.</i> (2017)	Bengala	Sensor ultrassônico, Sensor Vibracall, Buzzer
Agrawal e Gupta (2018)	Bengala	Sensor de água, Sensor ultrassônico, Módulo RF, Módulo GPS, Sensor Vibracall, Buzzer
Sharma <i>et al.</i> (2017)	Bengala	Sensor ultrassônico, Sensor infravermelho, Sensor Vibracall, Sensor de água
Budilaksono <i>et al.</i> (2020)	Bengala	Sensor ultrassônico
Fathoni <i>et al.</i> (2020)	Dispenser de água para cegos	Sensor de temperatura, Módulo RF e Sensor ultrassônico
Desmira <i>et al.</i> (2020)	Luva	Sensor ultrassônico, Sensor de temperatura, buzzer, sensor vibracall
Tullah <i>et al.</i> (2020)	Bengala	Sensor ultrassônico, Sensor de água, buzzer
Kalpana <i>et al.</i> (2020)	Robô cachorro	Bluetooth, Sensor LiDAR, sensor temperatura
Rozali <i>et al.</i> (2021)	Luvas	Sensor ultrassônico, Sensor Vibracall
Kunta, Tuniki e Sairam (2020)	Bengala	Sensor ultrassônico, Sensor de umidade, Sensor infravermelho, buzzer, Sensor Vibracall, Módulo GPS
Aravinth (2020)	Bengala	Sensor ultrassônico, buzzer, módulo GPS, sensor vibracall, Bluetooth
More, Raut e Waghmode (2021)	Bengala	Sensor ultrassônico, sensor de água, sensor de calor, módulo GPS, módulo de comando de voz, sensor vibracall
V <i>et al.</i> (2021)	Leitor de etiquetas por meio de câmera	Sensor ultrassônico, módulo GPS, sensor MEMs
Kuribayashi <i>et al.</i> (2021)	Detector de fila por meio de smartphone	Sensor infravermelho, Sensor LiDAR, imagem RGB, rastreadores de movimento
Kamarudin <i>et al.</i> (2021)	Cinto tátil	Sensor ultrassônico
Nurfadilah <i>et al.</i> (2019)	Detector de dinheiro com sensor LDR	Sensor LDR
Iswahyudi, Anam e Sujarnarko (2020)	Desenvolvimento de <i>software</i> para identificar objetos	Câmeras, microfone e alto falante
He <i>et al.</i> (2020)	Prótese retinal Argus II	Câmera Argus, Câmera termica
Chen, Wang e Lin (2020)	Sistema de auxílio de navegação	Sensor LiDAR, <i>laser</i> , IMU, câmera RGDB

(continua)

Tabela 1 – Artigos analisados.

(continuação)

Autores/Ano	Sistemas	Sensores/Hardware
Pessoa, Rabelo e Jimenez (2021)	Bracelete detector de obstáculos	Sensor ultrassônico, buzzer, sensor vibracall
Costa <i>et al.</i> (2020)	Bengala	Sensor ultrassônico, buzzer
Martins <i>et al.</i> (2021)	Dispositivo de navegação e locomoção por meio de aplicativos e API	Sensor vibracall
Melo <i>et al.</i> (2021)	Tornozeleira sensorial inteligente	Sensor Ultrassônico, sensor vibracall
Inácio e Raphael (2021)	Bengala	Sensor ultrassônico, buzzer, sensor vibracall

Fonte: Autoria própria

Em vista das análises realizadas nos diversos trabalhos, o desenvolvimento do óculos em conjunto com a pulseira para geração do *feedback* foi o escolhido. Um dos motivos foi a decisão de escolher um dispositivo que não atrapalhasse nenhum dos outros sentidos do deficiente visual, que são de extrema importância e, por isso, a opção de não utilizar sensores ultrassônicos e nem algo que cobrisse as mãos, como uma luva, uma vez que iria interferir no tato do usuário, dificultaria a identificação dos objetos por meio desse sentido.

1.8 Organização do trabalho

A Revisão da literatura é apresentada a seguir, com o objetivo de fornecer uma fundamentação teórica para o funcionamento dos materiais periféricos e tecnologias utilizadas no ambiente de trabalho. No capítulo chamado Metodologia, descreve-se o projeto sob diversas perspectivas, incluindo estrutura física (*hardware*) e digital (*software*). Em Desenvolvimento tem-se toda a descrição detalhada da elaboração do dispositivo. Por fim, o capítulo Resultados apresenta a apuração e valoração dos dados provenientes do desenvolvimento, enquanto a Conclusão destaca seu desfecho, a validação do equipamento, principais contribuições do trabalho, além dos aspectos de melhoria possíveis para aperfeiçoamento da ferramenta assistiva proposta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A TA se refere ao avanço tecnológico de várias áreas de especialização e pesquisa que interagem para restaurar a função humana. Utilizando equipamentos, recursos ou estratégias para potencializar ou ampliar as habilidades funcionais das pessoas com deficiência e consequentemente promover vida independente e inclusão (BERSCH, 2017). O principal objetivo da TA é desenvolver recursos, dispositivos e serviços que proporcionam à pessoa com deficiência maior autonomia e independência, qualidade de vida e inclusão social.

Por conseguinte, a TA pode ser classificada, conforme os objetivos funcionais a que se destinam, como auxílios para a vida diária e vida prática, em que são desenvolvidos materiais e produtos os quais favorecem o desempenho autônomo e independente em tarefas rotineiras, assim como a Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA), que é destinada a pessoas sem fala ou escrita funcional. Portanto, o dispositivo desenvolvido neste projeto se encaixa na classificação de auxílios de mobilidade, onde se refere à equipamentos ou estratégias utilizadas na melhoria da mobilidade pessoal.

Este capítulo tem como finalidade apresentar toda a revisão literária dos principais conceitos e materiais aplicados na construção do projeto, bem como todos os módulos de *hardware* e *software* utilizados, além de suas características e funcionalidades. Como resultado, os seguintes tópicos foram considerados necessários: Microcontroladores (Seção 2.1), Meios de comunicação entre ESPs32 (Seção 2.2), Comunicação I²C (Seção 2.3), *Laser* (Seção 2.4), *Biofeedback* (Seção 2.5) e Manufatura aditiva (Seção 2.6).

2.1 Microcontroladores

Um microcontrolador é um pequeno dispositivo de baixo custo projetado para realizar tarefas específicas para sistemas embarcados (KERSCHBAUMER, 2018). Ele é otimizado para aplicações que exigem funcionalidade de processamento e comunicação rápida e responsiva com componentes digitais, analógicos ou eletromecânicos, ou então oferece muita versatilidade para a mais ampla gama de dispositivos automatizados.

O *hardware* do Microcontrolador (μ C) normalmente consiste em uma ou mais CPUs, ou unidades de processamento, juntamente com um dispositivo de memória como *Random Access Memory (RAM)*, *Read Only Memory (ROM)* ou *Erasable Programmable Read-Only Memory (EPROM)*, portas seriais e periféricos *Input/Output (I/O)* que podem ser programados em um único chip (EL-SABA, 2017).

Resumidamente, os microcontroladores são pequenos computadores pessoais (PCs) projetados para controlar pequenos recursos de um componente maior, apresentando um Sistema Operacional (SO) de *front-end* simplificado e de fácil manejo. Por terem tamanhos e custo reduzidos em relação a um projeto que utiliza um microprocessador, memória e dispositivos

de *I/O* separadamente, os μC são economicamente vantajosos para fazer o controle de um equipamento ou uma operação (NICOLOSI, 2009).

Um microcontrolador apresenta internamente como seus principais elementos de *hardware* (PENIDO; TRINDADE, 2013; KERSCHBAUMER, 2018):

- O processador (*CPU*): é o principal item computacional do microcontrolador, cuja finalidade pode ser descrita como a interpretação das orientações geradas pelos programas.
- Memória *Programmable Read Only Memory* (PROM): armazena as informações dos programas a longo prazo, sem a necessidade de uma fonte de alimentação.
- Memória *RAM*: utilizada para o armazenamento temporário das informações enquanto as instruções estão sendo executadas.
- Dispositivos auxiliares ao funcionamento: geradores de *clock*, contadores, *USART*, etc.
- Periféricos de *I/O*: por onde são realizadas as comunicações com os dispositivos externos, de modo a receber as informações geradas pelos sensores, interruptores e circuitos conectados à placa;
- Porta serial: permite que o microcontrolador se conecte a componentes externos.
- Conversor Analógico para Digital (*ADC*): circuito que converte sinais analógicos em digitais, ou seja, permite que o processador faça a interface com dispositivos analógicos externos.
- Conversor Digital para Analógico (*DAC*): executa a função inversa de um *ADC*, permitindo que o processador comunique seus sinais de saída para componentes analógicos externos.
- Barramento do sistema: fio de conexão unificador de todos os componentes do microcontrolador.

2.1.1 ESP32

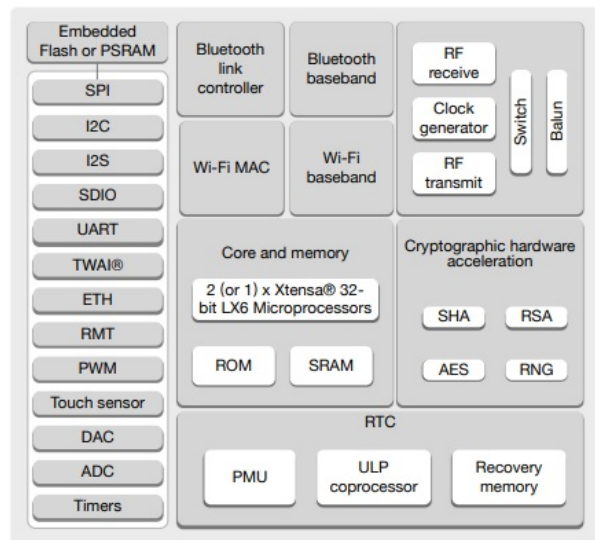
O microcontrolador *System on Chip* (SoC) ESP32 foi criado no ano de 2017 pela empresa *Espressif Systems* (ESP32 SOSC, 2022), sucedendo do *ESP8266*. Ele possui *WiFi* 802.11 integrado, além de *Bluetooth* 4.2 e diversos periféricos. Foi desenvolvido para ser utilizado por dispositivos eletrônicos móveis, incluindo os vestíveis como *smartwatches*, cintos e pulseiras, e que atuem, inclusive, com aplicativos de Internet da Coisas (IoT).

O ESP32 possui dois núcleos de CPU, que podem ser controlados individualmente, além de dispor de 520 KB de SRAM no chip (BABIUCH; FOLTÝNEK; SMUTNÝ, 2019). Ademais de

seu baixo custo de aquisição, seu consumo de energia e emissão de ruído são reduzidos, resultando em uma alta performance e credibilidade.

Um ponto específico de vantagem relacionado ao presente projeto é sua atuação conjunta com interruptores de antena integrados, *balun* de RF, amplificador de potência e de recepção de baixo ruído, além de filtros e módulos de gerenciamento de energia (DATASHEET-ESPRESSIF, 2022). Ainda, o ESP32 possui conectividade *WiFi*, por meio de suas interfaces SPI/SDIO ou *I²C*/UART, funcionando também de forma combinada com *Bluetooth*. Na Figura 2, o diagrama de blocos do ESP32, juntamente de seus protocolos de comunicação, interfaces, conectividades, entre outros, é exemplificado.

Figura 2 – Diagrama de Blocos Funcionais ESP32.



Fonte: Datasheet-Espressif (2022).

O ESP32 possui diversas funcionalidades, dentre elas pode-se citar a criação de uma rede por meio de dispositivos agregados interligados a roteadores propagando informações. Há também a conectividade *Peer to Peer* (P2P), que estabelece uma comunicação entre distintos ESPs e outros dispositivos. Além do processamento de dados, tratando as informações recebidas dos sensores conectados a seus periféricos (RAJALASHMI *et al.*, 2022).

2.2 Meios de comunicação entre ESPs32

Por ser um dispositivo dedicado ao desenvolvimento de projetos IoT, o ESP32 possui uma série de funcionalidades, além de diversos protocolos de conectividade e comunicação entre os dispositivos com o próprio ESP. As conectividades *Wireless*, *Bluetooth* e os protocolos de comunicação *LoRa* e *ESP-NOW* estão entre eles (MAIER; SHARP; VAGAPOV, 2017).

Como resultado da conectividade *Wireless*, o ESP32 pode atuar como *Station* (STA), *Access Point* (AP) ou *Station + Access Point*. O modo STA é utilizado para conectar o módulo

ESP32 a um ponto de acesso *WiFi*. No modo *Access Point*, o ESP32 se comporta como uma rede *WiFi*, permitindo que outros dispositivos se conectem a ele.

O ESP32 já vem equipado com *Bluetooth* e *Bluetooth Low Energy* (BLE) para conexão com outros equipamentos (ESP32 DEVKIT, 2022). A principal utilização do BLE é a transmissão de pequenas quantidades de dados a curtas distâncias (baixa largura de banda). Ao contrário do *Bluetooth*, que está sempre ligado, o BLE está sempre em estado de suspensão, até que uma conexão seja estabelecida.

2.2.1 ESP-NOW

ESP-NOW é um protocolo de comunicação rápida, desenvolvido pela Espressif (ESPNow-ESPRESSIF, 2022). Ele tolera a troca de mensagens entre diversos aparelhos, desfazendo a necessidade de *WiFi*. Para poder utilizá-lo, é necessário efetuar o emparelhamento entre os dispositivos antes de sua comunicação, sendo a conexão ponto a ponto e altamente segura (JUNIOR; FARINELLI, 2018). Diferentemente do *WiFi*, as primeiras cinco camadas superiores são simplificadas em uma camada no *ESP*, com isso a perda de pacotes é reduzida e o tempo de resposta diminui.

O *ESP-NOW* suporta os seguintes recursos (PASIC; KUZMANOV; ATANASOVSKI, 2021):

- Comunicação *unicast* criptografada e não criptografada;
- Dispositivos pares criptografados e não criptografados mistos;
- Uma carga útil de até 250 *bytes* pode ser transportada;
- Função de retorno de chamada de envio que pode ser configurada para informar a camada de aplicação do sucesso ou falha da transmissão.

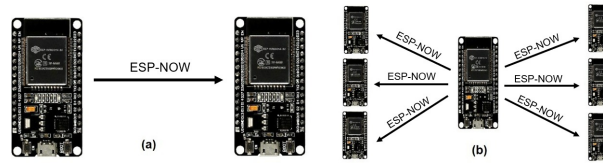
A tecnologia também possui algumas limitações, dentre elas pode-se citar:

- Pontos criptografados limitados;
- Vários pares não criptografados são suportados.

Devido à sua versatilidade, o protocolo pode ter comunicação unidirecional ou bidirecional em diferentes configurações, sendo elas (JUNIOR; FARINELLI, 2018):

- Comunicação Unidirecional: onde uma placa *ESP* envia dados para outra (Figura 3 (a)). Assim, tem-se um *ESP* mestre, que envia dados iguais ou diferentes para diferentes *ESPs* escravos (Figura 3 (b)) e um *ESP* escravo, que recebe dados iguais ou diferentes de diferentes *ESPs* mestres (Figura 4 (a)).

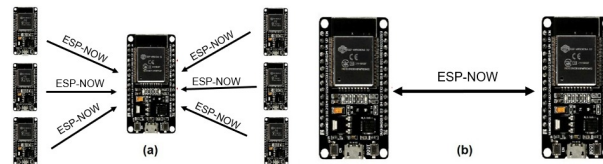
Figura 3 – (a) Comunicação Unidirecional *ESP-NOW*. (b) Comunicação *ESP-NOW* entre um *ESP* mestre e varios *ESPs* escravos.



Fonte: Autoria própria.

- Comunicação de duas vias: onde cada placa pode ser um emissor e um receptor ao mesmo tempo. Assim, pode-se estabelecer uma comunicação bidirecional entre as placas (Figura 4(b)).

Figura 4 – (a) Comunicação *ESP-NOW* entre um *ESP* escravo e varios *ESPs* mestres. (b) Comunicação *ESP-NOW* de duas vias.



Fonte: Autoria própria.

2.3 Comunicação *I²C*

O protocolo *Inter-Integrated Circuit (I²C)* é um barramento serial multi-mestre desenvolvido pela empresa *Philips* no início da década de 80, muito utilizado para conectar periféricos de baixa velocidade à placas-mãe, microcontroladores e afins (KALINSKY, 2001).

O barramento do *I²C* permite a comunicação entre diversos dispositivos com apenas dois fios: o canal de dados seriais, chamado de *Serial data (SDA)*, que é responsável por transportar os dados e o canal de sincronização, chamado *Serial clock (SCL)*, responsável por transportar o (*clock*). E a sua alimentação (Tensão em corrente contínua (*Vcc*)) é tipicamente de 3.3 V ou 5 V, entretanto sistemas com outras tensões são permitidos.

Esses canais são barramentos que interligam diversos dispositivos entre si, com 7 *bits* de tamanho. Isso permite endereçar aproximadamente 127 dispositivos, não extrapolando o número máximo de dispositivos ligados, que pode depender da capacitância máxima do barramento (400 pF). Os fios de comunicação possuem resistores de *pull-up* e o seu tamanho é determinado pela quantidade de capacitância nas linhas (VALDEZ; BECKER, 2015).

Toda comunicação *I²C* inicializa com um endereço de 7 *bits*, ou até mesmo de 10 *bits*. Os *bytes* de endereço e dados são primeiramente enviados pelo *bit* mais significativo. O *bit* menos significativo contém o endereçamento dos dispositivos conectados neste barramento e seu estado de atuação, escrita ou leitura. Isso permite que vários dispositivos no barramento *I²C*

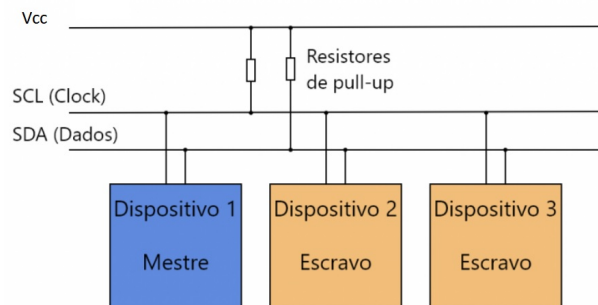
desempenhem o papel do dispositivo mestre, dependendo das necessidades do sistema (CARVALHO, 2016).

Visto isso, o protocolo I^2C tem duas categorias de dispositivos:

- Mestre: é a unidade de controle responsável por coordenar todos os periféricos, gerar sinais de *clock* e iniciar a comunicação com os escravos, enviando ou recebendo dados.
- Escravo: recebe os dados do *clock* e responde quando endereçado pelo seu mestre.

Para evitar colisões de comunicação, o protocolo I^2C inclui recursos de arbitragem e detecção de colisão que permitem uma comunicação amena ao longo do barramento. Um exemplo de um diagrama com dispositivos interligados está apresentado na Figura 5.

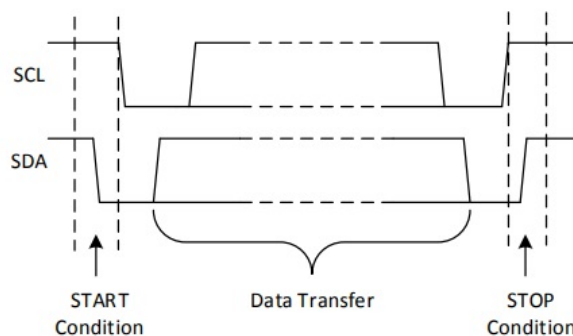
Figura 5 – Exemplo diagrama I^2C .



Fonte: Guimarães (2018).

A comunicação I^2C com o dispositivo é iniciada pelo mestre enviando um estado *START* e finalizada pelo mestre enviando uma condição *STOP* (VALDEZ; BECKER, 2015). O estado *START* é definido por uma transição de alto para baixo na linha SDA quando o SCL é alto. Já a condição *STOP* é definida por uma transição de baixo para alto na linha SDA quando o SCL está alto. Esta comunicação é representada na Figura 6.

Figura 6 – Exemplo de condição *START* e *STOP*



Fonte: Valdez e Becker (2015).

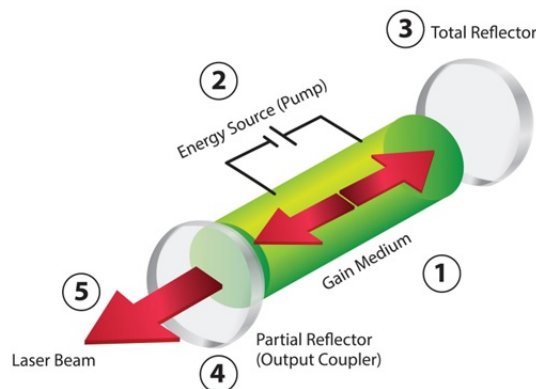
2.4 Laser

Laser vêm da palavra em inglês *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, um acrônimo para Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação que estimula átomos ou moléculas a emitir luz em comprimentos de onda específicos e amplifica essa luz, normalmente produzindo um feixe de radiação muito estreito. A emissão geralmente cobre uma faixa extremamente limitada de comprimentos de onda de luz visível, infravermelha ou ultravioleta. Existem muitos tipos de *lasers*, incluindo *lasers* de gás, fibra, estado sólido, corante, de diodo e *excimer*. Todos esses tipos de *laser* compartilham um conjunto básico de componentes:

1. Meio de ganho capaz de sustentar a emissão estimulada;
2. Fonte de energia para bombear o meio de ganho;
3. Refletor total para refletir energia;
4. Refletor parcial;
5. Saída de raio *laser*.

O meio de ganho e o ressonador são necessários para construir a energia luminosa no feixe e com isso determinar o comprimento de onda do feixe de *laser* e a potência do *laser*.

Figura 7 – Exemplo do conjunto básicos do *laser*



Fonte: Universal Laser (2022).

2.4.1 Funcionamento do sensor *laser*

A emissão do *laser* se baseia nas leis da mecânica quântica, onde os átomos e moléculas podem armazenar apenas quantidades discretas de energia, que são determinadas pela natureza do átomo ou molécula. O nível mais baixo de energia para um determinado átomo

ocorre quando todos os seus elétrons estão nas órbitas mais próximas possíveis ao redor de seu núcleo, chamado de estado básico. Quando um ou mais elétrons de um átomo absorvem energia, podem viajar para órbitas externas, e o átomo é referido como animado. Estados excitados nem sempre são estáveis, além de que quando elétrons caem de níveis de energia mais altos para níveis de energia mais baixos, eles emitem mais energia na forma de luz (BRITANNICA, 2022).

Com isso, as emissões podem ser produzidas de duas maneiras, nas quais a emissão dos fótons é emitida espontaneamente, sem intervenção externa, possuindo sua própria fonte de energia devido modelo atômico de Niels Bohr. Neste modelo, um elétron libera energia espontaneamente ao cair para uma configuração de energia mais baixa; caso a configuração predominante for de alta energia, os elétrons tendem a retornar ao seu estado de mínima energia, fazendo com que os fótons emitidos espontaneamente estimulem mais emissões, gerando uma cascata de fótons (BRITANNICA, 2022).

Já a inversão de população depende de uma fonte de radiação externa. Neste caso, o funcionamento do laser se dá pelo meio ativo que fica contido em tubos cilíndricos que quando excitados por uma fonte de energia elétrica fazem com que os elétrons migrem para órbitas mais energéticas e o ressonador óptico, que é responsável por construir a energia luminosa no feixe, composto por um par de espelhos que são posicionados um de frente para o outro, faz com que a luz emitida seja refletida em ambas as direções (BRITANNICA, 2022).

2.4.2 Cálculo da distância via *laser*

O método usado para medir a distância depende da precisão e capacidade de distância exigidas do dispositivo e, com isso, o cálculo é baseado no princípio da reflexão de um feixe de *laser*. Para medir uma distância, o dispositivo emite um feixe luminoso que irradia através do espaço, atinge o alvo e reflete. Os reflexos se espalham para qualquer direção, mas alguns deles voltam para o dispositivo. O dispositivo mede então a distância com a ajuda desta reflexão, ou seja, envia um feixe luminoso e compara a fase da onda emitida com a fase da correspondente onda de retorno. Portanto o período do feixe *laser* é determinado pela comparação da fase da luz emitida com a fase da luz de referência. A distância entre os picos das ondas emitida e refletida é utilizada para o cálculo da distância entre o sensor e o objeto, com isso a medição é feita com exatidão obtendo resolução na casa dos milímetros.

Em determinadas condições em que a distância do alvo está significativamente distante, a reflexão não pode ser facilmente detectada, portanto, quanto maior a distância, mais fraca a reflexão. A luz do sol também pode afetar. Assim, a medição externa usando medição a *laser* requer um *laser* mais forte. Uma solução para melhorar essa leitura nessas condições é usar um alvo de reflexão adicional para refletir melhor a luz.

2.5 Biofeedback

Todos os estímulos do corpo são controlados pelo cérebro, através de um processo natural e automático. O *biofeedback* é uma técnica que consiste no amadurecimento do indivíduo em relação à sua consciência corporal aprendendo a reconhecer, por meio de ferramentas medidas ou o próprio conhecimento do funcionamento do corpo, os sinais e sintomas fisiológicos decorrentes dos mais diferentes estímulos internos e externos (WEST, 2009). Esse tipo de reconhecimento do *feedback* auxilia as pessoas a identificar diversas situações e possibilita a realização de mudanças sutis no corpo que resultem em um efeito desejado.

Alguns tipos existentes podem incluir eletromiografia de superfície, taxa de respiração e sua profundidade, temperatura da pele, resposta eletrodérmica e reatividade cardiovascular. Assim, pode-se considerar os tratamentos envolvendo *biofeedback*, além de equipamentos utilizando essa tecnologia, como eficazes e cada vez mais aceitos pelo público em geral (MCKEE, 2008).

2.5.1 Motor de vibração

O motor de vibração é um motor DC sem núcleo, mas que mantém sempre suas propriedades magnéticas. Seu principal objetivo é alertar o usuário através da vibração e, segundo Mansfield (2005), qualquer sinal de vibração possui três qualidades: deslocamento, velocidade e aceleração, que estão interligados.

Existem dois principais tipos de modelos de motores de vibração no mercado: os modelos de moeda e os em formato cilíndrico. Tem-se como os primordiais atributos deste tipo de motor seu pequeno dimensionamento, leveza e movimentação silenciosa, além de sua confiabilidade.

Sua vibração parte do deslocamento frequente do peso e da geração de uma força instável. Quando o rotor se move, as bobinas elétricas ficam incessantemente trocando a polaridade por conta dos pontos de comutação do motor (CHEN, 2013).

2.5.2 Buzzer

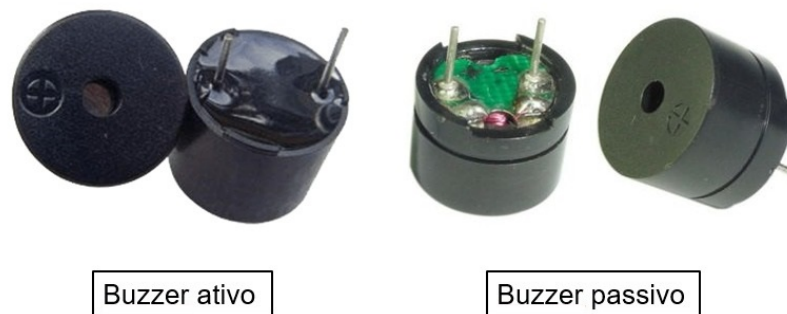
Existem diversas formas de realizar a comunicação entre o usuário e o dispositivo e delas é o retorno audível. O buzzer é um dispositivo capaz de gerar um sinal sonoro a partir de uma tensão elétrica (VILLAÇA, 2012) em diversas frequências. Geralmente, são alimentados por tensão Corrente Contínua (CC). Pode-se categorizar estes transdutores principalmente por suas tecnologias, sendo eles piezoelétricos e eletromagnéticos.

O funcionamento dos buzzers eletromagnéticos é dado a partir de uma corrente transportada ao longo de uma bobina de fio, geradora de um campo magnético. Um disco ferro-

magnético maleável, cuja movimentação é responsável pela geração do som, é aproximado da bobina no momento em que a corrente está vigente e regressa a uma localização inerte quando a corrente não se encontra transcorrendo pela bobina. Em contrapartida, os piezoelétricos são construídos por meio de contatos elétricos em ambas faces de um disco de material piezoelétrico. Quando uma tensão é aplicada através dos dois eletrodos, o material central se desfigura por conta da tensão empregada. Este movimento do disco dentro do buzzer cria um som, de modo semelhante ao modelo citado anteriormente (ROSE, 2022).

Para distinguir um buzzer ativo de um passivo é necessário levar em conta suas alturas, onde o ativo possui cerca de 9 mm e o passivo 8 mm. O que possui uma placa de circuito visível na base é uma campainha passiva, já o selado com vinil é o ativo. Suas diferenças podem ser observadas na Figura 8.

Figura 8 – Buzzer ativo e passivo



Fonte: Autoria própria.

2.6 Manufatura aditiva

O conceito de manufatura aditiva foi primordialmente proposto por Hideo Kodama em 1981, no Instituto de Pesquisa Industrial de Nagoya, localizado no Japão. Ele desenvolveu um modelo que fazia uso de luz ultravioleta (UV) para fazer com que polímeros fotossensíveis ficassem rígidos, obtendo deste modo objetos 3D (SCHOTTE, 2019).

Segundo Veit (2018), sua história pode ser resumida em alguns grandes marcos. O primeiro é a prototipagem, iniciada em meados de 1980. A segunda, com foco em aplicações, nas décadas de 1990 e 2000. Após isso, seu enfoque foi dado à amplificação de materiais e instrumentos utilizados na tecnologia.

Assim, tem-se o conceito deste processo como a adição de materiais para a produção de itens partindo de um modelo tridimensional, através da construção de uma camada por vez. É o oposto da manufatura subtrativa, na qual um objeto é criado através da remoção de um material de um bloco sólido com o propósito de obter o objeto desejado (INTERNATIONAL, 2012).

Tecnicamente, a manufatura aditiva pode se referir a qualquer processo em que um produto é criado pela construção de algo, como moldagem, mas normalmente se refere à impressão 3D.

2.6.1 Impressão 3D

Tem-se que o método inovativo de criação de objetos tridimensionais fazendo uso do programas de computador, que foi primeiramente nomeada *Prototipagem rápida* (PR), foi desenvolvida no começo dos anos 80 com a finalidade de produção de itens criados (SRIVATSAN; SUDARSHAN, 2016). Nos primeiros momentos, a PR tinha como proposta uma veloz construção das invenções dos engenheiros, além de ser um dos primeiros processos a darem início à manufatura aditiva.

A impressão 3D é realizada por meio de um método de manufaturação de um artefato tridimensional. A criação de um objeto impresso 3D é feita por camadas, que podem ser observadas por meio de uma seção transversal do item. Assim, o material é inserido sucessivamente até que o objeto seja terminado. Segundo Gebhardt e Heotter (2016), a tecnologia tem como princípio que todo objeto pode ser dividido em seções e reconstituído a partir destas, com independência de seu formato geométrico.

Nota-se que a particularização e a personalização dos itens, diferentemente da produção em massa, é uma das vantagens desse tipo de fabricação. Assim, tem-se que a manufatura aditiva viabiliza a produção de diferentes objetos, diminuindo o seu tempo de desenvolvimento.

De acordo com Srivatsan e Sudarshan (2016), esta tecnologia pode ser dividida em basicamente três etapas. Inicialmente, um modelo 3D é criado no computador, por meio de um software, e convertido para o formato necessário. Depois, a impressora é manuseada para que a peça seja produzida corretamente, modificando seus parâmetros de posição e escala por exemplo. Por fim, o item é impresso por meio de diversas camadas.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem o intuito de realizar o descritivo do desenvolvimento do dispositivo exposto anteriormente. A proposta deste trabalho e seus conceitos foram apresentados nos itens anteriores, podendo, a partir deles, se desenvolver uma metodologia. Assim sendo, serão mencionadas as atividades efetuadas para atingir o objetivo deste trabalho e sua proposta por meio de tópicos individualizados.

3.1 Materiais

Uma das primeiras etapas consiste na decisão dos materiais a serem utilizados no desenvolvimento deste dispositivo, para a construção dos óculos no qual os sensores estarão posicionados e a pulseira que retornará a resposta tátil ao usuário. Pode-se utilizar como premissa de funcionamento deste aparelho a recepção da distância medida por sensores *laser*, analisada e controlada pelo Microcontrolador Mestre, efetuando o envio do sinal ao Microcontrolador Escravo, que se encontra na pulseira e tem a função de realizar a distribuição para cada *vibracall* correspondente.

3.2 Estudo dos dispositivos eletrônicos envolvidos no protótipo

Para se verificar a viabilidade técnica do projeto, foram realizados estudos preliminares a fim de se definir o microcontrolador, sensores *laser* e *vibracalls* utilizados, de tal forma que atendessem a todas as necessidades específicas da ferramenta e tivessem um custo menor de aquisição em relação a outros produtos de alta tecnologia disponíveis no mercado atualmente.

3.3 Desenvolvimento do *Hardware*

Após a verificação e definição dos dispositivos eletrônicos, foram estudado o posicionamento dos sensores *laser* nos óculos e a posição ideal para os sensores *vibracall*. A estratégia envolvendo o posicionamento destes sensores foi fator determinante para o correto desempenho do equipamento, relacionando-se diretamente com a funcionalidade assistiva e a experiência do usuário. É nesta etapa em que se inicializou a montagem do dispositivo.

3.4 Desenvolvimento do algoritmo do *laser*

Com o equipamento inicialmente montado, foi desenvolvido o algoritmo do *laser*, parte essencial do projeto, usado para implementar a lógica para os seus cálculos e transformando os sinais em valores de distância entre os objetos.

3.5 Parametrização do *laser*

Desenvolvido o algoritmo, definiram-se as regras de prioridades do *laser* para que o microcontrolador consiga saber qual dos sensores está fazendo a leitura do objeto mais próximo, e assim viabilize a correta responsividade tátil.

3.6 Teste de funcionalidade do algoritmo do *laser*

Com a parametrização definida e o algoritmo finalizado foram realizados testes em campo para verificar a confiabilidade, tempo de resposta e se as interferências externas foram reduzidas de tal forma que não interferissem na precisão da leitura da distância dos objetos assim como no tempo de resposta de transmissão das informações, especialmente ao usuário.

3.7 Desenvolvimento do algoritmo do *vibracall*

Finalizados os testes de funcionalidade do algoritmo do *laser*, iniciou-se o desenvolvimento do algoritmo para o sensor *vibracall* que é responsável pelo controle do *feedback* tátil onde ele há a interpretação da parametrização do *laser*. Essa operação define qual a quantidade de dispositivos *vibracall* que devem ser utilizados, qual a sua intensidade e faixa de vibração, levando em conta que cada sensor *vibracall* funciona de forma independente, permitindo uma maior variedade de operações em relação à informações diferentes.

3.8 Teste de funcionalidade do algoritmo do *vibracall*

Após o desenvolvimento do algoritmo, foi validada a intensidade e faixa de vibração para cada sensor *vibracall*, além da análise do funcionamento trabalhando simultaneamente conforme as regras pré definidas. Também foram feitos testes de exatidão dos sensores *vibracall*, para verificar quanto tempo eles se mantêm em constante atividade e se atendem exatamente às nossas especificações de projeto.

3.9 Teste de integração dos algoritmos

Com os algoritmos desenvolvidos e testados individualmente, foi legitimada a sua integração com o microcontrolador de tal forma que possibilitasse a leitura de cada *laser*, o acionamento de cada sensor *vibracall* e o seu tempo de resposta.

3.10 Montagem do dispositivo

Após finalizada a etapa de integração, iniciou-se a etapa de montagem final do produto, com os sensores *lasers* acoplados aos óculos, os sensores *vibracall* em uma pulseira, e o microcontrolador, todos devidamente posicionados, além da alimentação do dispositivo e seu respectivo interruptor.

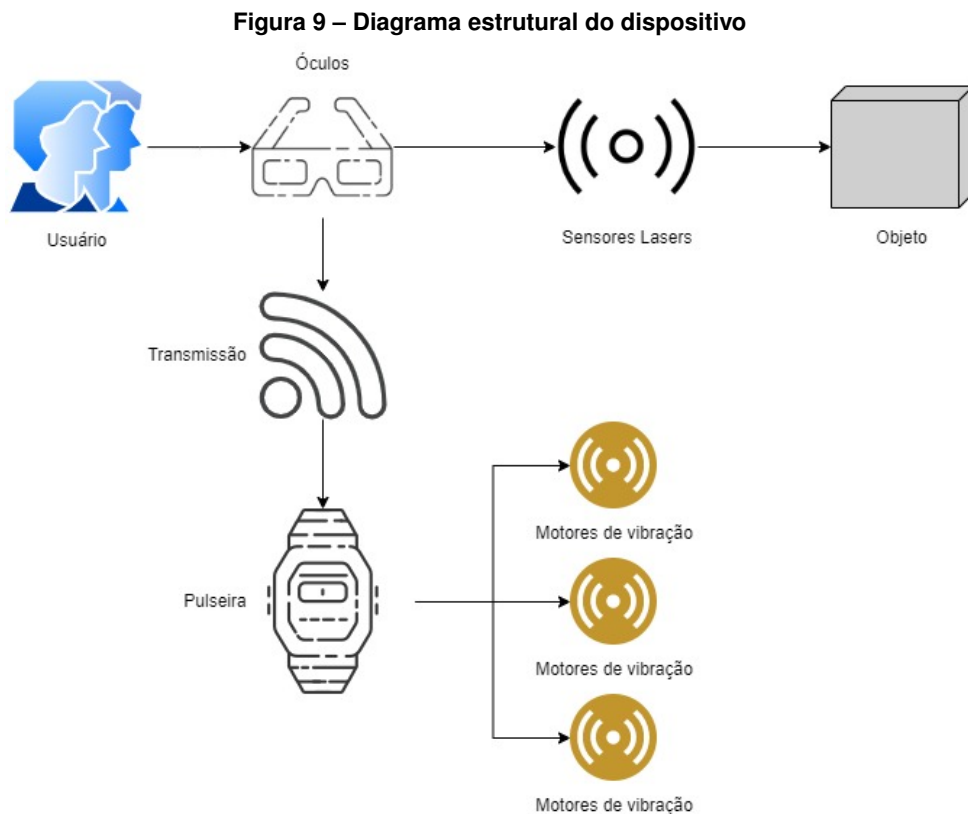
3.11 Testes de validação

Com a interconexão realizada, foram realizados testes de *software* e hardware integrados sob certas condições e cenários, de modo a sustentar sua confiabilidade e bom desempenho para o usuário, além de expor eventuais falhas em determinados aspectos técnicos e operacionais, possibilitando sua correção e adaptação. O esforço de teste de validação garante um resultado robusto e que supera as principais falhas do projeto, assim como mostra qual o caminho deve ser seguido em futuros aprimoramentos.

Assim, com os dados coletados, a solução proposta é discutida, demonstrando todas as adversidades identificadas, os resultados obtidos e novas perspectivas de trabalho.

4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo, define-se o *hardware*, o *software* e as tecnologias envolvidas no projeto, assim como cada um desses elementos que foi utilizado durante o desenvolvimento do projeto. Para um entendimento simplificado das funcionalidades básicas do dispositivo, um diagrama estrutural pode ser observado na Figura 9.

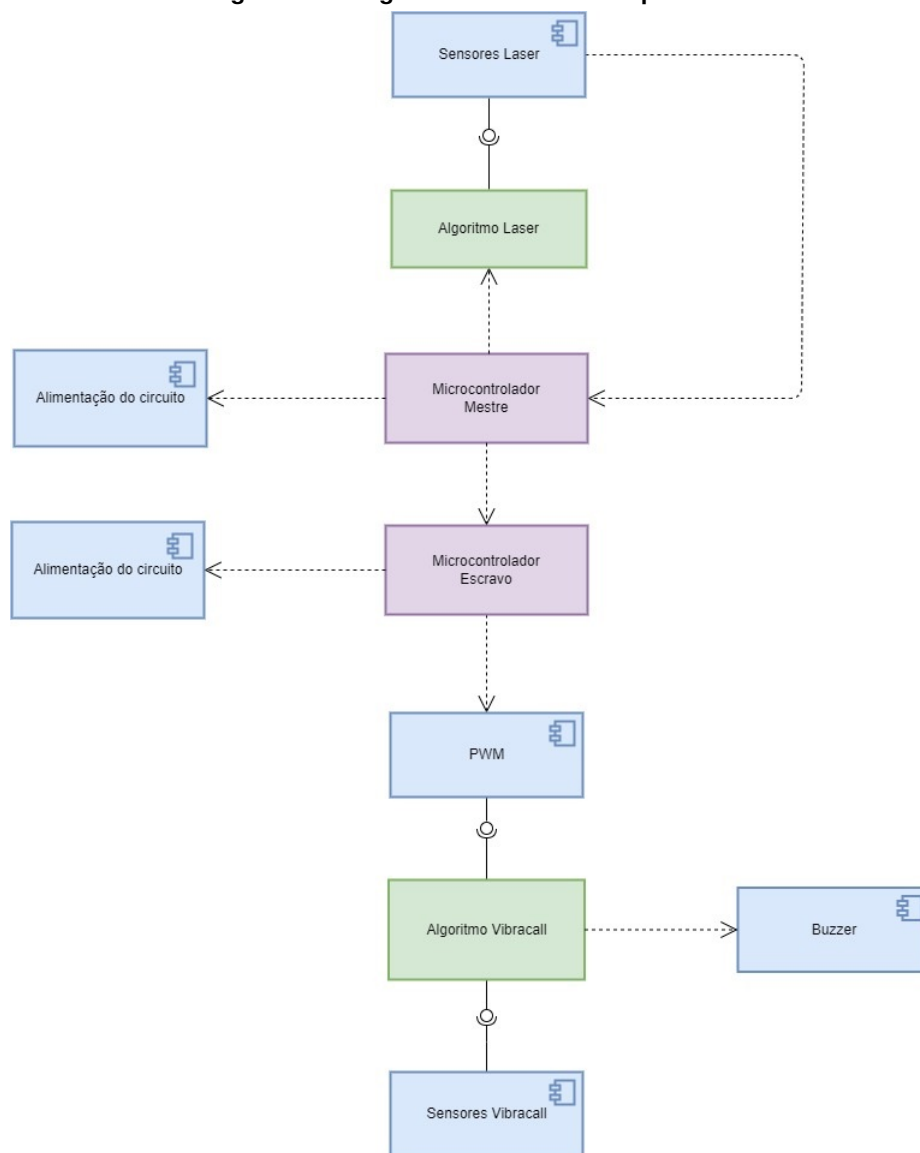


Fonte: Autoria própria.

Deste modo, o usuário fará a utilização dos óculos, cuja medição da distância do objeto será realizada por meio dos sensores laser. Os dados recebidos serão transmitidos por meio dos microcontroladores para a pulseira e enviará *feedback* dessas informações ao indivíduo por meio dos motores de vibração.

Em complemento ao diagrama explicativo do funcionamento da ferramenta assistiva, é apresentado um diagrama com maior detalhamento técnico da operação do dispositivo na Figura 10, de forma a entender como ocorrem os processos desde a recepção, transmissão até o retorno dos sinais coletados e tratados pela solução desenvolvida.

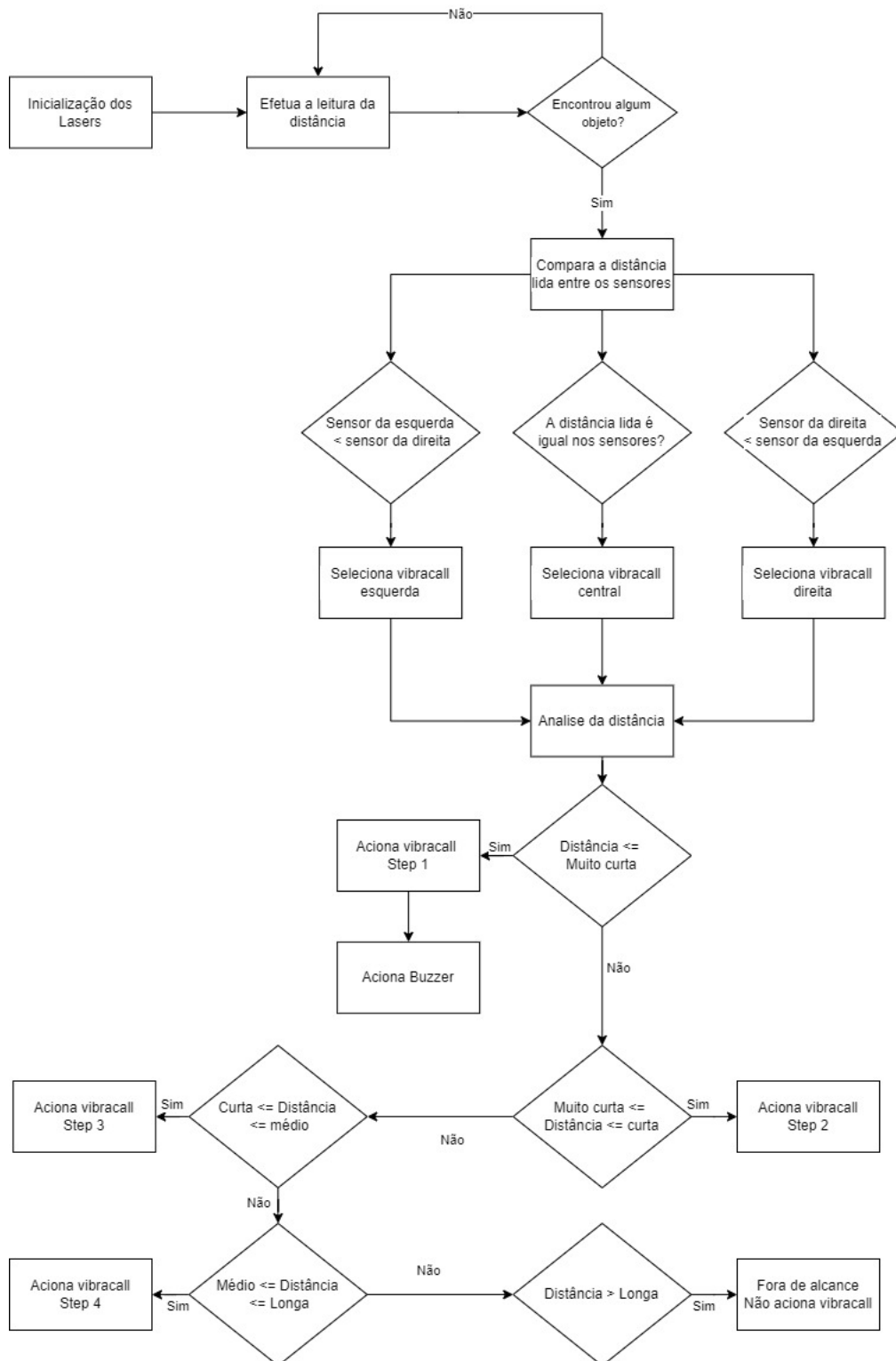
Figura 10 – Diagrama funcional do dispositivo



Fonte: Autoria própria.

O fluxograma apresentado na Figura 11 descreve o funcionamento do aparelho desenvolvido. Tem-se que inicialmente os lasers são inicializados, posteriormente efetuando leituras das distâncias até encontrar algum objeto. Caso encontre algo em seu caminho, realiza a comparação entre as longinquidades lidas pelos sensores e define para qual *vibracall* a informação será enviada. Essa definição será realizada por meio da menor distância encontrada pelos sensores. Após a identificação do motor de vibração a receber o sinal, será feita a definição de sua intensidade. Em sua maior intensidade, no caso da distância no menor intervalo possível, o *buzzer* também será acionado para alertar ao deficiente visual do objeto muito próximo.

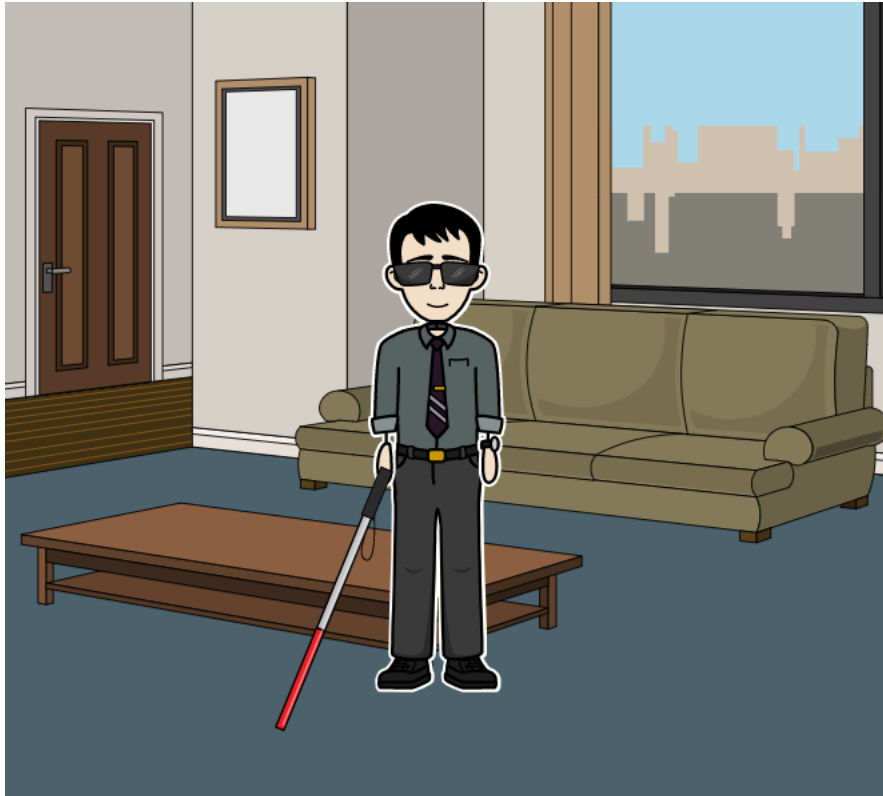
Figura 11 – Fluxograma funcional do dispositivo.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 12 ilustra a utilização do óculos e da pulseira em um ambiente fechado, em conjunto com o uso da bengala para o monitoramento tanto dos obstáculos baixos, identificáveis com o próprio bastão, assim como itens mais altos, suspensos ou projetados acima da linha da cintura, cuja solução desenvolvida irá detectar, operando de forma harmônica e complementar.

Figura 12 – Esboço de um indivíduo utilizando o dispositivo.



Fonte: Autoria própria.

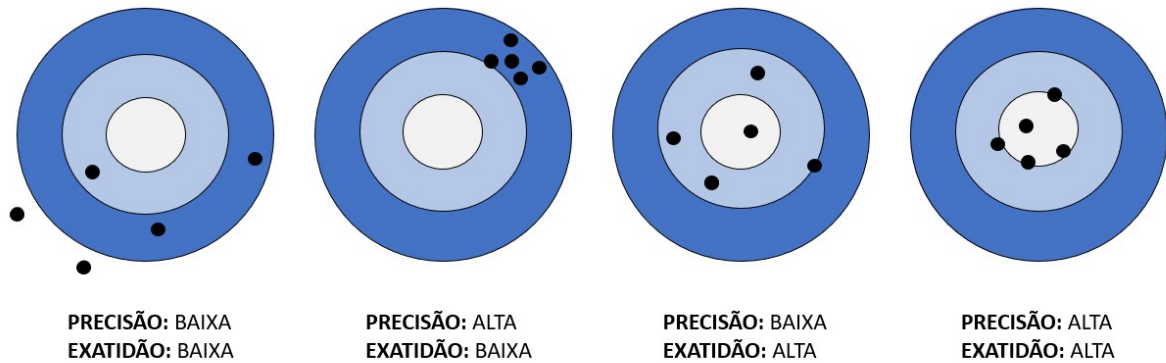
4.1 Precisão e exatidão

O sensor laser VL53LOX apresenta excelentes índices de exatidão e precisão, fazendo com que seus resultados de medição sejam assertivos. Os termos citados, quando relacionados às definições de instrumentação, segundo Balbinot e Brusamarello (2011) e Brandão (2016), determinam:

- Exatidão: a capacidade de um instrumento para proporcionar medidas aproximadas do valor real, isto é, uma especificação relacionada à qualidade de seus resultados;
- Precisão: nível de uniformidade entre as medidas adquiridas por meio de diversas aferições, quando realizadas sob as mesmas circunstâncias.

Esses termos são ilustrados na Figura 13, que mostra como eles são definidos em relação a um determinado alvo. No contexto deste trabalho, o alvo refere-se à distância real que os sensores devem indicar ao medir a distância entre o usuário e o objeto. No entanto, ainda existem situações em que o sensor pode fornecer valores com muitos ruídos, imprecisos, mas que variam de maneira próxima da distância verdadeira.

Figura 13 – Conceitos de precisão e exatidão.



Fonte: Autoria própria.

A partir do *datasheet* do sensor VL53L0X (LIFE.AUGMENTED, 2021) temos que a acurácia para ambientes internos varia de acordo com a distância e a escala de cor do objeto, que pode ser vista na Tabela 2.

Tabela 2 – Acurácia sensor VL53L0X.

Nível de refletância do objeto (%)	Distância	Acurácia (%)
Branco - 88%	até 1200 mm	3% à 4%
Cinza - 17%	até 700 mm	6% à 7%

Fonte: Autoria própria.

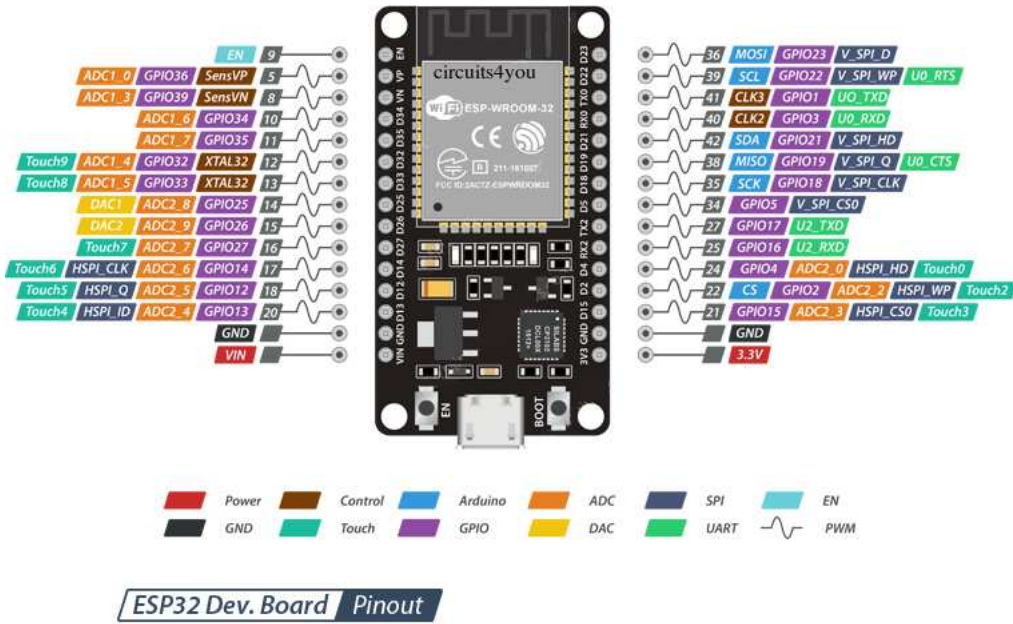
4.2 Comunicação entre ESPs

O ESP32 é um microcomputador de placa única, com processador *Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6*, 520Kb de memória *RAM*, com integração à internet sem fio de fábrica, de fácil desenvolvimento e com tamanho reduzido (52 mm de comprimento por 28 mm de largura). Sua escolha para o projeto foi devido de sua facilidade de aplicação, ampla disponibilidade de documentação, recursos e conectividade Wi-Fi sem uso de módulos externos.

O ESP32 pode ser alimentado de duas maneiras: diretamente por sua porta Micro-USB ou pelas portas *VIN* de 5V ou 3,3V, conforme seu *datasheet* apresentado na Figura 14.

Neste projeto, utilizaram-se dois módulos ESPs32, no qual um fica localizado no óculos e o outro na pulseira, tendo sido escolhido o protocolo *ESP-NOW* para efetuar a comunicação entre os módulos. O protocolo de comunicação *ESP-NOW* permite que vários dispositivos se comuniquem entre si sem utilizar o Wi-Fi, desfazendo a necessidade de conexão dos módulos na rede Wi-Fi convencional usando SSID e a senha. Portanto, a comunicação entre eles é feita por meio do emparelhamento entre os dispositivos que é necessário antes de sua comunicação, cujo qual é feito pelo *MAC Address* do dispositivo. Após o emparelhamento, a conexão é segura e permite a transmissão de informações entre os dispositivos. Na Figura 15, apresenta-se o

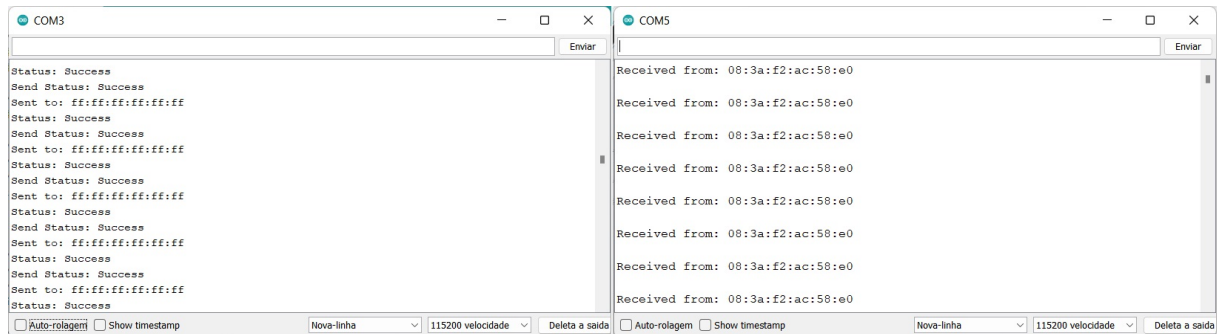
Figura 14 – Datasheet ESP32.



Fonte: circuits4you (2018).

monitor serial do *Arduino*, onde é possível verificar que o emparelhamento entre os ESPs foi realizado com sucesso.

Figura 15 – Validação da comunicação entre os ESPs via monitor serial do *Arduino*.

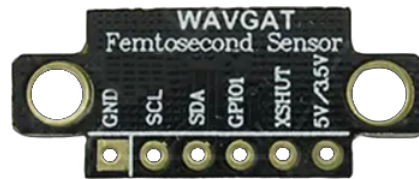


Fonte: Autoria própria.

4.3 Laser VL53L0X

Para aferir a distância entre o usuário e o objeto, foi escolhido o sensor laser VL53L0X (Figura 16). O VL53L0X é um módulo de alcance a laser *Time-of-Flight* (ToF) com tecnologia atual, de pequena dimensão, que fornece medição de distância precisa independentemente da reflectância do alvo ao contrário das tecnologias convencionais. Ele pode medir distâncias absolutas de até 2 m e integra uma matriz *Single-Photon Avalanche Diode* (SPAD) de ponta (diodos de avalanche de fóton único).

Figura 16 – Sensor laser VL53L0X.



Fonte: Autoria própria.

O emissor VCSEL de 940 nm (*Vertical Cavity Surface-Emitting Laser*) do VL53L0X é totalmente invisível ao olho humano, acoplado a filtros infravermelhos físicos internos, permitindo maior distância de alcance e maior imunidade à luz ambiente, além de melhor robustez para cobrir a diafonia óptica de vidro (LIFE.AUGMENTED, 2021).

O sensor VL53L0X apresenta 6 pinos, que são:

- Vcc: Alimentação positiva (alimentado com 5V).
- Gnd: Alimentação negativa.
- SCL: Clock da comunicação *I²C*.
- SDA: Dados da comunicação *I²C*.
- GPIO1: Pino de interrupção que é ativado quando uma medição é completada.
- XSHUT: Pino de *reset* do sensor.

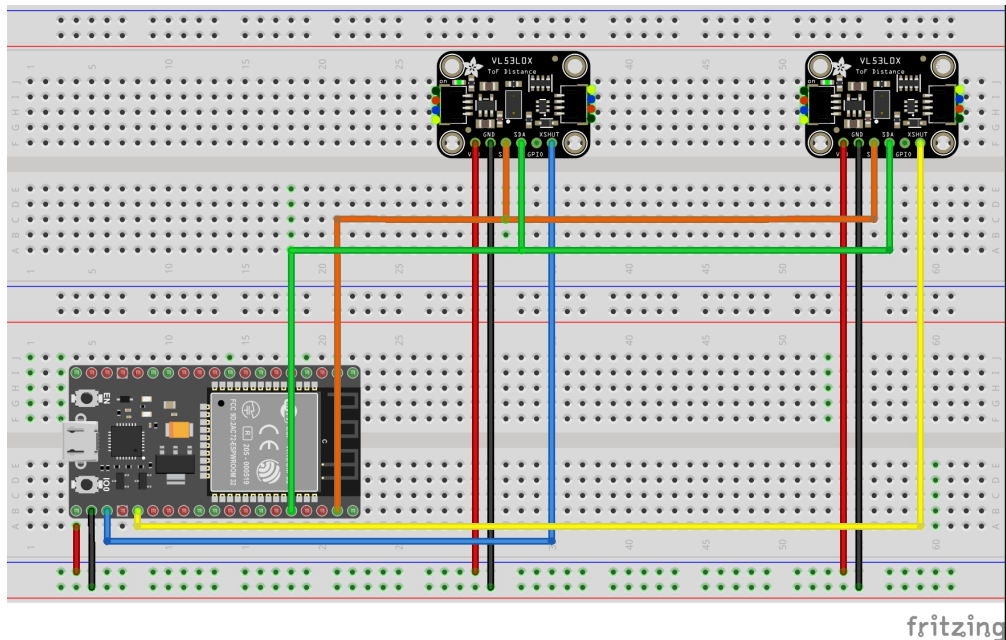
Para obter uma leitura mais ampla e que seja possível identificar mais objetos ao seu redor, foram utilizados dois sensores laser nesse projeto. Em seu teste inicial foi realizada a montagem em uma *protoboard*, conforme a Figura 17.

Do ESP32 foram utilizados os pinos 3V3 e GND para efetuar a alimentação dos sensores. Para a comunicação via protocolo *I²C* foram utilizados os pinos D21 (SDA) e D22 (SCL). O pino XSHUT do sensor laser possui um resistor de *pull-up* que o leva ao estado lógico alto quando o VL53L0X é alimentado. O *reset* é ativado quando levado ao nível lógico baixo, fazendo com que o sensor entre em modo *standby*. Portanto, para que seja possível configurar diferentes módulos conectados às mesmas portas *I²C*, é necessário configurar diferentes endereços para os módulos. Assim, foram utilizados os pinos D15 e D4 para desligar sequencialmente cada placa, usando o pino XSHUT e, em seguida, ligar os módulos para atribuir seus novos endereços.

Conforme definido no fluxograma funcional do dispositivo (Figura 11), o sensor laser deve trabalhar em 5 *steps* de distância, sendo elas:

- Muito curta (0 à 100 mm);

Figura 17 – Montagem do circuito mestre, com dois lasers VL53L0X.



Fonte: Autoria própria.

- Curta (101 mm à 300 mm);
- Média (301 mm à 600 mm);
- Longa (601 mm à 900 mm);
- Fora de alcance (Maior que 901 mm);

A validação da distância pode ser vista na imagem a seguir Figura 18, no qual a leitura da distância é representada via monitor serial do *Arduino*.

Figura 18 – (a) Validação da leitura da distância de um objeto com os laser VL53L0X. (b) Validação da leitura da distância maior que 901 mm com os lasers VL53L0X.

```

COM3
Enviar
Lendo uma medida sensor 1... Distância 1 (mm): 196
Lendo uma medida sensor 2... Distância 2 (mm): 204
Sent with success

Last Packet Send Status:      Delivery Success
Lendo uma medida sensor 1... Distância 1 (mm): 196
Lendo uma medida sensor 2... Distância 2 (mm): 204
Sent with success

Last Packet Send Status:      Delivery Success
Lendo uma medida sensor 1... Distância 1 (mm): 196
Lendo uma medida sensor 2... Distância 2 (mm): 204
Sent with success

Last Packet Send Status:      Delivery Success
Lendo uma medida sensor 1... Distância 1 (mm): 196

```

(a)

```

COM3
Enviar
Lendo uma medida sensor 1... fora de alcance
Lendo uma medida sensor 2... fora de alcance
Sent with success

Last Packet Send Status:      Delivery Success
Lendo uma medida sensor 1... fora de alcance
Lendo uma medida sensor 2... fora de alcance
Sent with success

Last Packet Send Status:      Delivery Success
Lendo uma medida sensor 1... fora de alcance
Lendo uma medida sensor 2... fora de alcance
Sent with success

Last Packet Send Status:      Delivery Success
Lendo uma medida sensor 1... fora de alcance

```

(b)

Fonte: Autoria própria.

4.4 Motor de vibração 1027

De modo a gerar as respostas táteis aos usuário sobre as distâncias encontradas, os motores *vibracall* serão utilizados. Os modelos mais básicos de motores de vibração encontrados no mercado são:

- Motor de vibração de massa rotativa excêntrico (*Eccentric Rotating Mass (ERM)*).
- Motor de vibração linear.

Um motor ERM faz uso de uma minúscula massa irregular (usualmente chamada de peso excêntrico) em um motor DC. Quando este motor gira, ele gera uma força centrífuga que se transpõe em movimentos vibratórios, cuja potência pode ser gerenciada por meio de um sinal *Pulse Width Modulation (PWM)* proveniente de um microcontrolador. Estes modelos são uns dos mais utilizados no mercado por conta de suas diversas vantagens, que vão desde sua precificação, por sua tecnologia ser consolidada e de seus diversos tamanhos, possíveis de irem de encontro ao design desejado do equipamento, até seu diverso método de instalação e conexão.

Existem três variedades de motores de vibração ERM, dentre eles o tipo moeda, o SMD e o cilíndrico sem núcleo. Visto que o motor de moeda é um dos mais finos encontrados, ele foi o escolhido para este projeto, no modelo 1027 (Figura 19). Este motor pode ser utilizado para realizar os efeitos de tremor em aparelhos celulares, brinquedos eletrônicos e controles de videogame.

Figura 19 – Motor de vibração 1027.



Fonte: Autoria própria.

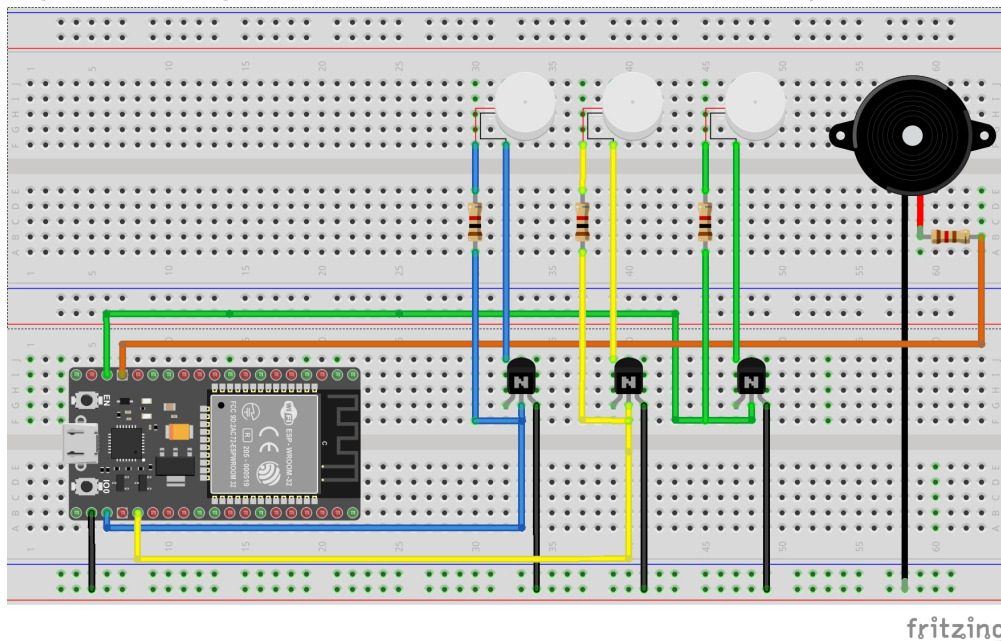
Sabendo das particularidades de funcionamento desta máquina, o *feedback* irá funcionar de modo que a existência de obstáculos não será unicamente alertada ao usuário, e sim, a depender da intensidade das vibrações transmitidas pelo motor, o seu grau de distância do objeto. Tem-se que suas especificações são:

- Tensão de funcionamento: 2,5 a 4V;
- Velocidade de rotação: 9000 RPM;
- Corrente de funcionamento: 90 mA máx;

- Dimensões totais: 10 mm (diâmetro) x 3 mm (sem o cabo).

Para que o motor de vibração atenda os 5 *steps* da distância, serão utilizados 3 motores *vibracalls*, denominados de esquerda, central e direita. Considerando a posição em que objeto está localizado e foi identificado pelo sensores lasers, dependendo de onde estiver mais próximo, seja do sensor da esquerda ou da direita, o motor correspondente ao seu lado será acionado. Quando os sensores lasers efetuarem a mesma leitura de distância será acionado o motor de vibração central. Portanto, em seu teste inicial, foi realizada a montagem em uma *protoboard*, conforme a Figura 20.

Figura 20 – Montagem do circuito escravo, com três motores de vibração e um *buzzer*.



Fonte: Autoria própria.

Para o funcionamento correto do conjunto foi necessário elaborar um circuito driver com o ESP32, devido aos motores possuírem cargas indutivas. Assim, o circuito projetado é composto por resistores para limitar a tensão de funcionamento dos motores vibratórios e transistores para a proteção do ESP32. O acionamento dos motores é feito por meio dos transistores, que fazem o chaveamento para que os motores funcionem de acordo com os sinais de comando do microcontrolador, ficando isolado do risco de danos pelas cargas indutivas dos motores. Para atender o *step 1*, além da utilização do retorno *feedback* tátil, foi inserido um retorno *feedback* auditivo, com a inclusão de um *buzzer* no circuito.

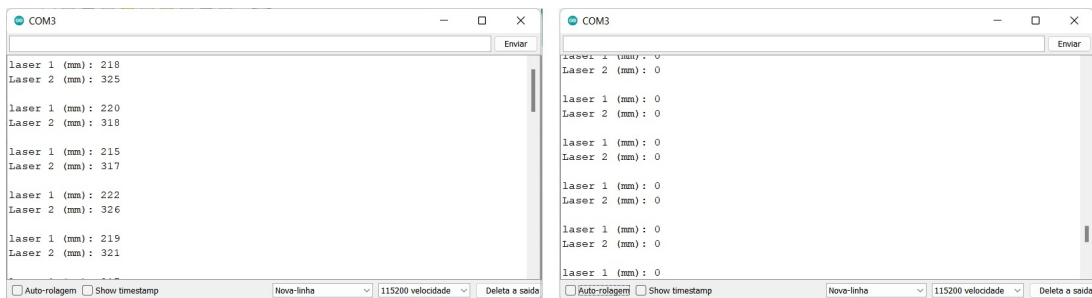
Do ESP32 foram utilizados os pinos GND para efetuar o acionamento dos motores e do *buzzer*. Para o acionamento dos motores de vibração e acionamento do *buzzer* foram usados os pinos *Analog to Digital Converter (ADC)*, que são capazes de converter uma grandeza analógica de entrada em uma representação digital. A pinagem utilizada para essa montagem foi a seguinte:

- Pino D12: Acionamento do *buzzer*;
- Pino D15: Acionamento do motor de vibração da esquerda;
- Pino D4: Acionamento do motor de vibração do centro;
- Pino D13: Acionamento do motor de vibração da direita;

Conforme definido no fluxograma funcional do dispositivo (Figura 11), tem-se a lógica de funcionamento do motor de vibração conforme a leitura da distância dos sensores. Seu funcionamento se baseia em um *loop* no qual, após a recepção da informação, ela deve ser direcionada a seu respectivo motor de vibração. Caso a distância lida de um sensor seja mais próxima que a outra, apenas o *vibracall* correspondente será acionado. Se as longinquidades forem iguais, o sensor central será ligado. O motor de vibração deve trabalhar em 5 *steps* de distância, sendo elas: muito curta, curta, média, longa e fora de alcance.

A validação da distância mensurada pelo ESP32 mestre foi feita através de medições utilizando régua e trena entre o objeto e os óculos, posicionando os objetos com distâncias variadas. Posteriormente, a leitura da distância é enviada para o ESP32 escravo e aciona o *vibracall* correspondente àquele *step*. A distância recebida pelo ESP escravo pode ser observada pelo monitor serial do *Arduino*, representado na Figura 21, para objetos fora de alcance a distância recebida é zero.

Figura 21 – Validação da leitura da distância com o ESP32 escravo e acionamento dos motores de vibração via monitor serial do *Arduino*.



Fonte: Autoria própria.

4.5 Construção do Protótipo

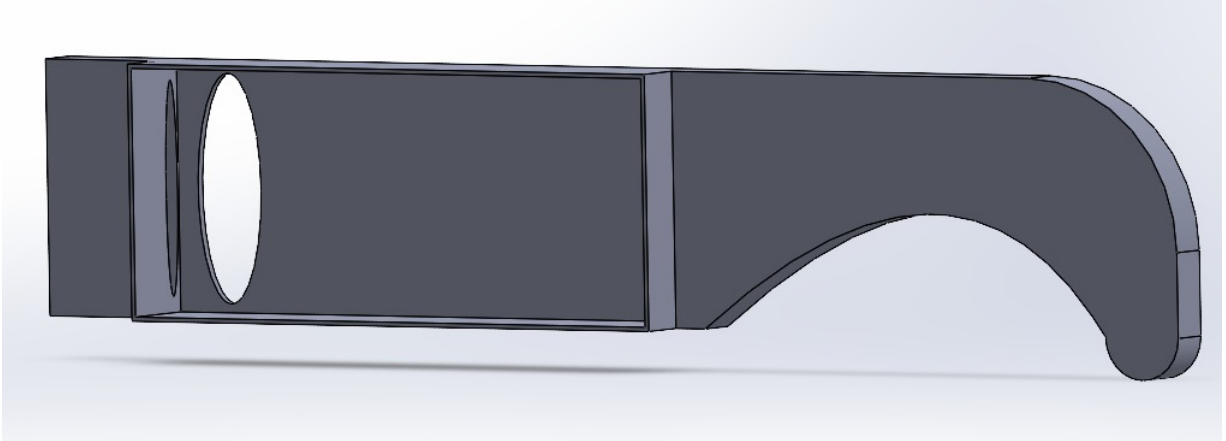
O desenvolvimento do projeto mecânico se deu pelo *software SolidWorks*, no qual foram criadas 7 peças, sendo cinco para os óculos e duas para a pulseira. Para a criação das 5 peças do óculos, utilizaram-se diversas funções presentes no próprio *software*.

As peças criadas para o óculos foram e em seus respectivas perspectivas foram:

- Haste esquerda (Figura 22);
- Haste direita (Figura 23);

- Armação do óculos (Figuras 24, 25 e 26);
- Pinos (Figura 27);
- Tapa dos cabos (Figura 28);
- Tapa do suporte (Figura 34);

Figura 22 – Vista frontal da haste esquerda.



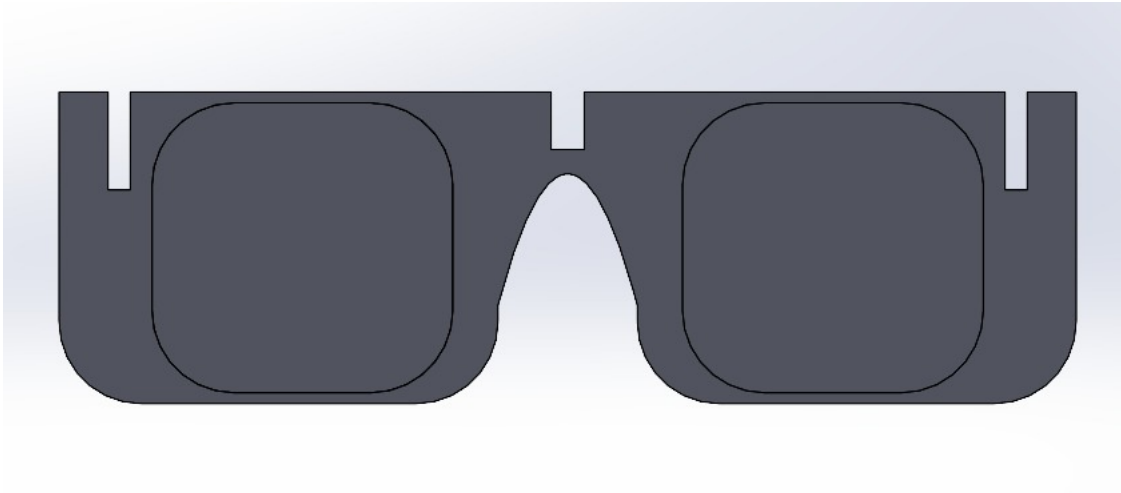
Fonte: Autoria própria.

Figura 23 – Vista frontal da haste direita.



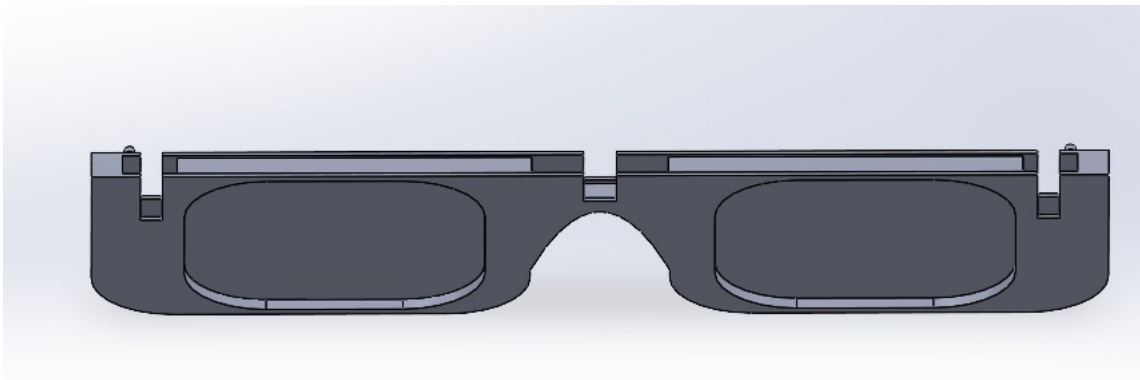
Fonte: Autoria própria.

Figura 24 – Vista frontal da armação do óculos.



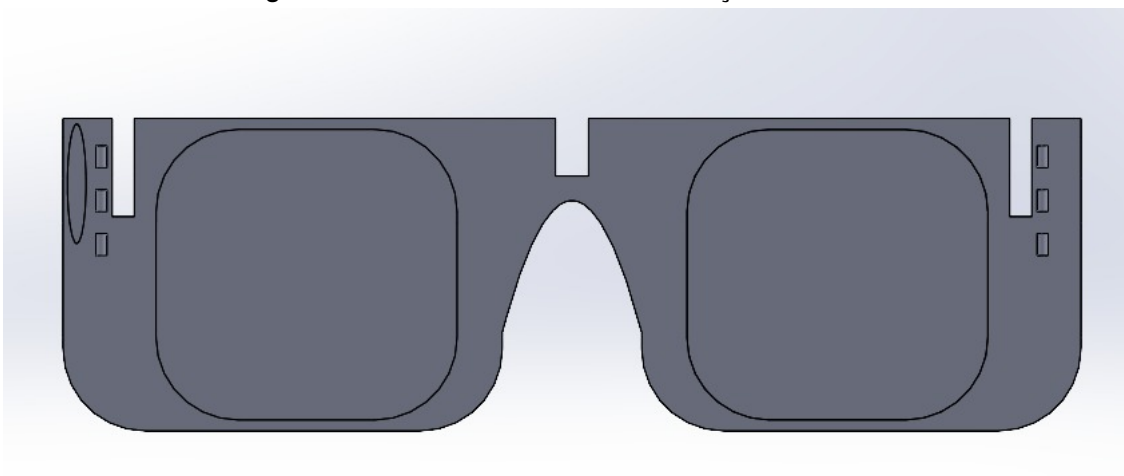
Fonte: Autoria própria.

Figura 25 – Vista superior da armação do óculos.



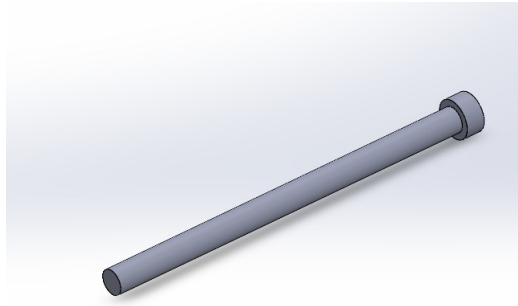
Fonte: Autoria própria.

Figura 26 – Vista frontal do verso da armação do óculos.



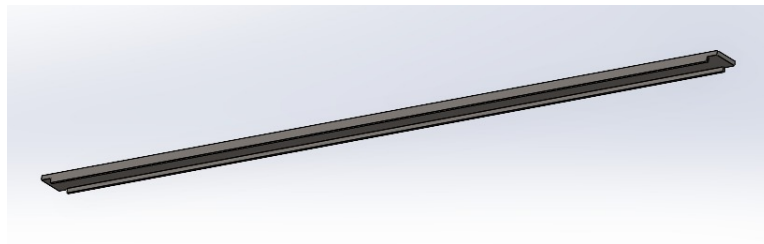
Fonte: Autoria própria.

Figura 27 – Vista frontal do pino.



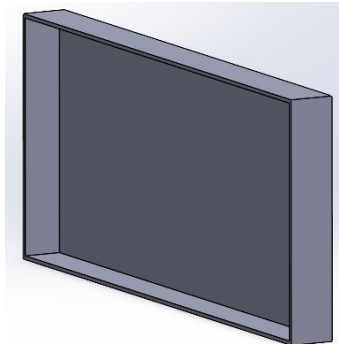
Fonte: Autoria própria.

Figura 28 – Vista frontal da tampa dos cabos da armação.



Fonte: Autoria própria.

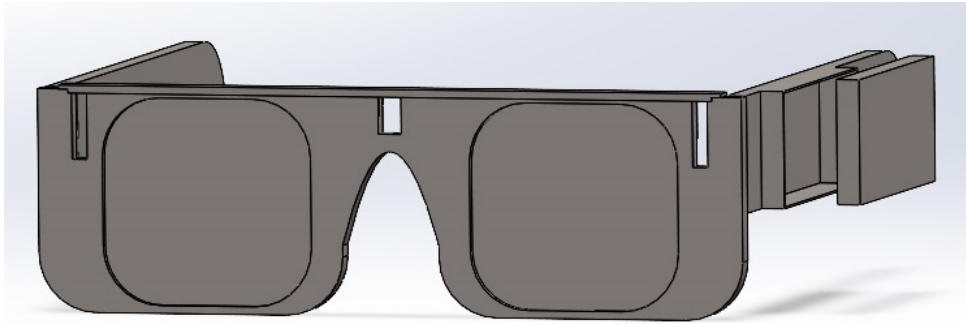
Figura 29 – Vista frontal da tampa.



Fonte: Autoria própria.

Assim, pode-se ter uma ideia visual de como o protótipo foi desenvolvido e de sua impressão. A junção de todas as peças desenvolvidas levou à construção final do óculos, como pode ser visualizado na Figura 30.

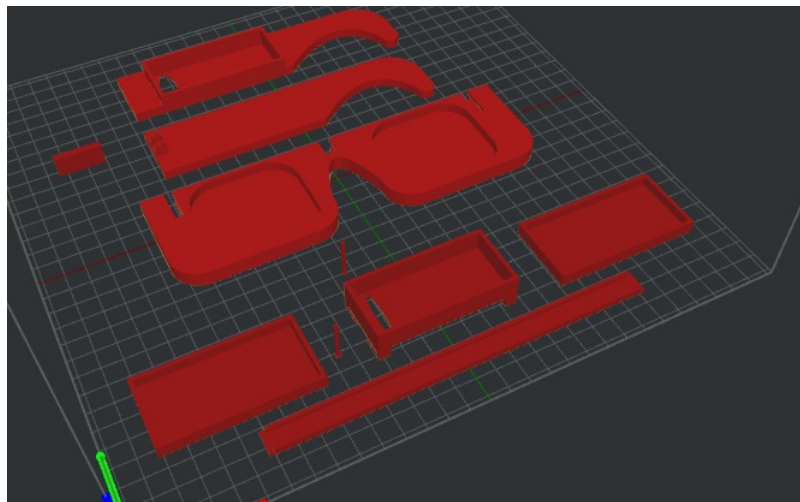
Figura 30 – Construção final do óculos pelo *software Solidworks*.



Fonte: Autoria própria.

As peças para a montagem do protótipo foram fabricadas utilizando manufatura aditiva com material ABS. Tanto a simulação das peças, quanto as peças prontas podem ser vista nas Figuras 31 e 32.

Figura 31 – Simulação das peças pelo *software* da impressora 3D.



Fonte: Autoria própria.

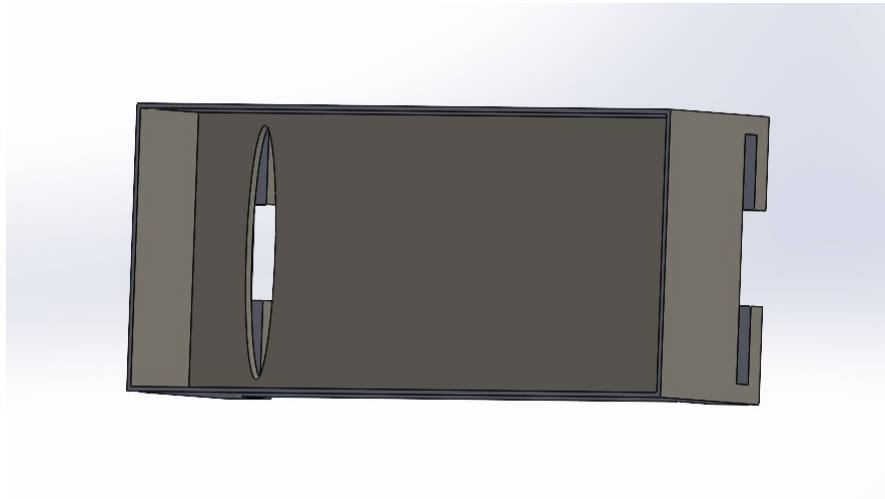
Figura 32 – Peças finalizadas pela impressora 3D.



Fonte: Autoria própria.

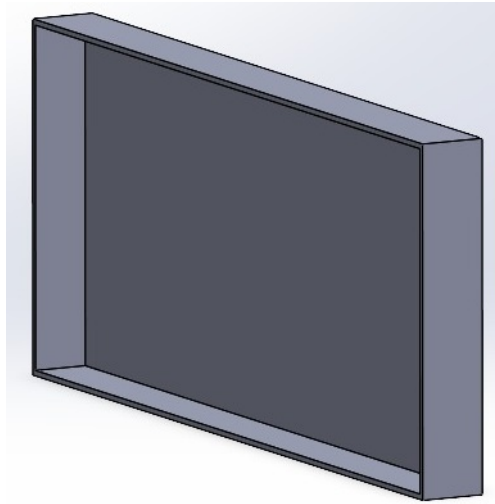
Para a criação das 2 peças da pulseira, foram utilizadas funções semelhantes às do óculos. As partes criadas para a pulseira foram o suporte da pulseira e sua tampa. Os componentes podem ser observados nas Figuras 33 e 34.

Figura 33 – Suporte da pulseira.



Fonte: Autoria própria.

Figura 34 – Vista frontal da tampa.



Fonte: Autoria própria.

4.6 Custos

Muitas das soluções existentes no mercado não são acessíveis aos usuários ou possuem um custo demasiadamente elevado, portanto este projeto tem como premissa um custo mais acessível comparado às soluções tecnológicas já disponibilizadas para comercialização.

O custo total do desenvolvimento do projeto, contando com o óculos e a pulseira, foi de R\$ 398,00. O detalhamento dos materiais utilizados pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Custo.

Materiais	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Impressão 3D	7	24,28	170,00
Motor de vibração	3	5,50	16,50
<i>Buzzer</i>	1	5,00	5,00
Sensor VL53L0X	2	17,50	35,00
ESP32	2	38,00	76,00
Chicotes	20	0,40	8,00
Componentes	7	0,71	5,00
Carregador portátil	2	28,00	56,00
Tecido de algodão	1	26,50	26,50
		Total	398,00

Fonte: Autoria própria.

5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados referentes a montagem final do óculos e da pulseira, além de seus devidos testes de funcionamento.

Os ensaios foram iniciados com os módulos montados em uma protoboard para que a verificação da funcionalidade dos circuitos fosse testada separadamente. Todos os módulos foram conectados conforme o esquemático das Figuras 17 e 20.

A estrutura do óculos foi impressa em 3D, em material ABS, com as medidas projetadas. Com a armação impressa em mãos, foi efetuada a montagem das peças para a formação final do óculos. Logo após, os sensores *laser* foram inseridos nas cavidades laterais, a passagem dos cabos por meio do rebaixo presente na parte superior do óculos foi realizada, além de todas as ligações dos cabos feitas no ESP32, localizado na haste esquerda (Figura 35). Para que o circuito funcione corretamente, foram utilizados carregadores portáteis de 5 V e 1 A para sua alimentação. Visto que cada motor de *vibracall* consome 90 mA e o microcontrolador pode chegar até 2 mA, foi possível obter uma autonomia de 18,3 horas para a pulseira, já para o óculos a autonomia foi de aproximadamente 2400 horas. A montagem final do óculos pode ser vista em três perspectivas: vista lateral (Figura 35), frontal (Figura 36) e superior (Figura 37).

Figura 35 – Vista lateral do óculos.



Fonte: Autoria própria.

Figura 36 – Vista frontal do óculos.



Fonte: Autoria própria.

Figura 37 – Vista superior do óculos.



Fonte: Autoria própria.

A montagem da pulseira se deu através da junção de seu suporte (Figura 33) com sua tampa (Figura 34), também produzidos em material ABS. Nesta caixa foram inseridas a placa ESP32 e todas as conexões dos cabos. A ligação dos motores de vibração foi feita em uma placa à parte, juntamente do circuito de proteção, conforme o esquemático da Figura 20. Para a confecção final da pulseira foi utilizado um tecido de algodão, devido a sua capacidade de passagem dos sinais transmitidos pelos motores de vibração, além de possibilitar um maior conforto ao usuário. A composição final da pulseira e o posicionamento dos motores de vibração podem ser visualizado nas Figuras 38 e 39.

Figura 38 – Posicionamento dos motores de vibração na pulseira de *feedback* tátil.



Fonte: Autoria própria.

Figura 39 – Pulseira de *feedback* tátil.

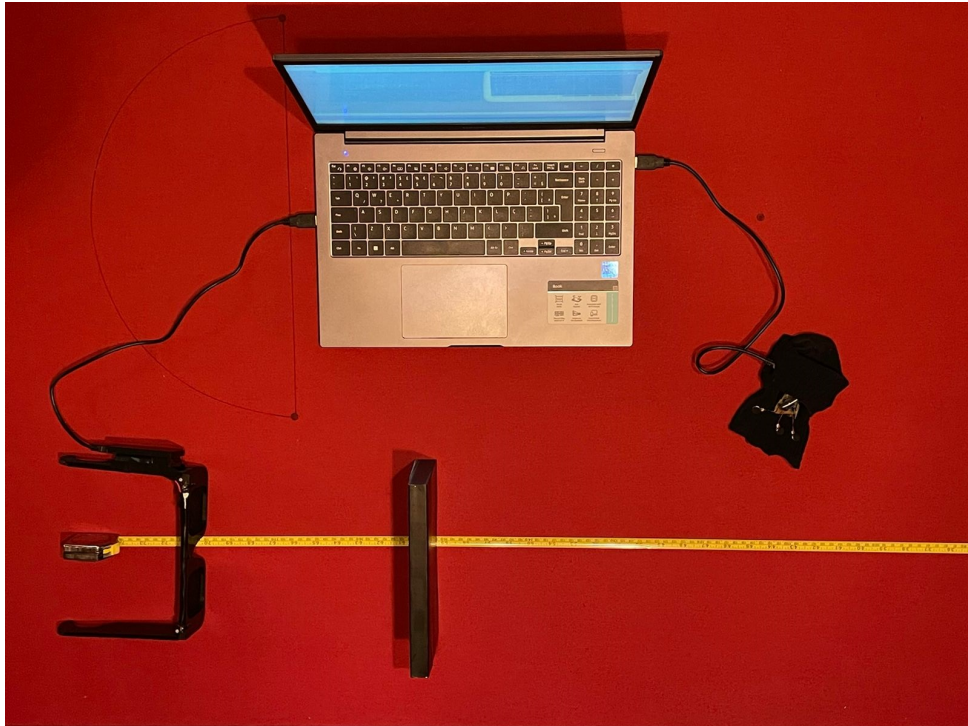


Fonte: Autoria própria.

A validação da medição efetuada pelos sensores e do *feedback* tátil foi feita através de ensaios de leitura, onde eram colocados objetos na frente do sensor e analisadas suas leituras via o monitor serial do *software Arduino*. Para validar os registros feitos dos sensores foi utilizada uma trena, de modo a verificar a coerência da distância do óculos para o objeto, variando as distâncias entre 100 a 900 mm, com a finalidade de atender a todos os *steps*. A distância máxima de 900 mm foi escolhida por conta da aplicabilidade da ferramenta assistiva, uma vez que o alcance máximo do sensor laser é prejudicial para a correta percepção e interpretação da localização dos obstáculos mais próximos e que representem um perigo iminente à segurança do usuário. Para a autenticação da pulseira, foram averiguados os valores de distância que o microcontrolador escravo recebia do mestre via monitor serial do *Arduino*. Conforme a distância do objeto era variada, foi apurado qual dos motores de vibração era acionado e em qual dos *steps* de distância ele se encontrava, de maneira a retornar o *feedback* adequado ao usuário. A Figura 40 representa o método utilizado para validar os resultados.

Outra metodologia de legitimação da precisão do sensor laser utilizada foi a realização de testes de aferição com o dispositivo recebendo diferentes intensidades de luminosidade, variando desde focos de luz verticais até um ambiente com pouca claridade, de modo a checar o nível de interferência sofrido pelo laser. Assim, foi constatado que em alguns momentos a leitura feita pelo sensor acaba sofrendo uma interferência e a leitura apresentada no monitor serial do *Arduino* acaba sendo divergente da distância do objeto. Após o ocorrido, o próprio sensor faz as devidas correções nas próximas leituras.

Figura 40 – Método utilizado para validar os resultados.



Fonte: Autoria própria.

A distância média obtida por este método pode ser visualizada na Tabela (4).

Tabela 4 – Distância média obtida.

Distância (mm)	Laser 1 (mm)	Laser 2 (mm)
100	128,7	127,5
200	230,85	230,3
300	332,25	327,7
400	429,05	423,75
500	537,1	536,25
600	623,45	625,6
700	708,90	706,81
800	792,96	827,5

Fonte: Autoria própria.

Para mensurar o erro e a precisão dos valores medidos pelos sensores, foi feito o cálculo do erro absoluto, que pode ser descrito como a diferença entre o valor medido e o valor esperado, retratado na seguinte equação:

$$E = |\text{esperado} - \text{medido}| \quad (1)$$

Onde:

E - Erro absoluto;

Esperado - Distância esperada, coletada através da trena e;

Medido - Distância medida pelo sensor laser.

Para o cálculo deste erro, o óculos foi posicionado em uma superfície reta e, com o auxílio de uma trena, foi marcada a distância de 0 mm até 900 mm. Com isso, foi inserido um objeto em pontos de distância pré definidos, efetuando a leitura deste objeto 20 vezes, variando os passos em 100 mm.

O erro absoluto das medidas realizadas pode ser visto na Tabela 5, na qual tem-se os respectivos valores de erro para cada laser utilizado.

Tabela 5 – Erro absoluto das distâncias.

Distância (mm)	Erro absoluto laser 1	Erro absoluto laser 2
100	28,7	27,5
200	30,85	30,3
300	32,25	27,7
400	29,05	23,75
500	37,1	36,25
600	23,45	25,6
700	8,90	6,81
800	7,04	27,5

Fonte: Autoria própria.

Para validar a precisão das medidas lidas e analisar a dispersão foi utilizado o método do desvio padrão, que pode ser observado na Tabela 6. A equação utilizada para este cálculo pode ser retratada da seguinte maneira:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_A)^2}{n-1}} \quad (2)$$

Onde:

σ - Desvio padrão;

x_i - Valor individual;

M_A - Média dos valores;

n - Número de amostras;

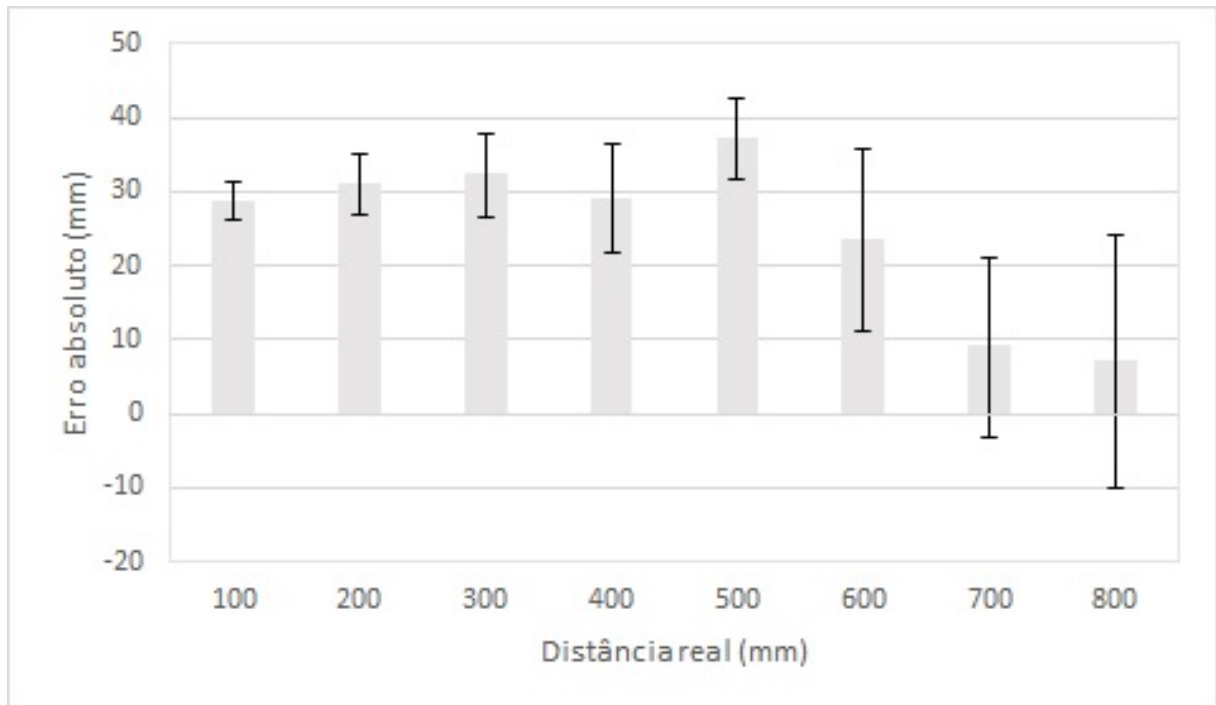
Tabela 6 – Desvio padrão das distâncias.

Distância (mm)	Desvio padrão laser 1	Desvio padrão laser 2
100	2,5361	2,9290
200	4,0946	3,4959
300	5,5996	7,2917
400	7,3304	7,8932
500	5,3793	5,2500
600	12,2923	13,0964
700	12,3938	12,3922
800	17,0630	15,3255

Fonte: Autoria própria.

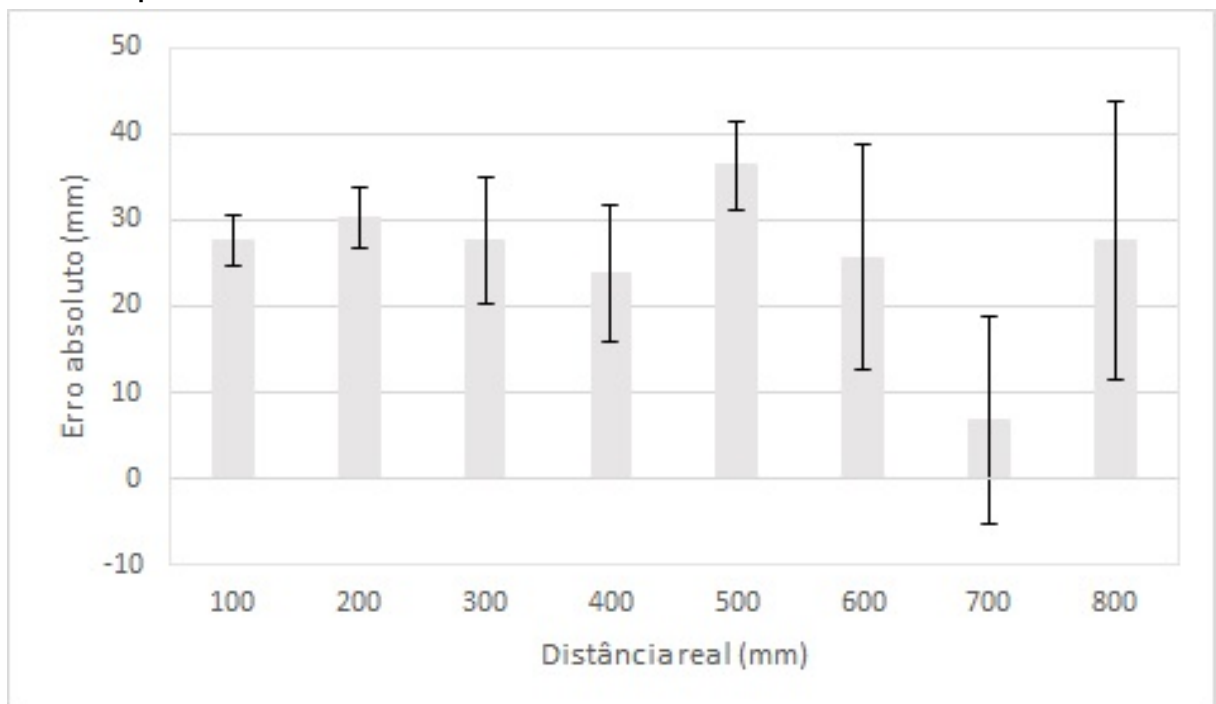
O desvio padrão de cada sensor pode ser visto nos gráficos 3 e 4.

Gráfico 3 – Erros absolutos e seus respectivos desvios padrão para cada uma das distâncias avaliadas para o sensor laser 1.



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 4 – Erros absolutos e seus respectivos desvios padrão para cada uma das distâncias avaliadas para o sensor laser 2.

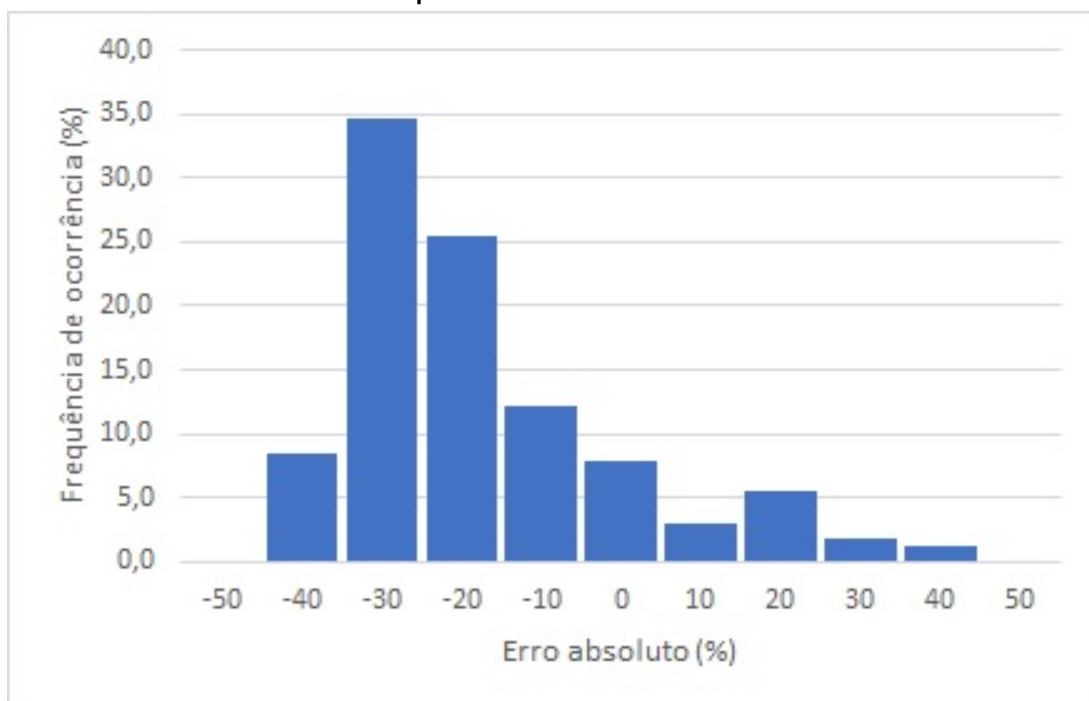


Fonte: Autoria própria.

Visto que a média do desvio padrão está em torno de 8 mm e o erro absoluto está em torno de 22,9 mm para o laser 1 e 25,67 mm para o laser 2, foi necessário fazer compensações no código de aproximadamente 8 mm na distância lida para que o retorno tátil não seja prejudicado. Após a compensação, os testes foram refeitos e erro absoluto médio ficou em torno de 0,4%.

A partir do histograma representado no gráfico 5, pode-se verificar que o erro absoluto não se encontra distribuído em 0%, mas sim com uma tendência a -20% e -30%. Isso significa que as distâncias dos objetos aferidas pelos sensores se encontram mais próximas do usuário, em torno do percentual observado no gráfico.

Gráfico 5 – Frequência de ocorrência do erro absoluto.



Fonte: Autoria própria.

A montagem final do protótipo pode ser vista na Figura 41. O óculos pesa aproximadamente 110g, com a inclusão do *powerbank* o seu peso vai para 350g. A pulseira pesa 78g e com o carregador portátil chega à 318g. A representação da utilização do dispositivo por um usuário fictício pode ser observada na Figura 42.

Figura 41 – Protótipo finalizado.



Fonte: Autoria própria.

Figura 42 – Representação da utilização do dispositivo.



Fonte: Autoria própria.

6 CONCLUSÃO

Este projeto possuiu como objetivo principal o desenvolvimento de um dispositivo de acessibilidade à pessoas com deficiência visual. Este utensílio deve auxiliar para que seus usuários consigam evitar um maior número de obstáculos em ambientes internos fazendo uso dos aparatos já disponíveis no mercado, de forma segura e com uma precificação mais adequada. O protótipo construído utilizou:

- 2x sensores laser VL53L0X;
- 3x motores de vibração 1027;
- 2x microcontroladores ESP32 DevKit;
- 1x armação em ABS;
- 1x caixa suporte da pulseira em ABS;
- 2x carregadores portáteis e
- 1x *buzzer*.

Os resultados exibiram,0 que os sensores laser, juntamente ao algoritmo desenvolvido para seu funcionamento, e a pulseira possuem uma performance satisfatória para um protótipo inicial. Fez-se necessário o contorno de algumas adversidades que foram encontradas, por exemplo, problemas de aferição encontrados por conta dos efeitos causados pela luz, de interferências no laser refletido, ou de superfícies altamente reflexivas, tal quais espelhos e vidros.

O procedimento apresentado para o *feedback* tátil por meio da pulseira se manifesta de maneira intuitiva, possibilitando ao deficiente visual o encontro da localização do objeto. Ademais, a implementação do *buzzer* em caso de objetos extremamente próximos ao usuário atribui uma maior segurança ao uso do dispositivo, reduzindo consideravelmente as chances de um acidente ocorrer com o usuário ao ir de encontro com o objeto.

Complementarmente, pode-se citar uma grande vantagem atrelada ao uso dos sensores laser, como o retorno de uma medição óptica fidedigna de elevada extensão e alta precisão para detecção de objetos demasiadamente pequenos, independentemente de suas cores, materiais e brilho.

Com relação ao protótipo, alguns dos problemas encontrados em seu resultado podem ser citados, como: a dificuldade de detecção de objetos que estejam fora de alcance do feixe de luz do laser, impossibilitando seu reconhecimento. Outrossim, a necessidade de uma conexão externa de bateria para cada um dos dispositivos por conta da corrente exigida dos microcontroladores juntamente a seus respectivos circuitos os deixou maiores do que o esperado.

Deste modo, é possível concluir que a maior parte dos objetivos primordialmente dispostos foram alcançados, visto que o dispositivo segue o intuito e proposta para o qual foi

desenvolvido, juntamente a seus algoritmos. Assim, sendo apto para devolver ao deficiente visual resultados adequados em relação as medições dos obstáculos encontrados que podem prejudicar sua locomoção.

Por fim, pode-se constatar que o equipamento confeccionado ainda precisa de melhorias, sendo um ponto de partida para um melhor desenvolvimento da tecnologia, uma vez que cria oportunidade de progresso na área de tecnologias assistivas para deficientes visuais em trabalhos futuros associados à área de Engenharia.

6.1 Trabalhos Futuros

Sabendo que o dispositivo criado foi testado apenas laboratorialmente e por seus autores, que não apresentam qualquer gênero de deficiência visual, tem-se que um dos próximos passos seria a realização de testes com pessoas cegas para uma obtenção de parâmetros mais adequados e precisos sobre o protótipo, como as questões de sua usabilidade, conforto, frequência dos alertas táteis e um melhor ajuste com relação aos objetos apontados pelo óculos.

Adicionalmente, outra melhoria que poderia ser inserida no óculos é com relação ao número de sensores laser utilizados para a verificação de objetos no percurso do usuário. Visto que o laser verifica a existência dos obstáculos por um feixe direcionado, uma maior quantidade de detectores abrangeria uma maior área de reconhecimento.

Assim como alegado previamente, um dos principais problemas encontrados foi a questão da alimentação dos dispositivos para os respectivos circuitos, visto que sua autonomia depende muito de sua usabilidade. Portanto, sabendo que foram utilizados *powerbanks* para energizar os equipamentos, sua autossuficiência e ergonomia ficaram comprometidas. Deste modo, a solução proposta para trabalhos futuros seria a inclusão de uma alimentação por meio de indução eletromagnética ao óculos e à pulseira.

Outra proposta que pode ser feita devido ao carregamento por indução, trata-se da inclusão de um botão liga e desliga, para manter o dispositivo em *stand-by* enquanto não está sendo utilizado. Visto que o buzzer pode incomodar o usuário caso fique apitando por uma parcela de tempo maior, ele pode ter uma opção de desligamento pelo indivíduo, por meio de uma tecla de desativação. E, com o desenvolvimento da tecnologia, é de extrema necessidade que seja feita a integração deste dispositivo assistivo com *Smartphones*, para que o usuário consiga, através de um aplicativo, verificar o desempenho do consumo das baterias, tanto do óculos como da pulseira, e também consiga enviar a sua localização para seus contatos de segurança.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, Brasil, 2004. 97 p.
- AGRAWAL, M. P.; GUPTA, A. R. Smart stick for the blind and visually impaired people. In: **2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)**. [S.l.: s.n.], 2018. p. 542–545.
- ALMEIDA, L. C. de; LOCH, R. E. N. Mapa tátil: Passaporte para a inclusão. **EXTENSIO - Revista Eletrônica de Extensão**, n. 3, p. 36, 2005.
- AMAZON. **Alexa Accessibility**. 2022. Disponível em: <https://www.amazon.com/b?ie=UTF8&node=21101808011>. Acesso em: 04 de maio de 2022.
- APPLE. **Apple Acessibilidade**. 2022. Disponível em: <https://www.apple.com/br/accessibility/vision/>. Acesso em: 04 de maio de 2022.
- ARAVINTH, T. Wifi and bluetooth based smart stick for guiding blind people. In: **2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 317–320.
- ARRUDA, S. M. C. de P. Acessibilidade no cotidiano de pessoas com deficiência visual. **Revista @mbienteeducação**, v. 1, n. 2, p. 113–121, 2008.
- BABIUCH, M.; FOLTÝNEK, P.; SMUTNÝ, P. Using the esp32 microcontroller for data processing. In: IEEE. **2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)**. [S.l.], 2019. p. 1–6.
- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, J. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. [S.l.]: LTC - GRUPO GEN, 2011. ISBN 8521618794.
- BERSCH, R. **Introdução à tecnologia assistiva**. 2017. Disponível em: https://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf. Acesso em: 14 de agosto de 2021.
- BERSCH, R. de C. R. **Design de um serviço de tecnologia assistiva em escolas públicas**. out. 2009. 231 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade federal do rio grande do sul, Porto Alegre, out. 2009.
- BRANDÃO, D. **Conceitos de instrumentação**. São Paulo, BRA, 2016. 18 p. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1815226/mod_resource/content/0/SEL0432_2016_Instrumenta%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 21 de junho de 2022.
- BRASIL. Constituição da república federativa do brasil. Brasília, DF, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 2022-06-30.
- BRASIL. Lei nº 7.853, de 24 de outubro de 1989. Brasília, DF, 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7853.htm. Acesso em: 2022-06-30.
- BRASIL. Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l10098.htm. Acesso em: 2021-08-11.
- BRASIL. Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2004. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm. Acesso em: 2021-08-11.

- BRASIL. Decreto nº 6.949, de 25 de agosto de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6949.htm. Acesso em: 2022-05-11.
- BRASIL. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Brasília, DF, 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 2021-05-22.
- BRASIL. **Pessoa com Deficiência e Doenças Raras**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdh/pt-br/navegue-por-temas/pessoa-com-deficiencia>. Acesso em: 05 de junho de 2022.
- BRITANNICA, E. **Laser Fundamental principles**. 2022. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/laser/Fundamental-principles>. Acesso em: 20 de junho de 2022.
- BUDILAKSONO, S. *et al.* Designing an ultrasonic sensor stick prototype for blind people. **Journal of Physics: Conference Series**, IOP Publishing, v. 1471, n. 1, p. 012020, feb 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1471/1/012020>.
- CARDILLO, E. *et al.* An electromagnetic sensor prototype to assist visually impaired and blind people in autonomous walking. **IEEE Sensors Journal**, v. 18, n. 6, p. 2568–2576, 2018.
- CARVALHO, V. B. **Desenvolvimento e Teste de um Monitor de Barramento I2C para Proteção Contra Falhas Transientes**. 2016. 87 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Informática, Porto Alegre, 2016.
- CHEN, C.-H.; WANG, C.-C.; LIN, S.-F. A navigation aid for blind people based on visual simultaneous localization and mapping. In: **2020 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-Taiwan)**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–2.
- CHEN, L.-B. *et al.* An implementation of an intelligent assistance system for visually impaired/blind people. In: **2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–2.
- CHEN, Y. Vibration motor. **Michigan State University**, p. 1,12, 2013. Disponível em: <https://www.egr.msu.edu/classes/ece480/capstone/spring13/group05/downloads/Application\%20Note-yangyi.pdf>.
- CIRCUITS4YOU. **ESP32 DevKit ESP32-WROOM GPIO Pinout**. 2018. Disponível em: <https://circuits4you.com/2018/12/31/esp32-devkit-esp32-wroom-gpio-pinout/>. Acesso em: 10 de junho de 2022.
- COSTA, R. C. *et al.* Desenvolvimento de uma bengala automatizada utilizando arduino para deficientes visuais. 2020.
- CURRAN, M.; TEH, J. **Software NVDA**. 2006. Disponível em: <https://www.nvaccess.org/>. Acesso em: 22 de maio de 2022.
- DATASHEET-ESPRESSIF. **Datasheet ESP32 Series**. 2022. Disponível em: https://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 04 de abril de 2022.
- DAUDPOTA, M. H. *et al.* Giving blind a smart eye: Designing and modeling of intelligent white cane for blind people. In: **2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–6.

- DESMIRA, D. *et al.* An ultrasonic and temperature sensor prototype using fuzzy method for guiding blind people. **Journal of Physics: Conference Series**, IOP Publishing, v. 1446, n. 1, p. 012045, jan 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1446/1/012045>.
- DEY, N. *et al.* Ultrasonic sensor based smart blind stick. In: **2018 International Conference on Current Trends towards Converging Technologies (ICCTCT)**. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–4.
- EL-SABA, M. **Introduction to Microcontrollers Embedded Systems**. [S.l.: s.n.], 2017.
- ESP32 DEVKIT, E. **ESP32 DevKit**. 2022. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/devkits/esp32-devkit/overview>. Acesso em: 21 de junho de 2022.
- ESP32 SOSC, E. **ESP32 SOSC**. 2022. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. Acesso em: 21 de junho de 2022.
- ESPNOV-ESPRESSIF. **ESP32 Series**. 2022. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/software/esp-now/overview>. Acesso em: 04 de abril de 2022.
- FATHONI, A. N. *et al.* Design automatic dispenser for blind people based on arduino mega using ds18b20 temperature sensor. In: **2020 Third International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE)**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–5.
- GARCÍA, J. C. D.; BRASIL, I. **Livro Branco: Da tecnologia assistiva no brasil**. [S.l.]: ITS Brasil, 2017. 158 p.
- GEBHARDT, A.; HEOTTER, J.-S. **Additive Manufacturing: 3D printing for prototyping and manufacturing**. [S.l.]: Hanser Gardner Publications, 2016.
- GIL, A. C. **Metódos e Técnicas de Pesquisa Social**. [S.l.]: Atlas, 2008. 200 p.
- GUIMARÃES, F. **Mundo Projetado - I2C**. 2018. Disponível em: <https://mundoprojetado.com.br/i2c/>. Acesso em: 24 de abril de 2022.
- HARSUR., A.; M., C. Voice based navigation system for blind people using ultrasonic sensor. In: **International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 4117 – 4122.
- HE, Y. *et al.* Improved mobility performance with an artificial vision therapy system using a thermal sensor. **Journal of Neural Engineering**, IOP Publishing, v. 17, n. 4, p. 045011, aug 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aba4fb>.
- IBC. **Instituto Benjamin Constant: Os conceitos de deficiência**. 2019. Disponível em: www.ibc.gov.br/images/conteudo/AREAS_ESPECIAIS/CEGUEIRA_E_BAIXA_VISAO/ORIENTACOES-BASICAS/tipos-de-deficiencia.pdf. Acesso em: 14 de agosto de 2021.
- IBGE, I. B. D. G. E. E. **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE: Censo demográfico 2010**. 2010. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf. Acesso em: 07 de agosto de 2021.
- INTERNATIONAL, A. **ASTM F2792-12a Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies**. 2012. Disponível em: <https://www.apple.com/br/accessibility/vision/>. Acesso em: 20 de junho de 2022.
- INÁCIO, C. D. D. S.; RAPHAEL, G. P. Bengala eletrônica para deficientes visuais. In: **Revista Alomorfia**. [S.l.: s.n.], 2021. v. 5, n. 1, p. 220–234.

ISWAHYUDI; ANAM, K.; SUJANARKO, B. Development of a visual aid tool for blind people based on faster r-cnn. **AIP Conference Proceedings**, v. 2278, n. 1, p. 020049, 2020. Disponível em: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0014538>.

JUNIOR, S. L. S.; FARINELLI, F. A. **DOMÓTICA-Automação Residencial e Casas Inteligentes com Arduíno e ESP8266**. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2018.

KALINSKY, D. **Introduction to I2C**. 2001. Disponível em: <http://www.embedded.com/electronics-blogs/beginner-s-corner/4023816/Introduction-toI2C>. Acesso em: 20 de junho de 2022.

KALPANA, S. *et al.* Voice recognition based multi robot for blind people using lidar sensor. In: **2020 International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–6.

KAMARUDIN, M. *et al.* Braille display systems for blind people with haptic belt. **International Journal of Human and Technology Interaction (IJHaTI)**, v. 5, n. 1, 2021.

KERSCHBAUMER, P. R. Microcontroladores. **IFC – Instituto Federal Catarinense Câmpus Luzerna**, 2018. Disponível em: <https://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2018/02/Apostila-Microcontroladores.pdf>.

KNECHTEL, M. do R. **Metodologia da Pesquisa em Educação**: Uma abordagem teórico-prática dialogada. [S.l.]: InterSaberes, 2014. 200 p.

KUNTA, V.; TUNIKI, C.; SAIRAM, U. Multi-functional blind stick for visually impaired people. In: **2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 895–899.

KURIBAYASHI, M. *et al.* Linechaser: A smartphone-based navigation system for blind people to stand in lines. In: **Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2021. (CHI '21). ISBN 9781450380966. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3411764.3445451>.

LIFE.AUGMENTED. **Datasheet VL53L0X**. 2021. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2022.

LOPES, F. L. A evolução da engenharia biomédica: no brasil e no mundo. In: **Apostilas de Professores do Inatel**. [s.n.], 2019. p. 21. Disponível em: https://cict.inatel.br/sophia_web/.

MAIA, M. Novo conceito de pessoa com deficiência e proibição do retrocesso. **Ministério Público do Paraná - MPPR**, 2013. Acesso em: 30 de junho de 2022.

MAIER, A.; SHARP, A.; VAGAPOV, Y. Comparative analysis and practical implementation of the esp32 microcontroller module for the internet of things. In: **2017 Internet Technologies and Applications (ITA)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 143–148.

MANSFIELD, N. J. **Human Response to Vibration**. Boca Raton: CRC Press, 2005.

MARTINS, L. R. da S. *et al.* Guide2blind: Sistema hÁptico-sonoro de orientaÇÃo para deficientes visuais em ambientes fechados. In: **Brazilian Journal of Development**. [S.l.: s.n.], 2021. v. 7, n. 3, p. 23417–23435.

MCKEE, M. G. Biofeedback: an overview in the context of heart-brain medicine. **Cleveland Clinic journal of medicine**, v. 75, p. S31, 2008.

MELLO, M. A. F. de. Tecnologia assistiva: Medicina de reabilitação aplicada à ortopedia e traumatologia. In: _____. [S.l.]: Roca, 1999. p. 270–278.

- MELO, H. F. R. **Deficiência Visual**: Lições prática de orientação e mobilidade. [S.l.]: Unicamp, 1991. 158 p.
- MELO, J. C. de A. E. *et al.* Protótipo de uma tornozeleira sensorial inteligente: Independência e autonomia às pessoas com deficiência visual. In: **Brazilian Journal of Development**. [S.l.: s.n.], 2021. v. 7, n. 1, p. 8613–8623.
- MICROPOWER. **Software Visual Vision**. 2022. Disponível em: <https://www.virtualvision.com.br/>. Acesso em: 22 de maio de 2022.
- MORE, P. R.; RAUT, P. S.; WAGHMODE, P. M. Virtual eye for visually blind people. In: **INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCE SCIENTIFIC RESEARCH ENGINEERING TRENDS**. [S.l.: s.n.], 2021. v. 5, p. 562–566.
- NADA, A. A.; FAKHR, M. A.; SEDDIK, A. F. Assistive infrared sensor based smart stick for blind people. In: **2015 Science and Information Conference (SAI)**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1149–1154.
- NICOLOSI, D. E. C. **Microcontrolador 8051 Detalhado**. 9. ed. [S.l.]: Editora Érica, 2009. 256 p.
- NURFADILAH *et al.* Money detector based on LDR sensor. In: NASUTION, A. M. T.; HATTA, A. M. (Ed.). **Third International Seminar on Photonics, Optics, and Its Applications (ISPhOA 2018)**. SPIE, 2019. v. 11044, p. 61 – 65. Disponível em: <https://doi.org/10.1117/12.2504883>.
- PASIC, R.; KUZMANOV, I.; ATANASOVSKI, K. Esp-now communication protocol with esp32. **Journal of Universal Excellence**, Faculty of Organizational Sciences-Slovenia, v. 6, n. 1, p. 53–60, 2021.
- PENIDO Édilus de C. C.; TRINDADE, R. S. Microcontroladores. **e-Tec Brasil**, 2013. Disponível em: <https://www2.ifmg.edu.br/ceadp3/apostilas/microcontroladores>.
- PEREIRA, A. *et al.* Blind guide: An ultrasound sensor-based body area network for guiding blind people. **Procedia Computer Science**, v. 67, p. 403–408, 2015. ISSN 1877-0509. Proceedings of the 6th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915031312>.
- PESSOA, E. B.; RABELO, J. A. A.; JIMENEZ, L. F. de S. Protótipo: Bracelete detector de obstáculos para deficientes visuais. In: **Brazilian Journal of Development**. [S.l.: s.n.], 2021. v. 7, n. 3, p. 22872 – 22889.
- RAJALASHMI, K. *et al.* Investigation of al & cu for control, operation and maintenance of starter. **Materials Today: Proceedings**, Elsevier, 2022.
- ROSE, B. **Buzzer Basics - Technologies, Tones, and Drive Circuits**. 2022. Disponível em: <https://www.cuidevices.com/blog/buzzer-basics-technologies-tones-and-driving-circuits>. Acesso em: 20 de junho de 2022.
- ROZALI, S. M. *et al.* Development of smart glove system for blind people. **IJEEAS**, v. 4, n. 1, 2021.
- SCHOTTE, G. **A Brief History of Additive Manufacturing**. 2019. Disponível em: <https://blog.trimech.com/a-brief-history-of-additive-manufacturing>. Acesso em: 04 de maio de 2022.
- SHARMA, T. *et al.* Smart cane: Better walking experience for blind people. In: **2017 3rd International Conference on Computational Intelligence and Networks (CINE)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 22–26.

- SOARES, R. F. B. **Smart walking stick (SWS) Sistema colaborativo para deficientes visuais**. 2013. 62 p. — CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA FUNDAÇÃO DE ENSINO EURÍPIDES SOARES DA ROCHA, Marília, SP, Brasil, 2013. Disponível em: <https://aberto.univem.edu.br/bitstream/handle/11077/970>. Acesso em: 14 de agosto de 2021.
- SRIVATSAN, T.; SUDARSHAN, T. *Additive manufacturing: Innovations, advances, and applications*. CRC Press, 2016.
- TULLAH, R. *et al.* Smart-cane for the blind with a sensor detection approach. In: **Telematika**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 110–118.
- UNIVERSAL LASER, S. **The Fundamentals of Laser Technology**. 2022. Disponível em: <https://www.ulsinc.com/learn>. Acesso em: 04 de abril de 2022.
- V, D. *et al.* Portablecamerabased assistive text and product label reading from hand-held objects for blind people using raspberry pi. In: **Annals of R.S.C.B.** [S.l.: s.n.], 2021. v. 25, p. 9976–9981.
- VALDEZ, J.; BECKER, J. **Understanding the I²C Bus**: Texas instruments. 2015. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf>. Acesso em: 24 de abril de 2022.
- VEIT, D. R. **Impactos da manufatura aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos**. 2018. 350 p. Tese (Doutorado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.
- VILLAÇA, C. D. L. E. M. V. M. **Avr E Arduino: Técnicas De Projeto**. Clube de Autores, 2012. ISBN 9788591140015. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=ehJKEAAAQBAJ>.
- WEST, K. **Biofeedback**. [S.l.]: Infobase Publishing, 2009.
- WEWALK. **WeWALK LIMITED UK**. 2017. Disponível em: <https://wewalk.io/en/about/>. Acesso em: 22 de maio de 2022.