

INSTITUTO FEDERAL

Goiás

Câmpus Anápolis

Rafael Souza Oliveira

Tecnologia Assistiva para Bengalas de Pessoas com Deficiência Visual

Anápolis-GO

2025

Rafael Souza Oliveira

Tecnologia Assistiva para Bengalas de Pessoas com Deficiência Visual

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto Federal de Goiás como parte das
exigências para obtenção do título de Bacha-
rel em Ciência da Computação.

Instituto Federal de Goiás - Câmpus Anápolis

Orientador: Prof. MS. Alexandre Bellezi José

Anápolis-GO

2025

Resumo

Este trabalho investiga as tecnologias assistivas que auxiliam pessoas com deficiência visual, com foco particular na mobilidade. As tecnologias assistivas são ferramentas cruciais para minimizar esses obstáculos, promovendo maior autonomia e segurança. Apesar da existência de diversas soluções, um estudo prévio indicou que a bengala tradicional ainda é a principal ferramenta de mobilidade utilizada, evidenciando uma lacuna em opções mais avançadas para aprimorar a percepção do usuário.

Para preencher essa lacuna, este trabalho analisa as dificuldades de mobilidade e as ferramentas existentes. A partir dessa análise, propõe-se uma solução de baixo custo: uma bengala aprimorada com a integração de sensores, atuadores e o ESP32. Essa proposta visa oferecer uma alternativa para aprimorar a locomoção de pessoas com deficiência visual. Para validar essa abordagem, um protótipo da bengala foi implementado.

Palavras chaves: Tecnologias Assistivas, Bengala para cegos, ESP32, Sensores, Atuadores.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

OLIVEIRA, Rafael Souza

O48t Tecnologia assistiva para bengalas de pessoas com deficiência visual./ Rafael Souza Oliveira. – Anápolis: IFG, 2025.
53 f. il. color.

Orientador: Prof. Me. Alexandre Bellezi José.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Anápolis – Bacharelado em Ciência da Computação, 2025.

1. Tecnologia assistiva. 2. Bengala para cegos. 3. ESP32. 4. Sensores. 5. Atuadores.

4. Brasil.

I. JOSÉ, Alexandre Bellezi (orient.).

II. Título.

CDD 621.381



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ANÁPOLIS

ATA N° 01/ 2025

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao 25 dias do mês de Março do ano de dois mil e vinte e cinco, às 15:00 horas, no Instituto Federal de Goiás, Câmpus Anápolis situado à Av. Pedro Ludovico, s/n - Residencial Reny Cury, Anápolis - GO, 75131-457, Estado de Goiás, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso da Graduando **RAFAEL SOUZA OLIVEIRA** (matrícula 20191060140185) do curso de Bacharelado em Ciência da Computação, no primeiro semestre do ano de dois mil e dezenove. A banca foi composta pelos seguintes membros: Me. Alexandre Bellezi José, Dr. Hugo Vinicius Leão e Silva e Dr. Francisco Rodrigues Lemes, sob a presidência da primeiro. O trabalho de conclusão de curso tem como título "**Tecnologia Assistiva para Bengalas de Pessoas com Deficiência Visual**", da área de Ciência da Computação, sob orientação da Prof. Alexandre Bellezi José. Após a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, tendo sido o autor arguido pela Banca Examinadora, a nota obtida foi 6,83.

Encerra-se a presente sessão às 16 horas e 00 minutos. Eu, Prof. Alexandre Bellezi José, dato e assino a presente ata que segue assinada por todos os membros da Banca e pelo graduando.

Prof. Dr. Hugo Vinicius Leão e Silva

Prof. Dr. Francisco Rodrigues Lemes

Prof. Me. Alexandre Bellezi José

Rafael Souza Oliveira
(Graduando)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Rafael Souza Oliveira**, 20191060140185 - Discente, em 26/03/2025 10:05:49.
- **Hugo Vinicius Leao e Silva**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/03/2025 16:17:37.
- **Alexandre Bellezi Jose**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/03/2025 16:15:30.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/10/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 574625
Código de Autenticação: 1f00b05738





INSTITUTO FEDERAL
Goiás

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

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

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

Identificação da Produção Técnico-Científica

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

Nome Completo do Autor: Rafael Souza Oliveira

Matrícula: 20191060140185

Título do Trabalho: Tecnologia Assistiva para Bengalas de Pessoas com Deficiência Visual

Autorização - Marque uma das opções

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

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

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

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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

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

Anápolis, 02/06/2025.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Lista de ilustrações

Figura 1 – Os cinco passos do processo cognitivo. Fonte: (ASSIS, 2018)	16
Figura 2 – Técnica dos dois toques. Fonte: (ASSIS, 2018)	17
Figura 3 – Fluxograma de uso do dispositivo. Fonte: Autor.	18
Figura 4 – Sensor de distância ultrassônico HC-SR04. Fonte: (ALLDATASHEET, 2014)	22
Figura 5 – Gráfico da área de detecção do sensor HC-SR04. Fonte: Autor.	22
Figura 6 – Motor Vibracall MV50. Fonte: (Usina Info, 2025f)	24
Figura 7 – <i>Buzzer</i> BPA5. Fonte: (Usina Info, 2025b)	25
Figura 8 – ESP32 WROOM. Fonte: Autor.	26
Figura 9 – Bateria portátil WST DL-516. Fonte: Autor.	27
Figura 10 – Cabo USB para micro USB. Fonte: Autor.	27
Figura 11 – Placa de prototipação de 10 trilhas. Fonte: (Baú da Eletrônica, 2025)	28
Figura 12 – Caixa de luz Fortlev. Fonte: (Fortlev, 2025)	28
Figura 13 – Placa Romazi Canoa 4X2 com 1 posto horizontal. Fonte: (Todimo, 2025)	29
Figura 14 – Bengala dobrável Supermedy. Fonte: (Supermedy, 2025)	29
Figura 15 – Diagrama de circuito do protótipo. Fonte: Autor.	31
Figura 16 – Posições dos componentes na caixa. Fonte: Autor.	32
Figura 17 – Fixação do sensor HC-SR04 na tampa. Fonte: Autor.	33
Figura 18 – Conexões dos componentes. Fonte: Autor.	33
Figura 19 – Encaixe do cabo USB ao ESP32. Fonte: Autor.	34
Figura 20 – Posicionamento da bateria no dispositivo. Fonte: Autor.	34
Figura 21 – Protótipo após montagem na caixa. Fonte: Autor	35
Figura 22 – Protótipo acoplado na bengala. Fonte: Autor	35
Figura 23 – Exemplo de funcionamento do protótipo. Adaptado de: (PEREIRA, 2020)	36
Figura 24 – Função responsável por fazer as leituras do sensor. Fonte: Autor.	37
Figura 25 – Função responsável por controlar o acionamento dos atuadores. Fonte: Autor.	38
Figura 26 – <i>loop</i> principal do programa. Fonte: Autor.	40
Figura 27 – Declaração das variáveis e constantes. Fonte: Autor.	40
Figura 28 – Medição de tensão elétrica, corrente e potência do protótipo. Fonte: Autor	41
Figura 29 – Segundo cenário de testes. Fonte: Autor.	44
Figura 30 – Usuário confirmando a presença do obstáculo no cenário 2. Fonte: Autor.	44
Figura 31 – Terceiro cenário de testes. Fonte: Autor.	45
Figura 32 – Usuário confirmando a presença do obstáculo no cenário 3. Fonte: Autor.	46

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tecnologias e ferramentas citadas como importantes por pessoas cegas na pesquisa. (NUNES; DANDOLINI; SOUZA, 2014)	8
Tabela 2 – Tabela de requisitos do dispositivo proposto. Fonte: Autor.	19
Tabela 3 – Sensores de presença/distância mais comuns e suas tecnologias. Fonte (INÁCIO, 2009)	20
Tabela 4 – Especificações técnicas dos sensores de distância ultrassônicos. Fonte: Autor.	21
Tabela 5 – Especificações técnicas dos motores de vibração. Fonte: Autor.	23
Tabela 6 – Especificações técnicas dos <i>buzzers</i> . Fonte: Autor.	24
Tabela 7 – Comparação entre placas de desenvolvimento. Fonte: Autor.	25
Tabela 8 – Lista de Componentes e custos	30
Tabela 9 – Estados dos atuadores em relação à distância detectada. Fonte: Autor.	36
Tabela 10 – Potências médias do dispositivo em diferentes condições de operação	41

Lista de abreviaturas e siglas

PNS	Pesquisa Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
TA	Tecnologia Assistiva
DAISY	Digital Accessible Information System
IBM	International Business Machines
CAA	Comunicação Aumentativa e Alternativa
IoT	Internet of things
GPS	Global Positioning System
2D	Bidimensional
GPIO	General Purpose Input/Output
SRAM	Static Random-Access Memory
PWM	Pulse Width Modulation
SO	Sistema Operacional
USB	Universal Serial Bus
IDE	Integrated Development Environment

Sumário

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Objetivo geral	9
1.2	Objetivos específicos	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Tecnologia Assistiva	10
2.1.1	Categorias de Tecnologia Assistiva	10
2.1.2	Tecnologias Assistivas para auxílio de mobilidade	12
2.1.2.1	Bengala eletrônica	12
2.2	Trabalhos Relacionados	13
3	METODOLOGIA	16
3.1	Usabilidade	16
3.2	Componentes	20
3.2.1	Sensores	20
3.2.1.1	Sensores de distância ultrassônicos	21
3.2.2	Atuadores	23
3.2.3	Placas de desenvolvimento	25
3.2.4	Demais componentes	27
3.3	Montagem	30
3.3.1	Circuito	30
3.3.2	Instalação	32
3.4	Funcionamento	36
3.4.1	Software	36
3.4.2	Autonomia energética	40
4	RESULTADOS	43
5	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48
A	CÓDIGO-FONTE	52

1 Introdução

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) de 2019, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), aproximadamente 6,978 milhões de brasileiros com 2 anos ou mais de idade declararam ter muita dificuldade ou não conseguir de modo algum enxergar, o que representa 3,4% da população nessa faixa etária. Desse total, cerca de 500 mil pessoas são cegas, enquanto aproximadamente 6,5 milhões possuem baixa visão (IBGE, 2023).

Pessoas com deficiência visual enfrentam diversos desafios em seu dia a dia, que impactam diretamente sua qualidade de vida, incluindo dificuldades para realizar atividades diárias, acessar informações, e participar de interações sociais e profissionais (SANTOS, 2019). Nesse contexto, as tecnologias assistivas surgem como soluções fundamentais para minimizar esses desafios. Essas tecnologias são definidas como uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para minorar os problemas encontrados pelos indivíduos com deficiências (COOK; POLGAR, 2007). Elas têm o potencial de aumentar a autonomia, a segurança e o conforto das pessoas com deficiência visual, promovendo maior inclusão social.

Existem diversas tecnologias assistivas com intuito de atender às necessidades específicas das pessoas com deficiência visual. Dentre elas, destacam-se os softwares de leitura de tela, que permitem o acesso a dispositivos eletrônicos; os dispositivos de ampliação e reconhecimento de texto, que facilitam a leitura e interpretação de materiais escritos; e os equipamentos voltados para a mobilidade, como as bengalas tradicionais e eletrônicas. No estudo intitulado “As tecnologias assistivas e a pessoa cega” (NUNES; DANDOLINI; SOUZA, 2014), foram entrevistadas nove pessoas cegas, usuárias dessas tecnologias, com o objetivo de identificar os dispositivos e ferramentas mais utilizados em suas atividades cotidianas. A Tabela 1 apresenta uma síntese dos resultados obtidos em (NUNES; DANDOLINI; SOUZA, 2014).

Tabela 1 – Tecnologias e ferramentas citadas como importantes por pessoas cegas na pesquisa. (NUNES; DANDOLINI; SOUZA, 2014)

Tecnologias/ferramentas	Número de vezes que foi citada
Leitor de tela	9
Computador	8
Celular	8
Bengala	7
Reglete	6
Audiodescrição	6
Escâner comum	5
Audiolivro	4
Régua para assinatura	4
Rotuladora braile	4
Máquina datilografia braile	4
Sorobã	3
Impressora braile	3
Relógio tátil	3
Relógio sonoro	3
Fita métrica relevo	2
Conversor de voz para texto	1
DAISY	1
Detector de luminosidade	1
Escâner leitor de texto com voz	1
Identificador de cores	1
Identificador de etiquetas de roupas	1
Jogos adaptados	1
Caneta para desenho em relevo	1
<i>Touch memo</i>	1

A bengala foi a única ferramenta voltada para a mobilidade mencionada no estudo, o que indica que as opções disponíveis nessa categoria permanecem limitadas, tanto em variedade quanto na eficácia de ampliar a percepção do usuário em relação ao ambiente ao seu redor. Essa hipótese destaca uma lacuna significativa no desenvolvimento de tecnologias assistivas capazes de incorporar funcionalidades voltadas para o auxílio na mobilidade pessoal.

Diante desse cenário, o desenvolvimento deste trabalho foi motivado por essa necessidade de explorar e propor soluções inovadoras que ampliem as possibilidades de mobilidade para pessoas com deficiência visual.

1.1 Objetivo geral

Desenvolver uma tecnologia assistiva acessível, de baixo custo e fácil reprodução, com o objetivo de aprimorar a funcionalidade da bengala tradicional. O dispositivo proposto visa ampliar a percepção do usuário sobre o ambiente ao seu redor, tornando a navegação mais segura e eficiente.

1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um protótipo de dispositivo acoplável à bengala, capaz de detectar obstáculos aéreos e fornecer *feedback* ao usuário.
- Realizar testes para avaliar qualitativamente a eficácia da ferramenta na detecção de obstáculos.

2 Referencial Teórico

2.1 Tecnologia Assistiva

Em 2007, durante uma reunião da Secretaria Especial dos Direitos Humanos/Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, foi oficializado o conceito de Tecnologia Assistiva (TA) em ata, definido como:

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (CAT, 2007).

Entretanto, a relevância de recursos e ferramentas voltados para a inclusão de pessoas com deficiência já era amplamente reconhecida antes mesmo da formalização do conceito de Tecnologia Assistiva. Em 1993, Mary Pat Radabaugh, então diretora do Centro Nacional de Apoio para Pessoas com Deficiência da IBM, declarou: “Para as pessoas sem deficiência, a tecnologia torna as coisas mais fáceis. Para as pessoas com deficiência, a tecnologia torna as coisas possíveis.”

Desde então, a Tecnologia Assistiva tem evoluído significativamente, impulsionada por avanços científicos e tecnológicos que ampliaram o acesso e a diversidade de soluções disponíveis. Para Bersch (BERSCH, 2017) os avanços tecnológicos, num contexto geral, caminham na direção de tornar a vida mais fácil, de forma que, mesmo sem perceber, as pessoas utilizam constantemente ferramentas que foram desenvolvidas para favorecer e simplificar as atividades do cotidiano.

2.1.1 Categorias de Tecnologia Assistiva

A classificação a seguir foi definida pela primeira vez em 1998 por José Tonolli e Rita Bersch e sua última atualização é de 2017 (BERSCH, 2017). Nela existem doze categorias diferentes, de forma que cada categoria se baseia na existência de recursos e serviços, além de terem uma finalidade didática. São elas:

1. Auxílios para a vida diária: neste grupo estão recursos e produtos que têm por objetivo auxiliar os seus usuários em atividades rotineiras; como se alimentarem, vestirem-se, tomarem banho e fazerem suas necessidades pessoais. Exemplos são: barras de apoio, talheres modificados, dentre outros.

2. Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA): o foco aqui é em pessoas sem fala ou escrita funcional e suas necessidades comunicativas como escrever, falar e compreender. Aqui podemos citar pranchas de comunicação, vocalizadores e softwares dedicados como exemplos.
3. Recursos de acessibilidade ao computador: composto por uma combinação de hardware e software especiais que buscam deixar o acesso a computadores mais acessível. Teclados modificados, software de reconhecimento de voz, software leitores de texto, entre outros, pertencem a essa categoria.
4. Sistemas de controle de ambiente: sistemas eletrônicos que permitem que pessoas com limitações moto-locomotoras controlem, de forma remota, elementos do ambiente como: abertura de portas e janelas, sistemas de segurança e eletrônicos no geral.
5. Projetos arquitetônicos para acessibilidade: são todas as alterações em projetos de edificação e urbanismo que têm por objetivo garantir o acesso, a mobilidade e usabilidade do ambiente para pessoas com deficiência. Exemplos: rampas de acesso, adequações em banheiros, elevadores e outros
6. Órteses e próteses: tratam-se de equipamentos que substituem ou são colocados juntos a partes do corpo, com a intenção de melhorar o seu funcionamento. Geralmente são produzidas sob medida e demandas específicas de cada pessoa.
7. Adequação postural: recursos que garantam ao usuário uma postura alinhada, confortável, estável e com boa distribuição corporal. Almofadas especiais, assentos e encostos anatômicos são bons exemplos da categoria.
8. Auxílios de mobilidade: são todos os equipamentos, manuais ou elétricos, que ajudam na locomoção de pessoas com deficiência, como por exemplo: cadeiras de rodas, bengalas, andadores e similares.
9. Auxílios para ampliação da função visual: aqui estão os recursos que traduzem conteúdos visuais em áudio ou informação tátil para pessoas com deficiência visual, como aplicativos com retorno de voz, mapas táteis e lentes.
10. Auxílios para melhorar a função auditiva: grupo formado por dispositivos e recursos que visam traduzir conteúdos auditivos em imagens, texto e língua de sinais, além de ampliar a capacidade auditiva do usuário. Temos aqui, aparelhos para surdez, campainhas luminosas, softwares de *speech-to-text*¹ e assim por diante.

¹ Softwares capazes de converter voz ou áudios em texto

11. Adaptações em veículos: engloba acessórios, serviços e adaptações em veículos, com a finalidade de garantir que pessoas com deficiência física possam embarcar, desembarcar e dirigir o mesmo. Alguns exemplos: autoescolas para pessoas com deficiência, elevadores para cadeiras de rodas, pedais especiais.
12. Esporte e lazer: tratam-se dos recursos que buscam facilitar a prática esportiva e participação em atividades de lazer. Bolas sonoras, baralho em braile, entre outros, estão entre exemplos que se enquadram nessa categoria.

Classificações como essas são muito importantes para a área das tecnologias assistivas, pois permitem uma organização que facilita a identificação dos recursos e serviços mais apropriados para atender a cada tipo de deficiência. No contexto deste trabalho, que tem como objetivo desenvolver uma TA voltada ao aprimoramento da mobilidade, destaca-se uma maior relevância na categoria 8 (Auxílios de Mobilidade), que abrange dispositivos e soluções projetados para promover o deslocamento autônomo e seguro.

2.1.2 Tecnologias Assistivas para auxílio de mobilidade

A mobilidade é um aspecto essencial para a autonomia e participação plena das pessoas em diversas atividades da vida cotidiana. No entanto, indivíduos com deficiência física, mobilidade reduzida ou outras limitações enfrentam barreiras significativas que impactam sua capacidade de locomoção. Nesse contexto, as Tecnologias Assistivas voltadas para o auxílio de mobilidade desempenham um papel fundamental ao oferecerem soluções que possibilitam a superação de tais barreiras. Essas tecnologias abrangem desde dispositivos tradicionais, como bengalas e andadores, até avanços mais recentes, como cadeiras de rodas motorizadas, bengalas eletrônicas e sistemas de orientação por GPS.

De acordo com Bhowmick e Hazarika ([BHOWMICK; HAZARIKA, 2017](#)), apesar dos avanços tecnológicos constantes, apenas um número limitado de soluções em tecnologia assistiva conseguiu causar um impacto social significativo e promover melhorias concretas na qualidade de vida das pessoas. Questões fundamentais, como a navegação em ambientes desconhecidos, a localização de objetos perdidos e outras atividades do dia a dia, ainda carecem de soluções práticas, acessíveis e efetivas para atender de forma abrangente às necessidades dessa população.

2.1.2.1 Bengala eletrônica

A bengala eletrônica se destaca como uma solução tecnológica projetada para aprimorar a mobilidade e a independência de seus usuários, funcionando como uma evolução da bengala branca tradicional. Essa solução tem sido amplamente explorada tanto no meio acadêmico quanto no mercado, resultando em uma variedade de modelos. Enquanto

algumas versões mais simples utilizam sensores ultrassônicos e infravermelhos para detectar obstáculos, modelos mais avançados podem incorporar tecnologias como inteligência artificial, GPS e conectividade *Bluetooth*.

Um exemplo de bengala eletrônica comercial é a UltraCane ([UltraCane, 2025](#)), que utiliza sensores ultrassônicos para detectar obstáculos à frente do usuário e fornece *feedback* vibratório nas hastes da bengala, e pode ser encontrada por aproximadamente R\$4600,00. Outro modelo relevante é a Smart Cane da WeWALK ([WeWALK, 2025](#)), uma bengala eletrônica que, além da detecção de obstáculos, conta com um assistente de voz integrado, conexão com aplicativos de navegação, permitindo ao usuário acessar informações sobre seu entorno em tempo real. O preço da WeWALK Smart Cane varia entre R\$ 4.800,00 e R\$ 6.500,00, dependendo da versão e funcionalidades desejadas. Os valores citados foram levantados em fevereiro de 2025.

Por sua vez, no campo acadêmico, diversas pesquisas buscam avaliar, aprimorar ou implementar bengalas eletrônicas, além de explorar outras soluções tecnológicas voltadas para a mobilidade de pessoas com deficiência visual. Na seção a seguir, são apresentados alguns desses trabalhos, destacando suas principais características, as metodologias adotadas e os resultados obtidos, evidenciando o impacto dessas inovações na autonomia e segurança dos usuários.

2.2 Trabalhos Relacionados

Almeida, Santos, Rodrigues e Mello ([ALMEIDA et al., 2016](#)) desenvolveram uma bengala eletrônica de baixo custo, projetada para auxiliar pessoas com deficiência visual na detecção de obstáculos. O dispositivo utiliza sensores ultrassônicos para identificar barreiras no caminho do usuário e emite alertas vibratórios, proporcionando maior segurança e autonomia na locomoção. Os autores descrevem detalhadamente o processo de construção do protótipo, abordando a escolha dos componentes eletrônicos, a integração dos sensores e a implementação do sistema de *feedback* tátil. O valor final de confecção da bengala foi de R\$93,57, em 2015, reforçando seu caráter de baixo custo e viabilidade para ampla adoção. Os resultados obtidos demonstraram que a bengala foi capaz de detectar obstáculos em diferentes ambientes; no entanto, os testes também revelaram uma limitação nos sensores utilizados, que apresentaram baixa precisão quando a bengala era movimentada rapidamente.

Por sua vez, no estudo intitulado “Tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual: Avaliação da eficiência de dispositivos para mobilidade pessoal” ([SANTOS, 2019](#)), a autora buscou analisar a eficiência comparativa entre a bengala tradicional e a bengala eletrônica, com foco na orientação e na capacidade de detecção de obstáculos durante a realização de um trajeto. Em suma, os resultados indicaram que a bengala tra-

dicional foi capaz de identificar 72% dos obstáculos terrestres, mas não detectou nenhum obstáculo suspenso. Em contrapartida, a bengala eletrônica apresentou uma eficiência de 60% na detecção de obstáculos terrestres e 65% na identificação de obstáculos suspensos. Além disso, o estudo incluiu uma enquête realizada com pessoas cegas, com o objetivo de identificar as principais dificuldades enfrentadas em sua locomoção diária. Os resultados revelaram que 40% dos participantes destacaram os obstáculos altos ou aéreos como o maior desafio em seus deslocamentos.

No trabalho intitulado “Uma Avaliação da Bengala Eletrônica (Tecnologia Assistiva) para a Melhoria de Mobilidade dos Deficientes Visuais” (SANTOS et al., 2012), os autores investigaram a viabilidade do uso da bengala eletrônica e seu impacto na qualidade de vida de pessoas com deficiência visual. A pesquisa, de caráter exploratório e descritivo, envolveu uma revisão bibliográfica e a aplicação de questionários semiestruturados a usuários e vendedores de bengalas eletrônicas em Florianópolis/SC. Os resultados indicam que o uso da bengala eletrônica auxilia na mobilidade dos deficientes visuais, especialmente quando o treinamento é iniciado precocemente, facilitando a adaptação ao dispositivo. Contudo, o alto custo de aquisição, aproximadamente R\$4.000,00, dos modelos comerciais, torna-se um obstáculo significativo para a maioria dos usuários, limitando sua disseminação. O estudo destaca a necessidade de tornar esses recursos mais acessíveis para promover maior independência e inclusão social.

O estudo “Tecnologia Assistiva: Uso de Internet das Coisas para Auxílio a Deficientes Visuais”, de Thiago Henrique da Silva (SILVA, 2021), propõe uma arquitetura e implementação de um sistema baseado em Tecnologia Assistiva para auxiliar deficientes visuais na locomoção em ambientes externos. A solução consiste em um aplicativo móvel integrado a uma rede de Internet das Coisas (IoT), permitindo que semáforos conectados informem ao usuário, em tempo real, se é seguro atravessar uma via. O trabalho destaca a evolução das Tecnologias Assistivas e a crescente integração da IoT como uma ferramenta viável para soluções de acessibilidade.

Almeida (ALMEIDA, 2018) desenvolveu um modelo para reconhecimento de semáforos, utilizando computação visual e processamento de imagens para identificar seu estado atual. O modelo opera a partir de imagens capturadas com a câmera do *smartphone*, que são analisadas com intuito de localizar o semáforo. Em seguida, o sistema verifica as cores presentes na imagem para determinar se o sinal está vermelho ou verde. O modelo foi testado em ambientes noturnos e diurnos e, de acordo com o artigo, apresentou bons resultados na identificação do estado do semáforo.

Dessa forma, a análise do referencial teórico destaca a importância da criação de tecnologias assistivas mais acessíveis, com o objetivo de melhorar a mobilidade de pessoas com deficiência visual. O Capítulo 3, por sua vez, descreve o desenvolvimento de um dispositivo que visa atender a essa demanda, complementando as funcionalidades da

bengala tradicional. A metodologia adotada foi elaborada para integrar componentes de baixo custo e baixo consumo energético, buscando uma solução mais econômica e eficiente em termos de fabricação.

3 Metodologia

Esta seção descreve o processo de desenvolvimento do trabalho, detalhando a metodologia adotada para alcançar os objetivos propostos na Seção 1. Para isso, foi desenvolvido um dispositivo acoplável à bengala tradicional, com o intuito de expandir sua capacidade de detecção de obstáculos, especialmente aqueles que se encontram em alturas elevadas e que possam representar riscos à mobilidade do usuário.

Dessa forma, serão apresentados a seguir os procedimentos adotados no projeto e implementação do dispositivo, incluindo a seleção e integração dos componentes utilizados, bem como a configuração do sistema para realizar a detecção de obstáculos. A metodologia foi planejada para possibilitar um dispositivo compacto, eficiente e de baixo consumo energético, proporcionando ao usuário maior autonomia e segurança durante a locomoção.

3.1 Usabilidade

Nesta seção, busca-se explicar como o dispositivo pode ser utilizado para auxiliar na navegação de pessoas cegas, detalhando a interação entre o usuário e o sistema. Serão abordados aspectos como a forma de uso do dispositivo e as situações em que ele pode contribuir para a locomoção segura do usuário. Além disso, serão analisadas as vantagens do dispositivo em comparação com a bengala tradicional, demonstrando como ele pode expandir a percepção do ambiente ao detectar obstáculos suspensos que não seriam identificados por meio do contato direto com a bengala.

Primeiramente, para compreender como o dispositivo pode auxiliar na navegação de pessoas cegas, é fundamental entender o processo de tomada de decisões durante a sua locomoção. Segundo Assis ([ASSIS, 2018](#)), esse processo ocorre em cinco etapas, denominadas processo de cognição (Figura 1).

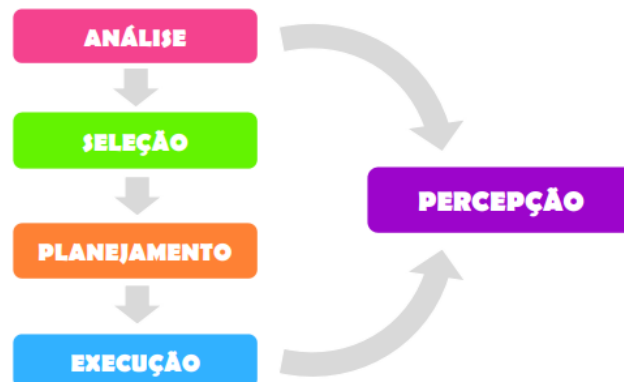


Figura 1 – Os cinco passos do processo cognitivo. Fonte: ([ASSIS, 2018](#))

Essas etapas são fundamentais para que a pessoa com deficiência visual possa interpretar o ambiente e decidir a melhor forma de se deslocar com segurança. O processo inclui ([ASSIS, 2018](#)):

- Percepção: captação de informações do ambiente, como sons, texturas e posição de obstáculos.
- Análise: processo de organização das informações recebidas, de acordo com a consistência, confiabilidade, fonte, familiaridade, tipo sensorial e intensidade.
- Seleção: processo de escolha dos dados analisados que melhor possam cumprir a orientação necessária para a situação ambiental presente.
- Planejamento: organização dos próximos passos, baseando-se nos dados selecionados, para evitar obstáculos e seguir a rota desejada.
- Execução: aplicação do planejamento por meio da movimentação, ajustando-a conforme necessário.

Assis ([ASSIS, 2018](#)) também destaca o papel da bengala na coleta de informações que auxiliam no processo de cognição durante a locomoção. Para isso, ele descreve técnicas de uso da bengala, que permitem à pessoa com deficiência visual perceber e interpretar o ambiente ao seu redor.

Segundo o autor, a principal técnica utilizada é a técnica dos dois toques, que consiste em balançar a bengala de um lado para o outro, tocando alternadamente o solo nos extremos do caminho que a pessoa pretende seguir (Figura 2). Essa técnica permite ao usuário detectar irregularidades no piso, buracos, degraus e obstáculos baixos.

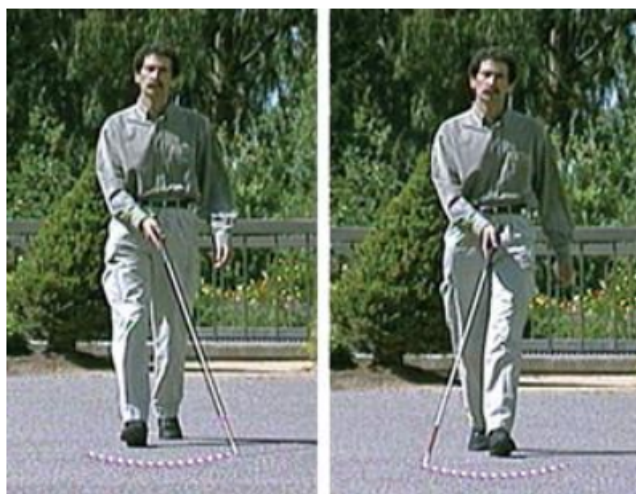


Figura 2 – Técnica dos dois toques. Fonte: ([ASSIS, 2018](#))

Entretanto, essa técnica possui uma limitação importante: como o movimento da bengala ocorre apenas na superfície do solo, obstáculos suspensos não são percebidos pelo usuário. Placas de trânsito, galhos de árvores ou outros objetos posicionados acima do nível da cintura podem representar um risco, pois não são detectados pelo contato da bengala com o chão.

Dessa forma, o dispositivo desenvolvido complementa a técnica dos dois toques, permitindo a detecção de obstáculos suspensos por meio do sensor ultrassônico. Ao integrar as informações coletadas pela bengala e pelo sensor, o usuário tem uma percepção mais completa do ambiente.

Portanto, baseando-se no processo de cognição e incorporando a coleta de informações adicionais proporcionada pelo dispositivo desenvolvido neste trabalho, foi elaborado um fluxograma (Figura 3) que representa o processo de navegação do usuário ao utilizar o dispositivo.

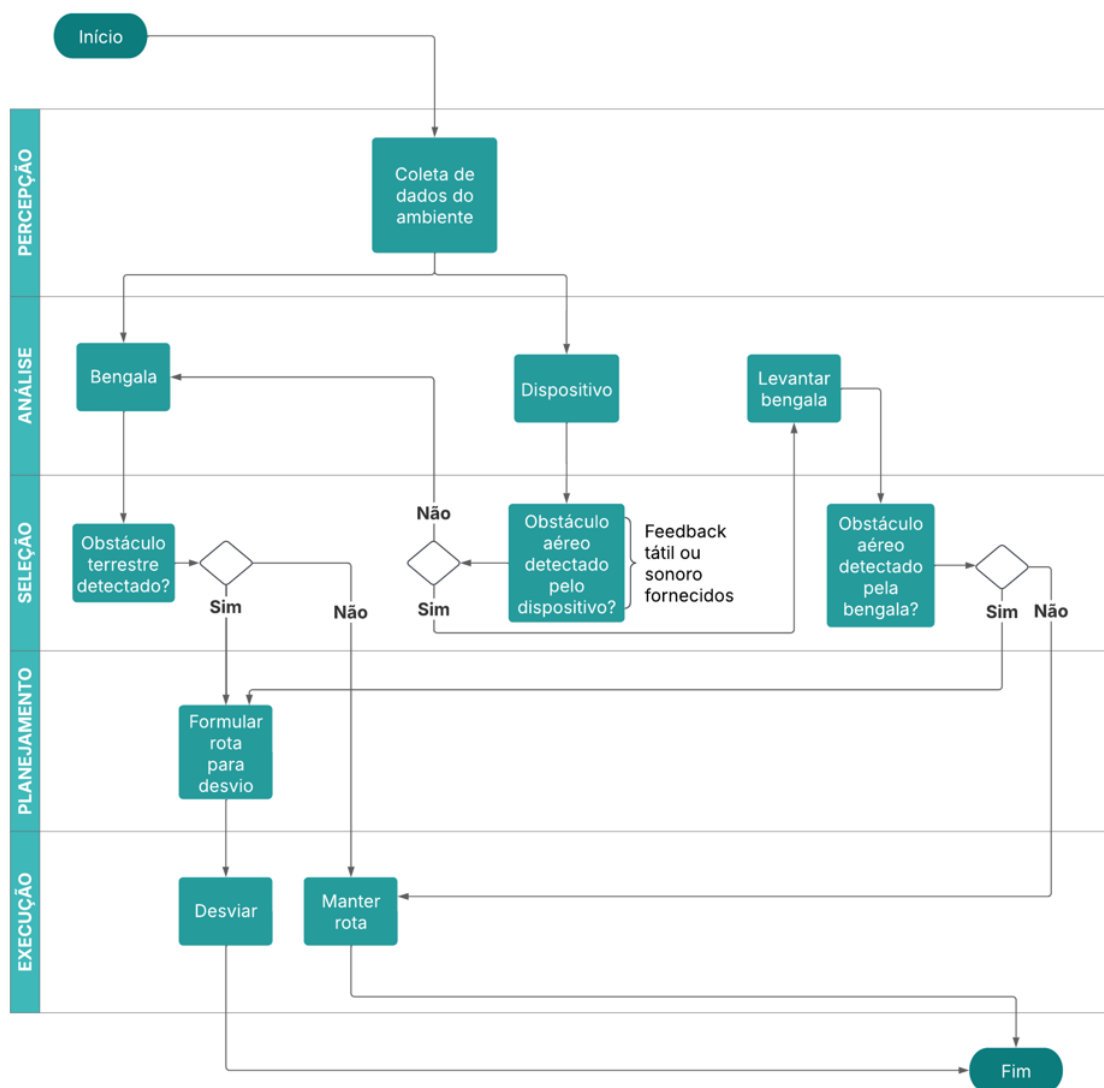


Figura 3 – Fluxograma de uso do dispositivo. Fonte: Autor.

Inicialmente, ocorre a percepção, onde a bengala e o dispositivo coletam informações do ambiente. Em seguida, na etapa de análise, a bengala verifica a presença de obstáculos terrestres, enquanto o dispositivo monitora obstáculos suspensos. Caso a bengala detecte um obstáculo no solo, o fluxo segue para a etapa de seleção, onde o usuário avalia a necessidade de formular uma nova rota. Da mesma forma, se o dispositivo identificar um obstáculo aéreo, ele fornece *feedback* tátil ou sonoro para alertar o usuário, que pode levantar a bengala para confirmar a presença do objeto detectado.

Na etapa de planejamento, se um obstáculo for confirmado, seja ele terrestre ou suspenso, o usuário precisa formular uma rota para desvio. Caso contrário, a rota pode ser mantida sem alterações. Por fim, na execução, o usuário realiza a ação planejada, desviando do obstáculo ou seguindo em frente conforme a análise realizada anteriormente. Esse processo se repete continuamente, permitindo que o usuário tenha acesso a mais informações sobre o ambiente durante a navegação.

Dessa forma, para alcançar a usabilidade proposta nesta seção, o dispositivo deve ser capaz de detectar obstáculos elevados e fornecer *feedback* tátil e sonoro, alertando o usuário de forma eficaz. A seguir, a Tabela 2 apresenta de maneira estruturada os requisitos essenciais para o funcionamento adequado do dispositivo.

Requisito	Descrição	Prioridade
Detecção de obstáculos aéreos	O dispositivo deve identificar obstáculos aéreos como placas de sinalização ou galhos de árvores	Alta
Feedback tátil	O dispositivo deve fornecer <i>feedback</i> tátil (vibração) proporcional à proximidade do obstáculo	Alta
Feedback sonoro	O dispositivo deve fornecer <i>feedback</i> sonoro enquanto um obstáculo estiver a uma distância crítica	Alta
Integração com a bengala tradicional	O dispositivo deve ser facilmente acoplado à bengala tradicional, de forma a complementar seu uso	Alta
Consumo energético	O dispositivo deve ter um consumo energético reduzido, aumentando a autonomia da bateria	Média

Tabela 2 – Tabela de requisitos do dispositivo proposto. Fonte: Autor.

3.2 Componentes

Nesta seção, são detalhados os componentes utilizados no desenvolvimento do dispositivo, destacando suas funções e os critérios adotados para sua seleção. A escolha desses elementos considerou fatores como eficiência energética, viabilidade econômica e adequação ao design compacto do dispositivo, buscando, assim, alcançar um equilíbrio entre desempenho e viabilidade do projeto.

3.2.1 Sensores

Os sensores desempenham um papel fundamental no dispositivo desenvolvido, pois são responsáveis por realizar a detecção dos obstáculos que não seriam identificados por uma bengala comum. Para isso, foram avaliados sensores de distância, que operam através da emissão e recepção de sinais para identificar objetos dentro do seu alcance (AMORIM; WENDLING, 2010). Os critérios utilizados na escolha dos sensores foram: área de alcance, precisão na detecção, consumo de energia e confiabilidade em diferentes condições ambientais. A Tabela 3 mostra os tipos mais comuns de sensores de distância e suas faixas de detecção.

Sensor	Tecnologia	Faixa de detecção
Magnético	Efeito <i>Hall</i>	0,1 mm a 3 mm
Ótico (baixa potência)	Infravermelho reflexivo	1 mm a 3 m
Ótico (alta potência)	Infravermelho ou <i>laser</i> reflexivo	3 m a 100 m
Ultra-som	Tempo de voo	0,5 m a 10 m

Tabela 3 – Sensores de presença/distância mais comuns e suas tecnologias. Fonte (INÁCIO, 2009)

Como pode-se observar na Tabela 3, os sensores magnéticos possuem uma faixa de detecção muito pequena, variando de 0,1 mm a 3 mm, o que inviabiliza sua aplicação no trabalho, pois essa limitação os torna incapazes de identificar obstáculos em distâncias relevantes para o objetivo proposto.

Por sua vez, os sensores ópticos (especialmente os de baixa potência) e ultrassônicos apresentam faixas de detecção condizentes com a proposta do trabalho, sendo capazes de identificar obstáculos em distâncias adequadas para a mobilidade assistida. No entanto, os sensores ópticos de baixa potência, que operam com infravermelho reflexivo, podem sofrer interferências devido à variação na iluminação do ambiente e ao tipo de material do obstáculo, o que pode comprometer sua precisão em determinados cenários (INÁCIO, 2009).

Já os sensores ultrassônicos, que utilizam o tempo de voo das ondas sonoras para medir distâncias, são menos suscetíveis a variações ambientais, podendo detectar obstácu-

los independentemente das condições de iluminação e do material (INÁCIO, 2009). Dessa forma, a escolha dos sensores ultrassônicos para este trabalho se justifica pela sua maior confiabilidade, alcance adequado e compatibilidade com a aplicação proposta.

3.2.1.1 Sensores de distância ultrassônicos

Para a construção do dispositivo proposto neste trabalho, foram avaliados três modelos diferentes de sensores ultrassônicos: HC-SR04 (ALLDATASHEET, 2014), HY-SRF05 (Micros Electronics, 2025) e I2CXL-MaxSonar-EZ (MaxBotix Inc., 2023). A Tabela 4, a seguir, traz uma comparação entre esses sensores, destacando seus principais parâmetros técnicos.

Sensor	Alcance	Corrente média de atuação	Precisão	Medições/seg (max)	Custo Aproximado (R\$)
HC-SR04	2 cm a 4 m	15 mA	3 mm	40	9,00
HY-SRF05	2 cm a 4,5 m	15 mA	3 mm	40	15,00
I2CXL-Max Sonar-EZ	20 cm a 7,65 m	4.4 mA	1 cm	40	50,00

Tabela 4 – Especificações técnicas dos sensores de distância ultrassônicos. Fonte: Autor.

Ao analisar a tabela, pode-se observar que todos os sensores possuem uma frequência máxima de 40 medições por segundo, o que possibilita atualizações rápidas na detecção de obstáculos. O HC-SR04 e o HY-SRF05 possuem especificações muito similares, com alcances bem próximos, além de corrente média (15 mA), precisão (3 mm) e dimensões idênticas, o que os tornam opções acessíveis e eficientes.

Já o I2CXL-MaxSonar-EZ se diferencia por um alcance maior (20 cm a 7,65 m) e uma corrente média menor (4,4 mA), o que pode resultar em um consumo energético reduzido em comparação com os outros modelos. No entanto, este sensor apresenta algumas limitações, como a incapacidade de detectar obstáculos a menos de 20 cm de distância, uma variação maior em sua precisão (1 cm) e um preço significativamente mais alto em relação aos demais.

Dessa forma, a escolha do sensor HC-SR04 (Figura 4) se justifica, uma vez que, além possuir o menor custo dentre os sensores analisados, possui especificações técnicas e dimensões satisfatórias, possibilitando um equilíbrio entre desempenho, viabilidade econômica e eficiência. Seu alcance de 2 cm a 4 m é suficiente para a proposta do dispositivo, permitindo a identificação de obstáculos dentro da faixa necessária para a mobilidade segura do usuário. Além disso, sua precisão de 3 mm fornece confiabilidade nas medições, reduzindo a ocorrência de leituras incorretas e contribuindo para uma resposta mais precisa do sistema.

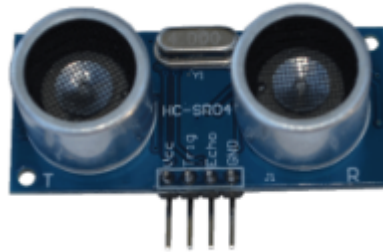


Figura 4 – Sensor de distância ultrassônico HC-SR04. Fonte: ([ALLDATASHEET](#), 2014)

A Figura 5, a seguir, apresenta um gráfico que ilustra a área de detecção do sensor HC-SR04. O ponto (0,0) representa a posição do sensor, a partir da qual foram traçadas duas linhas divergentes formando um ângulo de 15° , correspondente ao ângulo de detecção do sensor. Essas linhas se estendem por 4 metros, que é o alcance máximo do sensor, delimitando a região dentro da qual ele é capaz de identificar obstáculos.

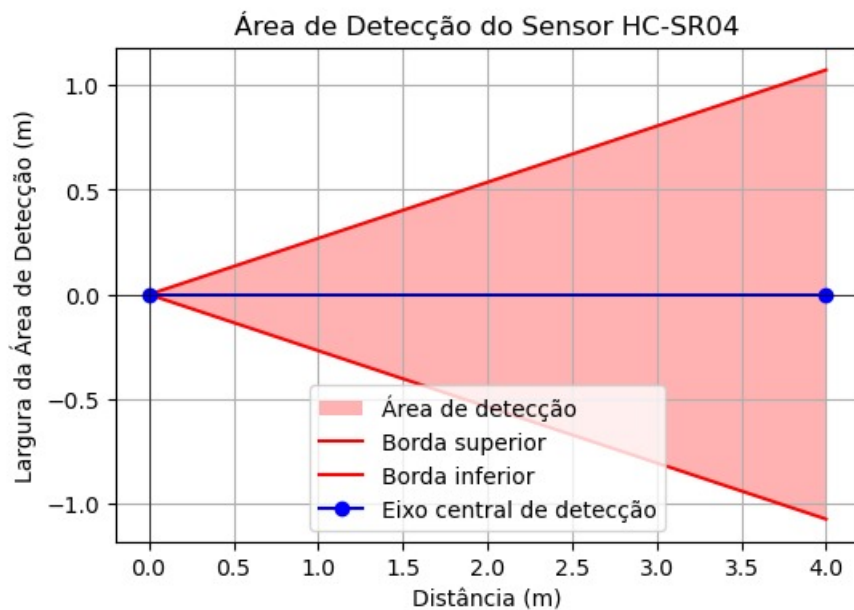


Figura 5 – Gráfico da área de detecção do sensor HC-SR04. Fonte: Autor.

Contudo, é importante ressaltar que a área de detecção do sensor, na realidade, assume uma forma tridimensional, sendo melhor representada por um cone. Isso ocorre porque o feixe ultrassônico emitido pelo sensor se espalha em todas as direções dentro desse ângulo de abertura, formando uma superfície cônica cujo vértice está localizado na posição do sensor e cuja base se expande conforme a distância aumenta. Ou seja, um obstáculo localizado a 4 metros de distância poderia ser detectado dentro de uma área circular, equivalente à base do cone, com raio de aproximadamente 2 metros.

Entretanto, a representação bidimensional (2D) adotada no gráfico facilita a inter-

pretação, permitindo uma visualização mais clara dos limites da área de detecção e do alcance do sensor. Essa abordagem simplificada é útil para compreender a distribuição espacial do feixe ultrassônico e sua efetividade na detecção de obstáculos dentro da zona de varredura.

Dessa forma, ao analisar o gráfico, pôde-se concluir que um único sensor é suficiente para identificar obstáculos dentro da faixa necessária para a aplicação proposta. Além disso, a utilização de apenas um sensor apresenta vantagens significativas, como redução de consumo energético, menor complexidade no processamento dos dados e diminuição de custos. Caso seja necessário um ajuste na cobertura da área de detecção, alternativas como o reposicionamento do sensor ou ajustes no ângulo de inclinação podem ser exploradas para otimizar seu desempenho sem a necessidade de adicionar sensores adicionais.

3.2.2 Atuadores

Os atuadores desempenham um papel fundamental no dispositivo desenvolvido, pois são responsáveis por fornecer *feedback* ao usuário para indicar a presença de obstáculos detectados pelos sensores. A fim de aumentar a clareza do *feedback* e proporcionar uma melhor experiência ao usuário, optou-se por combinar dois tipos de *feedback*: tátil e sonoro.

Para fornecer *feedback* tátil foram avaliados motores de vibração, capazes de gerar vibrações físicas que se propagam do dispositivo para a bengala, permitindo que o usuário as perceba intuitivamente enquanto a empunha. Esses dispositivos geram vibração a partir da rotação de um contrapeso assimétrico, criando uma oscilação perceptível. Dessa forma, foram analisados três modelos de motores de vibração: Vibracall ([Usina Info, 2025d](#)), Vibracall MV30 ([Usina Info, 2025e](#)) e Vibracall MV50 ([Usina Info, 2025f](#)), considerando critérios como intensidade da vibração, consumo energético, usabilidade e viabilidade econômica. A Tabela 5 apresenta uma comparação entre esses atuadores, destacando suas principais especificações técnicas.

Modelo	Corrente de atuação	Velocidade de rotação	Placa de circuito	PWM	Custo Aproximado (R\$)
Vibracall	20 mA a 50 mA	5000 RPM	Não	Não	8,00
Vibracall MV30	15 mA a 60 mA	9000 RPM	Não	Não	6,00
Vibracall MV50	15 mA a 60 mA	9000 RPM	Sim	Sim	10,00

Tabela 5 – Especificações técnicas dos motores de vibração. Fonte: Autor.

Dessa forma, o modelo escolhido foi o Vibracall MV50 (Figura 6), uma vez que, ele oferece mais recursos em comparação com os demais modelos. Dentre suas vantagens, destaca-se a capacidade de operar com PWM (*Pulse With Modulation*), uma técnica que permite ajustar a largura dos pulsos de energia enviados ao motor, variando a potência aplicada sem alterar a tensão máxima de alimentação ([GREISO, 2016](#)). Portanto, esse

método possibilita controlar precisamente a intensidade da vibração, o que possibilita um *feedback* tátil mais flexível. Além disso, o MV50 já vem integrado a uma placa de circuito, o que facilita sua conexão ao sistema e reduz a necessidade de componentes externos adicionais, como resistores, tornando sua implementação mais prática e eficiente.



Figura 6 – Motor Vibracall MV50. Fonte: (Usina Info, 2025f)

Além disso, testes preliminares com o motor de vibração revelaram a necessidade do uso de dois motores, pois um único atuador não gerava vibração suficiente para ser percebida com clareza pelo usuário ao longo da estrutura da bengala.

Por sua vez, o *feedback* sonoro é fornecido através de *buzzers*, dispositivos capazes de converter sinais elétricos em ondas sonoras. Esses componentes podem ser classificados em ativos e passivos: *buzzers* ativos possuem um oscilador interno, gerando som automaticamente quando alimentados, enquanto *buzzers* passivos necessitam de um sinal externo para produzir diferentes frequências de som (S2F EDUCATION, 2023). Para este projeto, foram avaliados três modelos de *buzzers*: BAT5V (Usina Info, 2025a), BPA5 (Usina Info, 2025b) e BP18 (Usina Info, 2025c). A Tabela 6, a seguir, apresenta as principais características técnicas desses modelos.

Modelo	Corrente de atuação	Intensidade Sonora (máx)	Tipo	Custo Aproximado (R\$)
BAT5V	30 mA	80 dB (decibéis)	Ativo	4,00
BPA5	30 mA	85 dB	Passivo	4,00
BP18	25 mA	85 dB	Passivo	8,00

Tabela 6 – Especificações técnicas dos *buzzers*. Fonte: Autor.

O modelo escolhido para este projeto foi o BPA5 (Figura 7), pois oferece a flexibilidade de um *buzzer* passivo, permitindo a variação da intensidade e frequência do som gerado conforme a necessidade do sistema. Além disso, seu preço acessível (R\$ 4,00) e consumo energético (30 mA) são equivalentes ao do BAT5V, que, por ser um *buzzer* ativo, não oferece a mesma flexibilidade sonora. Por outro lado, o BP18, apesar de também ser um *buzzer* passivo, apresenta um custo superior (R\$ 8,00) sem oferecer vantagens significativas em relação ao BPA5. Portanto, considerando custo, consumo e flexibilidade sonora, o BPA5 foi a escolha mais adequada para o projeto.



Figura 7 – *Buzzer* BPA5. Fonte: (Usina Info, 2025b)

Considerando que o *buzzer* BPA5 pode emitir ondas sonoras de até 85 dB e que o nível médio de ruído em ambientes externos é de 72,9 dB (PAZ; FERREIRA; ZANNIN, 2005), conclui-se que sua intensidade sonora é suficiente para ser percebida nesse contexto. Dessa forma, a utilização de um único *buzzer* mostrou-se suficiente para fornecer um *feedback* sonoro perceptível e eficaz.

3.2.3 Placas de desenvolvimento

Nesta seção, serão analisados dispositivos capazes de desempenhar a função de processamento do protótipo, ou seja, aqueles responsáveis por gerenciar a coleta de dados dos sensores e o acionamento dos atuadores. Para isso, foram considerados três dispositivos amplamente utilizados em aplicações embarcadas (GOYAL, 2024): Arduino Uno R3 (Arduino LLC, 2025), ESP32 WROOM (Espressif Systems, 2025) e Raspberry Pi 4 Model B (Raspberry Pi Foundation, 2025). A avaliação desses dispositivos considera critérios como capacidade de processamento, eficiência energética, compatibilidade com os demais componentes e viabilidade econômica. A Tabela 7, a seguir, apresenta uma comparação das especificações técnicas de cada um desses dispositivos, destacando suas principais características e diferenças.

	Arduino Uno R3	ESP32 WROOM	Raspberry Pi 4 Model B
Processador	ATmega 328P 8 bits	Xtensa LX6 dual-core 32 bits	ARM-Cortex A72 quad-core 64 bits
Freq. de operação	Até 16 MHz	Até 240 MHz	Até 1,5 GHz
Memória RAM	2 kB SRAM	520 kB SRAM	Variantes de 1, 2, 4, e 8 GB
Pinos de entrada/saída (GPIO)	14	34	40
Corrente de atuação	19 mA a 50 mA	16 µA a 250 mA	600 mA a 1200 mA
Possui SO?	Não	Não	Sim
Custo Aproximado (R\$)	40,00	45,00	560,00

Tabela 7 – Comparação entre placas de desenvolvimento. Fonte: Autor.

Yash Goyal (GOYAL, 2024) também realizou um estudo comparativo entre o ESP32, Arduino Uno e Raspberry Pi 4, analisando suas características técnicas, desempenho e aplicações. Em seu trabalho, o autor destacou as diferenças entre essas plataformas, considerando parâmetros como capacidade de processamento, memória, conectividade e consumo de energia. De acordo com a análise apresentada, o ESP32 se destacou por seu equilíbrio entre eficiência energética e poder de processamento, sendo uma opção viável para aplicações embarcadas sem comprometer o consumo de energia. O Arduino Uno, por sua vez, foi reconhecido por sua simplicidade e baixo consumo, embora seja limitado em termos de capacidade computacional. Já o Raspberry Pi 4 demonstrou ser a plataforma mais poderosa, porém com alto consumo de energia e complexidade superior, tornando-se mais adequado para aplicações que exigem maior poder computacional.

Dessa forma, analisando a Tabela 7 e levando em consideração a pesquisa de Goyal (GOYAL, 2024), descartou-se o Arduino Uno como uma opção para este projeto. Embora seu custo seja ligeiramente inferior ao do ESP32, ele apresenta um conjunto de recursos significativamente mais limitado, resultando em um menor custo-benefício.

Por outro lado, o Raspberry Pi 4, apesar de possuir o maior poder computacional entre os dispositivos avaliados, apresenta um custo elevado demais para os parâmetros do projeto. Além disso, sua capacidade de processamento excede as necessidades do sistema, tornando-o uma opção inviável para este trabalho.

Portanto, com base nos critérios de desempenho, eficiência energética e viabilidade econômica, o ESP32 WROOM (Figura 8) foi escolhido como placa de desenvolvimento do protótipo, oferecendo um equilíbrio ideal entre capacidade computacional, baixo consumo de energia e custo acessível.



Figura 8 – ESP32 WROOM. Fonte: Autor.

3.2.4 Demais componentes

Para fornecer energia ao dispositivo, foi utilizada a bateria portátil e recarregável, de 5V, WST DL-516 (Figura 9), que conta com 12,06Wh de capacidade. Esse modelo foi escolhido devido ao seu custo-benefício, custando aproximadamente R\$50,00, além de possuir capacidade suficiente para alimentar o dispositivo por diversas horas, como será demonstrado mais adiante no trabalho.



Figura 9 – Bateria portátil WST DL-516. Fonte: Autor.

No entanto, o fator determinante para sua seleção foi seu tamanho compacto (9 cm de altura e 2 cm de diâmetro) e formato cilíndrico, que permitem um melhor aproveitamento do espaço interno do dispositivo pelos demais componentes.

Para conectar a bateria ao ESP32, utilizou-se um cabo USB para Micro USB de 15 cm em ângulo de 90° (Figura 10). Por outro lado, para realizar a conexão dos sensores e atuadores com o ESP32, foram utilizados 14 cabos *jumper* de 10 cm cada e uma placa de prototipação de 10 trilhas (Figura 11).



Figura 10 – Cabo USB para micro USB. Fonte: Autor.



Figura 11 – Placa de prototipação de 10 trilhas. Fonte: ([Baú da Eletrônica, 2025](#))

O uso da placa de prototipação se justifica por facilitar a conexão dos componentes ao ESP32, atuando como uma ponte entre os sensores, atuadores e a placa de desenvolvimento. Além disso, sua utilização reduz a necessidade de soldagem, permitindo uma montagem mais modular e flexível, o que facilita eventuais ajustes e manutenções no sistema, especialmente por se tratar de um protótipo.

Para acomodar os componentes e servir como corpo do protótipo, foram avaliadas três caixas de luz do tipo 4x2: Fortlev ([Fortlev, 2025](#)), Ilumi ([Ilumi, 2025](#)) e Tramontina ([Tramontina, 2025](#)). Assim, foram realizados testes práticos, nos quais buscou-se acomodar todos os componentes dentro de cada uma das caixas. Como resultado, verificou-se que a caixa Fortlev (Figura 12) proporciona uma organização interna mais eficiente e uma estrutura mais adequada para o protótipo. As dimensões da caixa Fortlev são: 10 cm de altura, 6 cm de largura e 4 cm de comprimento.



Figura 12 – Caixa de luz Fortlev. Fonte: ([Fortlev, 2025](#))

Para tampar a caixa, mantendo os componentes isolados e protegidos, utilizou-se uma placa Romazi Canoa 4X2 com 1 posto horizontal ([Todimo, 2025](#)) (Figura 13). Essa placa foi escolhida devido à sua compatibilidade com o padrão 4x2 da caixa Fortlev e ao seu posto (abertura) horizontal, que permite que o sensor fique parcialmente exposto. Dessa

forma, o sensor pode realizar medições sem interferências enquanto os demais componentes permanecem devidamente protegidos dentro da estrutura do protótipo.



Figura 13 – Placa Romazi Canoa 4X2 com 1 posto horizontal. Fonte: (Todimo, 2025)

Com o intuito de testar o dispositivo, utilizou-se uma bengala dobrável Supermedy (Supermedy, 2025) (Figura 14), na qual o protótipo foi acoplado. A escolha dessa bengala se deu por sua estrutura leve, portabilidade e preço acessível. Contudo, qualquer bengala feita para pessoas com deficiência visual poderia ser utilizada para esse propósito.



Figura 14 – Bengala dobrável Supermedy. Fonte: (Supermedy, 2025)

Por fim, após listar todos os componentes utilizados na construção do protótipo, é possível calcular o custo total do dispositivo. A Tabela 8, a seguir, apresenta a relação completa dos componentes utilizados, juntamente com seus respectivos custos no momento da confecção deste trabalho.

Componente	Quantidade	Preço aproximado (R\$)
ESP32 WROOM	1	45,00
Sensor HC-SR04	1	9,00
Motor de vibração MV50	2	20,00
<i>buzzer</i> BPA5	1	3,00
Bateria WST DL-516	1	50,00
Cabos <i>jumper</i>	14	3,00
USB para Micro USB	1	10,00
Placa de prototipação	1	6,00
Caixa de luz Fortlev	1	2,00
Placa Romazi Canoa	1	5,00
Bengala Supermedy	1	40,00
Total		193,00

Tabela 8 – Lista de Componentes e custos

A análise da tabela de preços revela que o custo total de confecção do protótipo foi de R\$ 193,00, um valor relativamente acessível, especialmente quando comparado com as opções disponíveis no mercado atualmente, como as bengalas eletrônicas UltraCane e WeWALK Smart Cane, que custam acima de R\$ 4.000,00. Além disso, o estudo de Almeida, Santos, Rodrigues e Mello ([ALMEIDA et al., 2016](#)), que propôs a construção de um dispositivo semelhante, apresentou um custo de R\$93,57 para sua confecção em 2015. Considerando a inflação acumulada desde então, esse valor ajustado para os dias atuais corresponderia a aproximadamente R\$201,28, o que demonstra que o custo do presente trabalho permanece alinhado com outras iniciativas de baixo custo dentro dessa categoria.

3.3 Montagem

Após a definição e seleção dos componentes utilizados no protótipo, o próximo passo consiste no processo de montagem do dispositivo. Essa etapa envolve três fases principais: a construção do circuito, a montagem do sistema dentro da caixa e a instalação do dispositivo na bengala.

3.3.1 Circuito

A Figura 15 apresenta o diagrama de circuito do dispositivo, ilustrando a interligação entre os componentes eletrônicos. Cada linha colorida na figura representa um cabo *jumper* utilizado para conectar os elementos entre si. Além disso, é importante ressaltar

que, ao conectar um pino do ESP32 à placa de prototipagem, toda a coluna correspondente recebe o sinal desse pino.

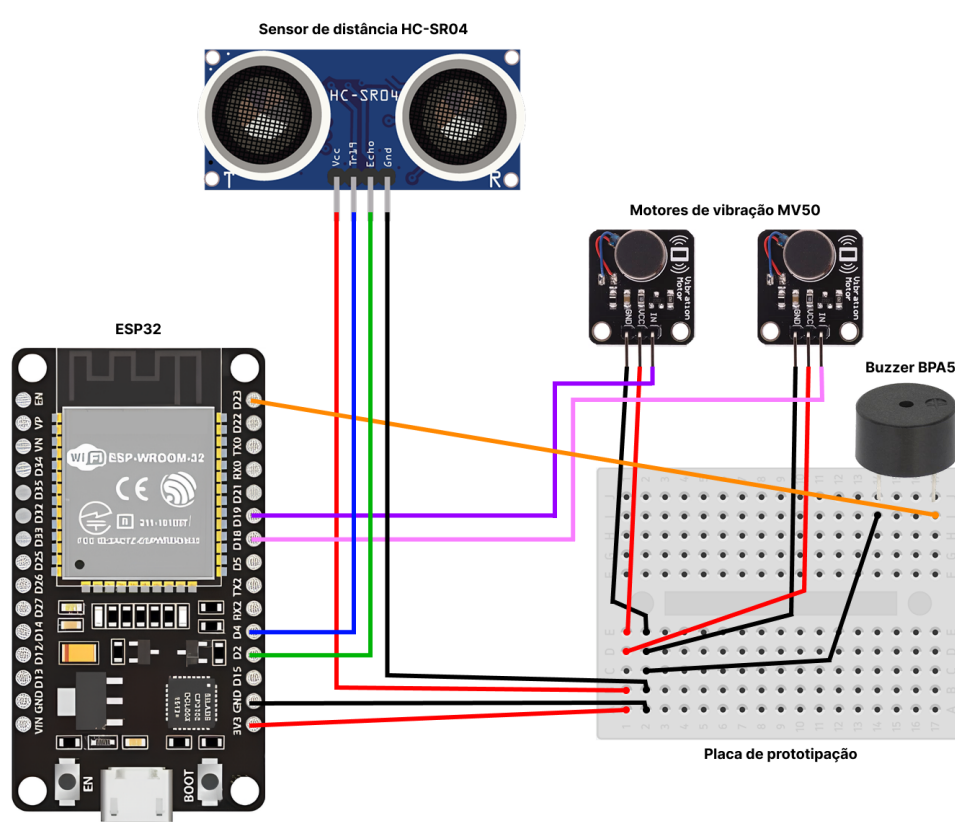


Figura 15 – Diagrama de circuito do protótipo. Fonte: Autor.

Dessa forma, é possível utilizar um único pino 3V3 do ESP32 para alimentar todos os componentes do sistema, por exemplo. A seguir, são detalhadas as conexões realizadas por cada componente:

- ESP32: os pinos 3V3 e GND são conectados à placa de prototipagem para distribuir alimentação elétrica e aterramento aos demais componentes.
- Sensor HC-SR04: os pinos VCC e GND do sensor são conectados aos pinos 3V3 e GND do ESP32, respectivamente, usando a placa de prototipagem como intermédio. Já os pinos Trig e Echo se conectam diretamente ao ESP32, nos pinos D4 e D2 respectivamente.
- Motores de Vibração MV50: os pinos VCC e GND de ambos os motores também são conectados aos pinos 3V3 e GND do ESP32 através da placa de prototipagem. Por sua vez, os pinos IN dos motores também são ligados diretamente ao ESP32 nos pinos D18 e D19.
- *buzzer* BPA5: está conectado diretamente à placa de prototipagem, o que permite utilizá-la tanto para fixação física do componente quanto como intermediária para

a conexão dos cabos. Dessa forma, seu pino positivo é conectado ao pino D23 do ESP32, enquanto o pino negativo é ligado ao GND, ambos através da placa de prototipação

A estrutura desse circuito permite que os componentes sejam alimentados corretamente e possam se comunicar com o ESP32, permitindo que o dispositivo funcione conforme o esperado.

3.3.2 Instalação

Nesta seção serão detalhados o encaixe dos componentes, a montagem do circuito dentro da caixa de luz Fortlev e a instalação do dispositivo na bengala. Portanto, a Figura 16, a seguir, mostra as posições dos motores de vibração MV50, da placa de prototipação, do *buzzer* BPA5 e do ESP32 dentro da caixa.



Figura 16 – Posições dos componentes na caixa. Fonte: Autor.

A placa de prototipação e os motores foram fixados em posição, proporcionando um encaixe seguro e evitando deslocamentos durante o uso. Além disso, os motores de vibração foram posicionados estrategicamente no fundo da caixa, pois essa é a parte do dispositivo que estará em contato direto com a bengala, otimizando assim a transmissão do *feedback* tátil por meio das vibrações. Já o *buzzer* foi fixado diretamente na placa de prototipação, utilizando seus próprios pinos, o que facilita a conexão elétrica e a organização do circuito.

Por sua vez, o sensor HC-SR04 foi fixado na placa da Romazi, que servirá como tampa para o dispositivo, conforme mostra a Figura 17. Esse posicionamento do sensor se dá devido à necessidade de que ele fique parcialmente para fora da estrutura, permitindo que os sinais ultrassônicos sejam emitidos e recebidos sem obstruções.



Figura 17 – Fixação do sensor HC-SR04 na tampa. Fonte: Autor.

Em seguida, o circuito foi montado conforme mostrado pelo diagrama da Figura 15, utilizando os cabos *jumper* s para realizar as conexões entre os componentes. A Figura 18 mostra a disposição dos elementos dentro da caixa de luz, com os componentes devidamente fixados e interligados.

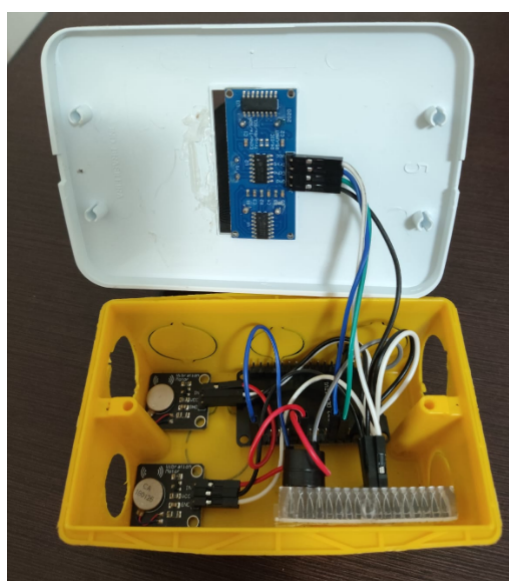


Figura 18 – Conexões dos componentes. Fonte: Autor.

Na sequência, o cabo USB e a bateria foram introduzidos ao sistema, utilizando as entradas circulares destacáveis localizadas no topo da caixa. O cabo USB foi inserido através da entrada menor, com a extremidade micro USB conectada ao ESP32, enquanto a outra extremidade, com conector USB padrão, foi deixada para fora da caixa, conforme ilustrado na Figura 19.



Figura 19 – Encaixe do cabo USB ao ESP32. Fonte: Autor.

Por sua vez, a bateria foi inserida através da entrada maior, posicionando-se sobre o ESP32 e de forma que sua entrada USB ficasse para fora da caixa, permitindo a conexão com o cabo USB conectado ao ESP32. Devido à similaridade entre os diâmetros da bateria e da entrada, o atrito resultante mantém a bateria fixa em posição, evitando deslocamentos durante o uso. A Figura 20, a seguir, mostra a bateria em posição.



Figura 20 – Posicionamento da bateria no dispositivo. Fonte: Autor.

Uma vez que, todos os componentes estão devidamente posicionados, fixados e conectados, a caixa pode ser fechada e selada, concluindo a montagem do protótipo. A Figura 21 ilustra o protótipo montado, destacando a posição do sensor ultrassônico HC-SR04 exposto na parte frontal e a disposição do cabo USB e da bateria, que permanecem acessíveis na parte superior da estrutura.



Figura 21 – Protótipo após montagem na caixa. Fonte: Autor

Por fim, para instalar o dispositivo, é necessário fixá-lo à bengala, próximo à região do punho (Figura 22). Essa posição estratégica permite que o dispositivo fique elevado o suficiente para detectar obstáculos aéreos, que normalmente não seriam identificados por uma bengala convencional. Além disso, essa localização otimiza a percepção do *feedback* tátil, pois a proximidade com o punho da bengala permite que as vibrações sejam sentidas de forma mais direta pelo usuário.



Figura 22 – Protótipo acoplado na bengala. Fonte: Autor

3.4 Funcionamento

A Figura 23 ilustra o objetivo do dispositivo, demonstrando como o protótipo, posicionado próximo ao punho da bengala, possibilita a detecção de obstáculos elevados. O feixe do sensor ultrassônico, representado pelas linhas tracejadas em azul, cobre uma área à frente do usuário, permitindo a identificação de objetos suspensos.

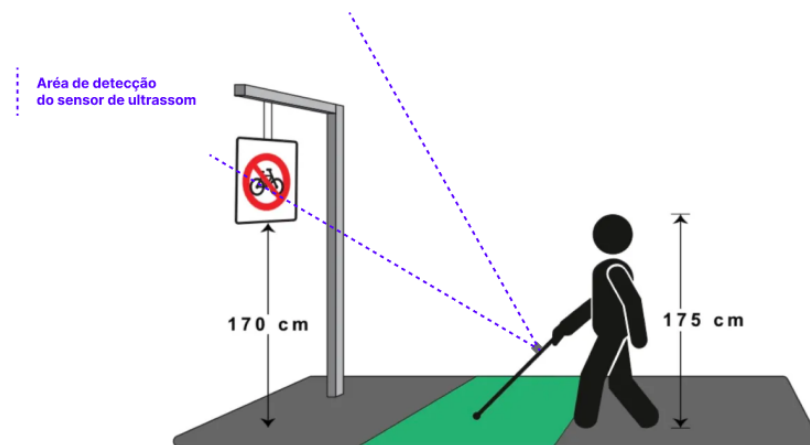


Figura 23 – Exemplo de funcionamento do protótipo. Adaptado de: (PEREIRA, 2020)

Dessa forma, a Tabela 9 apresenta as ações do dispositivo em relação à leitura do sensor, indicando como os motores de vibração e o *buzzer* reagem de acordo com a distância do obstáculo detectado.

Leitura do sensor	Motores de vibração	<i>Buzzer</i>
Acima de 300 cm	Desligados	Desligado
Igual a 300 cm	Ativados com 60% de sua intensidade máxima	Desligado
Entre 299 e 150 cm	Aumento gradual da intensidade até atingir a intensidade máxima	Desligado
Abaixo de 150 cm	Ativados com intensidade máxima (100%)	Ativado a cada meio segundo

Tabela 9 – Estados dos atuadores em relação à distância detectada. Fonte: Autor.

3.4.1 Software

Para alcançar o objetivo proposto para o dispositivo, foi desenvolvido um software para o ESP32 utilizando a linguagem C e a Arduino IDE. Essas escolhas foram feitas devido à compatibilidade do ESP32 com a plataforma Arduino, que oferece uma ampla variedade de bibliotecas otimizadas para sensores e atuadores, além de facilitar o desenvolvimento e a depuração do código (OLIVEIRA, 2021). O código completo pode ser encontrado no Anexo A.

Portanto, nesta seção são detalhados os principais elementos do código, explicando a lógica de funcionamento do software e a forma como os sensores e atuadores são controlados. São abordadas as funções responsáveis pela leitura do sensor ultrassônico HC-SR04, o processamento dos dados coletados, e o acionamento dos motores de vibração MV50 e do *buzzer* BPA5 conforme a proximidade dos obstáculos detectados. Além disso, são apresentadas estratégias de otimização do código, possibilitando que o sistema opere de forma eficiente e responsiva.

Dessa forma, a Figura 24 apresenta o código da função responsável por realizar as leituras do sensor ultrassônico HC-SR04. Esse trecho de código permite que o dispositivo detecte obstáculos à frente do usuário e determine a distância deles até o dispositivo. Na sequência, será explicado o funcionamento de cada parte dessa implementação.

```
void lerUltrassom() {
    digitalWrite(PINO_TRIG, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(PINO_TRIG, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(PINO_TRIG, LOW);

    duracao_us = pulseIn(PINO_ECHO, HIGH, 60000); // Timeout de 60ms

    if (duracao_us == 0 || duracao_us > 17493) {
        nova_distancia = 400;
    } else {
        nova_distancia = (duracao_us * 0.0343) / 2;
    }

    media_distancia[indice] = nova_distancia;
    indice = (indice + 1) % 5;

    distancia_us = 0;
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        distancia_us += media_distancia[i];
    }
    distancia_us /= 5;

    Serial.print("Ultrassom: ");
    Serial.print(distancia_us);
    Serial.println(" cm");
}
```

Figura 24 – Função responsável por fazer as leituras do sensor. Fonte: Autor.

Primeiramente, o pino do sensor que é responsável por emitir o pulso ultrassônico (PINO_TRIG) tem sua alimentação cortada por 2 μ s, para permitir um pulso limpo. Em seguida, ele é energizado por 10 μ s, gerando um pulso ultrassônico pelo sensor.

A função `pulseIn` utiliza o pino responsável por receber o pulso refletido (PINO_ECHO), para medir o tempo (em μ s) que o pulso ultrassônico leva para ir e voltar. Além disso, a função define um *timeout* de 60000 μ s (0,06 segundos), evitando que o código fique travado caso o pulso nunca retorne.

Em seguida, a distância do sensor até o obstáculo é calculada utilizando a seguinte fórmula ([ALLDATASHEET, 2014](#)):

$$Distância = \frac{tempo\ de\ retorno \times 0,0343}{2}$$

O fator 0,0343 é derivado da velocidade do som no ar (343 m/s) convertida para cm/ μ s, e a divisão por 2 ocorre porque o tempo medido corresponde à ida e volta do pulso ultrassônico.

Contudo, caso o tempo de retorno seja igual a 0 ou maior do que 17.493 μ s, o código considera a distância medida como 400 cm. Essa providência é tomada para descartar leituras inválidas, uma vez que tempos de retorno acima de 17.493 μ s resultariam em uma distância fora do alcance máximo do sensor (400 cm). Dessa forma, esse valor de 400 cm é atribuído para representar um ambiente livre de obstáculos próximos, sem acionamento dos atuadores.

Na sequência, a função armazena as cinco últimas distâncias calculadas no vetor ‘media_distancia’. A cada nova leitura do sensor, o valor mais antigo é substituído pela medição mais recente e, em seguida, o código calcula a média das cinco últimas leituras. Esse processo implementa um filtro de média móvel, que suaviza flutuações nas medições e reduz o impacto de possíveis leituras instáveis (VEGA, 2018).

A Figura 25, abaixo, apresenta a função responsável pelo controle dos atuadores, que são ativados com base na distância do obstáculo detectado pelo sensor ultrassônico. Essa função ajusta gradativamente a intensidade da vibração dos motores de acordo com a proximidade do obstáculo e também aciona o alerta sonoro quando necessário. Na sequência, é detalhado o funcionamento dessa implementação.

```
void controlarAtuadores(float dist_us) {
    if (dist_us <= 150) {
        ledcWrite(2, 255);
        delay(500);
        ledcWrite(2, 0);
    }

    if (dist_us <= 300 && dist_us > 0) {
        // Cálculo da intensidade proporcional (mapeando de 150 a 255)
        int intensidade = map(dist_us, 300, 150, 150, 255);
        intensidade = constrain(intensidade, 150, 255);

        ledcWrite(0, intensidade);
        ledcWrite(1, intensidade);
        motoresAtivos = true;

        Serial.print("Intensidade dos motores: ");
        Serial.println(intensidade);
    } else {
        if (motoresAtivos) {
            ledcWrite(0, 0);
            ledcWrite(1, 0);
            motoresAtivos = false;
        }
    }
}
```

Figura 25 – Função responsável por controlar o acionamento dos atuadores. Fonte: Autor.

Primeiramente, a função recebe como parâmetro a distância medida pelo sensor ultrassônico, após a aplicação do filtro de média móvel com as cinco últimas medições.

Com esse valor, o código executa uma sequência de verificações para determinar quando e como os atuadores devem ser acionados.

A primeira verificação ocorre quando a distância recebida é menor ou igual a 150 cm. Nesse caso, o *buzzer* é ativado por 500 ms (meio segundo) com sua intensidade máxima (255), emitindo um alerta sonoro de aproximadamente 85 dB. Para isso, a função ‘*ledcWrite*’ envia um sinal ao canal PWM número 2 do ESP32, que controla a intensidade do *buzzer*. Esse canal foi previamente vinculado ao pino do *buzzer*, procedimento que pode ser observado na linha 36 do código no Anexo A.

A segunda verificação ocorre quando a distância recebida pela função é menor ou igual a 300 cm ou maior que 0. Nesse caso, o sistema ajusta progressivamente a intensidade dos motores de vibração de acordo com a proximidade do obstáculo, proporcionando um *feedback* tátil proporcional à distância detectada. Para isso, a função ‘*map*’ é utilizada para converter os valores de distância em intensidades de vibração dentro de um intervalo predefinido. A intensidade mínima é definida como 150 (quando o obstáculo está a 300 cm), e a máxima como 255 (quando o obstáculo está a 150 cm). Esse mapeamento permite que conforme o usuário se aproxima de um objeto, a vibração aumente gradativamente, tornando a percepção do obstáculo mais intuitiva.

Além disso, a função ‘*constrain*’ é aplicada para garantir que o valor de intensidade dos motores permaneça dentro dos limites estabelecidos, evitando leituras fora do intervalo esperado. Na sequência, a função ‘*ledcWrite*’ envia o sinal PWM para os canais de controle dos motores (0 e 1), ativando-os com a intensidade calculada. Esses canais foram previamente vinculados aos pinos dos motores, procedimento que pode ser observado nas linhas 34 e 35 do código no Anexo A.

Por fim, a variável de controle ‘*motoresAtivos*’ é definida como ‘*true*’, indicando que os motores de vibração estão em funcionamento. Isso possibilita que, enquanto um obstáculo estiver dentro da faixa de detecção, os motores permaneçam ativos com intensidade proporcional à distância medida. Caso a distância recebida ultrapasse 300 cm, a função executa uma última verificação para desativar os motores, interrompendo o sinal PWM enviado aos canais correspondentes. Para isso, se a variável ‘*motoresAtivos*’ estiver ‘*true*’, a função ‘*ledcWrite*’ é chamada com o valor de intensidade 0, desligando os motores. Além disso, ‘*motoresAtivos*’ é redefinida como ‘*false*’, permitindo que os motores sejam acionados novamente somente quando um novo obstáculo for detectado dentro do intervalo definido.

Por sua vez, a Figura 26 apresenta o trecho do código responsável por executar o *loop* principal do programa, onde as funções apresentadas anteriormente são chamadas de forma periódica. Para isso, o código utiliza a técnica de tempo compartilhado, que permite que as funções sejam executadas de forma assíncrona e não bloqueante (FERNANDES, 2015).

```
void loop() {  
    if (millis() - ultimoUltrassom >= intervaloUltrassom) {  
        lerUltrassom();  
        ultimoUltrassom = millis();  
    }  
  
    if (millis() - ultimoControlarAtuadores >= intervaloAtuadores) {  
        controlarAtuadores(distancia_us);  
        ultimoControlarAtuadores = millis();  
    }  
}
```

Figura 26 – *loop* principal do programa. Fonte: Autor.

Para implementar a técnica de tempo compartilhado, o código utiliza a função ‘*millis*’, que retorna o tempo, em milissegundos, desde o início da execução do programa. Além disso, são utilizadas variáveis para armazenar o momento da última execução de cada função e constantes para definir o intervalo de tempo entre execuções. A Figura 27, a seguir, apresenta a declaração dessas variáveis e constantes no código.

```
unsigned long ultimoUltrassom = 0;  
const int intervaloUltrassom = 1000;  
  
unsigned long ultimoControlarAtuadores = 0;  
const int intervaloAtuadores = 500;
```

Figura 27 – Declaração das variáveis e constantes. Fonte: Autor.

Dessa forma, cada função é chamada apenas quando o intervalo de tempo definido tiver se passado desde sua última execução. Isso é feito por meio da verificação da diferença entre o tempo atual (‘*millis*’) e o tempo da última execução de cada função. Se essa diferença for maior ou igual ao intervalo definido nas constantes, a função correspondente é chamada, e o tempo da última execução é atualizado. Nesse caso, a função ‘*lerUltrassom*’, responsável pelas leituras do sensor, é executada a cada 1000 ms (1 segundo), enquanto a função ‘*controlarAtuadores*’ é executada a cada 500 ms (meio segundo).

Os intervalos de execução das funções foram ajustados para equilibrar eficiência e tempo de resposta do sistema. Definir o acionamento dos atuadores com o dobro da frequência das leituras do sensor permite ajustes mais rápidos na intensidade da vibração e no acionamento do *buzzer*, proporcionando uma melhor percepção dos obstáculos e um maior tempo de reação para o usuário. Além disso, essa configuração evita a sobrecarga do sistema com atualizações excessivas, mantendo um funcionamento eficiente sem comprometer a precisão das medições.

3.4.2 Autonomia energética

Com o hardware montado e o software implementado, é possível determinar o consumo energético do dispositivo e estimar sua autonomia, considerando a capacidade

da bateria e o perfil de uso. Para isso, foram realizadas medições elétricas utilizando um dispositivo multifuncional capaz de medir tensão (V), corrente (A) e potência (W). Esse dispositivo opera da seguinte forma: é conectado em série entre o ESP32 e a bateria, permitindo que todo o fluxo de energia passe por ele e que as medições sejam exibidas diretamente em seu *display* (Figura 28).



Figura 28 – Medição de tensão elétrica, corrente e potência do protótipo. Fonte: Autor

Dessa forma, a Tabela 10 apresenta os valores de potência média medidos em diferentes condições de operação do dispositivo. As medições consideraram o estado do sensor, dos motores de vibração e do *buzzer*, sendo que cada condição foi monitorada por aproximadamente 5 minutos. Durante esse período, os valores exibidos foram observados continuamente, e a média foi registrada para representar o consumo típico de energia em cada situação.

Sensor	Motores	<i>Buzzer</i>	Potência média (W)
Ligado	Desligados	Desligado	0,341
Ligado	Ligados	Desligado	0,504
Ligado	Ligados	Ligado	0,530

Tabela 10 – Potências médias do dispositivo em diferentes condições de operação

Contudo, como o tempo de ativação dos atuadores varia conforme o ambiente percorrido pelo usuário, não é possível determinar uma autonomia fixa com precisão. Portanto, para estimar a autonomia, utilizou-se a média das três potências medidas, que foi de 0,458 W.

Para calcular a autonomia aproximada do dispositivo, é necessário dividir a capacidade da bateria (em Wh) pela média das potências medidas (em W). Esse cálculo

fornece uma estimativa do tempo de funcionamento contínuo do sistema antes que a bateria precise ser recarregada. Dessa forma, considerando a capacidade da bateria de 12,06 Wh e a potência média de 0,458 W, a autonomia estimada pode ser calculada da seguinte forma:

$$Autonomia \approx \frac{12,06 \text{ Wh}}{0,458 \text{ W}} \approx 26 \text{ h}$$

Portanto, a autonomia estimada da bateria é de aproximadamente 26 horas, considerando um consumo médio constante de 0,458 W. No entanto, esse valor pode variar conforme o uso real do dispositivo, especialmente em ambientes com maior ou menor ativação dos atuadores.

4 Resultados

Para avaliar se o dispositivo desenvolvido neste trabalho atingiu os objetivos propostos, foram realizados testes práticos nos quais a bengala, com o protótipo acoplado, foi utilizada durante a navegação em três cenários distintos. O objetivo desses testes foi verificar se o uso do dispositivo, baseado no fluxograma representado na Figura 3, permite a detecção antecipada de obstáculos aéreos, possibilitando que o usuário os perceba com antecedência e os evite de forma segura.

O primeiro cenário de teste foi conduzido em um ambiente interno com três obstáculos terrestres. O objetivo era verificar se o dispositivo seria acionado para obstáculos abaixo da linha da cintura do usuário. Os resultados indicaram que o dispositivo não emitiu alertas para nenhum dos obstáculos, enquanto a bengala convencional permitiu detectá-los e evitá-los adequadamente. No entanto, observou-se que o dispositivo detectou o teto do ambiente, localizado a 270 cm de altura, proporcionando um leve *feedback* tátil constante ao usuário. Esse comportamento demonstra que o protótipo está ajustado para identificar obstáculos elevados e reforça sua maior aplicabilidade em ambientes externos.

O segundo cenário foi realizado em um ambiente externo, onde o usuário caminhou em direção a uma estrutura de concreto elevada a uma altura de 160 cm. O objetivo desse teste era verificar se o dispositivo seria capaz de detectar o obstáculo e alertar o usuário a tempo de permitir a evasão segura. Os resultados indicaram que o dispositivo detectou o obstáculo e acionou os alertas táteis e sonoros de maneira eficiente, proporcionando ao usuário tempo suficiente para reagir. A Figura 29 ilustra o momento em que o obstáculo foi identificado e os alertas foram ativados.

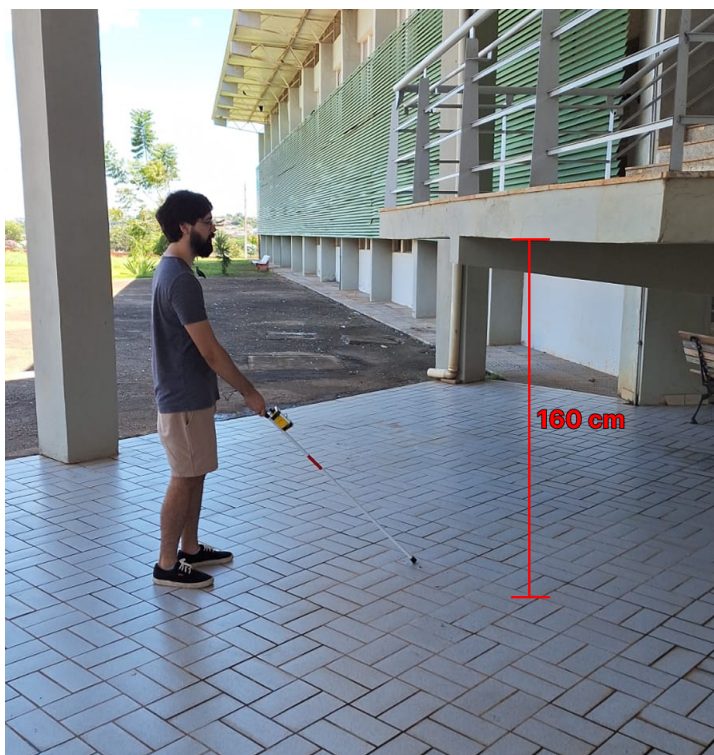


Figura 29 – Segundo cenário de testes. Fonte: Autor.

Dessa forma, conforme definido no fluxograma de uso do dispositivo (Figura 3), ao detectar um obstáculo, o dispositivo alerta o usuário, que pode então levantar a bengala para investigar o ambiente à frente e confirmar a presença do obstáculo (Figura 30). Esse procedimento permite que o usuário perceba melhor a localização e o tamanho do obstáculo detectado, auxiliando na formulação de uma rota segura para desvio.



Figura 30 – Usuário confirmando a presença do obstáculo no cenário 2. Fonte: Autor.

Por fim, o terceiro cenário de teste também foi conduzido em um ambiente externo, onde o usuário caminhou em direção a um obstáculo aéreo de concreto. No entanto, diferentemente do cenário anterior, esse obstáculo possuía uma inclinação, tornando-se progressivamente mais baixo à medida que o usuário se aproximava. No ponto mais alto, o obstáculo estava a 290 cm do chão, enquanto no ponto mais baixo, sua altura era de 160 cm. O objetivo deste teste foi avaliar se o dispositivo conseguiria detectar o obstáculo e alertar o usuário com antecedência suficiente para evitar uma colisão. Os resultados demonstraram que o dispositivo foi capaz de identificar a estrutura inclinada e emitir alertas táteis e sonoros conforme a proximidade do usuário. A Figura 31 ilustra o momento em que o obstáculo foi identificado.



Figura 31 – Terceiro cenário de testes. Fonte: Autor.

Dessa forma, ao aplicar novamente a usabilidade definida no capítulo anterior, o usuário conseguiu levantar a bengala e coletar mais informações sobre o ambiente e o obstáculo (Figura 32). Esse procedimento permitiu uma melhor compreensão da estrutura à frente, possibilitando a formulação de uma rota alternativa que permitiu desviar do obstáculo.



Figura 32 – Usuário confirmando a presença do obstáculo no cenário 3. Fonte: Autor.

5 Conclusão

Diante do que foi apresentado neste trabalho, é possível perceber que as Tecnologias Assistivas desempenham um papel fundamental na inclusão de pessoas com deficiência, pois podem transformar a vida cotidiana de seus usuários, promovendo a autonomia e a inclusão social. Nesse contexto, o desenvolvimento de novas tecnologias de baixo custo torna-se essencial para suprir as necessidades de acessibilidade, proporcionando soluções eficazes e acessíveis para a locomoção de pessoas com deficiência visual.

Os testes realizados demonstraram que o dispositivo desenvolvido cumpriu seu objetivo ao possibilitar a detecção de obstáculos aéreos, ampliando a percepção do usuário sobre o ambiente e complementando o uso da bengala tradicional. Além disso, a usabilidade proposta no capítulo anterior foi validada na prática, evidenciando que o *feedback* tátil e sonoro do dispositivo permitiu ao usuário identificar obstáculos aéreos com antecedência, colocando-o em estado de alerta e possibilitando a tomada de decisões para desviar desses obstáculos.

Em suma, os objetivos gerais e específicos deste trabalho foram alcançados, resultando em um dispositivo de Tecnologia Assistiva de baixo custo, que pode ser replicado por qualquer pessoa, incentivando o compartilhamento e aprimoramento dessa solução.

Por fim, como trabalhos futuros, destaca-se a realização de testes com o público-alvo, ou seja, pessoas com deficiência visual, para avaliar como elas se adaptam ao uso do dispositivo em seu cotidiano. Dessa forma, seria possível obter *feedbacks* diretos dos usuários, permitindo ajustes no design, na usabilidade e no sistema de *feedback*, tornando o dispositivo ainda mais intuitivo e eficiente. Além disso, futuras pesquisas podem explorar a integração de novos sensores para aprimorar a detecção de obstáculos, especialmente em ambientes internos, que se mostraram um ponto de desafio durante os testes.

Referências

- ALLDATASHEET. *HC-SR04 Ultrasonic Sensor Datasheet*. [S.l.], 2014. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132204/ETC2/HCSR04.html>>. Citado 4 vezes nas páginas 3, 21, 22 e 37.
- ALMEIDA, A. R. et al. Construção de uma bengala eletrônica para deficiente visual. *Revista Interação*, 2016. Disponível em: <<https://ojs.periodicos.unis.edu.br/interacao/article/view/110/99>>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 30.
- ALMEIDA, T. S. *Segmentação e reconhecimento de semáforos com ajuda de instrução especialista*. 2018. Universidade Federal de Sergipe. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/10771/2/THIAGO_SILVA_ALMEIDA.pdf>. Citado na página 14.
- AMORIM, C. A. P.; WENDLING, M. Sensores. *UNESP*, Guaratinguetá, 2010. Citado na página 20.
- Arduino LLC. *Arduino Uno Rev3 Datasheet*. [S.l.], 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>>. Citado na página 25.
- ASSIS, D. C. A. O caminhar da pessoa cega: análise da exploração de elementos do espaço urbano por meio da bengala longa. 2018. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/2467/1/O%20caminhar%20da%20pessoa%20cega%3a%20an%C3%A1lise%20da%20explora%C3%A7%C3%A3o%20de%20elementos%20do%20espa%C3%A7o%20urbano%20por%20meio%20da%20bengala%20longa.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 3, 16 e 17.
- Baú da Eletrônica. *Protoboard 170 Pontos Transparente*. 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/produto/protoboard-170-pontos-transparente.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 28.
- BERSCH, R. Introdução a tecnologia assistiva. Porto Alegre, 2017. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br/~zegonc/material/Comp_Sociedade/ZEGONC_Tecnologias_Assistivas_Livro_Introducao_TA.pdf>. Citado na página 10.
- BHOWMICK, A.; HAZARIKA, S. M. An insight into assistive technology for the visually impaired and blind people: state-of-the-art and future trends. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12193-016-0235-6>>. Citado na página 12.
- CAT. Ata vii reunião do comitê de ajudas técnicas cat corde / sedh / pr. Paraná, 2007. Citado na página 10.
- COOK, A. M.; POLGAR, J. M. *cook and hussey's assistive technologies: principles and practice*. [S.l.]: Mosby, 2007. Citado na página 7.
- Espressif Systems. *ESP32-WROOM-32 Datasheet*. [S.l.], 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf>. Citado na página 25.

FERNANDES, L. M. *Sistemas Operacionais*. 3^l. ed. Fortaleza: EdUECE, 2015. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/176962/2/Livro_Computacao_Sistemas%20Operacionais%20%281%29.pdf>. Citado na página 39.

Fortlev. *Caixa de Luz Empilhável*. 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://www.fortlev.com.br/produtos/electricidade/caixa-de-luz-empilhavel/>>. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 28.

GOYAL, Y. Comparative study of microcontroller: Arduino uno, raspberry pi 4, esp32. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 2024. Disponível em: <<https://www.ijraset.com/best-journal/comparative-study-of-microcontroller-esp32-arduino-uno-raspberry-pi-4>>. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.

GREISO, S. *Conhecendo pwm e os circuitos reguladores*. [S.l.]: Simplíssimo, 2016. Citado na página 23.

IBGE. *PNS 2019: País tem 17,3 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência*. 2023. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31445-pns-2019-pais-tem-17-3-milhoes-de-pessoas-com-algum-tipo-de-deficiencia>>. Citado na página 7.

Ilumi. *Caixa de Luz Embutir 4x2 Amarela - Pacote com 20 Peças*. 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://www.ilumi.com.br/produto/caixa-de-luz-embutir-4x2-amarela-pacote-com-20-pecas/>>. Citado na página 28.

INÁCIO, M. J. Sensores e atuadores (1). Engenharia de Controle e Automação - FACIT, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 4, 20 e 21.

MaxBotix Inc. *I2CXL-MaxSonar-EZ Datasheet*. [S.l.], 2023. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://maxbotix.com/pages/i2cxl-maxsonar-ez-datasheet>>. Citado na página 21.

Micros Electronics. *HY-SRF05 Ultrasonic Sensor Datasheet*. [S.l.], 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <https://www.micros.com.pl/mediaserver/M_HY-SRF05_0003.pdf>. Citado na página 21.

NUNES, E. V.; DANDOLINI, G. A.; SOUZA, J. A. de. As tecnologias assistivas e a pessoa cega. *DataGramZero - Revista de Ciência da Informação*, v. 15, n. 4, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 4, 7 e 8.

OLIVEIRA, S. *Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi*. 2^l. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2021. Disponível em: <<https://novatec.com.br/livros/iot-com-esp8266-arduino-raspberry-2ed/>>. Citado na página 36.

PAZ, E. C.; FERREIRA, A. M. C.; ZANNIN, P. H. T. Estudo comparativo da percepção do ruído urbano. *Revista de Saúde Pública*, 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.org/pdf/rsp/2005.v39n3/467-472/pt>>. Citado na página 25.

PEREIRA, J. *WeWalk: Bengala com GPS para deficientes visuais*. 2020. Acesso em: 29 set. 2024. Disponível em: <<https://www.reab.me/wewalk-bengala-com-gps-para-deficientes-visuais/>>. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 36.

- Raspberry Pi Foundation. *Raspberry Pi 4 Model B Datasheet*. [S.l.], 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf>>. Citado na página 25.
- S2F EDUCATION. *Manual: Atuadores, Sensores e Periféricos*. [S.l.], 2023. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <https://s2f.com.br/livros/Manual_Sensores_Atuaadores.pdf>. Citado na página 24.
- SANTOS, A. D. P. Tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual: Avaliação da eficiência de dispositivos para mobilidade pessoal. Bauru, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/181124/santos_adp_me_bauru.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 13.
- SANTOS, J. P. D. et al. Uma avaliação da bengala eletrônica (tecnologia assistiva), para a melhoria de mobilidade dos deficientes visuais. *Simpósio de excelência em gestão e tecnologia*, 2012. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/6616490.pdf>>. Citado na página 14.
- SILVA, T. H. *Tecnologia assistiva e uso de internet das coisas para auxílio a deficientes visuais*. 2021. Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/33282>>. Citado na página 14.
- Supermedy. *Bengala Dobrável para Deficiente Visual*. 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://www.supermedy.com.br/produto/bengala-dobrael-para-deficiente-visual/>>. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 29.
- Todimo. *Placa Romazi Canoa 4x2 1 Posto Horizontal - Branco*. 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://www.todimo.com.br/placa-romazi-canoa-4x2-1-posto-horiz--br-4616-118883/p>>. Citado 3 vezes nas páginas 3, 28 e 29.
- Tramontina. *Caixa de Embutir 4x2 Retangular Tramontina Amarela Alta*. 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://www.tramontina.com.br/caixa-de-embutir-4x2-retangular-tramontina-amarela-alta/57500044.html>>. Citado na página 28.
- UltraCane. *UltraCane - The Smart Cane for Visually Impaired People*. 2025. Disponível em: <<https://www.ultracane.com/index.php?route=common/home>>. Citado na página 13.
- Usina Info. *Buzzer Ativo 5V Bip Contínuo PCI 12mm*. 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/buzzer/buzzer-ativo-5v-bip-continuo-pci-12mm-2988.html>>. Citado na página 24.
- Usina Info. *Buzzer Passivo 5V PCI 12mm*. 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/buzzer/buzzer-passivo-5v-pci-12mm-4640.html>>. Citado 3 vezes nas páginas 3, 24 e 25.
- Usina Info. *Buzzer Passivo Módulo Transdutor BP18 - Acionamento Baixo*. 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/buzzer-arduino/buzzer-passivo-modulo-transdutor-bp18-acionamento-baixo-4708.html>>. Citado na página 24.

Usina Info. *Motor Vibracall para Projetos*. 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/motor-dc/motor-vibracall-para-projetos-1802.html>>. Citado na página 23.

Usina Info. *Motor Vibracall Redondo para Projetos Maker DIY MV30*. 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/motor-dc/motor-vibracall-redondo-para-projetos-maker-diy-mv30-5593.html>>. Citado na página 23.

Usina Info. *Módulo Motor Vibracall MV50 para Arduino e Projetos*. 2025. Acessado em: 9 de março de 2025. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/motor-dc/modulo-motor-vibracall-mv50-para-arduino-e-projetos-5486.html>>. Citado 3 vezes nas páginas 3, 23 e 24.

VEGA, A. S. *Tutorial sobre Sistema de Média Móvel para Fundamentos de Processamento Digital de Sinais*. [S.l.], 2018. Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <https://www.telecom.uff.br/~delavega/public/DSP/tutorial_SMM_dsp.pdf>. Citado na página 38.

WeWALK. *WeWALK Smart Cane - Product Information*. 2025. Disponível em: <<https://wewalk.io/en/product/>>. Citado na página 13.

A Código-fonte

```
1      const int PINO_TRIG = 4;
2      const int PINO_ECHO = 2;
3      #define MOT_PIN1 18
4      #define MOT_PIN2 19
5      const int PINO_buzzer = 23;
6
7      long duracao_us;
8      float distancia_us;
9      float media_distancia[5];
10     float nova_distancia = 250;
11     int indice = 0;
12
13     unsigned long ultimoUltrassom = 0;
14     const int intervaloUltrassom = 1000;
15
16     unsigned long ultimoControlarAtuadores = 0;
17     const int intervaloAtuadores = 500;
18
19     bool motoresAtivos = false;
20
21     void setup() {
22         Serial.begin(9600);
23
24         pinMode(PINO_TRIG, OUTPUT);
25         pinMode(PINO_ECHO, INPUT);
26
27         pinMode(MOT_PIN1, OUTPUT);
28         pinMode(MOT_PIN2, OUTPUT);
29
30         ledcSetup(0, 20000, 8);
31         ledcSetup(1, 20000, 8);
32         ledcSetup(2, 2000, 8);
33
34         ledcAttachPin(MOT_PIN1, 0);
35         ledcAttachPin(MOT_PIN2, 1);
36         ledcAttachPin(PINO_BUZZER, 2);
37     }
38
```

```
39 void \textit{loop}() {
40     if (millis() - ultimoUltrassom >= intervaloUltrassom) {
41         lerUltrassom();
42         ultimoUltrassom = millis();
43     }
44
45     if (millis() - ultimoControlarAtuadores >=
46         intervaloAtuadores) {
47         controlarAtuadores(distancia_us);
48         ultimoControlarAtuadores = millis();
49     }
50
51 void lerUltrassom() {
52     digitalWrite(PINO_TRIG, LOW);
53     delayMicroseconds(2);
54     digitalWrite(PINO_TRIG, HIGH);
55     delayMicroseconds(10);
56     digitalWrite(PINO_TRIG, LOW);
57
58     duracao_us = pulseIn(PINO_ECHO, HIGH, 60000); //timeout
59         de 60ms
60
61     if (duracao_us == 0 || duracao_us > 17493) {
62         nova_distancia = 400;
63     } else {
64         nova_distancia = (duracao_us * 0.0343) / 2;
65     }
66
67     media_distancia[indice] = nova_distancia;
68     indice = (indice + 1) % 5;
69
70     distancia_us = 0;
71     for (int i = 0; i < 5; i++) {
72         distancia_us += media_distancia[i];
73     }
74     distancia_us /= 5;
75
76     Serial.print("Ultrassom: ");
77     Serial.print(distancia_us);
78     Serial.println(" cm");
}
```

```
79
80     void controlarAtuadores(float dist_us) {
81         if (dist_us <= 150) {
82             ledcWrite(2, 255);
83             delay(500);
84             ledcWrite(2, 0);
85         }
86
87         if (dist_us <= 300 && dist_us > 0) {
88             // Cálculo da intensidade proporcional (mapeando de
89             // 150 a 255)
90             int intensidade = map(dist_us, 300, 150, 150, 255);
91             intensidade = constrain(intensidade, 150, 255);
92
93             ledcWrite(0, intensidade);
94             ledcWrite(1, intensidade);
95             motoresAtivos = true;
96
97             Serial.print("Intensidade dos motores: ");
98             Serial.println(intensidade);
99         } else {
100             if (motoresAtivos) {
101                 ledcWrite(0, 0);
102                 ledcWrite(1, 0);
103                 motoresAtivos = false;
104             }
105         }
106     }
```