

# PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA ELETRÔNICO DE SENSORIAMENTO DE DISTÂNCIA A LASER PARA UMA BENGALA ELETRÔNICA

TOMAS JEFERSON DE AZEVEDO THOMAZ<sup>1</sup>

ALEXSANDRO CRISTOVÃO BONATTO<sup>1</sup>

## RESUMO

A deficiência visual reduz parcialmente ou completamente a capacidade do indivíduo de enxergar o mundo ao seu redor, o que traz uma série de desafios cotidianos que dificultam o exercício pleno de suas atividades, principalmente no que tange a locomoção. A mobilidade em áreas urbanas, no interior de prédios comerciais ou residenciais e até mesmo nos transportes coletivos públicos é dificultosa para estes indivíduos, ainda que utilizem das bengalas, que são instrumentos tradicionais com grande limitação diante dos diversos obstáculos que as pessoas com essa condição enfrentam no dia a dia. Essas pessoas enfrentam diversos obstáculos em sua rotina: mobílias, outras pessoas se locomovendo, animais, veículos, vias urbanas sem sinalização adequada ou buracos. A proposta deste trabalho é de avaliar o funcionamento do uso de sensores laser infravermelho para medição de distância usando tecnologia *Time-of-Flight*, em substituição aos tradicionais sensores ultrassônicos que normalmente são usados em bengalas eletrônicas. Pretende-se propor uma substituição dos tradicionais sensores ultrassônicos, resultando em um instrumento de fácil manuseio, como um recurso para que possam se deslocar por áreas abertas e fechadas com mais segurança. Estudos realizados mostram que o uso de sensores a laser infravermelho apresentam resultados melhores do que o ultrassônico, reduzindo a possibilidade de falhas na medição ocorrida por pontos cegos quando do desvio da onda sonora refletida.

**Palavras-chaves:** Bengala eletrônica; Deficiência visual; Sensores ópticos; Tecnologia assistiva; *Time-of-Flight*

---

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Restinga

## 1. INTRODUÇÃO

A visão é um dos principais meios de interação do ser humano com o mundo, em razão dela é possível distinguir objetos, pessoas, cores e formas. Tal qual a audição, os olhos captam eventos distantes ou próximos e organiza as informações para que o cérebro os processe. Segundo o Censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), quase 46 milhões de brasileiros (24% da população) relataram algum grau de dificuldade em enxergar, ouvir, caminhar ou subir degraus. Entre 15% e 20% dos entrevistados apontaram dificuldades visuais, sendo que 3% declararam grande dificuldade para enxergar (IBGE, 2023).

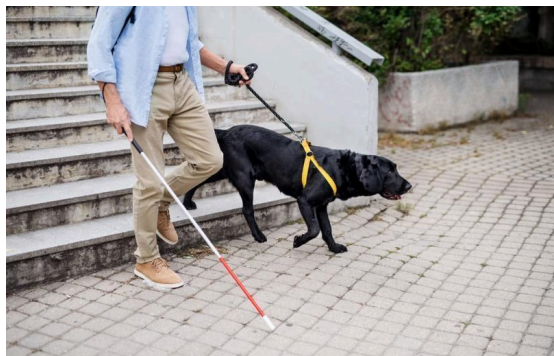
Conforme a Portaria nº 3.128, de 24 de dezembro de 2008, caracteriza-se uma pessoa como sendo portadora de deficiência visual aquela que apresenta baixa visão ou cegueira (BRASIL, 2008). No primeiro caso, a pessoa nota um embaçamento nos objetos e pessoas à sua volta. Por ainda ser possível enxergar algo, busca-se uma correção na capacidade visual por meio de óculos, lentes de contato ou, quando viável, intervenção cirúrgica. A última condição, também a mais severa e raramente reversível, é a cegueira: a pessoa não enxerga absolutamente nada, podendo ser adquirida em razão de diversos fatores ou ser congênita (nasceu sendo portador da deficiência). Para quem se torna cego no decorrer da vida, a pessoa guarda memórias visuais de formas, cores, pessoas e lugares, o que lhe serve de referência, mas no caso de nascer cego surge uma dificuldade em formar imagens visuais de objetos e formas.

Segundo a Lenscope (2023), a visão de uma pessoa pode ser prejudicada por uma variedade de circunstâncias, tais como: o envelhecimento da visão; a falta de ações preventivas; a catarata; a degeneração macular; e retinopatia diabética e; danos oculares ocasionados por traumas e outras doenças. E, ainda, salienta que erros refrativos como a miopia, o astigmatismo e a presbiopia, não caracterizam uma pessoa como portadora de deficiência visual, pois são condições tratáveis.

Segundo o Ministério da Saúde (2020), o Sistema Único de Saúde (SUS) promove a acessibilidade e inclusão social ao oferecer gratuitamente dispositivos ortopédicos como bengalas, muletas, andadores e cadeiras de rodas. Para solicitar esses recursos é necessário ir a uma Unidade Básica de Saúde (UBS) e pedir encaminhamento para o Centro Especializado em Reabilitação (CER).

Outra alternativa para auxiliar na mobilidade é o cão-guia, um animal que passa por um longo processo de adestramento desde filhote para ser focado, disciplinado, gentil e prudente para melhor atender a pessoa portadora de deficiência visual. Diferente de um *pet* comum, sua missão é estar atento às adversidades em ambientes internos e externos, não se distraindo com cheiros, petiscos, pessoas ou outros animais enquanto está em serviço.

Figura 1 – Pessoa portadora de deficiência visual acompanhada de um cão-guia.



Fonte: ACIF (2022).

Segundo a Lei 11.126, de 27 de junho de 2005, em cumprimento do art. 1º, está assegurada a permanência do cão-guia em todo meio de transporte e estabelecimento público ou privado que a pessoa portadora de deficiência precisar ou quiser estar. Porém, há os seguintes contrapontos:

- Há poucas instituições especializadas em adestramento de cães-guias no Brasil que atendem apenas pessoas dentro do seu alcance territorial.
- Nem toda raça é selecionada para o adestramento, o que limita a quantidade de cães a serem treinados. As raças mais comuns são: labrador, *golden retriever* e pastor alemão.
- Segundo Pimenta (2022), “[...] O investimento na formação de um cão-guia é de, no mínimo, R\$ 35.000,00” (Trinta e cinco mil reais).
- São poucos cães-guias que completam o treinamento e são doados ao solicitante. Em 2021, segundo pesquisa do IBGE, cerca de 200 cães-guias estavam aptos a guiar (TRT8, 2021). É uma quantidade insuficiente para a demanda de pessoas cegas no Brasil.

A inclusão tem se tornado um movimento mais difundido e fortificado, o que abriu portas para diversos projetos com o objetivo de facilitar para pessoas com deficiência a sua participação na sociedade e o exercício dos seus direitos e deveres como cidadão. No que tange à deficiência visual, há opções no mercado de bengalas

com sensores de movimentos precisos e de longa distância, conexão de dados nos protocolos WIFI ou Bluetooth com o celular, bem como o recurso de navegação no Google Maps ativada por voz.

A Tabela 1 ilustra que bengalas eletrônicas desenvolvidas e comercializadas com recursos de suporte à mobilidade que apresentam alto custo de aquisição e isso leva à restrição de acesso.

Tabela 1 - Bengalas eletrônicas comercializadas

---

	<p><b>UltraCance</b></p> <p>Detecta objetos a 4m de distância no solo Detecta objetos a 1,50m na altura do abdômen.</p> <p>Sensores ultrassônicos</p> <p>Alerta por vibração.</p> <p>Custo: R\$ 4 542,19 (reais)</p>
	<p><b>WeWalk Smart Cane</b></p> <p>Detecta objetos até 4m no solo Detecta objetos a 1,60m na altura abdômen</p> <p>Sensores ultrassônicos</p> <p>Alerta por vibração</p> <p>Sincronização com <i>smartphone</i></p> <p>Integração ao assistente de voz do <i>Google</i></p> <p>Custo: R\$ 4 069,69 (reais)</p>

---

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Existem milhões de brasileiros com alguma deficiência visual e a grande maioria encontra-se em situação de grande vulnerabilidade social. Logo, a aquisição de uma bengala com recursos sofisticados torna-se inacessível. E, ainda, devido à alta demanda não são muitos os que são contemplados com cães-guias.

### 1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver e implementar um sistema eletrônico de sensoriamento óptico para detecção de obstáculos para ser acoplado a uma bengala para pessoas portadoras de deficiência visual.

Pretende-se utilizar o sensor óptico infravermelho VL53L0X, cujas características principais são operar com baixos níveis de tensão de alimentação, medições de elevada acurácia e, segundo seu *datasheet*, seu alcance máximo é de 2 metros (STMICROELETRONICS, 2023).

A proposta do trabalho busca alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Construir o algoritmo responsável por acionar os sensores e geração de avisos sonoros quando o obstáculo estiver até dois metros de distância e conforme a iminência do impacto o alarme se intensifica.
- Gravar o programa (*sketch*) construído em C/C++ (linguagem de programação do Arduino) responsável pelo funcionamento do sensor e dos alarmes no microcontrolador com o intuito de fabricar uma placa eletrônica compacta à ser acoplada em uma bengala.

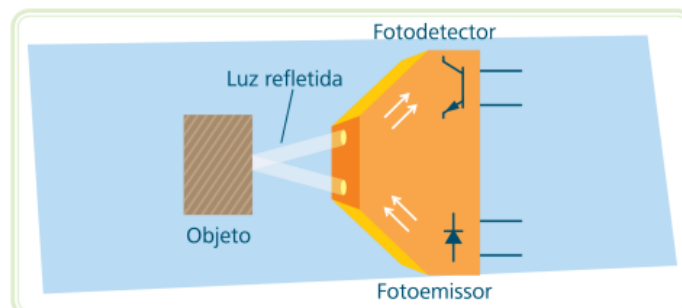
## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Sensores Ópticos

O detector de luz ou receptor fotoelétrico é um dispositivo que converte a intensidade luminosa incidente em um sinal elétrico correspondente. O método de medição depende do modelo do sensor, mas de modo geral o dispositivo emite um sinal luminoso que ao incidir na superfície de um objeto, parte desta energia reflete e retorna para o dispositivo. A distância entre instrumento e o objeto é determinada pelo tempo que a luz levou para atingir o objeto e retornar para o sensor.

A Figura 2 ilustra o funcionamento de um sensor óptico cujo método de detecção é através de um sistema de difusão.

Figura 2 – Funcionamento de um sensor óptico do tipo difuso.



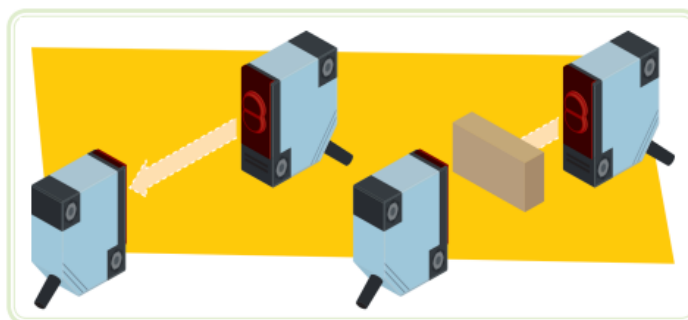
Fonte: Instrumentação Aplicada (2011).

O fotoemissor (ou apenas emissor) e o fotodetector (também chamado de receptor) estão localizados fisicamente no mesmo compartimento do instrumento. Um sinal de luz do transmissor é refletido pelos objetos que entram na área de detecção e o sensor é ativado quando o sinal de luz é captado pelo receptor.

Um exemplo de aplicação deste sistema é o acionamento de uma torneira com detecção de presença. A luz do emissor é refletida pela mão do usuário e, quando o receptor capta a luz que retorna, o sensor permite que a água flua.

Outro sistema de detecção de obstáculos é o sistema de feixe contínuo ou de barreira. O sensor é dividido em dois componentes físicos: emissor e receptor separados por uma certa distância. Na ausência de obstáculos, o primeiro componente emitirá um feixe de luz e o segundo componente receberá esse feixe. Conforme mostra a Figura 3, o sensor é acionado quando o receptor não reconhece o sinal do transmissor, indicando um objeto dentro do alcance do instrumento.

Figura 3 – Funcionamento de um sensor óptico do tipo feixe contínuo.



Fonte (Adaptado): Instrumentação Aplicada (2011).

Este sistema é amplamente utilizado em portas automáticas. Quando a porta é fechada ou está fechando e alguém entra na área de detecção, o sensor é acionado, fazendo com que a porta abra novamente.

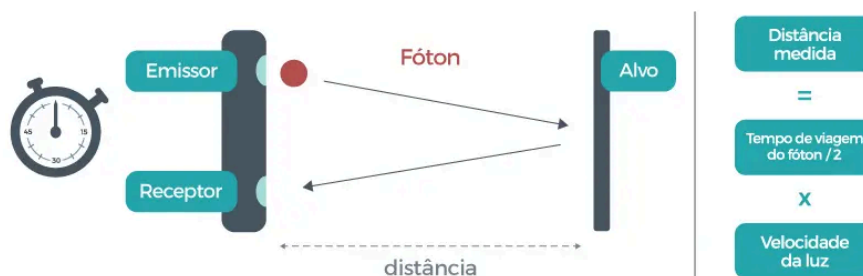
## 2.2. Sistema de detecção do VL53L0X

O VL53L0X é um laser de emissão de superfície em cavidade vertical *VCSEL* (*Vertical Cavity Surface-Emitting Laser*) de comprimento de onda igual a 940 nm, invisível ao olho humano. Possui filtros infravermelhos internos para permitir alcances maiores com maior imunidade à interferência da luz ambiente e maior robustez à interferência gerada por reflexão em uma cobertura de vidro.

O VL53L0X utiliza a tecnologia *Time Of Flight (ToF)* para a detecção de objetos. Na tradução livre, Tempo de Voo, definido como sendo o intervalo de tempo

entre o envio e o retorno do sinal infravermelho e com ele é realizado o cálculo da distância entre o sensor e o objeto detectado. A Figura 4 ilustra o funcionamento deste sistema de detecção.

Figura 4 - Funcionamento do sistema de detecção *ToF*.

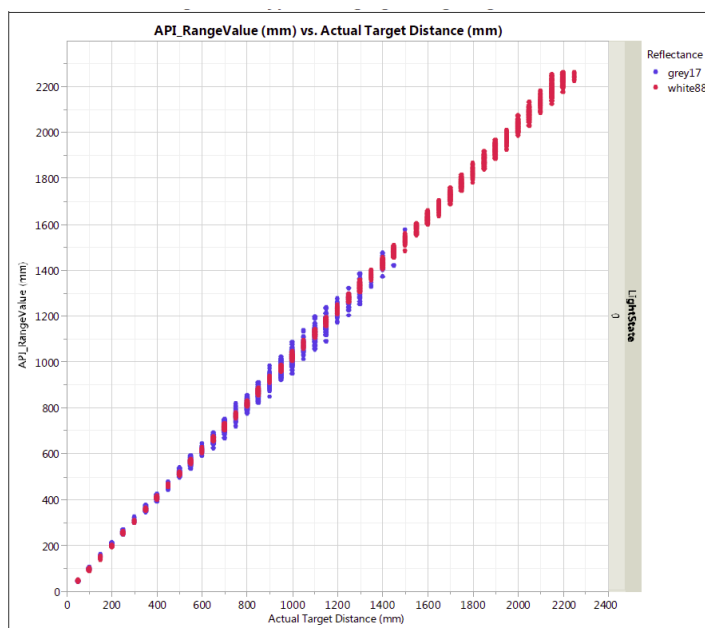


Fonte: Embarcados (2020).

Segundo Embarcados (2020), esta tecnologia emite um sinal infravermelho e uma matriz de recepção *SPAD* (Single Photon Avalanche Diode), que significa Diodo de Avalanche de Fóton Único, e este recurso permite que o sensor detecte o primeiro fóton refletido pelo objeto, proporcionando maior alcance e confiança na detecção de obstáculos.

Em condições típicas de funcionamento, em ambientes internos, mede até 200 cm para objetos de cor branca, e 80 cm para objetos escuros. Já em ambientes externos, com incidência solar direta, a distância máxima de medição chega a 80 cm para objetos de cor branca e 50 cm para objetos escuros (STMICROELECTRONICS, 2023). A acurácia para medição de objetos brancos de até 120 cm de distância é tipicamente de 4%, para ambientes internos e 7 % para externos. A acurácia deste sensor pode ser melhorada para um desvio padrão de  $\pm 3\%$  configurando-o para o perfil de medição "*High accuracy*" (Alta Acurácia). Para aumentar a faixa de distância medida para até 200 cm é preciso utilizar o perfil de medição "*Long range*" (Longo Alcance), como é mostrado na Figura 5.

Figura 5 -Curva de calibração do VL53L0X para o modo de *long range* .



Fonte: STMICROELECTRONICS (2024).

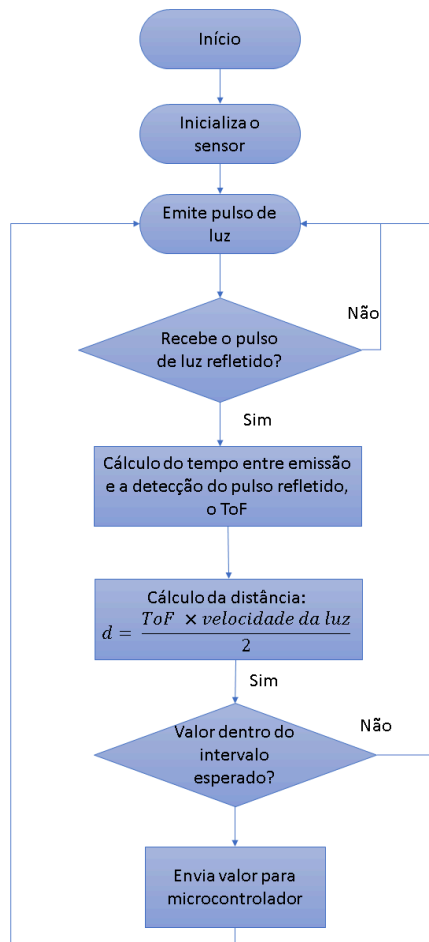
Além do perfil de medição, deve-se definir para o sensor o modo de medição desejado. Dentre as opções estão:

- *Single Ranging* (Medição Única): Uma única medição realizada e após o sensor deve ser reiniciado para efetuar uma nova medição.
- *Timed Ranging* (Medição Temporizada): Define-se um intervalo de tempo para que uma nova medição seja realizada continuamente.
- *Continuous Ranging* (Medição Contínua): Medição é continuamente realizada.

A Figura 6 ilustra o fluxograma de funcionamento do sensor VL53L0X para o modo de medição *continuous ranging* adotado para este trabalho..

O sensor é inicializado e configurado, em seguida um pulso de luz infravermelho é emitido pelo emissor do VL53L0X na direção do obstáculo. Reconhecido pelo receptor do sensor a detecção do pulso refletido pelo objeto segue-se para o cálculo do *ToF*. Estando o valor de distância calculado dentro da faixa de detecção (de 0,01m a 2m), o valor é enviado para o microcontrolador para tratar desta informação e uma nova medição é realizada.

Figura 6 - Fluxograma de funcionamento do VL53L0X em modo contínuo de medição.



Fonte (Adaptado): STMICROELECTRONICS (2024).

### 3. METODOLOGIA

Para o presente trabalho a busca por referências foi realizada via websites. Consultas de legislações, trabalhos acadêmicos, notícias e artigos científicos divulgados em homepages de revistas, eventos científicos, órgãos públicos ou instituições privadas presentes até o momento no Brasil.

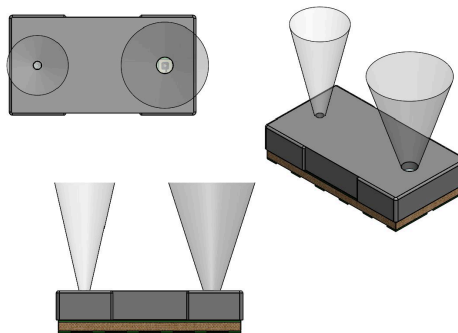
Este trabalho utilizou a placa Arduino UNO R3 para controlar um par de módulos com sensores VL53L0X, que pode ser alimentada por uma fonte de tensão de 3,3V CC (Corrente Contínua) através da porta USB do computador ou por uma bateria de 9V CC. Seu microcontrolador é um ATmega328P do fabricante *Atmel Corporation*, e este componente manipula os dados de entrada e saída de energia

para que o usuário possa programar como esses dados interagem com os componentes externos do Arduino.

O sensor óptico VL53L0X tem um comprimento de 4,4mm, largura de 2,4mm e altura de 1,0mm. Um encapsulamento compacto que permite a integração deste componente eletrônico em sistemas compactos e dispositivos portáteis. Também possui dois anéis em suas extremidades para fixação em placas de circuito. Conforme o *datasheet* sua alimentação pode ser de 2,6V a 3,5V e sua corrente elétrica de operação é próxima de 20 mA.

O sensor VL53L0X emite um feixe de luz do emissor que tem uma abertura de 35° (graus), enquanto que o receptor tem abertura de 25° como mostra a Figura 7.

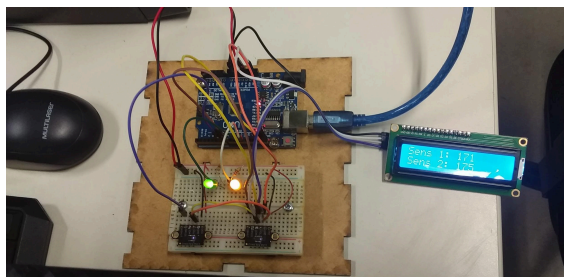
Figura 7 - Feixes de luz em formato de cone do emissor e receptor do sensor VL53L0X



Fonte (Adaptado): STMICROELECTRONICS (2024)

Para fins de melhor visualização das medições, incluiu-se um *display LCD 16x2* ao projeto que é alimentado por 5V do Arduino e, além disso, se está operando com os pinos *SCL* e *SDA* para comunicação *I2C*. Ainda foram incluídos dois *LEDs* cuja intensidade do brilho indica a proximidade do objeto. Quanto mais próximo o objeto dos sensores, mais brilhante estará o *LED* de cada sensor.

Figura 8 - Teste com dois sensores VL53L0X, display LCD e *LEDs*.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

#### 4. RESULTADOS

Para prosseguir com o projeto e permitir novos testes com mais agilidade e segurança, já que o projeto se deparou com desafios quanto ao deslocamento, elaborou-se uma case (caixa) para acolher o circuito deste trabalho. Como ilustra a Figura 9, o projeto tornou-se portátil e incluiu-se uma bateria de 9V para fornecer a tensão necessária para os sensores e ao *display*.

Figura 9 - Projeto em pleno funcionamento dentro da Case

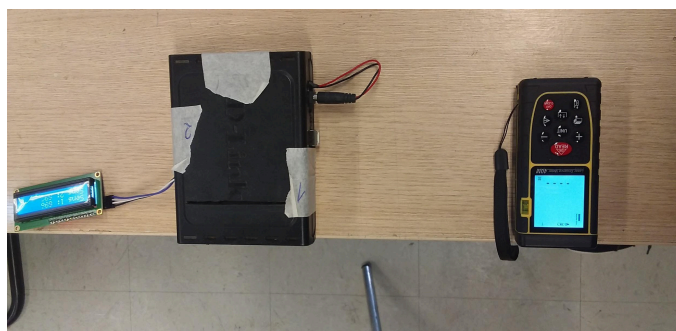


Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Utilizou-se uma placa de MDF fixada em um tripé para medir distâncias pré-definidas com os sensores e registrar as leituras em uma tabela para que se possa analisar os valores médios e o desvio padrão da medida obtida através dos sensores VL53L0X. O ensaio consiste em afastar a placa em diferentes distâncias e coletar as medidas lidas pelos sensores.

Para este ensaio, a trena digital TLP 40, um instrumento de medição a laser, atuará como referência. Segundo o manual do fabricante, o instrumento realiza leituras de 0,05m a 40m com um desvio padrão de  $\pm 2\text{mm}$ .

Figura 10 - Projeto e Trena TLP 40



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 2 - Medições realizadas com a Trena e os sensores VL53L0X S1 e S2

Medida em mm	Trena Digital		S1		S2		Médias			Desvio padrão		
	Mín	Máx	Mín	Máx	Min	Máx	Trena	S1	S2	Trena	S1	S2
30	28	30	27	36	39	48	29,00	31,50	43,50	1,41	6,36	6,36
60	59	60	60	66	66	71	59,50	63,00	68,50	0,71	4,24	3,54
90	89	90	92	98	100	107	89,50	95,00	103,50	0,71	4,24	4,95
120	119	120	121	127	129	135	119,50	124,00	132,00	0,71	4,24	4,24
150	148	150	153	160	159	168	149,00	156,50	163,50	1,41	4,95	6,36
180	180	181	186	191	196	202	180,50	188,50	199,00	0,71	3,54	4,24
210	210	210	217	225	222	232	210,00	221,00	227,00	0,00	5,66	7,07
240	239	240	251	260	257	266	239,50	255,50	261,50	0,71	6,36	6,36
270	268	269	284	289	291	299	268,50	286,50	295,00	0,71	3,54	5,66
300	298	299	318	328	326	334	298,50	323,00	330,00	0,71	7,07	5,66
330	329	331	348	356	353	364	330,00	352,00	358,50	1,41	5,66	7,78
360	358	361	379	388	388	395	359,50	383,50	391,50	2,12	6,36	4,95
390	389	390	414	422	416	427	389,50	418,00	421,50	0,71	5,66	7,78
420	419	420	442	453	449	458	419,50	447,50	453,50	0,71	7,78	6,36
450	449	449	469	485	473	488	449,00	477,00	480,50	0,00	11,31	10,61
480	479	480	505	518	511	521	479,50	511,50	516,00	0,71	9,19	7,07
510	510	512	530	547	538	545	511,00	538,50	541,50	1,41	12,02	4,95
540	540	541	566	579	571	580	540,50	572,50	575,50	0,71	9,19	6,36
570	568	570	585	605	591	611	569,00	595,00	601,00	1,41	14,14	14,14
600	600	601	628	646	630	642	600,50	637,00	636,00	0,71	12,73	8,49

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Como o objetivo do trabalho é detectar obstáculos que estejam em até 2 metros, um segundo ensaio foi realizado da mesma maneira com foco em longas distâncias. A Tabela 3 mostra as medidas coletadas e nota-se que os sensores apresentaram maior variabilidade, o que já era esperado devido ao perfil de medição de longo alcance em que os dois VL53L0X estão configurados para alcançar leituras próximas de dois metros. Em troca do longo alcance, segundo o *datasheet*, há uma redução no que tange à acurácia em  $\pm 5\%$ .

Tabela 3 - Medições de longo alcance com os sensores e a trena

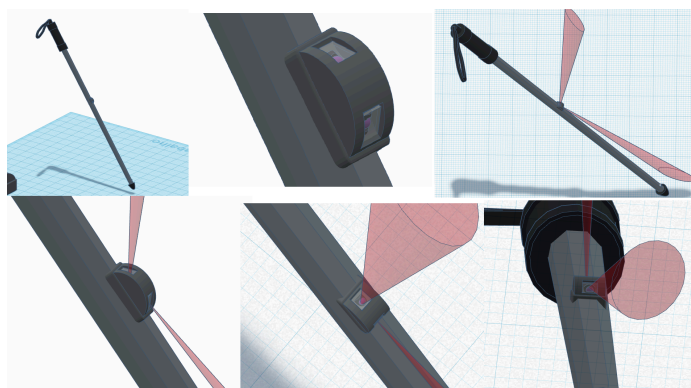
Medida em mm	Trena TLP 40		S1		S2		Médias			Desvio Padrão		
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Trena	S1	S2	Trena	S1	S2
500	499	500	530	545	537	546	499,5	537,5	541,5	0,71	10,61	6,36
1000	1000	1001	1036	1068	1029	1055	1000,5	1052	1042	0,71	22,63	18,38
1500	1498	1500	1504	1587	1502	1588	1499	1545,5	1545	1,41	58,69	60,81
2000	2008	2009	2004	2154	1996	2119	2008,5	2079	2057,5	0,71	106,07	86,97
2500	2497	2500	-	-	-	-	2498,5	-	-	2,12	-	-

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Todas as medições ao longo deste trabalho foram realizadas em sala artificialmente iluminada, não havendo incidência de luz direta sobre os sensores que pudessem interferir nas aferições. Foi realizada uma única medição para cada distância definida nas tabelas.

A Figura 11 a seguir mostra um modelo desenvolvido na plataforma *TINKERCAD* de uma estrutura física acoplada em uma bengala, ilustrando os feixes de detecção dos dois sensores VL53L0X em suas respectivas posições para que possam detectar obstáculos no solo e na altura do abdômen da pessoa.

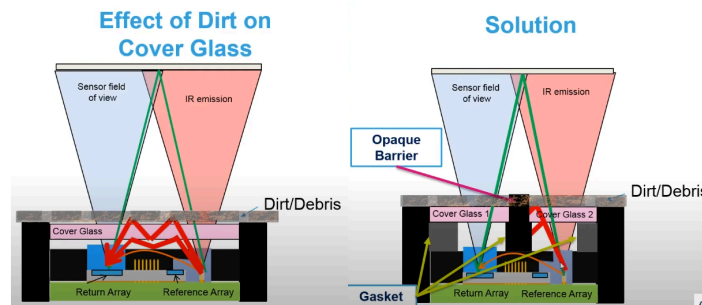
Figura 11 - Bengala com os sensores acoplados por meio de um módulo



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

O invólucro que protege os sensores de eventos externos como impactos, poeira ou umidade precisa de uma espécie de uma tampa transparente, como o vidro, de espessura fina e que fique muito próximo do sensor. No entanto, não basta apenas inserir essa proteção sobre os sensores visto que identificariam como obstáculo. A Figura 12 ilustra o problema da proteção de vidro e apresenta uma solução viável.

Figura 12 - Efeito negativo da proteção de vidro e a solução



Fonte (Adaptado): STMICROELETRONICS (2024)

O feixe de luz do emissor reflete sobre a superfície do vidro e alcança o receptor, o que significa que um obstáculo foi detectado. A solução, como ilustra a Figura acima, consiste em construir uma barreira entre o emissor e o receptor. Deste modo, as tampas de vidros não serão detectáveis como obstáculos.

Supondo que o projeto tivesse atingido a etapa idealizada na Figura 11, sendo possível seu uso em campo, segue-se a estimativa teórica quanto ao consumo energético para cada detecção realizada por um único sensor, considerando uma pessoa caminhando a 1,5m/s, portando uma bengala com este projeto acoplado e que houvesse um obstáculo a 300cm dela.

Equações utilizadas para os cálculos desta estimativa:

- $v = d/t$ 
  - Velocidade ( $v$ ) é a razão entre distância percorrida ( $d$ ) pelo tempo transcorrido ( $t$ ).
- $P = E * I$ 
  - Potência elétrica ( $P$ ) é igual ao produto tensão elétrica ( $E$ ) por corrente elétrica ( $I$ ), dada em Watts (W).
- $E_c = P * t$ 
  - Energia consumida ( $E_c$ ) é igual ao produto da Potência elétrica ( $P$ ) pelo tempo de consumo ( $t$ ), dada em Joules (J).

- $C = I * t$ 
  - Capacidade da bateria ( C ) é igual ao produto corrente elétrica (I) pelo tempo de operação (t), dado em Ampére-hora (Ah).

Assumindo os valores típicos do *datasheet* do VL53L0X para corrente elétrica (20mA), o tempo de resposta do sensor (30ms), a fonte de alimentação do projeto como sendo 3,3V e que o sensor detecte somente objetos que estejam em até 200cm, seguimos para as estimativas.

- Como a pessoa está caminhando a 1,5m/s, ela colidiria com o obstáculo em  $t = d/v = 3/1,5 = 2s$  (segundos).
- O sensor leva 30ms para detectar o obstáculo, até que haja a detecção a pessoa deslocou-se  $d = v * t = 1,5 * 0,03 = 0,045m$  ou 4,5cm.
- O VL53L0X apenas detecta objetos que estejam em até 200cm, a pessoa se deslocou 104,5cm e o sensor detecta o objeto em  $t = d/v = 1,045/1,5 = 697ms$ .
- Para cada detecção, a potência dissipada pelo sensor é dada por  $P = E * I = 3,3 * 0,02 = 66mW$  (miliWatts) e o consumo de energia  $E_c = P * t = 0,066 * 0,03 = 1,98 mJ$  (miliJoules).
- Em uma hora, consumiria  $E_c = P * t = 0,066 * 3600 = 237,6J$ .
- Para que a bateria de 3,3V, durasse uma semana (168 horas), a capacidade dela deveria ser de  $C = I * t = 0,02 * 168 = 3360mAh$  (miliAmpere-hora).

## 5. CONCLUSÕES

A bengala com recursos tecnológicos para auxiliar na locomoção da pessoa com deficiência visual adquirida recentemente ou congênita é um exemplo de tecnologia assistiva que promove uma melhor qualidade de vida para o portador da deficiência visual.

Com base nos testes realizados, o sensor VL53L0X apresentou desempenho satisfatório na detecção de obstáculos a longas distâncias, identificando objetos a pelo menos dois metros de distância quando configurado para o perfil de longo alcance e operando no modo contínuo de medição. Observou-se uma variabilidade superior a

5% na acurácia das medições, acima do que o *datasheet* informa. Além disso, apesar de cada sensor ter se mostrado resistente à variação de iluminação artificial do ambiente de testes, um fator relevante ao se trabalhar com sensores ópticos é a suscetibilidade dos mesmos à interferência da luz solar, a incidência direta de luz solar sobre os sensores pode comprometer o desempenho.

Define-se como propostas de trabalhos futuros para a continuidade do trabalho realizado com os sensores VL53L0X:

- Analisar a possibilidade de substituir o Arduino por outra placa mais compacta com um microcontrolador de capacidade similar e de baixo consumo energético.
- Gerar avisos sonoros utilizando-se um *buzzer* para sinalizar que um objeto está sendo detectado pelos sensores.
- Confeccionar uma placa de circuito impresso para acoplar o projeto em uma bengala.
- Realizar teste de campo com o sistema acoplado a uma bengala.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 3.128, de 24 de dezembro de 2008.** Define que as Redes Estaduais de Atenção à Pessoa com Deficiência Visual sejam compostas por ações na atenção básica e Serviços de Reabilitação Visual. Disponível em: [https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2008/prt3128\\_24\\_12\\_2008.html](https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2008/prt3128_24_12_2008.html). Acesso em: 16 jun 2023.

Deficiência visual: o que é, classificação e causas. In: **Lenscope**, 17 mar. 2023. Disponível em: <https://lenscope.com.br/blog/deficiencia-visual/>. Acesso em 10 jun. 2023.

**Embarcados.** *Sensor de distância a laser Time-of-Flight (ToF)*. Disponível em: <https://embarcados.com.br/sensor-de-distancia-a-laser-time-of-flightof/>. Acesso em: 14 jun. 2023.

**MUNDO PROJETADO.** Sensor de Distância a Laser VL53L0X. Disponível em: <https://mundoprojetado.com.br/sensor-de-distancia-a-laser-vl53l0x/> . Acessado em 13 jun 2023.

MAIS AUTONOMIA. **Bengala Inteligente WeWALK - Mais Autonomia.** Produtos. Disponível em: <https://maisautonomia.com.br/bengala-inteligente-wewalk>. Acesso em 14 jun 2023.

PIMENTA, Maria Luísa. Cão-guia: tudo que você precisa saber sobre o assunto. In: **Patás da Casa**. São Paulo, 26 mai 2022. Disponível em: <https://www.patasdacasa.com.br/noticia/cao-guia-tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-o-assunto>. Acesso em: 17 jun 2023.

STMICROELECTRONICS. **Time-of-Flight ranging sensor. VL53L0X.** Revision: DocID029104 Rev 5, 08-Dec-2022. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf>. Acesso em 17 jun 2023.

SEIDEL, Álysson Raniere. **Instrumentação Aplicada.** Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2018. Disponível em: [https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/18\\_instrumentacao\\_aplicada.pdf](https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/18_instrumentacao_aplicada.pdf). Acesso em: 9 set. 2024.

ULTRACANE. **UltraCane putting the world at your fingertips.** Home page. Disponível em: <https://www.ultracane.com>. Acesso em 14 jun 2023.

WAP. **Manual do produto: TLP 40.** Disponível em: <https://mais.wap.ind.br/produtos/TRENA-LASER-TLP-40/WAP-TLP-40-Manual.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2023