



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS DE QUIXADÁ**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**MARCELO MARTINS DA SILVA**

**SMART GLASSES: DISPOSITIVO VESTÍVEL EM FORMA DE ÓCULOS PARA  
AUXILIAR DEFICIENTES VISUAIS NA DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS**

**QUIXADÁ**

**2020**

MARCELO MARTINS DA SILVA

SMART GLASSES: DISPOSITIVO VESTÍVEL EM FORMA DE ÓCULOS PARA  
AUXILIAR DEFICIENTES VISUAIS NA DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Computação da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia de Computação. Área de concentração: Computação.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Armando Cavalcante Aguilar.

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ingrid Teixeira Monteiro

QUIXADÁ

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S581s Silva, Marcelo Martins da.  
Smart Glasses : dispositivo vestível em forma de óculos para auxiliar deficientes visuais na detecção de obstáculos / Marcelo Martins da Silva. – 2020.  
80 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Engenharia de Computação, Quixadá, 2020.  
Orientação: Prof. Dr. Paulo Armando Cavalcante Aguiar.  
Coorientação: Profa. Dra. Ingrid Teixeira Monteiro.
1. Acessibilidade. 2. Transtornos da visão . 3. Sistemas Embarcados (Computadores). I. Título.  
CDD 621.39
-

MARCELO MARTINS DA SILVA

SMART GLASSES: DISPOSITIVO VESTÍVEL EM FORMA DE ÓCULOS PARA  
AUXILIAR DEFICIENTES VISUAIS NA DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Computação da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia de Computação. Área de concentração: Computação.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Paulo Armando Cavalcante Aguiar (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Ingrid Teixeira Monteiro (Coorientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Andréia Libório Sampaio  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Thiago Werley Bandeira da Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho a minha mãe, Jocivania dos Santos Silva, que é a responsável pela minha educação e me apoiou em minha caminhada com todo amor e carinho e a meu avô José Cavalcante da Silva (*in memoriam*) e tia Lourdes (*in memoriam*) que mesmo com a distância se fazem presentes em meu coração.

## AGRADECIMENTOS

Com os sentimentos de amor e gratidão, agradeço primeiramente a Deus pela minha vida. Com muito carinho, agradeço a minha mãe, Jocivania dos Santos Silva, que é a principal responsável por minha educação e que nunca me faltou com afeto e todo cuidado que precisei.

Aos meus avós, Lucimar dos Santos Silva e José Cavalcante da Silva (*in memoriam*) por sempre estarem ao meu lado e me apoiarem, em decisões que mudaram minha vida e que não foram nada fáceis de assimilar. Além de sempre tomarem conta de mim, e se fazerem presentes em minha criação.

A minha madrinha, Neile que me deu todo carinho e colo quando precisei e até mesmo quando eu não precisava, uma pessoa que sempre cuidou de mim, que me ensinou a ser uma pessoa mais humana e a cuidar das pessoas com todo amor e carinho que sempre sonha todos os meus sonhos, junto a mim.

Aos meus tios, Geisa, Josivan, Lucivania e Lourdes (*in memoriam*), que sempre acreditaram nos meus sonhos e deram a força necessária para que eu pudesse chegar onde cheguei.

Com estimado apreço, agradeço aos meus amigos, Camila Diógenes, Paula Feitosa, Rafaella Fernandes, Beatriz Precebes, Carlos Ferreira, Iury Queirós, Igor Santana, Marianna Pinho, Matheus Fernandes e Gabriel Uchôa, por compartilharem comigo tantos momentos ímpares, irei recordar dessas memórias magníficas com muito carinho e saudade. Meu muito obrigado, à Palloma Alves, Daniele Carneiro, Cleuton Júnior, Tarcísio Cristhianne, Elieuda do Vale, Pedro Henrique Alcântara e Daiana Alcântara por sempre acreditarem em mim e que todos os meus sonhos eram possíveis e exequíveis, por me ajudarem nos momentos de ansiedade, medo e dúvida, o apoio de vocês foi muito importante para que eu pudesse seguir com todos os meus objetivos, terei vocês guardados em meu coração. A Pietro Esteves, por contribuir positivamente em minha vida, acreditando nos meus sonhos e me acompanhando em parte dessa jornada. Por fim as amizades que conquistei durante a Universidade e que contribuíram de alguma maneira positiva em minha vida, Ana Victória, Lucas Cruz, Darliene Ferreira, Juliana Hellen, Johnny Marcos, Letícia Saraiva, Léo Mariz, Felipe Silva, Iago Lima, Marisa Silva, Raynara Lima, Marcelo Santana, Adriano Nobre, Gabriel Tavares, Paula Luana e Tiago Linhares.

Agradeço aos professores, que fizeram parte positivamente do meu processo de aprendizagem, no período de graduação, por compartilharem seus conhecimentos, vivências e lições.

Agradeço ao Lead, pela oportunidade de evoluir na área de pesquisa e por ter aberto tantos caminhos, com carinho em especial aos meus amigos de equipe, Wanessa Caldas, Robson Sampaio, Raizelle Lima, Gabriel Levy, Matheus Chagas, Nina Vital, Ruan Rocha, Aline Mello, Thais Almeida, Adson Roberto, Sabrina Mariano, Bianca Tiane e Pedro Muniz.

Agradeço à Eudenia Magalhães, por ser uma pessoa que me incentivou bastante a seguir meu sonho de cursar uma pós-graduação, e me aconselhar em um momento em que eu estava me sentindo perdido enquanto a tentar trilhar, novos caminhos.

Agradeço também, aos meus professores do ensino infantil, fundamental e médio, por terem me mostrado o caminho que a educação e que os estudos podem me levar, em especial as professoras Raquel Magalhães, Gláucia Rebouças, Maria das Graças e Fabiana Medeiros, muito obrigado, pelos conselhos e por nunca desistirem de mim.

Aos voluntários que acreditaram no projeto e que sempre estão na torcida para que o projeto evolua e consiga alcançar um público maior, e que possa ajudar a quebrar barreiras, muito obrigado, vocês foram extremamente importantes para que o trabalho conseguisse alcançar todos os objetivos.

À Roberta Dutra e Simone Nunes, por me ajudarem a sonhar mais alto e em momento algum me deixaram duvidar de todas as conquistas que eu poderia alcançar. O incentivo de vocês duas foi muito importante, desde o início nas conquistas dos pódios com a Roberta, assim como, ao final da graduação junto com a Simone, gratidão.

Aos professores David Sena e Valdemir Queiroz, por me darem o suporte inicial dentro na universidade, acreditando no meu potencial e que me acompanharam e que sempre estavam a disposição para conversas e me auxiliarem no Programa de Aprendizagem Cooperativa em Células Estudantis.

Aos professores Paulo Armando e Ingrid Monteiro, por terem topado esse desafio e sempre estiverem a disposição para ajudar e pelo comprometimento com a pesquisa, muito obrigado.

Aos meus orientadores de tantos projetos, prêmios e publicações conquistadas.

Aos professores Joel Castro e Andréia Libório por todos os conselhos e conversas.

À banca pela disponibilidade e atenção para com o meu trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para quem sou hoje.

“Viver é como andar de bicicleta: É preciso estar em constante movimento para manter o equilíbrio.” (Albert Einstein)

## RESUMO

Dados da Organização Mundial da Saúde mostram que 39 milhões de pessoas são cegas e 246 milhões têm baixa visão em todo o mundo. No Brasil, segundo pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 500 mil pessoas são cegas. Nesse contexto, a inclusão social e o desenvolvimento de ferramentas de acessibilidade ajudam essas pessoas com problemas de mobilidade. No entanto, existem dificuldades na identificação de obstáculos localizados acima do nível da cintura, como paredes, colunas, postes, galhos de árvores, entre outros. Esses obstáculos não são facilmente identificados por bengalas comuns usadas por deficientes visuais e, como resultado dessa limitação, os acidentes se tornam recorrentes. Portanto, apresentamos neste trabalho uma versão protótipo de um dispositivo vestível na forma de óculos que detecta obstáculos localizados acima do nível da cintura, com o auxílio de um sensor infravermelho e um sensor de posição para captar se a movimentação da cabeça do usuário não irá gerar falso positivo ou negativo, para isso aplicamos o Filtro de Kalman, para suavização dos ruídos. Além disso, temos o aplicativo Android disponível, no qual o usuário pode escolher entre três opções de feedback para ser alertado sobre os obstáculos. Para a coleta dos resultados, realizamos experimentos tanto em laboratório, quanto teste de usabilidade. Dessa forma, a tecnologia proposta conseguiu atingir em seus resultados 93% de sensibilidade e 95% de especificidade.

**Palavras-chave:** Acessibilidade. Transtornos da visão. Sistemas embarcados (Computadores).

## **ABSTRACT**

Data from the World Health Organization shows that all over the world, 39 half a million people are blind and 246 million have low vision. In Brazil, according to research from the Brazilian Institute for Geography and Statistics, half million people are blind. In this context, social inclusion and development of accessibility tools help these people with mobility problems. However, there are difficulties in the identification of obstacles localized above the waist-level, like walls, columns, street lamps, tree branches, and others. These obstacles aren't easily identified by common canes used by visually impaired people and as a result of this limitation, accidents are very common. Therefore, we present a prototype version of a wearable device in the form of glasses that detects obstacles localized above the waist-level, with the help of an infrared sensor and a position sensor to capture if the user's head movements won't generate a false positive or negative. For that, we applied a Kalman filter, to smooth noise. Furthermore, we have an Android app available, which the user can choose between three feedback options to be notified about obstacles. To collect result data, we made experiments in both the lab and usability tests. Thus, the proposed technology reached its results with 93% sensibility and 95% specificity.

**Keywords:** Accessibility. Vision disorders. Embedded systems (Computers).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sensor infravermelho E18D80NK .....	29
Figura 2 – Módulo Acelerômetro e Giroscópio MPU 6050 .....	29
Figura 3 – Variações de placa Arduino .....	30
Figura 4 – IDE da plataforma Arduino .....	31
Figura 5 – Placa BeagleBone Black .....	32
Figura 6 – Placa Raspberry PI Model B .....	33
Figura 7 – Circuito Algoritmo de Filtro de Kalman .....	35
Figura 8 – Esquemático da arquitetura do projeto .....	37
Figura 9 – <i>Design</i> do projeto <i>Smart Stick</i> .....	38
Figura 10 – Sensor implementado nos óculos .....	39
Figura 11 – Protótipos dos Dispositivos Wearables desenvolvidos .....	40
Figura 12 – Protótipo de Bengala PADEVI .....	41
Figura 13 – Visão Geral do Sistema .....	47
Figura 14 – Situações de movimentos capturados pelo sensor .....	48
Figura 15 – Módulo <i>Bluetooth</i> HC-05 .....	49
Figura 16 – Placa Arduino Pro Micro .....	50
Figura 17 – Módulo LilyPad Power Supply .....	51
Figura 18 – Diagrama de identificação de modularização .....	51
Figura 19 – Esquemático do sistema .....	52
Figura 20 – Fluxograma de funcionamento .....	53
Figura 21 – Configurações utilizadas .....	53
Figura 22 – Caixa Patola com sensor de detecção .....	55
Figura 23 – Caixa patola com outros componentes do circuito .....	55
Figura 24 – Protótipo completo .....	55
Figura 25 – Telas da aplicação Android .....	56
Figura 26 – Saída do sensor sem a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimenta a cabeça para frente .....	58
Figura 27 – Saída do sensor sem a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimenta a cabeça para baixo .....	58
Figura 28 – Saída do sensor sem a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimenta a cabeça para cima .....	59

Figura 29 — Saída do sensor sem a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimenta a cabeça para direita .....	60
Figura 30 — Saída do sensor sem a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimenta a cabeça para esquerda .....	60
Figura 31 — Saída do sensor com a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimenta a cabeça para frente .....	61
Figura 32 — Saída do sensor com a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimenta a cabeça para baixo .....	62
Figura 33 — Saída do sensor com a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimenta a cabeça para cima .....	62
Figura 34 — Saída do sensor com a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimenta a cabeça para direita .....	63
Figura 35 — Saída do sensor sem a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimenta a cabeça para esquerda .....	63
Figura 36 — Momentos do Teste de Observação .....	70

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Classificação das Tecnologias Assistivas .....	24
Tabela 2 – Análise comparativa entre trabalhos relacionados e este trabalho.....	43
Tabela 3 – Matriz de confusão experimento com sensor de detecção Infravermelho .....	68
Tabela 4 – Matriz de confusão experimento utilizando sensor de posição com Filtro de Kalman.....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARM	<i>Advanced RISC Machine</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i>
HDMI	<i>High-Definition Multimedia Interface</i>
IHC	Interação Humano-Computador
IoT	Internet das Coisas
IR	<i>Infrared</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
PADEVI	Protótipo de Auxílio para Deficientes Visuais
PC	<i>Personal Computer</i>
PcD	Pessoa com Deficiência
PI	<i>Parity</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
SBC	<i>Single Board Computer</i>
SD	<i>Secure Digital</i>
SoC	<i>System On Chip</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Deficiência Visual.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2</b>	<b>Acessibilidade .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.1</b>	<b><i>Orientação e Mobilidade.....</i></b>	<b>22</b>
<b>3.2.2</b>	<b><i>Tecnologia Assistiva.....</i></b>	<b>23</b>
<b>3.2.3</b>	<b><i>Ferramentas de inclusão .....</i></b>	<b>25</b>
<b>3.3</b>	<b>Sistemas Embarcados .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Sensores.....</i></b>	<b>28</b>
<b>3.3.1.1</b>	<b><i>Sensor Infravermelho .....</i></b>	<b>28</b>
<b>3.3.1.2</b>	<b><i>Sensor de Posição .....</i></b>	<b>29</b>
<b>3.3.2</b>	<b><i>Plataformas de Desenvolvimento .....</i></b>	<b>29</b>
<b>3.3.2.1</b>	<b><i>Arduino .....</i></b>	<b>30</b>
<b>3.3.1.2</b>	<b><i>BeagleBone Black.....</i></b>	<b>31</b>
<b>3.3.1.3</b>	<b><i>RaspBerry.....</i></b>	<b>32</b>
<b>3.3.3</b>	<b><i>Dispositivos Vestíveis .....</i></b>	<b>33</b>
<b>3.4</b>	<b>Filtro de Kalman.....</b>	<b>34</b>
<b>3.5</b>	<b>Avaliação de Sistemas.....</b>	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>A wearable system for mobility improvement of visually impaired people .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>Assistive infrared sensor based smart stick for blind people .....</b>	<b>38</b>
<b>4.3</b>	<b>Low cost ultrasonic smart glasses for blind .....</b>	<b>39</b>

4.4	Landmark Identification with Wearables for Supporting Spatial Awareness by Blind Persons.....	39
4.5	PADEVI – Protótipo de Auxílio a Deficientes Visuais .....	41
4.6	Análise Comparativa .....	42
5	METODOLOGIA .....	44
5.1	Escolha de Componentes.....	44
5.2	Implementação do Sistema de detecção de obstáculos .....	44
5.3	Aplicativo <i>Android</i> .....	44
5.4	Desenvolvimento de Novo protótipo .....	44
5.5	Experimentos.....	45
5.5.1	<i>Experimentos em Laboratório</i> .....	45
5.5.2	<i>Teste de Observação</i> .....	45
6	SISTEMA DE DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS .....	47
6.1	Visão geral .....	47
6.2	Escolha de Componentes do Sistema .....	48
6.2.1	<i>Sensor Infravermelho E18-D80nk</i> .....	49
6.2.2	<i>Módulo Bluetooth HC-05</i> .....	49
6.2.3	<i>Módulo Acelerômetro e Giroscópio</i> .....	50
6.2.4	<i>Arduino Pro Micro</i> .....	50
6.2.5	<i>Módulo Power Supply Lilypad</i> .....	50
6.2.6	<i>Diagrama de blocos</i> .....	51
6.3	Implementação do Sistema de Detecção de Obstáculos .....	52
6.3.1	<i>Fluxograma de Funcionamento</i> .....	52
6.4	Desenvolvimento de Novo protótipo do Dispositivo .....	54
6.5	Aplicativo <i>Android</i> .....	56
6.6	Experimentos.....	57
6.6.1	<i>Experimentos em Laboratório</i> .....	57

6.6.1.1	<i>Análise dos dados do Módulo Acelerômetro e Giroscópio MPU6050 sem o Filtro de Kalman.....</i>	<i>57</i>
6.6.1.2	<i>Análise do dos dados do Módulo Acelerômetro e Giroscópio MPU6050 com o Filtro de Kalman.....</i>	<i>60</i>
6.6.2	<i>Teste de Observação.....</i>	<i>63</i>
7	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>67</b>
7.1	<b>Experimentos.....</b>	<b>67</b>
7.2	<b>Teste de Observação .....</b>	<b>69</b>
8	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>75</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, de acordo com dados do Censo de 2010 (IBGE, 2010), cerca de 23,9% (45,6 milhões de pessoas) dos brasileiros possuem algum tipo de deficiência. Das deficiências, a que apresenta maior recorrência é a visual, atingindo mais de 6,5 milhões de pessoas. Dessas, pelo menos 500 mil são consideradas cegas, enquanto cerca de 6 milhões estão em condições de baixa visão ou visão subnormal (grande e permanente dificuldade para enxergar). Além disso, outros 29 milhões declararam ter dificuldade para enxergar, mesmo com a utilização de óculos ou lentes de contato (IBGE, 2010).

Dados do *World Report on Disability 2010* e do *Vision 2020* apontam que a cada 5 segundos uma pessoa se torna cega no mundo. Mundialmente, cerca de 39 milhões de pessoas são cegas e 246 milhões têm baixa visão. Vale ressaltar que 90% do total dos casos de cegueira ocorrem em países emergentes e subdesenvolvidos. Estimativas informam que, até 2020, o número de pessoas com deficiência visual no mundo poderá dobrar (WHO, 2010).

Atualmente, o termo acessibilidade é ligado à quebra de barreiras, principalmente envolvendo temáticas sobre inclusão social para pessoas com alguma deficiência. Segundo Tavares Filho *et al.* (2002), a acessibilidade é conceituada pela Lei nº 10.098/2000 como sendo a possibilidade e condição de alcance para a utilização, com segurança e autonomia, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos transportes e dos sistemas e meios de comunicação, por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida. Refere-se a dois aspectos, que embora tenham características distintas, estão sujeitos a problemas semelhantes, no que diz respeito à existência de barreiras que são interpostas às pessoas com necessidades especiais: o espaço físico e o espaço digital.

A Lei nº 13.146 também conhecida como Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, estabelece as condições de igualdade, os direitos e as liberdades fundamentais, que busca incluí-la, definitivamente, como cidadã (BRASIL, 2015). Todavia, a falta de acessibilidade é um desafio para todos os tipos de deficiências, pois falta acessibilidade nos transportes, nos prédios públicos e privados de uso coletivo, em universidades, e em demais espaços públicos (SANTOS *et al.*, 2018).

Em Interação Humano-Computador (IHC), acessibilidade está ligada à flexibilização que os usuários com necessidades especiais têm de interagir com os sistemas (BARBOSA; SILVA, 2010; MELO; BARANAUSKAS, 2005). Atualmente, o termo acessibilidade é ligado à quebra de barreiras, principalmente envolvendo temáticas sobre inclusão social para pessoas com alguma deficiência. Ademais, os deficientes visuais geralmente enfrentam

vários riscos em sua locomoção pelas ruas, riscos estes ligados à possibilidade de colisão com objetos fixos e móveis.

Com o avanço nas áreas de sistemas embarcados e Internet das Coisas (IoT). A IoT é considerada umas das maiores tendências do mundo contemporâneo e já é realidade na área de dispositivos vestíveis, ganhando um notório espaço na vida das pessoas (SANTOS *et al.*, 2016).

A evolução da IoT tem contribuído para o desenvolvimento de dispositivos vestíveis em paralelo às tecnologias assistivas, pois decorrente deste avanço a tecnologia vem tornando possível a acessibilidade de pessoas com deficiência, o acesso à informação e usabilidade de dispositivos que anteriormente não conseguiam utilizar.

Como resultado do desenvolvimento tecnológico, decorrente dos estudos aprofundados sobre acessibilidade, foram desenvolvidas ferramentas para acessibilidade, atualmente conhecidas como Tecnologias Assistivas. A Tecnologia Assistiva (TA) deve ser entendida como um auxílio que promove a ampliação de uma habilidade funcional deficitária ou possibilitará a realização da função desejada e que se encontra impedida por circunstância de deficiência ou pelo envelhecimento (BERSCH; TONOLLI, 2006).

Alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos nesse mesmo contexto, os quais são propostas tecnológicas que auxiliam deficientes visuais a detectar obstáculos em sua mobilidade. Dentre eles, podemos destacar o projeto desenvolvido pelos alunos da *École Polytechnique Fédérale de Lausanne*: “*A wearable system for mobility improvement of visually impaired people*”, que é um sistema de detecção de obstáculos sob a forma de jaqueta para auxiliar deficientes visuais, detectando obstáculos na região do ombro do usuário (CARDIN; THALMANN; VEXO, 2017). Outro trabalho interessante é o “*Assistive infrared sensor based smart stick for blind people*”, no qual os alunos do *Electronics Research Institute* propõem um modelo de bengala inteligente utilizando sensor infravermelho para detectar a presença de escadas e outros obstáculos no caminho do usuário, dentro de um raio de dois metros (NADA *et al.*, 2015). Agarwal *et al.* (2017) propuseram em seu trabalho “*Low cost ultrasonic smart glasses for blind*” uma adaptação em um óculos, adicionando um sistema de detecção de obstáculos com sensores ultrassônicos.

Sendo assim, este trabalho é uma evolução do trabalho “Smart glasses: óculos inteligente para deficientes visuais” (Guerra *et al.*, 2018), desenvolvido por alunos da Universidade Federal do Ceará (UFC) no Campus de Quixadá. Assim, espera-se contribuir para a melhoria na segurança da locomoção de pessoas que têm deficiência visual.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é a implementação e análise de desempenho de um dispositivo vestível sob forma de óculos para detecção de obstáculos, empregado para auxiliar deficientes visuais em sua locomoção. Assim, espera-se contribuir para a melhoria na locomoção e mobilidade de pessoas que têm deficiência visual.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Projetar arquitetura do sistema proposto;
- Implementar funções no dispositivo: Detecção de Obstáculos e Posição da cabeça do Usuário;
- Desenvolver novo protótipo para a solução;
- Realização de experimentos para exploração de funções;
- Realizar teste de observação, para avaliação de IHC do sistema proposto.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: na Seção 3 são apresentados os principais conceitos para o desenvolvimento deste trabalho, que são: Deficiência Visual, Acessibilidade, Sistemas Embarcados, Filtro de Kalman e Avaliação de Sistemas; na Seção 4, realiza-se a apresentação e discussão dos trabalhos relacionados, com suas semelhanças e diferenças ao trabalho aqui proposto; na Seção 5 a metodologia a ser empregada para o desenvolvimento deste trabalho é explicada; na Seção 6, intitulada de Sistemas de Detecção de Obstáculos, temos a apresentação do dispositivo proposto, na Seção 7 são apresentados os resultados e discussões deste trabalho, e por fim, na Seção 8 temos as considerações finais.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta Seção, serão apresentados alguns dos conceitos principais necessários para o entendimento e desenvolvimento do projeto proposto neste trabalho.

#### 3.1 Deficiência Visual

A Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência da ONU apresenta a seguinte definição de deficiência:

Pessoas com deficiência são aquelas que têm impedimentos de natureza física, intelectual ou sensorial, os quais, em interação com diversas barreiras, podem obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade com as demais pessoas. (BERSCH *apud* BRASIL, 2007b, p. 17).

Para Bersch (2009), é na interação com o meio que a pessoa com deficiência encontra as barreiras que a impedem de participar plenamente da sociedade e em igualdade de condições.

A deficiência visual pode ser caracterizada como a perda total ou parcial, congênita ou adquirida, da visão. Em termos legais, de acordo com o Decreto nº 5.296/04, conceitua-se como deficiência visual:

Cegueira - na qual a acuidade visual é igual ou menor que 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; Baixa Visão - significa acuidade visual entre 0,3 e 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; Os casos nos quais a somatória da medida do campo visual em ambos os olhos for igual ou menor que 60°; Ou a ocorrência simultânea de quaisquer das condições anteriores. Ressaltamos a inclusão das pessoas com baixa visão a partir da edição do Decreto no 5.296/04. As pessoas com baixa visão são aquelas que, mesmo usando óculos comuns, lentes de contato, ou implantes de lentes intraoculares, não conseguem ter uma visão nítida. As pessoas com baixa visão podem ter sensibilidade ao contraste, percepção das cores e intolerância à luminosidade, dependendo da patologia causadora (BRASIL, 2004).

De acordo com dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), se houvesse um número maior de ações efetivas de prevenção e/ou tratamento, 80% dos casos de cegueira poderiam ser evitados. Das doenças que afetam/comprometem a visão, podemos destacar: glaucoma, retinopatia diabética, atrofia do nervo óptico, retinose pigmentar e degeneração macular relacionada à idade (DMRI). Essas são as principais causas da cegueira na população

adulta. Entre as crianças, as principais causas são glaucoma congênito, retinopatia da prematuridade, catarata congênita e toxoplasmose ocular congênita (THYLEFORS, 1998). O conceito de deficiência visual é a base para a fundamentação do trabalho a ser desenvolvido, pois a partir dele que foi dado o passo inicial de busca por tecnologias que têm foco para auxiliar pessoas com deficiência em sua mobilidade.

### **3.2 Acessibilidade**

Segundo Corrêa (2009), como resultado da valorização e reconhecimento da convivência com a diversidade, o termo acessibilidade tem sido utilizado para garantir que todas as pessoas tenham acesso a todas as áreas de seu convívio. Estas áreas estão relacionadas aos espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, sistemas e meios de comunicação e informação.

Para pessoas com deficiência, a acessibilidade é garantida pela Lei nº 13.146, também conhecida como Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, que garante que as pessoas com deficiência devem possuir condições de igualdade, os direitos e as liberdades fundamentais, buscando incluí-las, definitivamente, como cidadãs (BRASIL, 2015).

Para Manzini (2005), em nossa sociedade a acessibilidade tem constituído uma preocupação constante nos últimos anos, por conta da questão que envolve a temática de inclusão. Atualmente, são realizadas diversas obras e serviços de adaptação do espaço urbano às necessidades de inclusão, não só para deficientes visuais, mas também para pessoas com outros tipos de deficiências, tendendo a eliminar os obstáculos existentes ao acesso, incorporando essas pessoas ao convívio social e permitindo o ir e vir, sendo assim uma função indispensável ao desenvolvimento econômico, social e cultural.

#### ***3.2.1 Orientação e Mobilidade***

Nem todos nós temos liberdade para nos locomover no Brasil, pois a realidade vivida pelas pessoas com deficiência é completamente diferente, e, embora exista texto constitucional e infraconstitucional que lhes amparam no plano ideológico, muitas vezes, na realidade não possuem a possibilidade de exercer o direito de ir e vir, que é, na maioria das vezes, cerceado por falta de ações de acessibilidade que requerem um aparato técnico e financeiro para realizar mudanças dos espaços físicos (PEREIRA, 2018).

O melhor caminho para tornar uma criança cega em um adulto que consiga se deslocar sem muito receio e com determinação é iniciar a Orientação e Mobilidade a ela desde cedo. Porém, é preciso ter o acompanhamento de familiares e profissionais que passem confiança para a criança cega, para que possa obter resultados positivos.

Orientação pode ser definida como o processo de utilizar os sentidos restantes para estabelecer a própria posição e o relacionamento com outros objetos relevantes no meio ambiente. E mobilidade pode ser definida como a habilidade de se locomover com segurança, eficiência e conforto no meio ambiente, utilizando-se os sentidos restantes, que são os não visuais: audição, tato, olfato e paladar (WEISHALN, 1990).

### **3.2.2 Tecnologia Assistiva**

Em 2006, a Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República - SEDH/PR, através da portaria nº 142, instituiu o Comitê de Ajudas Técnicas - CAT, para elaborar um conceito de tecnologia assistiva que pudesse subsidiar as políticas públicas (BERSCH, 2008). Dessa maneira, após uma intensa revisão bibliográfica, o CAT definiu o conceito brasileiro de tecnologia assistiva 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". (BERSCH *Apud* BRASIL - SDHPR. – Comitê de Ajudas Técnicas – ATA VII, 2017)

Tecnologia Assistiva tem como um dos seus principais objetivos auxiliar na realização de atividades que antes não poderiam ser realizadas. Radabaugh (1993) conceitua Tecnologia Assistiva com o seguinte pensamento: “Para as pessoas sem deficiência, a tecnologia torna as coisas mais fáceis. Para as pessoas com deficiência, a tecnologia torna as coisas possíveis”.

Bersch (2008) aponta que a Tecnologia Assistiva (TA) deve ser entendida como um auxílio que promoverá a ampliação de uma habilidade funcional deficitária ou possibilitará a realização da função desejada e que se encontra impedida por circunstância de deficiência ou pelo envelhecimento. Dessa forma, a TA objetiva proporcionar à pessoa com deficiência maior independência, qualidade de vida e inclusão social, através da ampliação de sua

comunicação, mobilidade, controle de seu ambiente, habilidades de seu aprendizado e trabalho.

Vale ressaltar que a TA é uma área interdisciplinar e atende diversos públicos. De acordo com a ISO 9999 (BOUGIE, 2008), a TA possui classificações para determinadas aplicações, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação das Tecnologias Assistivas

<b>Categoria</b>	<b>Aplicação</b>
<b>Auxílios para a vida diária e vida prática</b>	Materiais e produtos que favorecem desempenho autônomo e independente em tarefas rotineiras ou facilitam o cuidado de pessoas em situação de dependência de auxílio, nas atividades como se alimentar, cozinhar, vestir-se, tomar banho e executar necessidades pessoais.
<b>CAA - Comunicação Aumentativa e Alternativa</b>	Destinada a atender pessoas sem fala ou escrita funcional ou em defasagem entre sua necessidade comunicativa e sua habilidade em falar, escrever e/ou compreender. Recursos como as pranchas de comunicação, construídas com simbologia gráfica (BLISS, PCS e outros), letras ou palavras escritas, são utilizados pelo usuário da CAA para expressar suas questões, desejos, sentimentos, entendimentos.
<b>Recursos de acessibilidade ao computador</b>	Conjunto de hardware e software especialmente idealizado para tornar o computador acessível a pessoas com privações sensoriais (visuais e auditivas), intelectuais e motoras. Inclui dispositivos de entrada (mouses, teclados e acionadores diferenciados) e dispositivos de saída (sons, imagens, informações táteis).
<b>Sistemas de controle de ambiente</b>	Através de um controle remoto, as pessoas com limitações motoras podem ligar, desligar e ajustar aparelhos eletroeletrônicos, como luz, som, televisores, ventiladores, executar a abertura e fechamento de portas e janelas, receber e fazer chamadas telefônicas, acionar sistemas de segurança, entre outros, localizados em seu quarto, sala, escritório, casa e arredores.
<b>Projetos arquitetônicos para acessibilidade</b>	Projetos de edificação e urbanismo que garantem acesso, funcionalidade e mobilidade a todas as pessoas, independentemente de sua condição física e sensorial
<b>Órteses e próteses</b>	Próteses são peças artificiais que substituem partes ausentes do corpo.
<b>Adequação Postural</b>	Ter uma postura estável e confortável é fundamental para que se consiga um bom desempenho funcional.
<b>Auxílio de Mobilidade</b>	A mobilidade pode ser auxiliada por bengalas, muletas, andadores, carrinhos, cadeiras de rodas manuais ou elétricas, <i>scooters</i> e qualquer outro veículo, equipamento ou estratégia utilizada na melhoria da mobilidade pessoal.

<b>Auxílios para ampliação da função visual e recursos que traduzem</b>	Auxílios ópticos, lentes, lupas manuais e lupas eletrônicas; os softwares ampliadores de tela. Material gráfico com texturas e relevos, mapas e
	(continuação)
<b>Categoria</b>	<b>Aplicação</b>
<b>conteúdos visuais em áudio ou informação tátil.</b>	gráficos táteis, software OCR em celulares para identificação de texto informativo, etc.
<b>Auxílios para melhorar a função auditiva e recursos utilizados para traduzir os conteúdos de áudio em imagens, texto e língua de sinais.</b>	Auxílios que incluem vários equipamentos (infravermelho, FM), aparelhos para surdez, sistemas com alerta tátil-visual, celular com mensagens escritas e chamadas por vibração, software que favorece a comunicação ao telefone celular transformando em voz o texto digitado no celular e em texto a mensagem falada.
<b>Mobilidade em Veículos</b>	Acessórios que possibilitam uma pessoa com deficiência física dirigir um automóvel, facilitadores de embarque e desembarque como elevadores para cadeiras de rodas (utilizados nos carros particulares ou de transporte coletivo), rampas para cadeiras de rodas, serviços de autoescola para pessoas com deficiência.
<b>Esporte e Lazer</b>	Recursos que favorecem a prática de esporte e participação em atividades de lazer.

Fonte: Adaptado de Bersch (2008).

A classificação das Tecnologias Assistivas facilita a identificação de necessidades em diversas áreas, como consequência disso são desenvolvidas o que chamamos de ferramentas de inclusão, que são diversas formas de garantir a inclusão de pessoas com deficiência. O projeto proposto neste trabalho, faz parte da categoria de auxílio à mobilidade, proporcionando ao deficiente uma ampliação para a sua movimentação em diversos ambientes sem a preocupação com os obstáculos localizados acima do nível da cintura.

### **3.2.3 Ferramentas de inclusão**

As medidas de inclusão social são essenciais para que a sociedade brasileira possa cumprir com seus direitos e deveres previstos na Constituição Federal. Dentre as medidas a serem adotadas, as ferramentas de inclusão social são fundamentais para que o processo venha ser realizado. Atualmente, as propostas de ferramentas de inclusão ganham destaque tanto por sua qualidade quanto pelo impacto social. Dessas ferramentas, podemos destacar algumas que foram desenvolvidas em prol de pessoas com deficiência visual.

Ugulino e Fuks (2015) desenvolveram um sistema de identificação de pontos de referência com dispositivo *wearable* para apoio espacial de pessoas cegas. Este funciona através de mapeamentos baseando-se em um sistema de referência, que, usando alto-falantes para a comunicação com o usuário, permite o auxílio da locomoção da pessoa que está com o dispositivo (UGULINO; FUKS, 2015).

Outra ferramenta de inclusão interessante é o Protótipo de Auxílio para Deficientes Visuais (PADEVI), desenvolvido por alunos do IFSUL. O objeto desenvolvido utiliza um sensor *Kinect* e um microcomputador acoplado a uma bengala convencional. Os sensores presentes no *Kinect*, comandados pelo microcomputador, identificam possíveis obstáculos presentes nas calçadas e, através de um sinal sonoro enviado por um fone de ouvido, avisam ao usuário de que há perigo no ambiente, evitando assim possíveis acidentes (BAGGIO et al., 2015).

Esses projetos possuem como objetivo primordial ajudar aos deficientes visuais nas suas atividades do dia a dia, permitindo-lhes e assegurando-lhes uma vida incluída na sociedade, de forma que suas incapacidades físicas deixem de ser um problema através do uso de protótipos como os citados. Além disso, esses são alguns dos citados neste trabalho, na seção de trabalhos relacionados têm mais alguns trabalhos que são classificados como ferramentas de inclusão.

### **3.3 Sistemas Embarcados**

Decorrente do avanço tecnológico, a forma como a indústria eletrônica vem crescendo é impressionante. A justificativa para isso é a incorporação de sistemas eletrônicos numa grande variedade de produtos, como automóveis, eletrodomésticos e equipamentos de comunicação. Os chamados sistemas de computação estão presentes em todos os lugares e fazem parte de nosso cotidiano, de tal maneira que não é surpresa saber que são produzidos milhões de sistemas destinados a diversas aplicações, desde o uso pessoal a servidores de empresas. Tais sistemas são encontrados embutidos em equipamentos eletrônicos e executam repetidamente uma função específica, de forma transparente para o usuário do equipamento, propondo um produto mais barato, eficiente e de boa qualidade (BARROS; CAVALCANTE, 2010).

Sistema embarcado pode ser definido como um sistema computacional especializado que faz parte de uma máquina ou sistema maior. Além disso, sistemas embarcados possuem características que são comuns (BARROS; CAVALCANTE, 2010):

- **Funcionalidade única:** usualmente um sistema embarcado executa somente um programa repetidamente;
- **Restrições de projeto mais rígidas:** todos os sistemas de computação possuem, em geral, alguma restrição de projeto a ser satisfeita, como, por exemplo, custo, tamanho, desempenho, potência dissipada, etc;
- **Sistemas reativos de tempo real:** muitos sistemas embarcados devem reagir a mudanças no ambiente e devem fornecer resultados em tempo real.

Os sistemas computacionais embarcados estão presentes em praticamente todas as atividades humanas e, com os baixos custos tecnológicos atuais, tendem a aumentar sua presença no cotidiano das pessoas (CARRO; WAGNER, 2003). Para Cunha (2007), um sistema embarcado é definido como sistemas que colocam capacidade computacional dentro de um circuito integrado, equipamento ou sistema. Além disso, ressalta que um sistema como este deve ser mais do que um simples computador, pois é caracterizado por ser um sistema completo e independente, mas preparado para realizar apenas uma determinada tarefa.

Cunha (2007) ressalta que, como principais características de um sistema embarcado, tem-se a sua capacidade computacional e a sua independência de operação. Outros aspectos relevantes são referentes aos tipos de sistemas, modos de funcionamento e itens desejados em aplicações embarcadas como os listados a seguir:

- **Propósito geral:** são as aplicações mais parecidas com os computadores de mesa, mas em embalagens embarcadas. Nelas, costuma haver grande interação entre os usuários e o sistema, geralmente através de terminais de vídeo ou monitores. Como exemplo tem-se os videogames, os conversores de TV a cabo, terminais de autoatendimento de bancos, etc.
- **Sistemas de controle:** controles em malha fechada com realimentação em tempo real. Geralmente são as aplicações mais robustas, com placas dedicadas e múltiplos sensores de entrada e saída. Muitas vezes fornecem pouca interação com o usuário, mostrando sinalizações através de LEDs. Usados nos motores de automóveis, processos químicos, controle de voo, usinas nucleares, etc.
- **Processamento de sinais:** envolve um grande volume de informação a ser processada em curto espaço de tempo. Os sinais a serem tratados são digitalizados através de conversores analógico-digitais, processados, e novamente convertidos em

sinais analógicos por conversores DAs. São os casos de tratamento de áudio, filtros, compressão de vídeo, radares e sonares, etc.

- **Comunicações e redes:** consistem no chaveamento e distribuição de informações, geralmente aplicados em sistemas de telefonia e telecomunicações e internet.

### **3.3.1 Sensores**

Sensores são dispositivos que alteram seu comportamento sob a ação de uma ou mais grandezas físicas, indicando-as através de um sinal de maneira direta ou indireta. Desse modo, podemos dizer que sensores podem ser classificados com componentes eletrônicas que respondem há um estímulo que pode ser convertido em um sinal para medição ou monitoramento (BORGES; DORES, 2010).

Em Patsko (2006), sensor é definido como aquilo que sente. Ao direcionarmos seu pensamento no mundo de tecnologia e engenharia, sensor é um componente ou circuito que irá analisar determinada situação em determinado ambiente.

Já para Wendling (2010), sensor é um termo associado há dispositivos sensíveis à alguma forma de energia do ambiente, que na qual relaciona informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada (medida), como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc.

#### **3.3.1.1 Sensor Infravermelho**

Sensores infravermelhos são compostos por um emissor de luz infravermelha e um receptor, que reage a essa luz. Para a aplicação proposta no presente trabalho, utilizaremos um sensor composto por um emissor e um fotorreceptor de infravermelho no mesmo corpo. Ele tem a função de detectar obstáculos por reflexão de luz infravermelha, onde a saída (NPN com coletor aberto) é acionada sempre que atinge algum objeto dentro da faixa de detecção. A Figura 1 mostra o sensor infravermelho E18D80NK.

Figura 1 — Sensor infravermelho E18D80NK



Fonte: Filipeflop (2020).

### 3.3.1.2 Sensor de Posição

O módulo possui no mesmo invólucro um acelerômetro e um giroscópio de alta precisão com tecnologia MEMS. São seis eixos no total, estando três deles à disposição para serem utilizados com o acelerômetro e os outros com o giroscópio. O MPU-6050 possui um recurso interno chamado DMP (Digital Motion Processor). O DMP permite que o algoritmo de detecção de movimento seja processado no próprio módulo, livrando o microcontrolador dessa tarefa. A Figura 2 apresenta o Módulo Acelerômetro e Giroscópio MPU6050

Figura 2 — Módulo Acelerômetro e Giroscópio MPU 6050



Fonte: Invensense (2013)

Outra característica importante é que o MPU-6050 possui conversores internos A/D de 16 bits de resolução para cada canal. Dessa forma, todos os sinais podem ser amostrados ao mesmo tempo. Internamente, há um buffer FIFO de 1024 bytes, no qual os valores podem ser armazenados e depois lidos, conforme configuração desejada. Além disso, o MPU-6050 dispõe de um sensor de temperatura interno que permite medidas de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A interface de comunicação que ele usa para o sistema é a I2C.

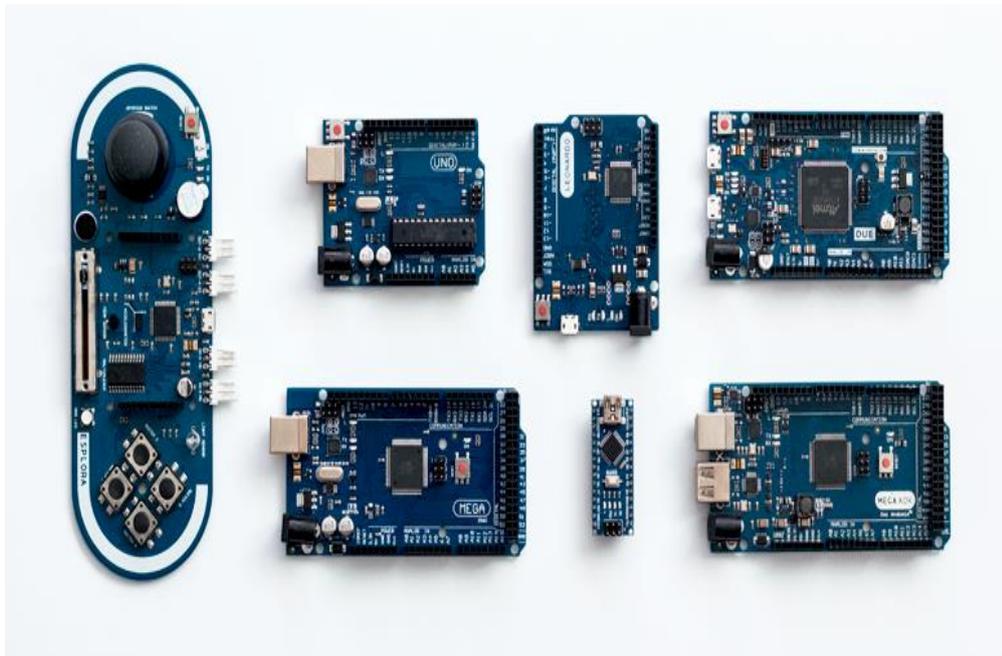
### 3.3.2 Plataformas de Desenvolvimento

### 3.3.2.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica *open-source* que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. O Arduino consegue “sentir” o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais vindos de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino e o ambiente de desenvolvimento Arduino (MCROBERTS, 2015).

Como uma forma de auxiliar no desenvolvimento de projetos, foi criada uma placa composta por um microcontrolador Atmel e circuitos de entrada/saída (com portas digitais e analógicas), a qual pode ser facilmente conectada a um computador e programada via IDE (*Integrated Development Environment*) utilizando uma linguagem baseada em C/C++. A placa possui algumas variações de versões e isso é característica da necessidade de aplicação, pois alguns projetos exigem mais portas digitais, outros já não exigem tanto. (MCROBERTS, 2015). A Figura 3 apresenta variações da placa Arduino.

Figura 3 — Variações de placa Arduino

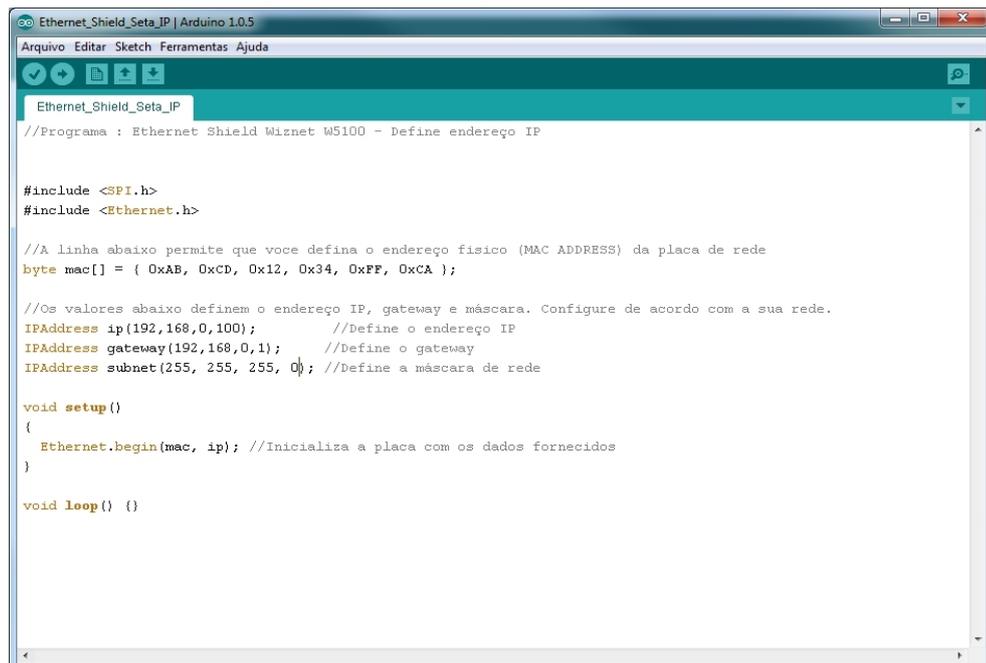


Fonte: Thomsen (2014).

Para desenvolvimento na plataforma Arduino, o software é programado basicamente dentro de duas funções, que são *void setup()* e *void loop()*, as quais são descritas a seguir:

- **Void Setup:** Local onde é setado o modo de como queremos que a pinagem funcione, podendo ser como nível alto (*HIGH*) ou baixo (*LOW*), como também podemos configurar a pinagem para ser um valor de entrada (*INPUT*) ou que na porta seja uma saída (*OUTPUT*);
- **Void Loop:** É a função onde toda a lógica que será executada pelo software será implementada. A Figura 4 apresenta a IDE da plataforma Arduino.

Figura 4 — IDE da plataforma Arduino



```

Ethernet_Shield_Seta_IP | Arduino 1.0.5
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
Ethernet_Shield_Seta_IP
//Programa : Ethernet Shield Wiznet W5100 - Define endereço IP

#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>

//A linha abaixo permite que voce defina o endereço fisico (MAC ADDRESS) da placa de rede
byte mac[] = { 0xAB, 0xCD, 0x12, 0x34, 0xFF, 0xCA };

//Os valores abaixo definem o endereço IP, gateway e máscara. Configure de acordo com a sua rede.
IPAddress ip(192,168,0,100); //Define o endereço IP
IPAddress gateway(192,168,0,1); //Define o gateway
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0); //Define a máscara de rede

void setup()
{
  Ethernet.begin(mac, ip); //Inicializa a placa com os dados fornecidos
}

void loop() {}

```

Fonte: Thomsen (2014).

### 3.3.1.2 BeagleBone Black

A placa *BeagleBone Black* funciona com o processador da *Texas Instruments* AM3358BZCZ100, tem como características básicas 512 MB de memória, 4 GB de armazenamento e acelerador gráfico 3D. Bem como, se propõe a ser um computador de baixo custo, que suporta algumas distribuições do *Linux*, tais como o *Debian* e o *Ubuntu*, e também o *Android* e outros sistemas operacionais (COLEY, 2013). A Figura 5 apresenta a placa BeagleBone Black.

Figura 5 — Placa BeagleBone Black



Fonte: Coley (2013).

A plataforma dispõe de *headers* laterais, que são as portas de entrada e saída (65 no total), que são utilizadas em aplicações para monitorar e controlar sensores, botões, módulos e outros dispositivos. Além disso, também possui um *slot microSD* para carregamento de uma imagem de um dos sistemas operacionais disponíveis. Vale ressaltar que, por mais que a placa funcione como um computador, é possível utilizar o software incluso na memória do BeagleBone, acessível via *browser*, e dar os primeiros passos na plataforma embarcada (COLEY, 2013).

### 3.3.1.3 RaspBerry

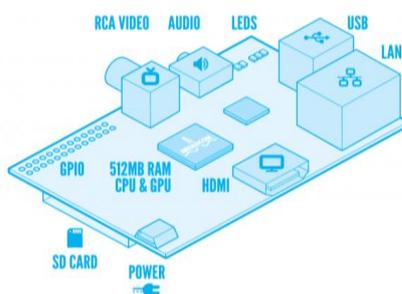
A RaspBerry é uma placa de desenvolvimento de dimensões reduzidas fabricada no Reino Unido pela Fundação Raspberry PI e lançada em 2012. A placa em sua revisão B vem com um *system on chip* (SoC) Broadcom BCM2835 que segundo o seu guia de usuário (UPTON, 2014) inclui as seguintes características:

- Processador ARM1176JZF-S de 700 MHz, com ponto flutuante por hardware;
- GPU VideoCore IV;
- 512 MB de memória RAM (SoC);
- Entrada de cartão SD;
- Duas portas usb 2.0;
- Saída de vídeo HDMI e vídeo composto;
- Ethernet 10/100 (RJ45);
- Conector de 26 pinos das quais 17 são de GPIO;
- Saída de áudio via conector jack de 3,5 mm.

O BCM2835 é um processador para aplicações de multimídia com baixo custo, otimizado para dispositivos como celulares e aplicações que exigem os mais altos níveis de desempenho de multimídia. A placa conta com um projeto otimizado para eficiência de energia, o BCM2835 utiliza a tecnologia da *Broadcom VideoCore IV®* para permitir aplicações em reprodução de mídia, imagem, câmera de vídeo, *streaming* de mídia, gráficos e jogos 3D (UPTON, 2014).

Outrossim, existe à disposição um conector de 26 pinos, no qual o desenvolvedor terá acesso a I2C, SPI, UART e um pino de *Pulse Width Modulation*. A Raspberry PI executa várias distribuições Linux como Arch Linux, Pidora, Openelec, Slackware, Raspbian e até um sistema não Linux chamado RISC OS e o FreeBSD (UPTON, 2014). A Figura 6 apresenta a Placa RaspBerry PI Model B.

Figura 6 — Placa Raspberry PI Model B



Fonte: Upton (2014).

### 3.3.3 Dispositivos Vestíveis

Como resultado do avanço tecnológico, o desenvolvimento de dispositivos ficou mais robusto e cada vez mais aperfeiçoado, levando ao desenvolvimento de dispositivos *wearable*, que é uma palavra de origem inglesa, traduzida como “vestível”. Estes dispositivos normalmente são pequenos e podem ser utilizados no corpo como algum acessório, peça de vestuário, ou outro dispositivo que possa ser ligado ao corpo (AVELAR, 2009).

Barros e Cavalcante (2010) definem *wearable computers* como dispositivos que levamos conosco de uma forma natural, sem causar incômodos quer seja pelo peso, forma ou posição de uso. Para que isso seja possível, eles devem poder ser usados quando estamos em movimento e com, pelo menos, uma das mãos livres.

Segundo Zheng *et al.*, (2014), as tecnologias vestíveis podem fornecer uma gama de informações relacionadas à saúde, e isso é considerado um avanço na informática aplicada à

saúde. Os dispositivos podem ser integrados em roupas, acessórios e no ambiente de vida, de modo que as informações de saúde possam ser adquiridas de maneira direta e abrangente na vida diária. Os sensores podem até ser projetados como tatuagens eletrônicas adesivas ou diretamente impressos na pele humana para permitir o monitoramento da saúde a longo prazo.

O desenvolvimento de pesquisas com a finalidade de produzir dispositivos vestíveis para deficientes visuais avança continuamente. A pesquisa de Oliveira (2010) tem o objetivo de ajudar os estudantes que são cegos ou deficientes visuais no acesso à instrução/comunicação em disciplinas como a matemática. O autor emprega a abordagem típica de substituição sensorial para o sentido visual ausente. O dispositivo vestível que possibilita esse acesso é apresentado sob a forma de uma interface de luva háptica.

Dessa forma, este trabalho utilizará os conhecimentos descritos nos parágrafos acima para o desenvolvimento de um sistema vestível de detecção de obstáculos e quedas para deficientes visuais sob forma de óculos.

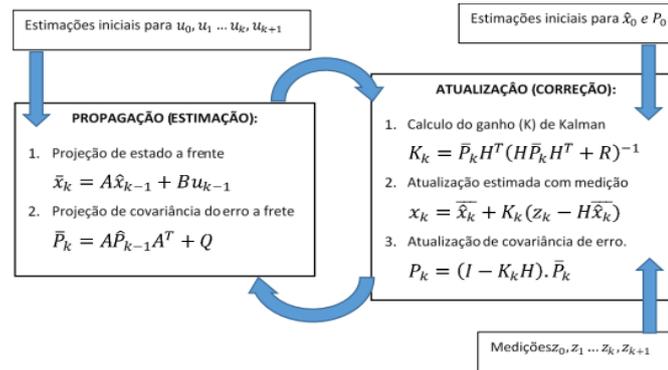
### **3.4 Filtro de Kalman**

Criado por Rudolf Kalman (1960), o filtro de Kalman é um método matemático que utiliza medidas previamente realizadas tais como ruídos, para realizar a partir de valores prévios, estimativas de valores reais futuros (STROSKI, 2019).

Segundo Lacey & Thacker (1998), o Filtro Kalman é aplicado para a atenuação de ruídos que têm ligação com um valor específico a ser observado, dessa forma o filtro busca minimizar os erros e extrair ruídos utilizando técnicas de estatística.

De acordo com Oliveira & Gonçalves (2017), o filtro de Kalman consiste em duas etapas, predição e correção, baseado em técnicas recursivas do sistema representado no espaço de estados, sendo uma estimativa sobre a dinâmica do sistema. Durante a primeira etapa, é realizada uma predição sobre a dinâmica do modelo e no segundo passo uma correção, atuando na covariância do erro. A Figura 7 apresenta o circuito de funcionamento do algoritmo.

Figura 7 – Circuito Algoritmo de Filtro de Kalman



Fonte: Oliveira e Gonçalves (2017).

O funcionamento do Filtro dá-se da seguinte maneira, as entradas são os valores dos sensores, das últimas predições e com a matriz de covariância do erro no estado anterior. Seguindo, dá-se início a fase de estimação, na qual é realizada, primeiro, a projeção do estado futuro e a projeção do erro do estado futuro. Continuando o próximo passo, é a atualização do sistema, onde são feitos cálculos do ganho de Kalman e depois a atualização da medida estimada e a atualização da covariância do erro.

### 3.5 Avaliação de Sistemas

Um fator importante no desenvolvimento de tecnologias assistivas é a sua eficiência conforme a utilização em um sistema. Para isso, é necessário que seja feita uma avaliação, pois, segundo Barbosa & Silva (2010), conhecer critérios de qualidade e seguir processos de fabricação que buscam criar produtos adequados a esses critérios nem sempre resulta em produtos de qualidade. Além disso, é possível que algo passe despercebido durante a produção e acabe prejudicando a qualidade do produto final.

Em particular, quando estamos trabalhando com sistemas interativos, os problemas costumam ocorrer na coleta, interpretação, processamento e compartilhamento de dados entre os interessados no sistema (*stakeholders*), e até na fase de implementação (BARBOSA; SILVA, 2010).

De acordo com Rogers, Sharp e Preece (2013) a observação envolve ver e ouvir os usuários. Dessa maneira, ao observá-los interagindo com softwares, mesmo que casualmente, pode lhe dizer muito sobre o que eles fazem, o contexto em que estão, quão bem a tecnologia os apoia e quais suportes são necessários. Observação conduzida posteriormente em

desenvolvimento, por exemplo, em avaliação, pode ser usado para investigar quão bem um protótipo apoia essas tarefas e objetivos.

Avaliação por observação permite que os usuários sejam observados em condições controladas de laboratório como nos testes de usabilidade, ou em campo, onde os usuários estariam utilizando os dispositivos. Vale ressaltar que a forma de como a observação está sendo realizada irá depender do porquê e de como está sendo abordada (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013).

Observação pode ocorrer no campo ou em um ambiente controlado. Na primeira situação, os usuários são observados enquanto realizam suas tarefas diárias no ambiente natural. Já na segunda situação, os usuários são observados realizando tarefas específicas dentro de um ambiente controlado, podendo ser em um laboratório de usabilidade (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013).

A observação de usuários em ambiente controlado pode ser feita dentro de um laboratório de usabilidade, ou em um ambiente adaptado para a realização dos testes. Vale ressaltar que, a observação em um ambiente controlado assume inevitavelmente um aspecto mais caráter formal do que observação em campo, e o usuário pode se sentir mais apreensivo. Assim como acontece em entrevistas estruturadas, é uma boa ideia preparar um roteiro para orientar como os participantes serão informados sobre os objetivos do estudo e quanto tempo ele vai durar, e que o usuário pode parar a avaliação a qualquer momento. O uso de um roteiro garante que cada participante será tratado da mesma forma, que traz mais credibilidade aos resultados obtidos com o estudo usabilidade (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013).

Para este trabalho, a avaliação por observação em um ambiente controlado, junto com uma entrevista. Os objetivos da avaliação determinam quais serão os critérios de usabilidade que devem ser observados. Estes são baseados em um roteiro de avaliação, no qual os usuários irão passar pelos cenários do ambiente e identificar os objetivos, ao final os usuários responderam perguntas específicas para auxiliar na consolidação do estudo qualitativo. Para que isso seja possível, convida-se um grupo de usuários do sistema para realizarem um conjunto de tarefas utilizando o sistema em um ambiente controlado, podendo ser um laboratório (BARBOSA; SILVA, 2010). Durante o período de teste, são feitos registros relacionados à experiência de usuário, seus sentimentos e opiniões com relação ao sistema desenvolvido.

## 4 TRABALHOS RELACIONADOS

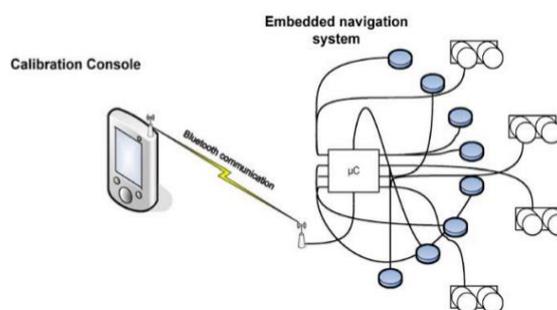
Nesta Seção, alguns trabalhos relacionados com o projeto realizado neste trabalho são apresentados.

### 4.1 A wearable system for mobility improvement of visually impaired people

Cardin, Thalmann e Vexo (2017) apresentam o desenvolvimento de um dispositivo vestível que possui um sistema de detecção de obstáculos para pessoas com deficiência visual. O sistema proposto funciona usando um sistema multi-sonar e enviando um sinal vibro tátil adequado para dispositivo de comunicação entre o usuário e o sistema. O sistema visa aumentar a mobilidade de pessoas com deficiência visual oferecendo novas habilidades sensoriais.

O trabalho descreve a arquitetura e discute os benefícios potenciais do sistema. Uma das suas principais contribuições é o uso da arquitetura multi-sonar no sistema para fornecer informações espaciais sobre os obstáculos nos arredores. Cardin, Thalmann e Vexo (2017) enfatizam que o sistema é conectado desde os sensores até o acionamento através do microcontrolador. Dessa forma, cada parte do sistema também é montada em uma placa de circuito rígido, por isso é interessante tecer diretamente os fios dentro da fibra têxtil e usar um suporte semirrígido para a montagem dos componentes eletrônicos dentro do colete. A Figura 8 dispõe do esquemático da arquitetura do projeto.

Figura 8 — Esquemático da arquitetura do projeto



Fonte: Cardin, Thalmann e Vexo (2017).

As principais diferenças entre o trabalho de Cardin, Thalmann e Vexo (2017) e o apresentado aqui é a forma de organização de componentes, além de ter uma aplicação

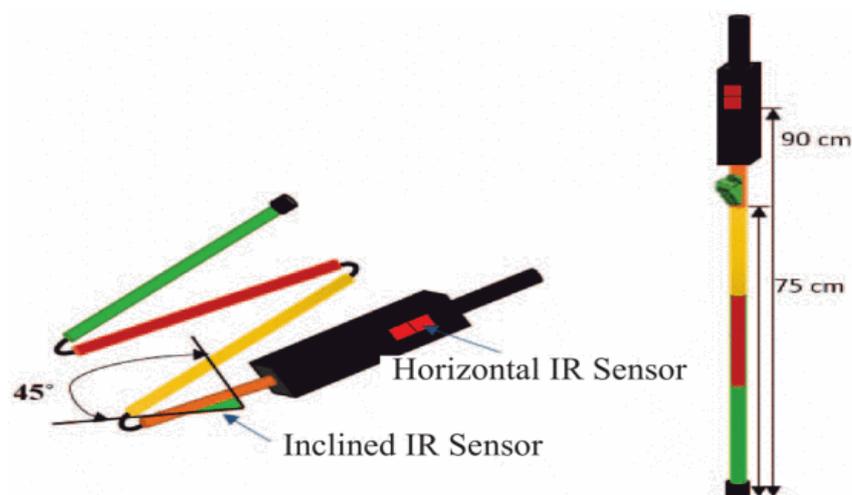
Android para alertar o usuário que está próximo a um obstáculo, além disso só estaremos utilizando um sensor para a identificação, o trabalho de Cardin, Thalmann e Vexo (2017) utiliza uma configuração com vários sensores e atuadores.

#### 4.2 Assistive infrared sensor based smart stick for blind people

Nada et al. (2015) apresenta o *smart stick*, que é uma solução proposta com o objetivo de melhorar a mobilidade de pessoas cegas e com baixa visão. A solução Stick utiliza tecnologias diferentes, como ultrassom, infravermelho e laser. É proposto um bastão leve, barato, fácil de usar, de resposta rápida e baixo consumo de energia, baseado na tecnologia de infravermelho.

O objetivo do sistema proposto é detectar obstáculos no caminho do usuário e reproduz um alerta apropriado para evitar colisões com obstáculos. Os sensores infravermelhos são usados porque são pequenos, baratos, possuem espectro específico e têm baixo consumo de energia. Os dispositivos são baseados na produção de feixes de ultrassom, infravermelho ou luz laser e a intensidade do som ou vibração tátil é proporcional à distância do objeto apontado. A Figura 9 dispõe do projeto de *design* do *Smart Stick*.

Figura 9 — *Design* do projeto *Smart Stick*



Fonte: Nada *et al.*, (2015).

As principais diferenças entre o trabalho de Nada *et al.* (2015) e o apresentado aqui são que neste caso é proposto um sistema de detecção sob forma de dispositivo vestível e não como algo que o usuário precise carregar como uma bengala. Além disso, também dispõe de

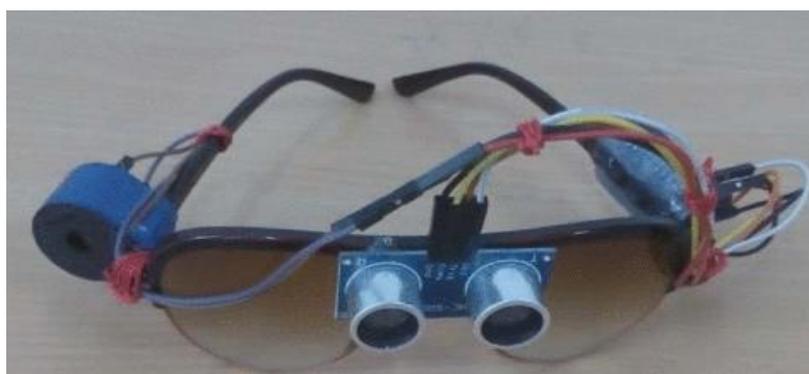
uma aplicação Android para alertar o usuário que este está próximo a um obstáculo, além de propor a detecção de quedas.

### 4.3 Low cost ultrasonic smart glasses for blind

Agarwal *et al.* (2017) propõem um dispositivo que inclui a junção de um par de óculos com um módulo de detecção de obstáculos localizado no centro dos óculos, uma unidade de processamento, um dispositivo atuador que funcione como bipe e uma fonte de alimentação.

O objetivo desse trabalho é a construção de um dispositivo em formato de óculos e para isso desenvolveram o projeto em partes: o módulo de detecção de obstáculos, unidade de controle e dispositivo de saída, os quais ficam conectados na mesma unidade de processamento. O módulo de detecção é composto por um sensor ultrassônico, já a unidade de processamento consiste em um módulo de controle e processamento dos dados dos sensores ultrassônicos e, por fim, a unidade de saída é a composição de um circuito de alerta. A Figura 10 apresenta o sensor implementado junto aos óculos.

Figura 10 — Sensor implementado nos óculos



Fonte: Agarwal *et al.* (2017).

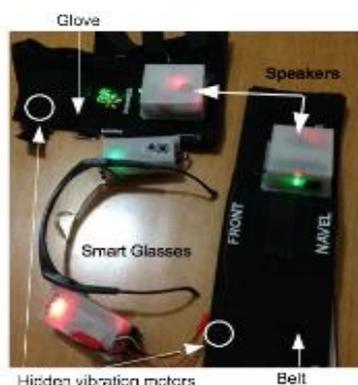
As principais diferenças entre o trabalho de Agarwal *et al.* (2017) e o apresentado aqui é o modo de feedback dado ao usuário, pois é proposto que o feedback do usuário seja dado via *smartphone* e não no próprio dispositivo.

### 4.4 Landmark Identification with Wearables for Supporting Spatial Awareness by Blind Persons

Ugulino e Fuks (2015) descrevem uma pesquisa sobre mecanismos de feedback de *wearables* para apoiar a identificação de pontos de referência internos no contexto da mobilidade de pedestres cegos. Contribuindo com uma alternativa promissora a padrões audíveis, que são consistentemente relacionados ao 'fenômeno de mascaramento'. Isso também contribui com muitas lições e ideias que poderiam beneficiar o *designer* de *wearables* para usuários cegos.

O objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento de um sistema de identificação de pontos de referência com dispositivo *wearable*, além de fazer a análise da situação em que os deficientes visuais estavam e para isso foram realizados dois estudos empíricos após o estágio de prototipagem: um projetado especificamente para a investigação de mascaramento, e outro para avaliar se o *wearable* realmente ajuda pessoas cegas na tarefa de identificar pontos de referência. Ao total, 36 voluntários participaram da observação, fases de prototipagem ou teste. Como resultado, o *wearable* conseguiu realizar a identificação dos obstáculos nos dois estudos e parece que a razão é o uso de avisos verbalizados nos *wearables*, que foi o diferencial em seu trabalho. Os resultados são limitados pelo contexto em que os estudos foram realizados e pela configuração usada, ou seja, quantidade de pontos de referência digitais e a distância entre eles. A Figura 11 apresenta os dispositivos *wearables* que foram desenvolvidos no período de pesquisa.

Figura 11 — Protótipos dos Dispositivos Wearables desenvolvidos



Fonte: Ugulino e Fuks (2015).

A principal diferença entre o trabalho de Ugulino e Fuks (2015) e o proposto aqui está em que propomos um sistema de detecção de obstáculos para pessoas com deficiência visual, enquanto o trabalho relacionado apresenta um sistema para identificação de pontos de referência.

#### 4.5 PADEVI – Protótipo de Auxílio a Deficientes Visuais

Baggio et *al.* (2015) apresentam o projeto PADEVI, que busca proporcionar à pessoa com deficiência visual mais facilidades em sua movimentação, através do fornecimento de informações do ambiente, possibilitando que o deficiente visual se sinta mais seguro devido às informações adicionais que podem facilitar sua locomoção e localização.

Para que os objetivos do projeto fossem alcançados, um sensor Kinect e um microcomputador foram acoplados a uma bengala convencional. Os sensores presentes no Kinect, comandados pelo microcomputador, identificam possíveis obstáculos presentes nas calçadas e através de um sinal sonoro enviado por um fone de ouvido, avisam o usuário de que há perigo no ambiente, evitando assim possíveis acidentes. Estas funcionalidades foram elaboradas a partir de pesquisas junto à instituição parceira que atende pessoas com necessidades especiais, analisando as principais dificuldades encontradas e criando uma ferramenta capaz de tornar menores as dificuldades e obstáculos encontrados pelos deficientes visuais. A Figura 12 dispõe do protótipo de bengala do projeto PADEVI.

Figura 12 — Protótipo de Bengala PADEVI



Fonte: Baggio et *al.* (2015).

As principais diferenças entre o trabalho de Baggio et *al.*, (2015) e o proposto aqui está em que propomos um sistema de detecção de obstáculos sob forma de dispositivo vestível e que detecta obstáculos acima do nível da cintura, outra diferença está no feedback para o usuário, enquanto no projeto PADEVI isto é feito por um fone de ouvido, no que propomos neste trabalho é dado em uma aplicação *Android* que fica no celular do próprio usuário.

## 4.6 Análise Comparativa

Assim como feito em (CARDIN et al., 2017), este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um dispositivo para detecção de obstáculos. Entretanto, o trabalho citado desenvolveu um sistema multi-sonar. O sistema visa aumentar a mobilidade de pessoas com deficiência visual oferecendo novas habilidades sensoriais. Já o sistema proposto implementa um sistema de detecção de obstáculos que se localizam acima do nível da cintura, além de possuir uma aplicação Android para dar um feedback ao usuário.

Já a relação entre este trabalho e o realizado em (NADA et al., 2015) encontra-se na própria concepção de projeto pois é proposto um sistema de detecção sob forma de bengala e o proposto neste trabalho é um dispositivo vestível e não como algo que o usuário precise carregar como uma bengala. Além disso, também podemos apontar mais diferenças entre os trabalhos relacionados, tais diferenças como, a disposição de uma aplicação *Android* para alertar o usuário que este está próximo a um obstáculo.

Assim como em Agarwal *et al.* (2017) na qual propõem um dispositivo que inclui a junção de um par de óculos com um módulo de detecção de obstáculos localizado no centro dos óculos. Seu módulo de detecção é composto com o sensor ultrassônico, além disso, dispõe de uma unidade de processamento que consiste em módulo de controle e processamento dos dados dos sensores ultrassônicos e, por fim, a unidade de saída é a composição de um circuito de alerta. Entretanto, os pontos que diferem nosso trabalho estão no modo de feedback é dado ao usuário, pois é proposto que o feedback do usuário seja dado por uma aplicação *Android*, dessa maneira deixando o dispositivo mais discreto e menos pesado para o usuário.

Em Ugulino e Fuks (2015) foi desenvolvido um sistema de identificação de pontos de referência com dispositivo *wearable*, além de fazer a análise da situação em que os deficientes visuais estavam. As principais diferenças entre o trabalho de Ugulino e Fuks (2015) e o proposto aqui, está em alguns pontos, propomos um sistema que vai além da detecção de obstáculos para pessoas com deficiência visual, propondo um sistema que realiza a mensuração da posição do usuário na ferramenta, enquanto o trabalho relacionado apresenta um sistema para identificação de pontos de referência.

Por fim, Baggio *et al.*, (2015) apresenta o projeto PADEVI que busca proporcionar à pessoa com deficiência visual mais facilidades em sua movimentação, através do fornecimento de informações do ambiente. O projeto desenvolvido utiliza um sensor Kinect

e um microcomputador acoplados a uma bengala convencional. Sensores se fazem presentes no *Kinect* para a identificação de possíveis obstáculos presentes nas calçadas e através de um sinal sonoro envia um feedback por um fone de ouvido, avisam o usuário de que há perigo no ambiente, evitando assim possíveis acidentes.

Na Tabela 2, é possível observar um resumo das características encontradas nos trabalhos relacionados descritos e a comparação com o projeto apresentado neste trabalho.

Tabela 2 — Análise comparativa entre trabalhos relacionados e este trabalho

<b>Trabalho</b>	<b>Implementa Detecção de Obstáculos</b>	<b>Possui Aplicação <i>Android</i></b>	<b>Forma de Feedback</b>	<b>Sensor Utilizado</b>	<b>É um dispositivo <i>Wearable</i></b>
(CARDIN et al., 2017)	Sim	Não	Sinal vibro tátil	Ultrassônico	Sim
(NADA et al., 2015)	Sim	Não	Voz e Vibração	Ultrassônico e Infravermelho	Não
(AGARWAL et al., 2017)	Sim	Não	Circuito de Alerta	Ultrassônico	Sim
(UGULINO; FUKS, 2015)	Sim	Sim	Caixas de Som	Becons	Sim
(BAGGIO et al., 2015)	Sim	Não	Fone de Ouvido	Kinect	Não
Este trabalho	Sim	Sim	Aplicação <i>Android</i>	Infravermelho	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor.

Note que, existe uma diferença entre o apresentado aqui, em relação aos outros, podemos perceber que ambos os trabalhos são sistemas de detecção de obstáculos, porém cada um tem uma limitação por não atender a todos os campos da tabela, em relação ao que é proposto, como podemos perceber dos trabalhos relacionados apenas o de Ugulino e Fuks (2015) possui aplicação *android*, quando comparamos com o proposto é notável a diferença na forma de feedback que é dada ao usuário, no nosso caso é via aplicação *android*, assim como, o sensor utilizado, no qual utilizamos infravermelho.

## **5 METODOLOGIA**

Nesta Seção são apresentados os passos metodológicos para alcançar o objetivo geral descritos na Seção 2.1, seguindo os passos descritos nos objetivos específicos. Partindo da escolha de componentes do sistema, seguindo pela implementação do sistema, desenvolvimento de protótipo e realização de experimentos.

### **5.1 Escolha de Componentes**

A primeira etapa realizada no projeto foi a escolha de componentes, pois com essa informação pudemos projetar o circuito e funções que foram implementadas alinhadas com os objetivos específicos. Os componentes do sistema, foram escolhidos pelos critérios de facilidade de acesso a compra do componente, materiais disponíveis na internet e facilidade de programação com a arquitetura do Arduino.

### **5.2 Implementação do Sistema de detecção de obstáculos**

O segundo passo metodológico para o desenvolvimento da proposta será a implementação do sistema de detecção para evitar colisões com obstáculos localizados acima do nível da cintura. Nesse passo, serão feitas as implementações tanto do sensor de detecção quanto do sensor que irá capturar a posição correta da movimentação da cabeça do usuário, nesse momento também foi implementado o algoritmo do Filtro de Kalman na aplicação.

### **5.3 Aplicativo *Android***

O terceiro passo metodológico é apresentar a aplicação já desenvolvida em Guerra *et al.*, (2018) e que será utilizada na proposta atual.

### **5.4 Desenvolvimento de Novo protótipo**

Com a definição da escolha dos componentes que farão parte do sistema será iniciado o desenvolvimento de um protótipo, para que possamos avaliar o sistema.

## 5.5 Experimentos

A última etapa dos passos metodológicos consiste nos experimentos que serão realizados para a avaliação do dispositivo. São divididos em duas partes.

### 5.5.1 Experimentos em Laboratório

Os experimentos realizados em laboratório foram feitos para validar a utilização do filtro de Kalman na aplicação proposta, o autor realizou durante 4 horas, dois tipos de testes com o sensor de posição o primeiro utilizando o algoritmo do Filtro de Kalman e um segundo momento o sensor utilizando somente os dados do acelerômetro.

### 5.5.2 Teste de Observação

Para a avaliação do sistema proposto, seguimos o método de avaliação por observação em Interação Humano-Computador, descrito por Rogers, Sharp e Preece (2013). Este método permite que o avaliador colete dados sobre situações em que os participantes realizam suas atividades. Dessa maneira, os usuários serão observados diretamente pelo pesquisador enquanto realizam suas atividades ou indiretamente por meio de registros da atividade solicitada (BERNARD, 2017).

O primeiro passo para a avaliação, foi estabelecer o perfil de usuário, em nosso caso uma pessoa com deficiência visual, mas decorrente do cenário de um mundo pandêmico, não foi possível, por isso, foi decidido utilizar vendas para simular a deficiência. Os usuários do sistema foram 2 homens e 3 mulheres, totalizando 5 voluntários, os critérios foram idade e que não fosse acometido com alguma deficiência motora.

Além disso, assim como, em entrevistas estruturadas foi feito um roteiro para as atividades que foram aplicadas na avaliação, sendo assim, os participantes foram orientados sobre os objetivos do estudo e que estavam livres para intervir na avaliação.

A observação de usuários foi feita ambiente controlado nas dependências de um centro de pesquisa e desenvolvimento, que foi um local seguro para a realização dos testes. Antes de realizar os testes foi feita uma explanação sobre o que era o projeto e qual a finalidade para os usuários. Após a explanação do projeto, os voluntários foram direcionados para o ambiente de testes, no qual foram fazendo o percurso da avaliação para a detecção de

obstáculos. E ao final da avaliação os voluntários responderam algumas perguntas sobre o dispositivo.

Todos os resultados coletados dos testes serão mensurados em uma matriz de confusão para extrair índices de desempenho do protótipo. Uma matriz de confusão resume os resultados dos experimentos realizados. Esse tipo de representação é uma ferramenta importante para avaliar os resultados das previsões, pois facilita a compreensão e reage aos efeitos de previsões erradas. Ao exibir a quantidade e as porcentagens em cada célula dessa matriz, pode-se ver rapidamente com que frequência o modelo é previsto com precisão. Dessa forma, teremos à disposição dois tipos de dados relacionados ao desempenho do sistema, que são a especificidade e sensibilidade.

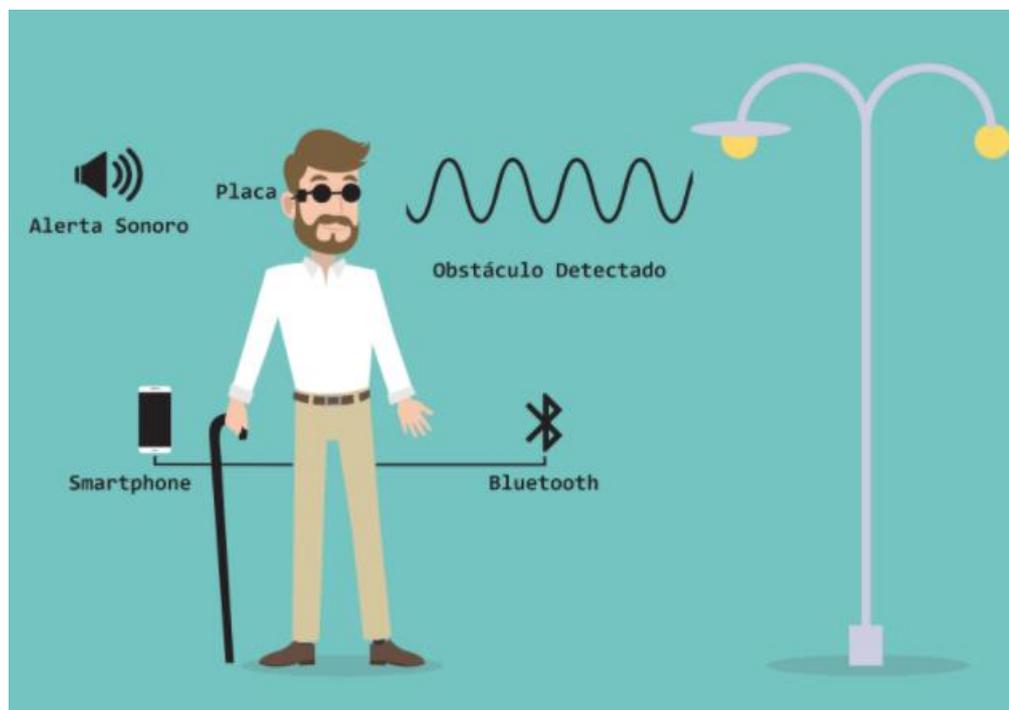
## 6 SISTEMA DE DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS

### 6.1 Visão geral

O dispositivo proposto é a combinação de um par de óculos com sensores de posição e de presença infravermelho de longo alcance que realizam a detecção de obstáculos durante as trajetórias do usuário. Um sistema embarcado é responsável pelo processamento das informações, dessa forma os dados dos sensores são processados e analisados pela placa Arduino pro micro.

Em caso de obstáculos identificados e de acordo com a posição da cabeça do usuário, um sinal é enviado via *Bluetooth* para o aplicativo no *smartphone* do usuário com a finalidade de alertá-lo através de áudio ou vibração, que está próximo de um obstáculo. É importante ressaltar que os óculos são usados de forma complementar às bengalas e não algo que possa substituí-las. A Figura 13 apresenta a visão geral do sistema proposto.

Figura 13 — Visão Geral do Sistema



Fonte: Elaborada pelo Autor.

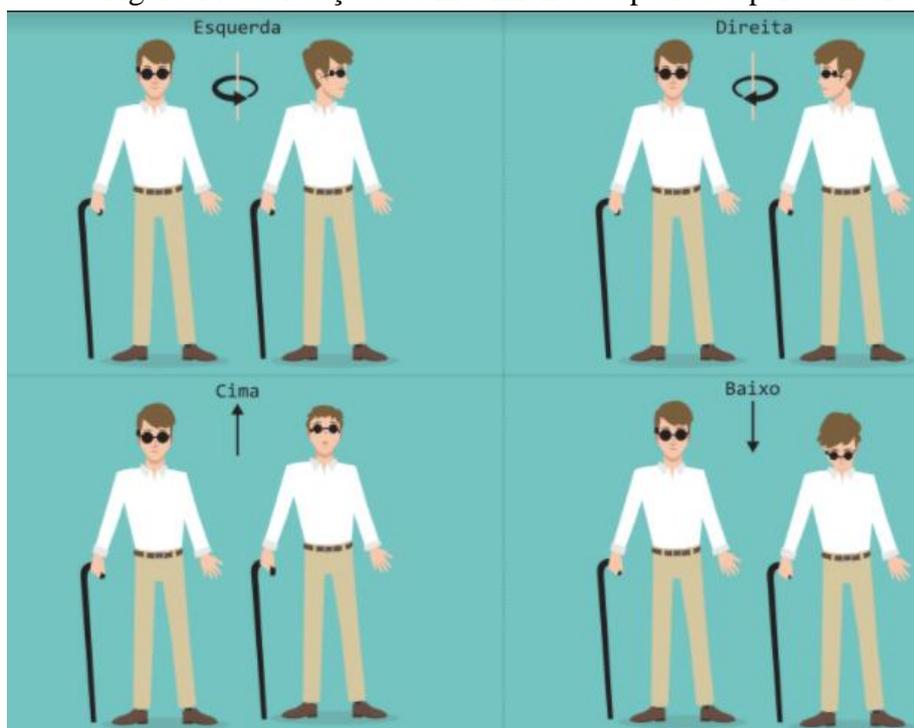
Um fator importante no trabalho proposto é a informação da posição da cabeça do usuário irá influenciar. A aplicação contém um módulo acelerômetro e giroscópio - MPU6050 que é responsável por capturar a informação na direção em que possivelmente

exista um obstáculo, uma maneira que possa garantir ao usuário que não existam situações com obstáculos “falsos” ou outras situações desconfortáveis.

O módulo acelerômetro e giroscópio - MPU6050 possui um recurso interno chamado DMP (*Digital Motion Processor*). O DMP permite que o algoritmo de detecção de movimento seja processado no próprio CI. A implementação da função de posição conta com o algoritmo de filtro de Kalman que é um algoritmo de otimização para estimar o estado de um sistema com ruído, incertezas e interferências. Outra característica do algoritmo utilizado é que por conta de sua recursividade ele pode ser executado em tempo real (STROSKI, 2019).

As informações, quando passam pelo filtro, estão com o mínimo de ruído possível, dessa maneira, garantindo que o dado sobre a posição da cabeça do usuário está correto. Em nosso caso, as situações que possivelmente têm obstáculos são à direita, esquerda e quando movimentada para cima. Quando o usuário baixa a cabeça, não é identificado como obstáculo, pois a situação é considerada um falso positivo. A Figura 14 apresenta as situações de movimentos capturadas pelo sensor.

Figura 14 — Situações de movimentos capturados pelo sensor



Fonte: Elaborada pelo Autor.

## 6.2 Escolha de Componentes do Sistema

O dispositivo proposto combina um par de óculos com sensores de posição e de presença infravermelho que detecta obstáculos durante as trajetórias do usuário. Para que as informações sejam processadas, uma plataforma embarcada junto aos óculos controla e realiza o processamento em tempo real das variáveis ambientais (obstáculos e posições).

Os dados dos sensores são processados e analisados e, em caso de obstáculos identificados de acordo com a posição indicada, um sinal é enviado via *bluetooth* para o aplicativo que estará disposto no smartphone do usuário para alertá-lo através de áudio ou vibração. Os componentes selecionados estão dispostos nos próximos tópicos

### **6.2.1 Sensor Infravermelho E18-D80nk**

Para realizar a detecção de obstáculos, foi utilizado um sensor reflexivo infravermelho E18-D80nk, apresentado na Figura 1. O sensor possui pouca interferência da luz ambiente, pois uma de suas características é atuar com luz infravermelha modulada, dentro de um curto alcance ajustável de 3 a 80 cm.

### **6.2.2 Módulo Bluetooth HC-05**

O componente escolhido para a comunicação entre o dispositivo e o smartphone foi o módulo *bluetooth* RS232 HC-05, disposto na Figura 15, que oferece uma forma simples e de baixo custo de comunicação e suportando tanto o modo mestre quanto modo escravo. Existe em sua placa um regulador de tensão que poderá ser alimentado com 3.3v ou 5v, bem como um LED que indica se o módulo está pareado com outro dispositivo e possui alcance de até 10m.

Figura 15 — Módulo *Bluetooth* HC-05



Fonte: Studio (2010).

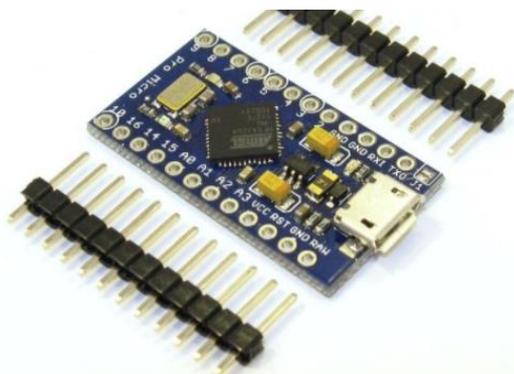
### 6.2.3 Módulo Acelerômetro e Giroscópio

Para a captura dos movimentos da cabeça do usuário, utilizou-se o módulo MPU-6050, disposto na Figura 2, da InvenSense.

### 6.2.4 Arduino Pro Micro

Para o processamento de sinais e variáveis ambientais, escolhemos a plataforma de desenvolvimento Arduino. Para a aplicação desenvolvida, escolhemos uma versão de placa que fosse miniaturizada e que pudesse facilmente estar em conjunto com a arquitetura de componentes selecionados. Escolhemos a placa Arduino Pro Micro, que possui o microcontrolador ATMEGA32U4, a Figura 16, dispõe da placa selecionada.

Figura 16 — Placa Arduino Pro Micro



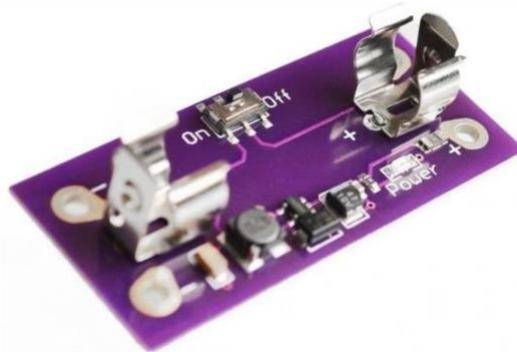
Fonte: Filipeflop (2020).

### 6.2.5 Módulo Power Supply Lilypad

Para a alimentação do circuito, escolheu-se o módulo *LilyPad Power Supply*, disposto na Figura 17. Trata-se de uma fonte de alimentação de pequenas dimensões, porém de grande utilidade, desenvolvida com o propósito de ser discreta e pequena. Através de seus específicos periféricos metálicos, o *LilyPad Power Supply* possui a capacidade de armazenar uma pilha AAA comum e amplificar a sua tensão para até 5V, podendo ter uma tensão de entrada variável de 1,2 até 5V. Para tornar sua experiência de uso ainda mais profissional, o

*LilyPad Power Supply*, além de possuir um sistema contra curto circuito e um interruptor on-off, possui ainda um limite de corrente de 200mA.

Figura 17 — Módulo LilyPad Power Supply

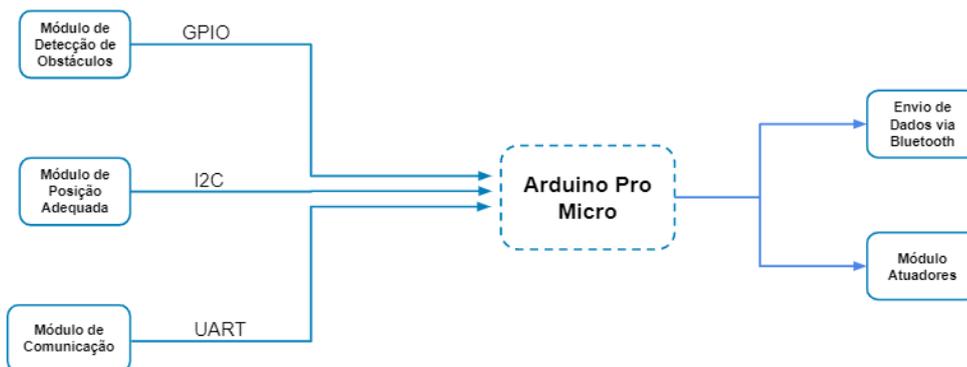


Fonte: Multilogica-Shop (2020).

### 6.2.6 Diagrama de blocos

Ao escolher os dispositivos que farão parte do sistema, elaboramos esse diagrama inicial para a identificação da modularização do sistema proposto, disposto na Figura 18. No qual dispõe de três módulos, Detecção, Posição e Comunicação. Para cada módulo, são utilizados periféricos diferentes como no caso, para a detecção de obstáculos, utilizamos o GPIO, para o módulo de posição, utilizamos o I2C e para a comunicação utilizamos a UART. Todas as informações são processadas pelo Arduino pro micro e no fim temos duas saídas, que são o envio dos dados pelo *bluetooth* e módulo de atuadores do sistema.

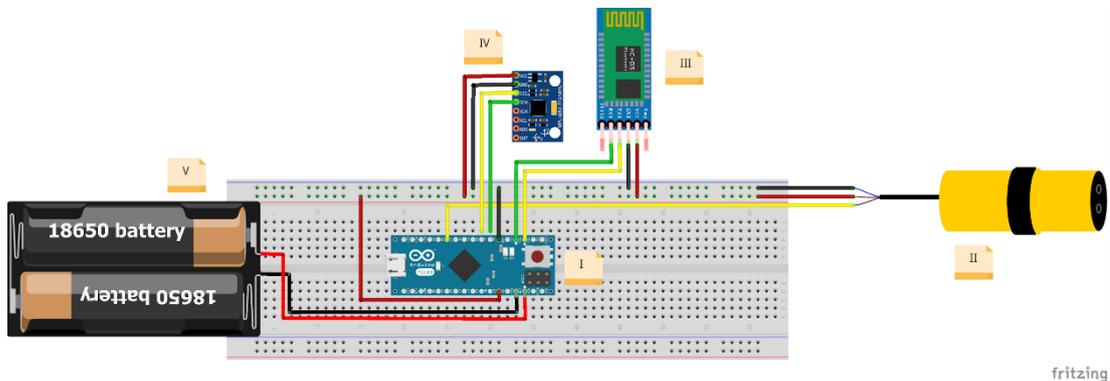
Figura 18 — Diagrama de identificação de modularização



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Com a seleção de componentes do sistema concluída, foi feita a ligação eletrônica do sistema para que começasse a fase de aquisição de dados dos sensores. Na Figura 19 exibe o esquemático do sistema, onde temos Arduino pro micro(I) e suas ligações com os componentes.

Figura 19 — Esquemático do sistema



Fonte: Elaborada pelo Autor.

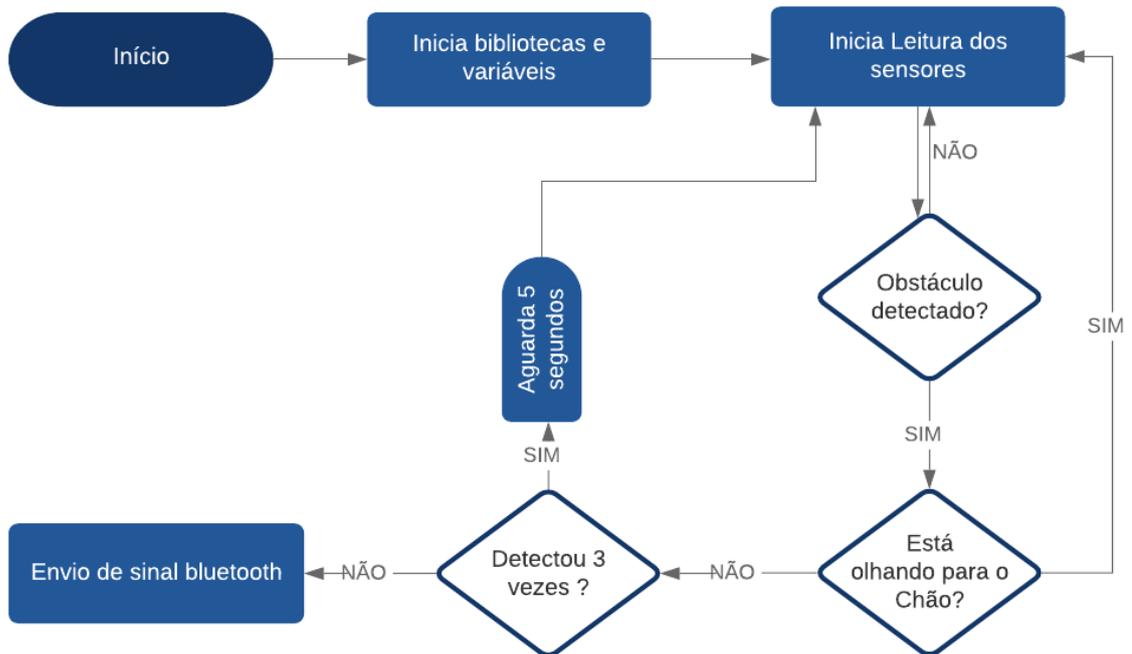
As conexões do sensor de detecção infravermelho (II), estão em portas digitais, já que o mesmo utiliza somente de drivers GPIO. Como a comunicação entre o Arduino pro micro e o MPU6050 (IV) é feita por protocolo I2C, deve-se ligar os pinos SCL e SDA do sensor aos do Arduino. Para as conexões do módulo *Bluetooth* (II) definiu-se duas portas para RX e TX e por fim, a bateria (V) que está alimentando o circuito eletrônico.

## 6.3 Implementação do Sistema de Detecção de Obstáculos

### 6.3.1 Fluxograma de Funcionamento

Para a implementação do sistema de detecção de obstáculos, utilizamos a linguagem da plataforma Arduino, a qual aproxima-se das linguagens C/C++. Dessa maneira, definimos um algoritmo para que houvesse a detecção do obstáculo. A figura 20 apresenta o fluxograma de funcionamento do algoritmo de detecção de obstáculos.

Figura 20 — Fluxograma de funcionamento



Fonte: Elaborado pelo Autor

O algoritmo começa inicializando as bibliotecas e as variáveis necessárias. Essa inicialização é responsável por habilitar o I2C e UART, que são as funções de comunicação entre os periféricos e habilitar o Filtro de Kalman. A Figura 21 apresenta as demais configurações utilizadas.

Figura 21 — Configurações utilizadas

```

#include <Kalman.h>
#include <SoftwareSerial.h>

#define RESTRICT_PITCH
const int pinoLed = 4;
const int pinoSensor = 7;

SoftwareSerial bluetooth(8, 9); // RX, TX do Arduino
Kalman kalmanX;
Kalman kalmanY;

/* IMU Data */
double accX, accY, accZ;
double gyroX, gyroY, gyroZ;
int16_t tempRaw;

double gyroXangle, gyroYangle; // Angle calculate using the gyro only
double compAngleX, compAngleY; // Calculated angle using a complementary filter
double kalAngleX, kalAngleY; // Calculated angle using a Kalman filter
  
```

Fonte: Elaborado pelo Autor

Após a inicialização, são feitas as leituras dos sensores que constituem o sistema. São utilizados dois tipos de sensores, um acelerômetro e giroscópio para capturar a posição adequada e um sensor infravermelho para realizar a detecção de obstáculos.

A partir das leituras é sempre verificado se um obstáculo foi detectado ou não. Caso seja detectado um obstáculo, serão feitas algumas verificações para assegurar que não é um falso positivo. Caso seja um obstáculo real será enviado um sinal de *bluetooth* para o celular do usuário alertando-o que existe um obstáculo próximo.

O primeiro caso de falso positivo é o chão. O usuário pode estar olhando para o chão no momento da leitura. Para identificar esse falso positivo é utilizado o algoritmo do Filtro Kalman, que retorna dois valores de ângulos específicos (*kalAngleX* e *kalAngleY*). Com essas informações, conseguimos chegar em intervalos para cada posição da cabeça do usuário. Se for identificado que o obstáculo é o chão a ação do sistema será voltar a ler os sensores.

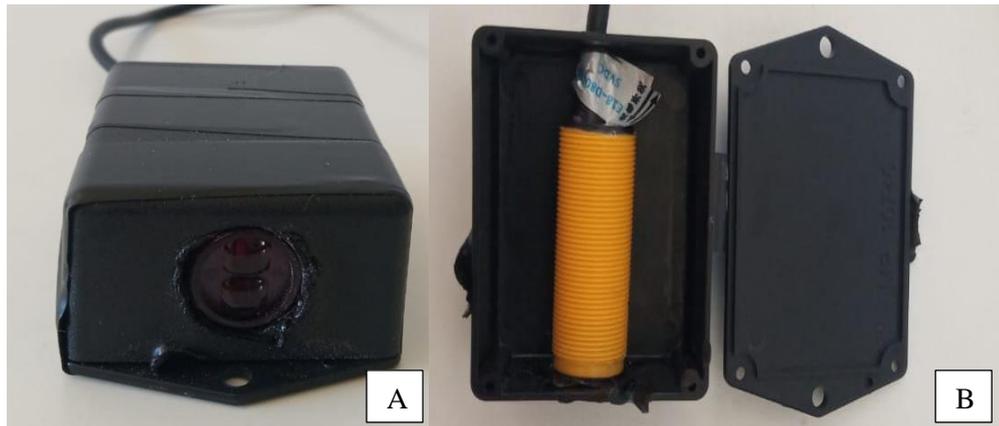
O segundo caso de falso positivo é a possibilidade de o usuário estar parado em uma situação que esteja próximo a um objeto ou pessoa. Por exemplo, se o usuário estiver conversando com alguém. Esse teste será feito caso seja identificado um obstáculo e verificado se realmente o usuário não está movimentando a cabeça em direção ao chão. Se um obstáculo for detectado 3 vezes em sequência, o sistema então irá aguardar 5 segundos e irá iniciar novamente a leitura dos sensores. Caso não seja detectado essa quantidade de vezes, é enviado o sinal de *bluetooth* com o alerta.

Vale ressaltar que os casos de testes abordados foram apenas etapas preliminares da pesquisa, outras atividades ainda serão implementadas, tais como andar, sentar, etc.

#### **6.4 Desenvolvimento de Novo protótipo do Dispositivo**

Para validar as funções e a proposta do projeto, foi desenvolvido um protótipo com os componentes que foram selecionados para compor a arquitetura do sistema desenvolvido. O protótipo desenvolvido conta com duas caixas patolas, cada caixa ficou alocada em cada lado dos óculos. Uma dispõe do sensor de detecção de obstáculos (Figura 22), enquanto a outra contém a outra parte do circuito eletrônico (Figura 23). Figura 24 dispõe do protótipo completo.

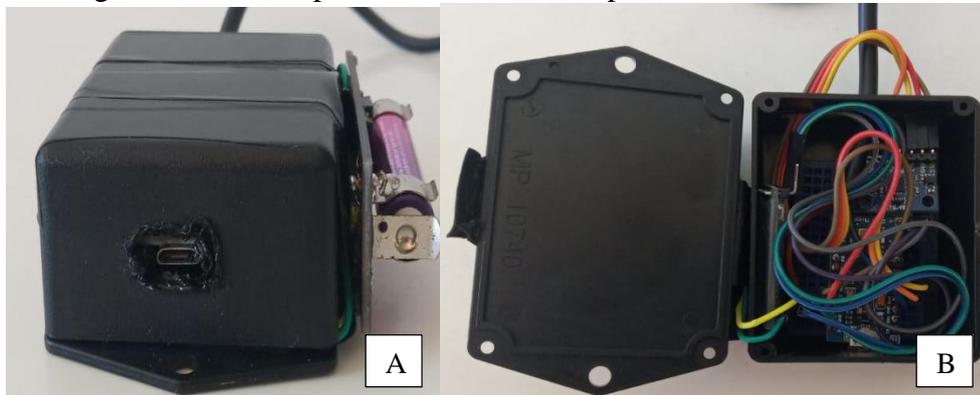
Figura 22 — Caixa Patola com sensor de detecção



Sendo (A) a caixa com sensor fechada e (B) a caixa com sensor aberta.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura 23 — Caixa patola com outros componentes do circuito



Sendo (A) a caixa com circuito fechada e (B) a caixa com aberta

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura 24 — Protótipo completo



Fonte: Elaborada pelo Autor.

## 6.5 Aplicativo Android

Em (Guerra *et al.*, 2018), foi proposta uma versão de aplicativo com o objetivo de fornecer uma melhor interação entre o usuário e o sistema, a aplicação foi construída inteiramente pensando no deficiente visual, seguindo diretrizes de acessibilidade. Dispondo de comandos de voz para o usuário saber o que precisa fazer ou onde clicar. O funcionamento do aplicativo pode ser descrito da seguinte forma:

- Assim que o aplicativo inicia, o usuário é direcionado para a tela apresentada na Figura 25A, na qual ele faz uma escolha a respeito de como vai querer receber o aviso sobre a detecção dos obstáculos no próprio *smartphone*, dentre as opções: alerta por voz, alerta por vibração ou ambos;
- Em seguida, o usuário é direcionado para a tela exibida na Figura 25B, onde é preciso estabelecer uma conexão via *Bluetooth* entre o aplicativo e os óculos, para isso é necessário que o *Bluetooth* do dispositivo esteja habilitado, caso o *Bluetooth* não esteja habilitado o aplicativo informa ao usuário que é necessário conectar o *Bluetooth*;
- Quando o sensor dos óculos detectar algum objeto que possa vir a colidir com o usuário, é enviada uma notificação ao dispositivo *Android*, informando ao usuário que há algum empecilho no caminho.



Sendo (A) a tela de seleção de feedback e (B) a tela de conexão com *Bluetooth*

Fonte: Guerra *et al.* (2018).

## 6.6 Experimentos

### 6.6.1 Experimentos em Laboratório

Para explorar as funções do dispositivo realizamos experimentos em laboratório para verificar a resposta do algoritmo do Filtro de Kalman. Vale ressaltar, que apenas o autor realizou esses experimentos de laboratório, pois o filtro precisava ser testado antes de ser integrado com os outros sensores. Foram testadas duas situações, a primeira utilizando os dados fornecidos pelos sensores sem a utilização do filtro somente utilizando as informações do acelerômetro. A segunda situação testada foi com as informações lidas com o Filtro de Kalman. Em ambas as situações foram testadas as posições de movimento da cabeça para frente, para cima, para baixo, para direita e para a esquerda.

Após a verificação, aplicamos um teste de usabilidade em duas situações, a primeira utilizando somente o sensor de detecção infravermelho e outra utilizando a aplicação com o algoritmo de Filtro de Kalman.

#### 6.6.1.1 Análise dos dados do Módulo Acelerômetro e Giroscópio MPU6050 sem o Filtro de Kalman

A primeira análise dos experimentos foi feita em laboratório sobre o Sensor de Posição MPU6050, identificando as situações de movimento da cabeça do usuário, como olhar para frente, para baixo, para cima, para direita e para a esquerda. Com a IDE do Arduino, é possível analisar os dados capturados. O sensor conectado aos pinos de I2C (SDA e SCL), em nosso caso são os pinos digitais 2 e 3.

Observou-se que em todos os casos que existiam muitos ruídos e inconstância na captura dos movimentos sem a utilização do Filtro de Kalman, o que pode causar um problema de inconstância na informação lida e poderá gerar falsos positivos e negativos. Na Figura 26, pode-se ver através do Plotter Serial os dados capturados no momento do teste da primeira situação que é o usuário olhando para frente, na qual é possível observar a variação na saída do MPU6050. Note que, os ruídos identificados são caracterizados pelas pequenas oscilações e grandes variações no gráfico, isso faz com que a informação lida pelo sensor seja instável.

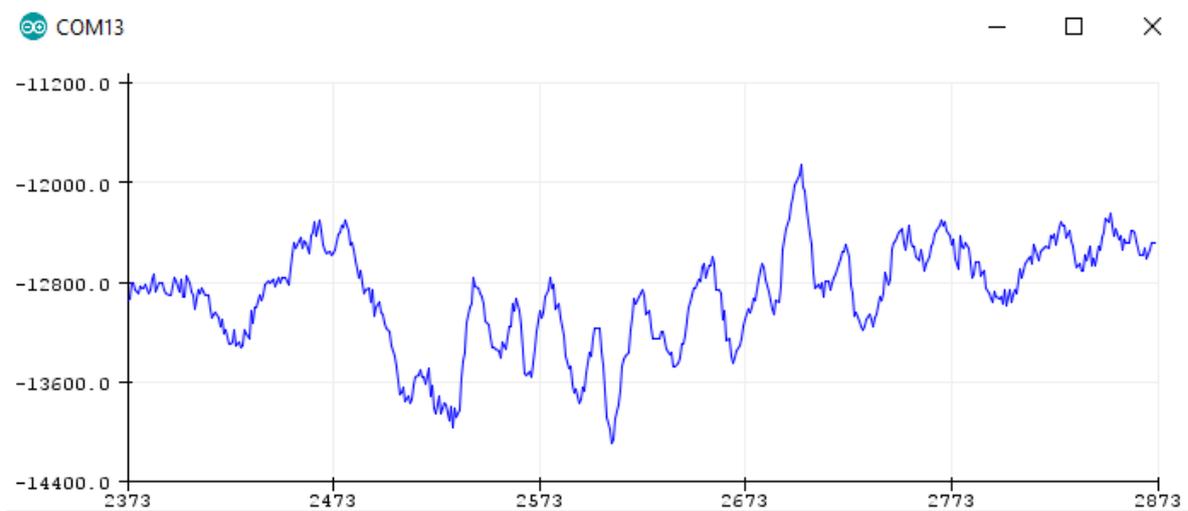
Figura 26 — Saída do sensor sem a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimentou a cabeça para frente



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Figura 27, pode-se ver o resultado do gráfico do sensor de posição MPU6050, com os dados capturados no momento em que o usuário está olhando para baixo. É possível observar que a variação na saída do MPU6050 está com ruídos, apresentando oscilações no sinal no início da leitura e, em seu decorrer, acontecem variações no sinal, o tornando inconstante, ou seja, não conseguimos mensurar um padrão.

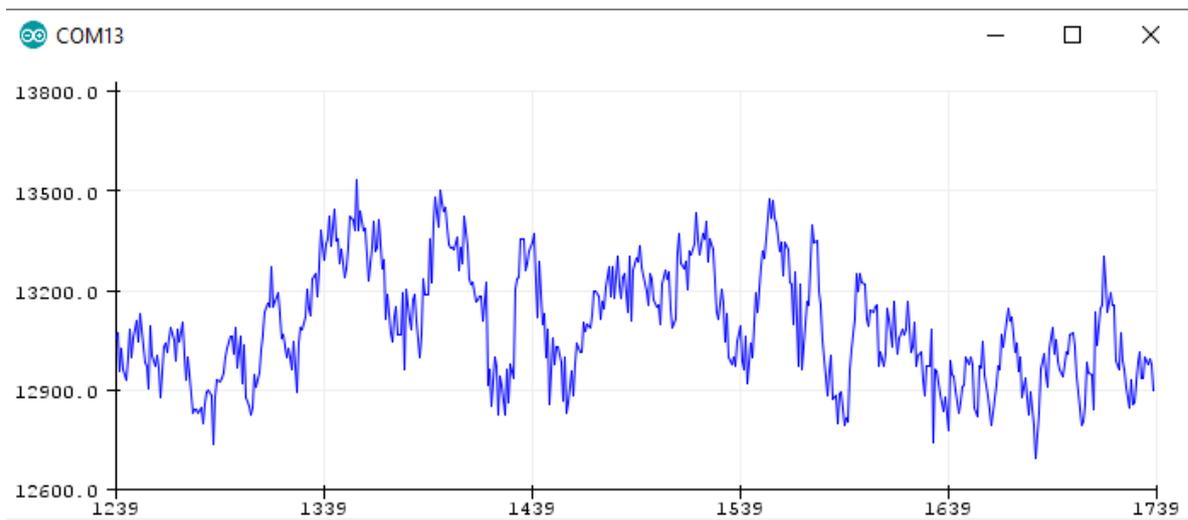
Figura 27 — Saída do sensor sem a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimentou a cabeça para baixo



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Já na Figura 28, temos o resultado do gráfico do sensor de posição MPU6050, com os dados capturados no momento em que o usuário está olhando para cima. Nota-se que a variação na saída do MPU6050 está com ruído em sua leitura, pois existe uma grande oscilação em seu sinal além da variação.

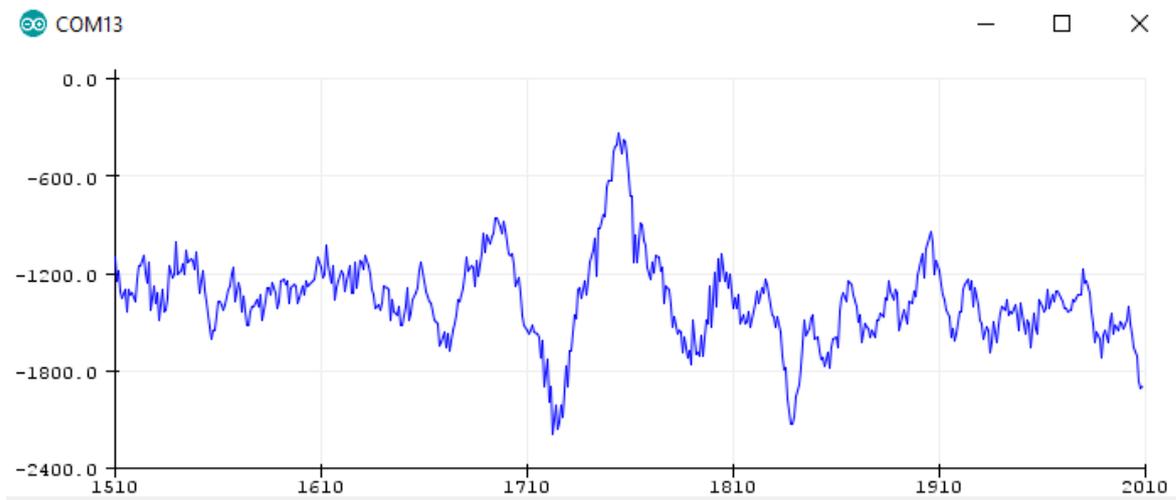
Figura 28 — Saída do sensor sem a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimentou a cabeça para cima



Fonte: Elaborado pelo Autor

Na Figura 29, temos o resultado do gráfico do sensor de posição MPU6050, no qual as informações lidas no momento são em que o usuário está olhando para a direita, nota-se que a variação na saída do MPU6050 está com ruídos em seu sinal, apresentando diferentes níveis de oscilação, não conseguindo identificar algum padrão.

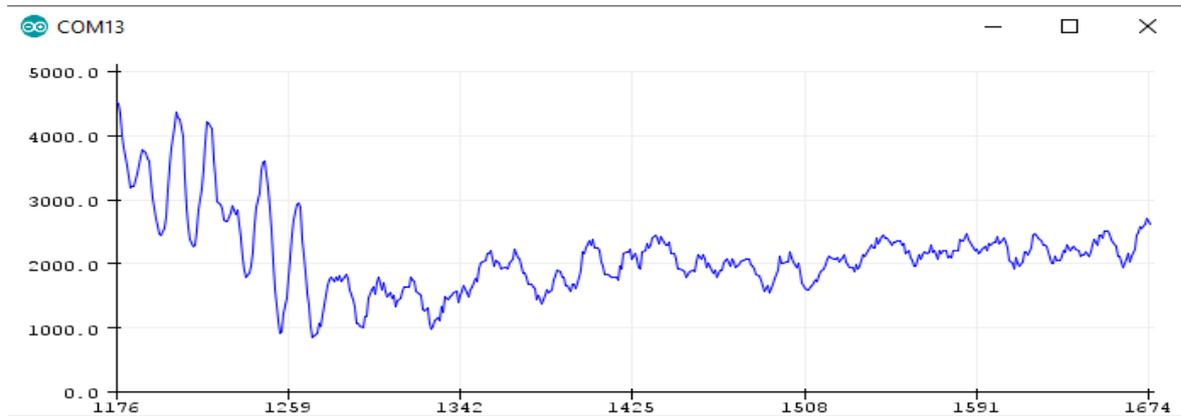
Figura 29 — Saída do sensor sem a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimentava a cabeça para direita



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Figura 30, temos o resultado do gráfico do sensor de posição MPU6050, no qual as informações foram capturadas no momento em que o usuário está olhando para a esquerda, nota-se que a variação na saída do MPU6050 está com ruídos.

Figura 30 — Saída do sensor sem a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimentava a cabeça para esquerda



Fonte: Elaborado pelo Autor

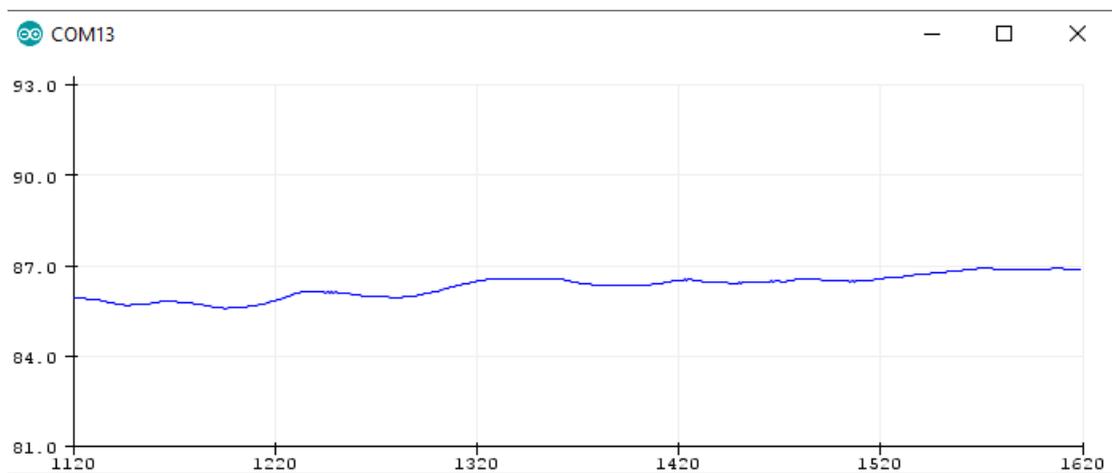
#### 6.6.1.2 Análise dos dados do Módulo Acelerômetro e Giroscópio MPU6050 com o Filtro de Kalman

Uma segunda análise dos experimentos foi feita em laboratório sobre o Sensor de Posição MPU6050, mas agora com a aplicação do filtro de Kalman, identificando as situações de movimento da cabeça do usuário, como olhar para frente, para baixo, para cima,

para a direita e para a esquerda. Novamente, a IDE do Arduino é empregada para a análise dos dados capturados, e os pinos digitais 2 e 3 são utilizados para conectar o sensor às portas I2C.

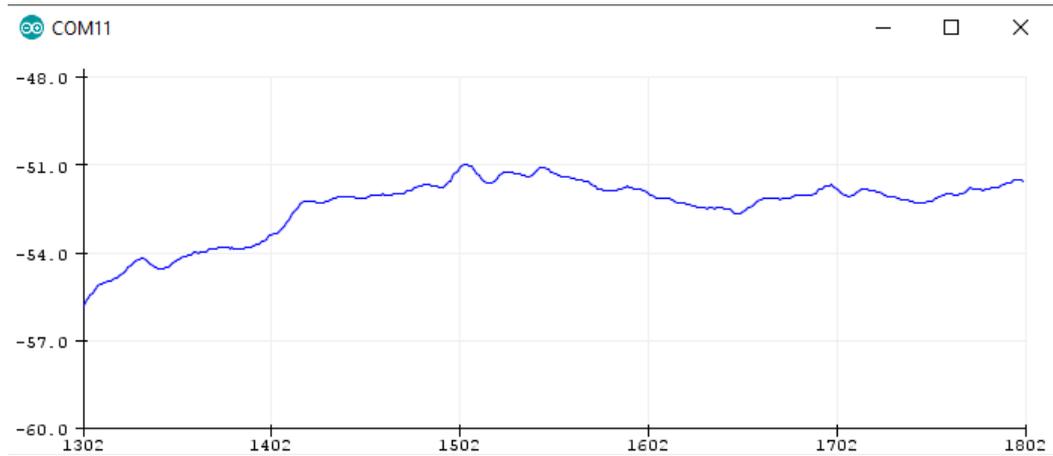
Com a aplicação do filtro, notou-se que, ao comparar com os resultados sem o filtro, houve uma melhoria, pois, os ruídos foram suavizados, fazendo com que a informação capturada fosse mais precisa, pois foram identificados padrões na variação do sinal, diferente de antes quando apresentavam constantes variações e oscilações. As Figuras 31, 32, 33, 34, 35 apresentam o resultado da utilização do Filtro de Kalman na posição em que o usuário movimenta a cabeça para frente, para baixo, para cima, para direita e para esquerda respectivamente.

Figura 31 — Saída do sensor com a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimenta a cabeça para frente



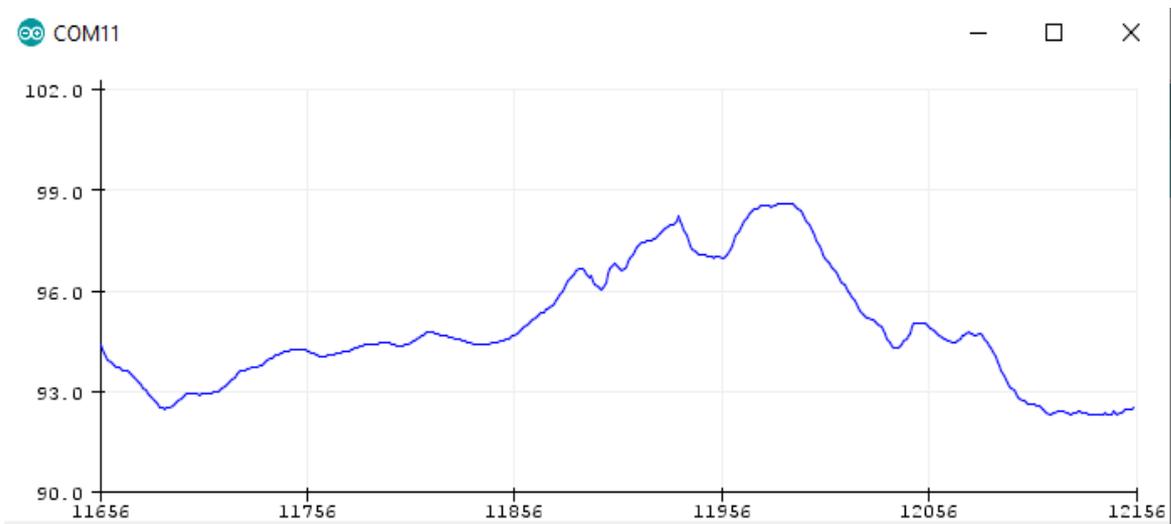
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 32 — Saída do sensor com a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimentava a cabeça para baixo



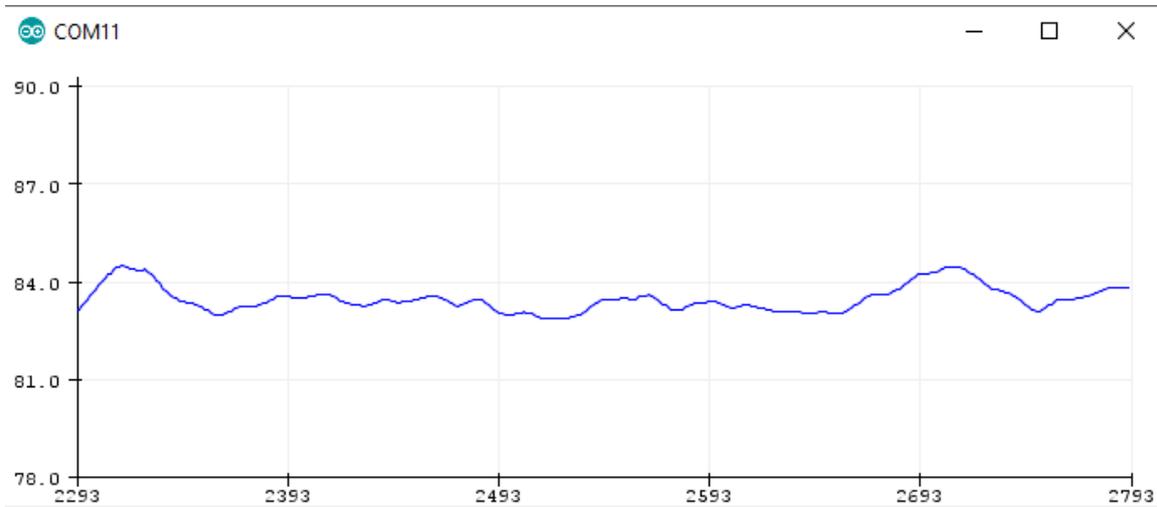
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 33 — Saída do sensor com a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimentava a cabeça para cima



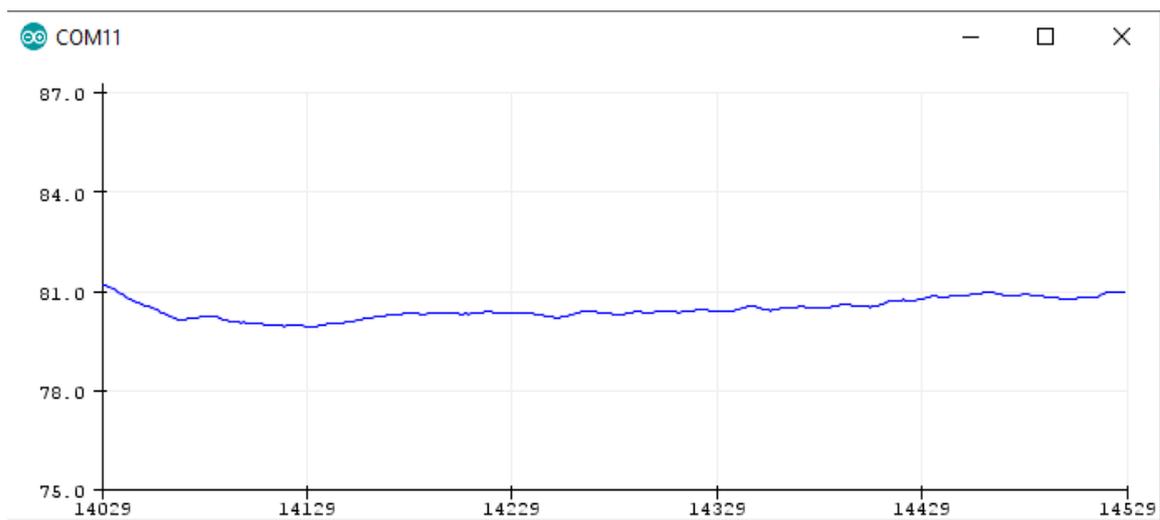
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 34 — Saída do sensor com a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimentava a cabeça para direita



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 35 — Saída do sensor sem a utilização do Filtro de Kalman, na posição em que usuário movimentava a cabeça para esquerda



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 6.6.2 Teste de Observação

Para fins de avaliação, foram realizados experimentos que pudessem verificar as funcionalidades e possíveis aspectos de melhoria no protótipo proposto. Os experimentos foram realizados com cinco voluntários de ambos os sexos, com alturas que variam entre

1,68 a 1,73 metros e idades variando de vinte a trinta e dois anos. Os critérios para participação da validação foram ter idade mínima de dezoito anos e que não tivesse alguma dificuldade motora. Além disso, 4 dos 5 participantes estavam usando a tecnologia pela primeira vez. Os participantes desse experimento não foram pessoas cegas.

Para que os experimentos ocorressem, preocupações éticas foram consideradas. Na primeira etapa, os usuários foram orientados sobre a pesquisa e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), que informava sobre os riscos da avaliação, como esbarrar em objetos que foram utilizados para simulação dos cenários. Além disso, por conta da pandemia da COVID-19, foram tomadas todas providências sobre as questões de distanciamento, utilização de máscaras e álcool em gel e medidas de higienização do dispositivo.

Para que a realização dos experimentos fosse possível, deveriam ter pelo menos duas pessoas, uma acompanhando o processo de avaliação, fazendo anotações e outra responsável por estar sempre próximo ao usuário para que ele pudesse realizar uma intervenção em caso de acidente. Vale ressaltar que o participante foi orientado a parar o experimento a qualquer momento caso se sentisse inseguro ou desconfortável. Cada participante realizou uma sessão de teste, com duração máxima de 30 minutos cada, tempo correspondente para testar nosso dispositivo. O critério de parada foi quando se via que o dispositivo identificava os obstáculos dos cenários especificados, cada obstáculo era identificado a pelo menos 80cm de distância do usuário.

Sendo assim, os usuários receberam o protótipo e eram direcionados as possíveis situações em que tinham obstáculos a serem identificados e situações em que existiam falso positivos. Vale ressaltar que, do início ao fim do teste, havia um avaliador acompanhando o participante para evitar algum tipo de acidente.

Os experimentos do dispositivo ocorreram em um ambiente controlado. Dessa maneira, foram simuladas situações em que os usuários se deparam com obstáculos; cada obstáculo foi estudado para avaliar as possíveis situações de impacto, durante os experimentos os usuários passaram por uma rota com os obstáculos utilizando o dispositivo. O objetivo da avaliação foi além de ajustar os limiares de detecção de obstáculos, verificar a resposta do sistema utilizando o filtro de Kalman para minimizar os falsos positivos e negativos.

Os experimentos foram divididos em três etapas:

- **Explicações:** Os avaliadores explicavam o objetivo do projeto e a avaliação que seria feita e ao mesmo tempo conheciam os usuários. Além disso, foi solicitado aos

participantes que assinassem o termo de consentimento, informando que os dados da avaliação seriam utilizados apenas para fins acadêmicos;

- **Observação:** Os avaliadores acompanhavam os usuários e anotavam suas percepções;
- **Entrevista pós-teste:** Os participantes respondiam perguntas e davam feedbacks sobre a tecnologia.

Durante os testes, os usuários instalam o protótipo no corpo (óculos) e recebem o aplicativo para instalação em seu smartphone. Os testes aconteceram em dois tipos de cenários, os que tinham obstáculos e cenários em que se encontravam situações com falso positivo e falso negativo. Os Cenários do ambiente controlado são:

Com obstáculos:

- Cenário 1: Parte superior de baia

Descrição do Cenário: O ator deve andar em direção a baia.

- Cenário 2: Caminhar pela Copa (Geladeira, Porta do Armário aberta, Cadeira em cima da mesa)

Descrição do Cenário: O ator está caminhando em direção ao banheiro da copa, mas ao passar pela copa, terá que identificar obstáculos como geladeira, a cadeira que estará em cima da mesa e a porta superior do armário que está aberta.

- Cenário 3: Lousa e Coluna

Descrição do Cenário: O ator tenta passar nas dependências da sala, inicialmente em sua direção tem uma coluna na qual o mesmo terá que desviar, e ir em direção ao próximo obstáculo que será uma lousa.

- Cenário 4: Portas, Parede e Janela.

Descrição do Cenário: O ator está sentado em uma cadeira no ambiente de trabalho, o mesmo levanta e vai em direção à outra sala, no trajeto ao ir em direção a outra sala o ator terá que identificar a janela como um obstáculo e depois o mesmo vai até outra sala.

Sem obstáculos:

- Cenário 1: Corredor da Sala de Reuniões (corredor estreito)

Descrição do Cenário: o ator irá andar pelo corredor que o direciona a sala de reuniões.

- Cenário 2: Caminhando sozinho e acompanhado, Piso, Vento

Descrição do Cenário: O ator vai caminhando com outro ator em direção livremente.

- Cenário 3: Gestos / olhando para os lados, em cima, em baixo, pegando no celular, comendo em uma mesa, leitura de livro.

Descrição do Cenário: o ator vai caminhar e vai coçar o braço ou fazer algum gesto, logo após ele vai fingir que está comendo e depois vai pegar um livro para ler (obs.: esse livro é em braile).

Os cenários também seguiam um roteiro para avaliação e cada teste foi repetido 5 vezes para verificar a funcionalidade do sistema. Dentro dos cenários descritos, foram realizadas um total de 85 repetições, das quais 45 com obstáculos e 40 sem obstáculos.

Após a observação, os usuários foram submetidos a uma entrevista pós-teste, quando eles expressaram suas opiniões sobre a tecnologia desenvolvida. O objetivo dessa entrevista, era além de identificar alguma necessidade, responder às seguintes perguntas:

- Se sentiu confortável utilizando o dispositivo?
- O que achou dos *feedbacks* que o aplicativo informa?
- Sentiu alguma dificuldade para utilizar a tecnologia?

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, apresentam-se os principais resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho e realiza-se discussões sobre eles.

### 7.1 Experimentos

Com o intuito de extrair índices de desempenho do protótipo nas duas situações abordadas, a primeira com o sensor de posição utilizando o filtro de Kalman e uma segunda situação sem a utilização desse filtro, utilizando somente o sensor de detecção infravermelho, para compararmos e encontrarmos diferenças entre as abordagens para melhorias.

Para isso, uma matriz de confusão resume os resultados dos experimentos realizados, como mostra a Tabela 3, para os testes sem o sensor de posição e a Tabela 4 para os testes com o sensor de posição, utilizando o filtro de Kalman. Esse tipo de representação é uma ferramenta importante para avaliar os resultados de previsão porque facilita o entendimento e reage aos efeitos de previsões erradas. Ao exibir a quantidade e os percentuais em cada célula desta matriz, você pode consultar rapidamente com que frequência o modelo é previsto com precisão.

Através de uma amostragem, calculou-se a sensibilidade e a especificidade, em que a sensibilidade é dada pela proporção de obstáculos verdadeiros que são detectados como verdadeiros durante a amostragem, e a especificidade é dada pela proporção de falsos obstáculos que são detectados como falsos obstáculos na amostragem. Dessa forma temos, para a situação em que se utilizou somente a detecção do sensor infravermelho:

Amostragem: 17 objetos, 85 testes

Sensibilidade:  $TP/(TP+FN) \rightarrow 37/(37+8) = 0,82 \rightarrow 82\%$

Especificidade:  $TN/(TN+FP) \rightarrow 30/(30+10) = 0,75 \rightarrow 75\%$

TP: obstáculos e resultado positivo (verdadeiro positivo)

FN: obstáculos e resultado negativo (falso negativo)

FP: não-obstáculos e resultado positivo (falso positivo)

TN: não-obstáculos e resultado negativo (verdadeiro negativo)

Tabela 3 – Matriz de confusão experimento com sensor de detecção Infravermelho

		Situação detectada		
		OBSTÁCULO	NÃO OBSTÁCULO	TOTAL
Situação real	OBSTÁCULO	82% TP: 37	18% FN:8	100% 45
	NÃO OBSTÁCULO	25% FP:10	75% TN:30	100% 40

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nesse primeiro momento dos testes, tem-se os seguintes resultados: todos os usuários do sistema apresentaram um pouco de dificuldade com a utilização, por conta da detecção e da quantidade de falsos positivos identificados, observamos que isso refletiu nos resultados obtidos pela matriz de confusão, como podemos ver a sensibilidade de 82% e especificidade de 75%. Talvez um dos fatores que tenha influenciado nesse resultado seja a calibração do sensor, já que o mesmo dispõe de ajuste regulável para a detecção.

Já para a aplicação com o sensor de posição utilizando o Filtro de Kalman, apresentou os seguintes resultados:

Amostragem: 17 objetos, 85 testes

Sensibilidade:  $TP/(TP+FN) \rightarrow 42/(42+3) = 0,93 \rightarrow 93\%$

Especificidade:  $TN/(TN+FP) \rightarrow 38/(38+2) = 0,95 \rightarrow 95\%$

TP: obstáculos e resultado positivo (verdadeiro positivo)

FN: obstáculos e resultado negativo (falso negativo)

FP: não-obstáculos e resultado positivo (falso positivo)

TN: não-obstáculos e resultado negativo (verdadeiro negativo)

Tabela 4 — Matriz de confusão experimento utilizando sensor de posição com Filtro de Kalman

		<b>Situação detectada</b>		
		<b>OBSTÁCULO</b>	<b>NÃO OBSTÁCULO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Situação real</b>	<b>OBSTÁCULO</b>	93% TP: 42	7% FN:3	100% 45
	<b>NÃO OBSTÁCULO</b>	5% FP:2	95% TN:38	100% 40

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Já no segundo momento dos testes, têm-se os seguintes resultados: todos os usuários do sistema apresentaram um nível de dificuldade bem menor com relação a utilização no primeiro teste, observamos que isso refletiu nos resultados obtidos pela matriz de confusão, como podemos ver a sensibilidade de 82% subiu para 93% e especificidade de 75% subiu para 95%. Os fatores que podem ter influenciado nesse resultado são, primeiramente, por conta do nível de detecção que, agora, apresentou respostas melhores, e a quantidade de falsos positivos e falsos negativos caiu. Além disso, também podemos destacar que a velocidade de translado também aumentou gradativamente à medida que os usuários se familiarizaram e passaram a confiar no equipamento.

## 7.2 Teste de Observação

Os usuários concluíram o teste de observação em média em 25 minutos. Notou-se que os usuários apresentaram algumas dificuldades iniciais para a utilização da tecnologia. Ao iniciar, os participantes fizeram interrupção para saber qual era o momento certo de iniciar o teste, pois os usuários da avaliação não eram cegos, mas estavam vendados. As Figuras 36A e 36B apresentam momentos do teste de observação.

Figura 36 — Momentos do Teste de Observação



Sendo (A) o teste de usabilidade identificação de obstáculo frente e (B) o teste de Usabilidade Identificação de Obstáculo para cima

Fonte: Elaborado pelo Autor

Observamos que mesmo com os avisos sonoros e vibratórios enviados pelo aplicativo, informando que um obstáculo foi detectado, os participantes ainda utilizaram as mãos para confirmar a situação. Os participantes da avaliação fizeram algumas críticas relacionadas ao protótipo avaliado, destacamos que suas contribuições foram importantes para os avanços da pesquisa.

Em ambas as situações testadas, tanto com a situação em que o dispositivo estava somente com o sensor infravermelho, quanto na situação em que estava com sensor infravermelho junto com o sensor de posição, todos os usuários realizaram o teste de observação por completo, passaram por todos os cenários de avaliação e realizaram a identificação dos obstáculos.

Notou-se uma dificuldade maior por parte dos usuários nos cenários 2 e 4 com obstáculos, o cenário 2 porque nesse caso tinham três objetos diferentes para identificar no mesmo cenário e já com relação ao cenário 4 houve demora para a localização e identificação da janela. Já os cenários 1 e 3 com obstáculos, os usuários conseguiam identificar mais rápido, sem dificuldade. Com relação aos cenários que tinham a situação de falso positivo, os usuários não sentiram dificuldade, uma vez que, cada situação era comum de se fazer. Todavia, à medida que, os usuários estavam usando a tecnologia, identificar os obstáculos se tornava mais fácil.

Foi observado que uma curva de aprendizagem crescente foi desenvolvida pelos usuários, sendo um fator importante, pois os participantes passaram a confiar mais na eficiência da tecnologia. Ao final da avaliação, os participantes deram feedbacks considerando as dificuldades de uso, estrutura e funções ou sugestões de melhorias.

Em relação à usabilidade, as dificuldades apresentadas pelos usuários foram relacionadas à aplicação *Android*, pois ao dar o *feedback*, aconteceu de repetir o som ou vibrar mais de uma vez em uma mesma detecção. Uma outra observação foi que o aplicativo apresentou aos usuários uma confirmação de que estava pronto para utilizar. Os relatos dos participantes reforçam esse ponto aprendido com a avaliação: P1: “Gostei muito da proposta, mas precisam fazer melhorias no aplicativo, quando utilizei e detectou o obstáculo ele notificou duas vezes seguidas e a frase ficou cortada pela metade”; P2: “Só fiquei perdida por não saber quando deveria começar o teste”; P3: “É possível dizer a distância e ajustar a questão da vibração?”.

Os feedbacks relacionados à estrutura do dispositivo foram relacionados ao tamanho das caixinhas que ficam nas laterais dos óculos, ao cabo do sensor e ao peso. Vale ressaltar que avaliamos um protótipo em fase de desenvolvimento de melhorias, e as críticas dos usuários nos ajudam a propor uma tecnologia mais compacta e leve. Os comentários dos participantes que reforçam esse ponto foram: P4: “Eu achei o protótipo um pouco pesado”; P5: “Esse cabo conectado de uma caixa para outra não ficou legal, acredito que compactar o circuito de vocês eliminaria ele, além de que na parte onde tem a pilha ele estava mais pesado”; P3: “O peso do óculos está elevado, essa parte da pilha vai ficar fora da caixa mesmo? ”; P1: “Achei o tamanho meio grande, pode ser algo menor, mais discreto, se colocando no lugar de um PcD”.

Com relação a outros aspectos de melhorias, aprendemos com os participantes que podemos encaixar outras funções a nossa aplicação, de forma que possam beneficiar os usuários em questões como localização. Os comentários que reforçam são: P1: “Vocês já pensaram em encaixar uma função para detectar buracos?”; P3: “Vocês conseguem conectar os óculos com uma bengala? Para poder deixar os dois inteligentes?”; P4: “Já pensaram em geolocalização?”.

Já trazendo as lições aprendidas pelos observadores, foi possível perceber que no contexto e utilização, as dificuldades encontradas pelos usuários foram com a aplicação *Android*, que precisa passar por algumas melhorias com aspectos relacionados diretamente ao feedback. Outro fator que percebemos foi um pouco de incômodo com relação ao peso do dispositivo.

Ainda explorando as observações, podemos falar que os aspectos relacionados ao conforto do usuário foram identificados de acordo com o tempo de utilização. Os participantes sentiram-se mais à vontade quando já estavam mais familiarizados com tecnologia. Sendo assim, conforme fossem identificando cada obstáculo e recebendo o feedback através da interação com o aplicativo, os usuários foram se sentindo mais confortáveis em utilizar o dispositivo.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pessoas com deficiência visual vivenciam diariamente problemas em sua locomoção, principalmente para identificação de obstáculos em locais que a bengala comum não alcança. A locomoção segura nessas situações é necessária para evitar acidentes, a utilização de tecnologias assistivas como o proposto no trabalho contribuem para a prevenção desse tipo de situação desconfortável. Apresentamos uma versão atualizada de um par de óculos inteligentes em conjunto com uma aplicação para identificação de obstáculos localizados acima do nível da cintura. A ideia é inovar, agregando a um par de óculos comuns um sensor infravermelho com um longo alcance e um sensor de posição.

Posto isso, em nossa pesquisa, realizamos alguns testes com pessoas sem deficiência visual. O ambiente de teste foi um cenário controlado, na qual 4 dos 5 participantes não conheciam o local de teste. Os participantes apresentaram uma curva de aprendizado e evolução com a utilização, seguindo as definições estabelecidas com todas as preocupações éticas.

A avaliação de interação, embora limitada por não termos algum usuário cego, foi um momento bem importante, pois foi possível identificar problemas ligados à usabilidade, estrutura e evolução do projeto, relatados pelos participantes da avaliação. Dessas observações notadas pelos usuários, podemos mencionar problemas encontrados na aplicação Android com relação ao feedback, peso do dispositivo, tamanho do dispositivo no geral.

A partir dos feedbacks dos usuários, será feito um novo *design* considerando a customização e minimização de componentes a serem utilizados sem que as funções do dispositivo sejam prejudicadas. Além disso, destacamos a possibilidade de integração de novas funções na aplicação *Android*, que não implicam em mudanças no *hardware*, como o GPS.

Os resultados dos experimentos em laboratório foram promissores, haja vista que a utilização do Filtro de Kalman, incorporado ao sensor de posição, auxiliou de maneira positiva para a redução de situações em que se encontram falsos positivos e falsos negativos, os resultados de sensibilidade e especificidade expressaram esse comportamento.

O presente trabalho ainda necessita de melhorias, em trabalhos futuros inicialmente serão implementadas novas funções para reconhecimento, tais como, andar, sentar. Além

disso, é previsto também o reconhecimento da situação de detecção de quedas do usuário. Em relação ao *Hardware*, será desenvolvida uma placa de circuito customizada, de forma que minimize o tamanho do dispositivo e possa ser mais leve e discreta para o usuário. Após todas as modificações novos experimentos serão feitos, e serão testados com usuários cegos, seguindo todos os princípios éticos.

## REFERÊNCIAS

- AGARWAL, Rohit et al. Low cost ultrasonic smart glasses for blind. In: **2017 8th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)**. [S.l.]: IEEE, 2017. p. 210-213.
- ALMEIDA, Rodrigo LA et al. WatchAlert: Uma evolução do aplicativo fAlert para detecção de quedas em smartwatches. In: **Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web**. [S.l.]: SBC, 2016. p. 124-127.
- BAGGIO, Miguel Angelo et al. PADEVI–Protótipo de Auxílio a Deficientes Visuais. **Revista de Empreendedorismo, Inovação e Tecnologia**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 45-57, 2015.
- BARBOSA, Simone; SILVA, Bruno S. **Interação humano-computador**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- BARROS, Edna; CAVALCANTE, Sérgio. Introdução aos sistemas embarcados. **Artigo apresentado na Universidade Federal de Pernambuco - UFPE**, Recife – PE, p. 36, 2010.
- BERNARD, H. Russell. **Research methods in anthropology: Qualitative and quantitative approaches**. [S.l.]: Rowman & Littlefield, 2017.
- BERSCH, RITA; TONOLLI, J. C. **Introdução ao conceito de Tecnologia Assistiva e modelos de abordagem da deficiência**. Bengala Legal, 2006. Disponível em: <http://www.bengalalegal.com/tecnologia-assistiva>. Acesso em: 28 set. 2020.
- BERSCH, Rita de Cássia Reckziegel. **Design de um serviço de tecnologia assistiva em escolas públicas**. 2009. 231 f. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-Graduação em Design, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BORGES, L. P.; DORES, R. de C. **Automação predial sem fio utilizando BACnet/ZigBee com foco em economia de energia**. Brasília: UnB, Departamento de Engenharia Elétrica, 2010. 88 f. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-no 06, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2010.
- BOUGIE, Ir Theo. **ISO 9999 assistive products for persons with disability - Classification and terminology**. [S.l.: s.n.], 2008. p. 117 – 126. ISBN 9780470379424.

BRASIL. **Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência**. Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República. Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência. Brasília - DF, 2007b.

BRASIL, Legislação. Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004. **Regulamenta as Leis**, nº 10.048, de 8 de novembro de 2000, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Brasília, DF, dez 2004.

BRASIL, Lei 13.146 de 06 de julho de 2015. **Dispõe sobre a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência**, 2015. Brasília, DF, jul 2015.

BRASIL, S. **Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência**. Comitê de Ajudas Técnicas. Tecnologia Assistiva. – Brasília: CORDE, 2009.

CARDIN, S.; THALMANN, D.; VEXO, F. A wearable system for mobility improvement of visually impaired people. **The Visual Computer**, [S.l], v. 23, n. 2, p. 109-118, 2007.

CARRO, Luigi; WAGNER, Flávio Rech. **Sistemas computacionais embarcados: Jornadas de atualização em informática**. UNICAMP, Campinas - SP, 2003.

COLEY, Gerald. Beaglebone black system reference manual. **Texas Instruments, Dallas**, v. 5, 2013.

CORRÊA, P. Acessibilidade: conceito e formas de garantia. **Revista Brasileira de Educação Especial**, [S.l] n. 15, v. 1, p. 171-172, 2009.

CUNHA, Alessandro F. O que são sistemas embarcados. **Saber Eletrônica**, v. 43, n. 414, p. 1-6, 2007.

OLIVEIRA, Waldri dos S.; & GONÇALVES, E N. Implementação em c: filtro de kalman, fusão de sensores para determinação de ângulos. **ForScience**, v. 5, n. 3, 24 nov. 2017.

GONÇALVES, L. de O.; SILVA, T. R. R. da. **Diferenças físicas, funcionais e na qualidade de vida de deficientes visuais congênitos e adquiridos**. Juiz de Fora – MG. 2017.

GUERRA, Camila S.; FERREIRA, Carlos A.; VASCONCELOS, Gabriel; SARAIVA, Letícia; MARTINS, Marcelo; AGUILAR, Paulo A.; DUTRA, Roberta. Smart glasses: óculos inteligente para deficientes visuais. In : MEDOLA, Fausto Orsi; PASCHOARELLI, Luis Carlos (Org.). **Tecnologia Assistiva - Pesquisa e Conhecimento II**. 1.ed. Canal 6 editora, 2018. p. 207-218.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 28 jan. 2019.

FILIFEFLOP. **Placa Arduino Leonardo pro micro 5V**. [S.l]: FilipeFlop, 2020. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/placa-leonardo-pro-micro-5v/>. Acesso em: 10 set. 2020.

FILIFEFLOP. **Sensor de proximidade Infravermelho**. [S.l]: FilipeFlop, 2020. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-proximidade-infravermelho/>. Acesso em: 10 set. 2020.

INVENSENSE. 2013. **MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification**, Revision 3.4. Sunnyvale, United States of America.

MANZINI, Eduardo José. Inclusão e acessibilidade. **Revista da Sobama**, UNESP Marília - SP. v. 10, n. 1, p. 31-36, 2005.

MICROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. 2º Edição, São Paulo – SP: Novatec Editora Ltda. 2015.

MELO, A. M.; BARANAUSKAS, M. C. C. Design e avaliação de tecnologia web-acessível. In: **Congresso da Sociedade Brasileira de Computação**. [S.l.: s.n.], 2005. v. 25, p. 1500-1544.

MULTILOGICA-SHOP. **LilyPad Power Supply**. [S.l]: Multilogica-Shop, 2020. Disponível em: [is.gd/sVySRs](https://is.gd/sVySRs). Acesso em: 20 jun. 2020.

NADA, A. A.; FAKHR, M.A.; SEDDIK, A.F. Assistive Infrared Sensor Based Smart Stick for Blind People. In: IEEE. **2015 Science and Information Conference (SAI)**. [S.l.], 2015. p.1149–1154.

OLIVEIRA, F. C. De M. B. **Enabling the blind to see gestures**. 2010. 310 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Virginia Polytechnic Institute e State University. Blacksburg, Virginia. 2010.

PATSKO, L. F. Tutorial: Aplicações, funcionamento e utilização de sensores. **Maxwell Bohr: Instrumentação Eletrônica**, [S.l.]. 2006.

PEREIRA, S. R. C. **Orientação e Mobilidade para Cegos: relevância do atendimento desde a infância até a universidade.** Instituto Itard, 2018. Disponível em: <https://institutoitard.com.br/orientacao-e-mobilidade-para-cegos-relevancia-do-atendimento-desde-infancia-ate-universidade/>. Acesso em: 02 set. 2020.

PIVA, L. S. et al. falert: Um sistema android para monitoramento de quedas em pessoas com cuidados especiais. In: **Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web.** [S.l]: SBC, 2014. p. 74-77.

RADABAUGH, M. P. **NIDRR's Long Range Plan-Technology for access and function research section two: NIDRR Research Agenda Chapter 5: Technology for access and function.** [S.l], 1993.

REBOUÇAS, C. B. d. A.; ARAÚJO, M. M. d.; BRAGA, F. C.; FERNANDES, G. T.; COSTA, S. C. Avaliação da qualidade de vida de deficientes visuais. **Revista Brasileira de Enfermagem**, SciELO Brasil, v. 69, n. 1, p. 72–78, 2016

ROGERS, Yvonne; SHARP, Helen; PREECE, Jennifer. **Design de Interação.** [S.l]: Bookman Editora, 2013.

SANTOS, J.; VASCONCELOS, T. C.; DINIZ, R. B. Acessibilidade com fator de inclusão às pessoas com deficiência. **REVISTA EDUCAÇÃO INCLUSIVA**, v. 2, n. 1, p. 35–53, 2018.

SIXSMITH, Andrew; JOHNSON, Neil. A smart sensor to detect the falls of the elderly. [S.l]: **IEEE Pervasive computing**, v. 3, n. 2, p. 42-47, 2004.

STROSKI, P. N. **O que é filtro de Kalman?** [S.l]: Electrical e library, 2019. Disponível em: [is.gd/U3UopK](https://is.gd/U3UopK). Acesso em: 20 set. 2020.

STUDIO, ITead. HC-05–Bluetooth to Serial Port Module. **Datasheet, June**, 2010.

TAVARES, J.; MAZZONI, A.; RODRIGUEZ, A.; ALVES, J. Aspectos ergonômicos da interação com caixas automáticos bancários de usuários com necessidades especiais características de idosos. In: **Anais do Congresso Ibero-americano de Informática Educativa Especial.** [S.l.:s.n.], 2002.

THOMSEN, Adilson. **O que é Arduino.** [S.l]: Filipeflop. v. 17, 2019. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em: 28 jan. 2019.

THYLEFORS, Bjorn. A global initiative for the elimination of avoidable blindness. [S.l]: **Community Eye Health**, v. 11, n. 25, p. 1, 1998.

UGULINO, Wallace; FUKS, Hugo. Landmark identification with wearables for supporting spatial awareness by blind persons. In: **Proceedings of the 2015 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing**. [S.l]: ACM, 2015. p. 63-74.

UPTON, E.; HALFACREE, G. **Raspberry Pi user guide**. [S.l]: John Wiley e Sons, 2014.

WEISHALN, R. **Orientation and mobility in the blind children**. New York: Englewood Cliffs, 1990.

WENDLING, M. **Sensores**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, v. 2, p. 20, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. **World report on disability 2011**. [S.l]: World Health Organization, 2011.

ZHENG, Y.-L.; DING, X.-R.; POON, C. C. Y.; LO, B. P. L.; ZHANG, H.; ZHOU, X.-L.; YANG, G.-Z.; ZHAO, N.; ZHANG, Y.-T. Unobtrusive sensing and wearable devices for healthinformatics. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, [S.l]: IEEE, v. 61, n. 5, p. 1538–1554, 2014.

## APÊNDICE A

Termo de Consentimento

Nome do projeto: \_\_\_\_\_

Instituição a que pertence: \_\_\_\_\_

Você \_\_\_\_\_ está sendo convidado(a) a participar de um estudo em cima de um Dispositivo Vestível Para Auxiliar Deficientes Visuais na Detecção de Obstáculos e Quedas, o mesmo é um protótipo que está sendo desenvolvido por alunos do curso de Engenharia de Computação, na Universidade Federal do Ceará, Campus Quixadá. A ferramenta se consiste em um par de óculos que possui um sensor que detecta objetos acima da cintura do usuário. Ela possui comunicação via *bluetooth*, que ajuda a alertar a presença de objetos próximo ao usuário.

Eu, Marcelo, sou o responsável pelo projeto, e tenho o objetivo de testar o funcionamento desse dispositivo em campo. Avaliando alguns fatores que podem ser importantes no desenvolvimento futuro dessa ferramenta.

Usaremos gravação de voz para confirmar a sua participação no teste. Você deve dizer seu nome, e após declarar que se voluntaria a participar do teste.

Sua participação envolve realizar algumas tarefas com o protótipo, das quais serão gravadas em vídeo para futuras análises. Onde será realizado antecipadamente, uma pequena entrevista pré-teste, as tarefas e após isso uma entrevista pós-teste. A duração dessa avaliação é de aproximadamente 15 minutos. A participação sua nesse estudo será voluntária e se você decidir não participar mais ou quiser desistir de continuar em qualquer momento, tem absoluta liberdade de fazê-lo. Você também tem acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais durante e depois do estudo.

Na publicação dos resultados desta pesquisa, sua identidade será mantida no mais rigoroso sigilo. Serão omitidas todas as informações que permitam identificá-lo(a).

Mesmo não tendo benefícios diretos em participar, você estará contribuindo para a compreensão do fenômeno estudado e para a produção de conhecimento científico.

Quaisquer dúvidas relativas à pesquisa poderão ser esclarecidas pelo(s) pesquisador(es) fone 85 9 8569-1271/ 85 9 9661-1108.