

Desenvolvimento de Tecnologias Assistivas, de baixo custo, para mobilidade autônoma de pessoas cegas

Hilson G. Vilar de
Andrade
IFPE
Av. Prof. Luis Freire, 500
Curado, Recife/PE
hilsonvilar@recife.ifpe.edu.br

David de M. Borges
IFPE
Av. Prof. Luis Freire, 500
Curado, Recife/PE
dmb@a.recife.ifpe.edu.br

João Lucas A. de
Albuquerque
IFPE
Av. Prof. Luis Freire, 500
Curado, Recife/PE
jlaa@a.recife.ifpe.edu.br

Aida A. Ferreira
IFPE
Av. Prof. Luis Freire, 500
Curado, Recife/PE
aidaferreira@recife.ifpe.edu.br

Gilmar G. de Brito
IFPE
Av. Prof. Luis Freire, 500
gilmarbrito@recife.ifpe.edu.br

Thiago José A. de Souza
IFPE
Av. Prof. Luis Freire, 500
Curado, Recife/PE
tjas@discente.ifpe.edu.br

ABSTRACT

This work presents two proposals for assistive technologies, with low cost of implantation and use, that aim to allow the circulation of the blind in large urban centers, with low cost of implantation and operation. The first one, presents a sensory cane, for the detection of obstacles by pedestrian proposals. The following proposal describes a bus detection system based on Bluetooth low energy (BLE) technology, with the objective of facilitating the boarding of blind people, or people with low vision, on buses. A given system was built and field tested at 91.5%, indicating the feasibility of the proposal.

CCS Concepts

•Human-centered computing → Accessibility systems and tools;

Keywords

Tecnologias Assistivas; Sistemas Embarcados; Aprendizagem de máquina

1. INTRODUÇÃO

Embora presente na Declaração Universal dos Direitos Humanos, o direito da livre locomoção não é garantido a todos, especialmente para as pessoas cegas. Este público, estimado globalmente em 285 milhões de pessoas [1], encontra uma grande barreira para uma locomoção autônoma, principalmente através do uso do transporte público, nos grande centros urbanos. Diante desse cenário, o desenvolvimento de tecnologias assistivas voltadas a essa questão é fundamental.

Nesse contexto, este artigo apresenta duas propostas de

envolvidas no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), que consistem em importantes contribuições de pesquisa para o atendimento dessa demanda, visto que atendem os requisitos de baixo custo de implantação e operação, auxiliando tanto no deslocamento a pé, quanto no embarque em transporte coletivo (ônibus). Na Seção 2, são apresentados cinco trabalhos com objetivos similares, sendo três abordando a questão da detecção de obstáculos (bengalas) e dois trabalhos voltados à detecção da proximidade de ônibus, ambos com o objetivo de facilitar o deslocamento das pessoas cegas ou com baixa visão. Na Seção 3, são descritos os detalhes construtivos da bengala sensorial e do sistema de detecção de aproximação dos ônibus, incluindo a tecnologia de comunicação usada, os componentes de *hardware*, *software* e avaliação de desempenho. Por fim, a Seção 4 apresenta as conclusões da pesquisa e os trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

2.1 Detecção de obstáculos

Visando desenvolver um dispositivo sensorial para o deslocamento de pedestres cegos, foi proposto o desenvolvimento de uma bengala capaz de detectar obstáculos e informar sua presença ao usuário, de forma mais eficiente que a bengala para comum. Para tal, partiu-se da revisão bibliográfica, onde projetos com objetivos similares foram estudados com o intuito de entender melhor a problemática apresentada, além de soluções já desenvolvidas e os problemas encontrados em seu desenvolvimento.

O artigo “Desenvolvimento de uma Bengala Automatizada Utilizando Arduino para Deficientes Visuais” relata a criação e testes de uma bengala sensorial utilizando sistemas embarcados Arduino, sensores ultrassônicos simples e buzzers para envio de resposta auditiva. Na bengala existem dois sensores em cada extremidade cujo ângulo de inclinação é de 90° em relação ao solo. Após os testes, os principais pontos destacados pelos usuários foram o peso da bengala e o seu tamanho curto [2]. Ao analisar o trabalho conclui-se que foi obtido um bom resultado na detecção de obstáculos, porém a comunicação com o usuário através do som de buzzers pode

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

não ser a mais adequada devido a interferência de sons externos. Isso reforçou a necessidade de testar a comunicação tátil com motores de vibração neste trabalho.

Por sua vez, o artigo “Desenvolvimento de uma Bengala Eletrônica para Deficientes Visuais” traz uma abordagem diferente para o problema, propondo a construção de um protótipo com um sensor de RFID embutido, capaz de ler sinais RFID presentes no ambiente e, assim, estimar a localização do usuário [3].

Outro projeto similar aos descritos anteriormente foi o intitulado “Bengala inteligente: um modelo para apoio à navegação de deficientes visuais baseado em reconhecimento de cores”. Para tal, o mesmo utiliza sensores de cores para identificar situações específicas a través de marcadores coloridos posicionados em elevadores, faixas de pedestre e escadas [4]. Essas opções de desenvolvimento foram descartadas devido à necessidade de construir uma infraestrutura de emissores RFID ou indicadores coloridos nos locais em que a tecnologia viesse a ser utilizada, o que iria contra a proposta de criar um dispositivo que possa ser utilizado em qualquer lugar, com baixo custo de manutenção. Além disso, a quantidade de informação obtida por esses dispositivos não seria adequada para transmissão apenas através de motores de vibração.

2.2 Detecção de aproximação do ônibus

Superada a questão da detecção de obstáculos, para deslocamento até o ponto de embarque dos ônibus, etapa seguinte para o deslocamento autônomo das pessoas cegas ou com baixa visão, o próximo passo é o uso de métodos que auxiliem no embarque aos mesmos. Para tal, foram encontradas na literatura duas propostas.

A primeira, propõe um Sistema de Notificação de Ônibus [5] utilizando uma comunicação através da tecnologia bluetooth entre o ônibus, o local de embarque/desembarque e o dispositivo móvel do usuário (cliente bluetooth). Para validar a proposta, foi desenvolvido um protótipo onde foi colocado um servidor no local de parada do ônibus, conectado através de um adaptador bluetooth com o dispositivo do usuário e um cartão dedicado para conectar com o ônibus, recebendo assim o sinal de todos os transportes que passam pelo local de embarque. Além da necessidade de estabelecer conexões entre os dispositivos dos usuários com o servidor, e do servidor com os ônibus, o que impõe limitações ao sistema, esta proposta exige a implantação de infraestrutura adicional nos locais de embarque, para acomodação do próprio servidor.

Considerando o conceito de utilização da comunicação sem fio de curto alcance para notificação de usuários de aproximação de ônibus, destaca-se outra abordagem baseada no uso de RFID [6]. Nesta pesquisa, foram propostos dois subsistemas (um no ônibus e outro na estação), conectados a um banco de dados, onde são inseridos os dados do usuário no momento da compra da passagem. Tanto a rodoviária, quanto o ônibus e os passageiros possuem uma etiqueta RFID e ela é utilizada na comunicação entre a estação e o ônibus, quando os dois trocam seus identificadores e verificam se o ônibus passará no ponto de ônibus em questão, bem como se houvesse usuários com necessidades especiais, para que o ônibus fosse anunciado pelo locutor.

Em ambos os sistemas descritos acima, além da necessidade de implantação de infraestrutura adicional nas estações de embarque, o que representa um aumento no custo de implantação e manutenção da solução, há também a necessi-



Figure 1: Motor de vibração

dade de conexão a um servidor central ou banco de dados, para atualizar periodicamente a posição do mesmo, em relação ao usuário. No sistema proposto neste trabalho, a necessidade de infraestrutura adicional nos locais de embarque é substituída pela utilização de um aplicativo a ser implantado no smartphone do usuário, cuja interação com o dispositivo a ser implantado no ônibus ocorrerá a partir da leitura de mensagens periódicas (*beacons*), ou seja, sem a necessidade de estabelecer conexão entre os dispositivos envolvidos. Além das informações do itinerário, a serem utilizadas pela aplicação do sistema para geração de mensagens sonoras, tais mensagens também serão utilizadas para determinar a distância do mesmo em relação ao usuário, com base no cálculo realizado conforme para RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) [7] e a aceleração do ônibus, conforme detalhado na Seção 3.

3. SISTEMAS PROPOSTOS

3.1 Bengala Sensorial

Finalizada a etapa de revisão bibliográfica, descrita na Seção 2, estipulou-se que a bengala funcionaria a partir de três blocos que consistem em bloco de sensores, bloco de controle e bloco de processamento. O bloco de sensores é responsável por captar informações do mundo externo, o bloco de atuadores é responsável por se comunicar com o usuário e o bloco de controle é responsável por processar as informações captadas pelos sensores. Dentre as alternativas observadas na revisão bibliográfica decidimos utilizar sensores de distância ultrassônicos do modelo HC-SR04, que possibilitam calcular a distância de um objeto através do tempo de retorno de uma onda ultrassônica emitida pelo mesmo. Apesar desses sensores apresentarem velocidade limitada e sofrer com distorções devido ao eco de ondas ultrassônicas sua medição ainda é precisa o suficiente para esta aplicação. No total, foram utilizados 3 sensores que são responsáveis por detectar buracos, obstáculos na altura dos joelhos e obstáculos na altura da cintura.

Para o bloco de controle diversos modelos de placas para prototipagem foram analisados como o Arduino uno, Arduino nano, e placas baseadas em microcontroladores esp32. Por fim, o modelo Wemos D1 Minibaseada em esp32 foi escolhido devido seu tamanho compacto e a presença das tecnologias Bluetooth e Wi-Fi embutidas no chip.

O bloco de atuadores é composto por micromotores de vibração. Durante o processo de desenvolvimento da bengala diferentes tipos de micro motores foram testados com o intuito de descobrir quais apresentavam melhor resposta à aplicação do projeto, sendo adotado para o projeto o modelo apresentado na figura 1.

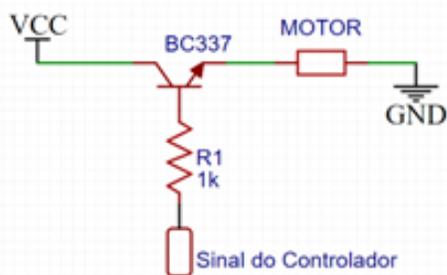


Figure 2: Circuito Driver

Apesar do tamanho ideal para o posicionamento no interior da bengala, os motores de vibração consomem uma corrente maior do que aquela suportada por uma GPIO do microcontrolador. Visando contornar tal problema, um circuito simples de driver foi desenvolvido utilizando um transistor do modelo bc337 e um resistor, figura 2. Na bengala são utilizados 3 motores juntamente com seus respectivos drivers para informar a presença de obstáculos ao usuário.

O diagrama esquemático do circuito da Bengala sensorial, vide figura 3, serviu como guia para a montagem do protótipo e apresenta a forma como todos esses componentes foram ligados uns aos outros. Nesse esquemático também é possível ver um botão ligado a uma GPIO da placa controladora. Este botão foi utilizado em conjunto com a tecnologia Bluetooth para conectar-se a um smartphone para controlar uma função do aplicativo Synesthesia [8], utilizado em conjunto com a bengala. No estado atual de desenvolvimento, o botão é responsável por informar as horas ao usuário.

O software Fusion 360 foi utilizado para criação do espaço onde os componentes eletrônicos foram dispostos e que também serve como cabo da bengala sensorial. Além disso, também foram modelados suportes para fixar os sensores ao cano de forma que sua altura de cada sensor ainda fosse regulável. A regulagem deve ser feita de forma que o sensor A esteja na altura da cintura, o sensor B esteja na altura dos joelhos e o sensor C esteja apontando para o chão. A figura 4 consiste em uma renderização 3D da bengala com as partes em vermelho sendo impressas em 3D e as partes pretas feitas com canos de PVC.

A montagem do protótipo deu-se logo após a impressão de todas as partes utilizando impressoras Da Vinci Pro e filamento PLA genérico. O PLA foi escolhido pela facilidade de impressão, baixo custo e por ser um material biodegradável. E uma placa de circuito foi criada unindo os três *drivers* para motores, figura 5.

Inicialmente pretendia-se utilizar a bengala de forma vertical, no entanto, após a fase de testes do protótipo, percebeu-se que nesta posição a detecção de buracos era muito tardia. Assim, mudou-se a bengala para uma posição inclinada com cerca de 40 graus em relação ao chão (similar a uma bengala para cegos tradicional). Apesar dessa modificação garantir que o sensor para buracos esteja mais à frente do usuário, a inclinação fez com que a leitura de todos os sensores se tornasse extremamente imprecisa devido às características físicas de reflexão das ondas ultrassônicas emitidas pelos sensores. Para contornar esse problema, novos suportes foram

modelados e impressos - conforme figura 6, dessa vez adicionando um ângulo complementar responsável por manter os sensores perpendiculares às superfícies desejadas. Ao total foram três configurações consideradas para a disposição de tipos de suporte para os sensores na bengala, vide figura 7.

O funcionamento código final do protótipo consiste em uma checagem de cada sensor/botão e, então, da tomada de decisões de acordo com o valor encontrado no sensor/botão. Caso o botão esteja pressionado, uma *string* correspondente ao comando é enviada ao aplicativos via Bluetooth. Em seguida os sensores de obstáculos são lidos e sua informação é processada de forma que caso o obstáculo esteja a menos de um metro de distância o motor correspondente é acionado e sua intensidade aumenta de acordo com a proximidade do obstáculo.

Por fim, o sensor responsável por captar buracos é lido e caso a distância captada seja maior que o habitual (ou seja, há um desnível) o motor correspondente é acionado. Cada um dos motores consegue variar a sua intensidade de vibração graças a técnica de PWM (modulação de largura de pulso) utilizada nas 3 GPIOs da wemos d1 mini que controlam os motores de vibração. Essa técnica permite alterar a tensão nos motores através do controle da largura de pulso da tensão de alimentação e conseqüentemente a intensidade de vibração. Na figura abaixo estão os 3 canais de PWM observados em um osciloscópio, figura 8.

O protótipo final foi montado utilizando todos os componentes já citados juntamente a uma bateria para seu circuito mini USB que deve ser ligada a um *Power Bank* para alimentação do circuito. Isso garante que o cabo da bengala não seja muito pesado e tenha menor volume. As figuras 9 e 10 apresentam a montagem final e a forma de uso da bengala respectivamente.

3.2 BlindMobi

A arquitetura básica da solução proposta para auxiliar no embarque seguro ao ônibus, a partir de mensagens de voz, pelas quais é identificada a aproximação do ônibus - além do itinerário e da parada no local de embarque - é composto por um dispositivo eletrônico a ser embutido em veículo e por um aplicativo a ser instalado no smartphone do usuário [9]. Para tal, a troca de informações entre um módulo embarcado no ônibus e o aplicativo instalado no aparelho celular é feita através da tecnologia de comunicação sem fio BLE (detalhado na Seção 3.2.1), sem o estabelecimento da conexão, ou seja, o aplicativo lê as mensagens periódicas enviadas e extrai as informações necessárias para o seu funcionamento.

A arquitetura do sistema proposto é mostrada na Figura 11. As áreas tracejadas delimitam o *hardware* a ser embarcado no veículo, mostrando as interfaces do mesmo com o sistema de energia e com o painel de exibição da rota do ônibus, onde será obtida a informação a ser anunciada pelos *beacons* transmitidos via BLE. À direita é detalhada a arquitetura do aplicativo desenvolvido para ser instalado no dispositivo móvel do usuário final, cujas funcionalidades são descritas na Seção 3.2.3. O sistema proposto busca atender os seguintes requisitos:

- O sistema deve gerar uma mensagem de orientação clara sobre a aproximação do ônibus (e parada) no local do embarque;
- O sistema deverá utilizar faixas de frequências não-licenciadas e reservadas para aplicações de fins indus-

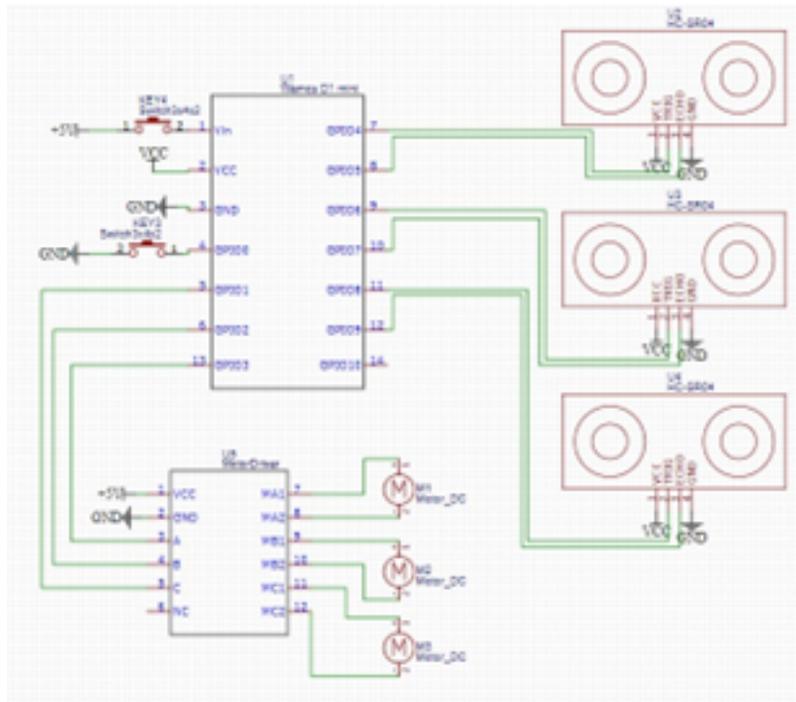


Figure 3: Esquemático Bengala

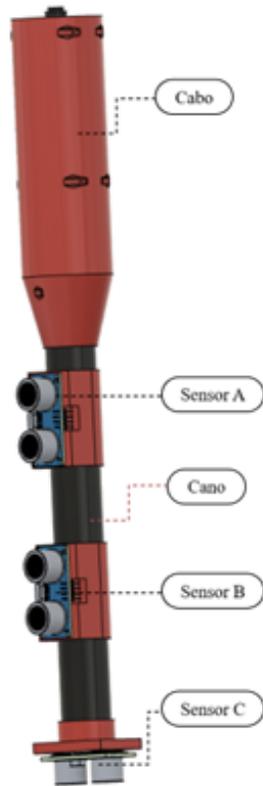


Figure 4: Bengala



Figure 5: Cabo com circuito da bengala montado



Figure 6: Novo suporte de motores



Figure 7: Configurações testadas

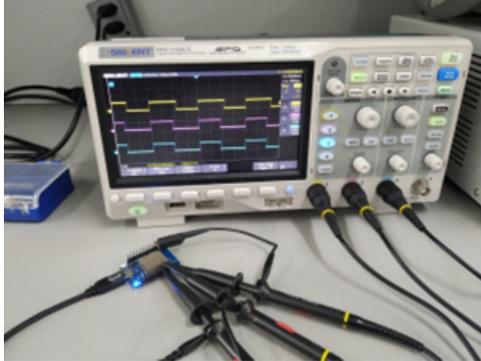


Figure 8: Canais de PWM em um osciloscópio



Figure 9: Protótipo final



Figure 10: Forma de uso da bengala

triais, científicas e médicas (ISM);

- O sistema não deverá ter restrições de números de usuários simultâneos;
- O sistema deverá ser acionado por mensagens de voz, retornando como saída mensagens também audíveis.

3.2.1 Tecnologia Bluetooth Low Energy

Dentre as diversas tecnologias sem fio de baixo consumo, como RFID, ZigBee e 6LoPan, o *Bluetooth Low Energy* (BLE) destaca-se por sua eficiência energética e facilidade de integração com dispositivos móveis. Sucessor do bluetooth clássico e também conhecido como bluetooth smart ou bluetooth 4.0, o BLE unifica as vantagens de baixo consumo de energia e a compatibilidade com *smartphone*, sendo por isso cada vez mais adotado. A facilidade de integração entre os "beacons" BLE e os *smartphones*, tem promovido diversos casos de uso, especialmente entre os aplicativos de IoT embarcados, exigindo menos esforços humanos para realizar qualquer tarefa [10], encaixando-se perfeitamente em aplicativos voltados às tecnologias assistivas, como apresentado neste trabalho.

Nos últimos anos, envio de mensagens periódicas utilizando-se a tecnologia BLE tem sido largamente utilizado para inovações nos mais diversos segmentos [11], tais como na localização e rastreamento internos (aplicadas a museus e centros de compra, entre outros) na ajuda a deficientes físicos, na economia de energia em escritórios e casas inteligentes. No protótipo utilizado para validação do sistema proposto [9], o BLE foi utilizado não apenas para enviar beacons contendo o itinerário e o estado de repouso ou movimento do ônibus, mas também para determinar a distância do ônibus ao usuário, informação fundamental para o funcionamento do sistema. Para esta funcionalidade, foram utilizados dois algoritmos de localização específicos [12] [13], obtendo-se resultados bastante satisfatórios conforme será apresentado na Seção 3.2.5.

3.2.2 Descrição do hardware

A principal função desse subsistema da solução, a ser implantado no ônibus, é a geração e envio dos beacons BLE, que serão lidos pelo aplicativo instalado no *smartphone* do usuário. Conforme mostrado na Figura 2, o processo inicia-se com a definição da rota do veículo, que pode ser inserida pelo motorista através de uma interface específica para este fim, ou coletada diretamente do controlador do display do veículo, por exemplo, através de uma interface serial. A segunda informação enviada nos anúncios periódicos é a variação de velocidade (repouso ou movimento) do veículo, coletada através de um acelerômetro presente no módulo. Com essas informações é montada uma mensagem, dentro de uma variável com 16 bits, e enviada a uma frequência de 51,61 Hz, via BLE.

3.2.3 Descrição do aplicativo

Com a função de ler as mensagens enviadas pelo subsistema descrito na seção anterior e instalado no aparelho celular do usuário, com suporte para os sistemas operacionais IOS e Android, o aplicativo pode ser dividido em dois estágios:

- *Estágio Inicial*: Uma vez que o aplicativo é iniciado e a informação da rota de transporte desejada é recebida pelo usuário, convertida de voz para texto com o

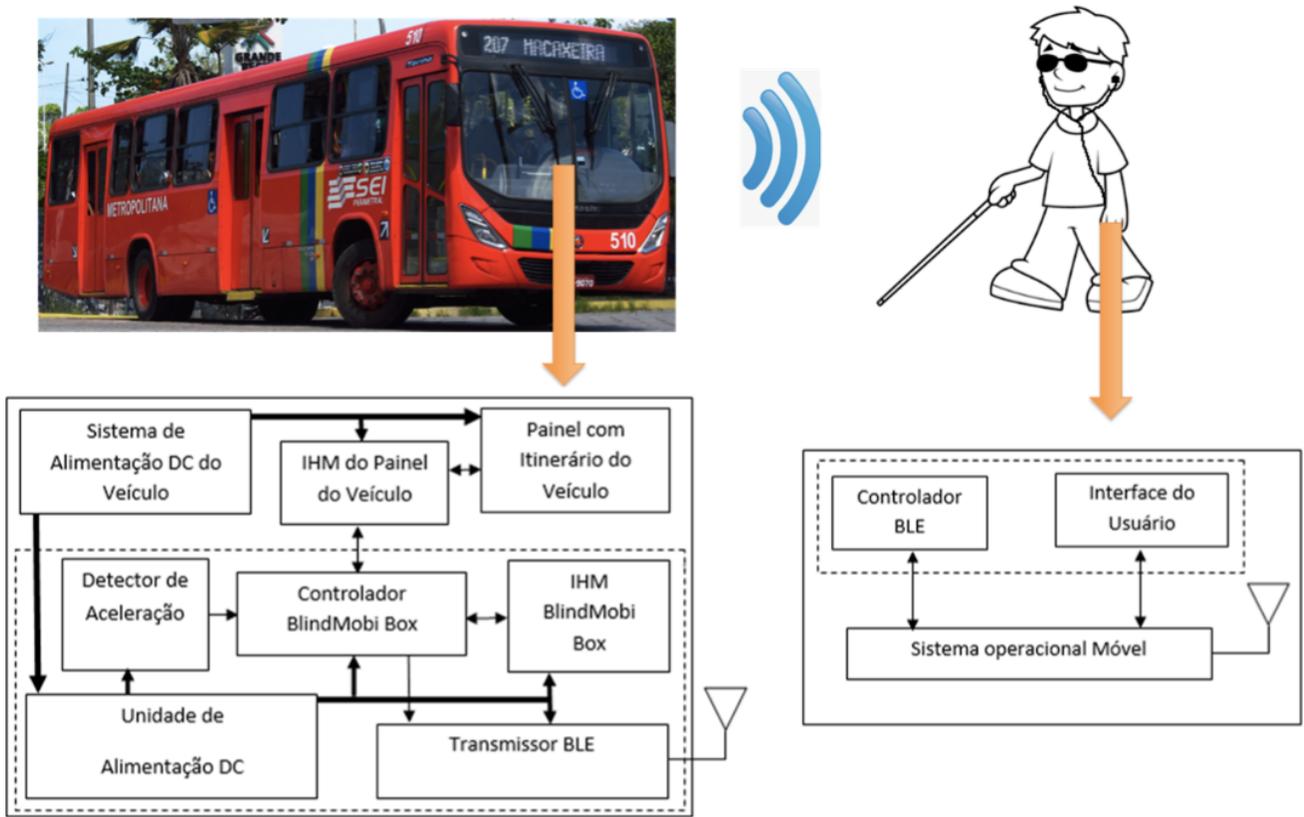


Figure 11: Arquitetura do Sistema Proposto

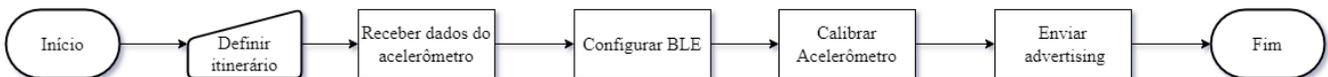


Figure 12: Diagrama da geração dos beacons no hardware instalado no ônibus

auxílio de uma API específica, o aplicativo ativa a comunicação BLE no estado de espera de requisições de outros dispositivos. Em seguida, ao receber o beacon, o aplicativo confirma a validade desse sinal e extrai os dados do sinalizador (RSSI + itinerário + aceleração), para o cálculo da distância, a ser detalhado na seção 3.2.4. Na Figura 13, o fluxograma do estágio inicial do aplicativo é exibido.

- *Estágio Final*: Como descrito na Figura 14, uma vez calculada a distância do ônibus, a partir das informações recebidas pelos beacons BLE e da utilização de algoritmos de aprendizado de máquina com técnica de "fingerprinting" detalhada na seção de implementação e testes, são geradas as mensagens "ônibus chegando" - quando o itinerário do ônibus detectado coincide com o trajeto do ônibus desejado (informado pelo usuário na fase anterior) e o mesmo está a uma distância superior a 12m e em movimento; e a mensagem "ônibus chegou", se a distância do ônibus for menor que 12m e ele estiver parado.

3.2.4 Implementação e Testes

Para validar a funcionalidade do sistema proposto, um protótipo foi construído e testado. Para tal, foi utilizado o kit de desenvolvimento PCA 10040, da Nordic. As principais características desse kit são:

- nRF52832 flash-based ANT/ANT+, solução Bluetooth Low Energy SoC;
- Botões, LEDs e interfaces I/O;
- Depurador de erros SEGGER J-Link OB.

Considerando o alto grau de variabilidade do parâmetro RSSI, devido a faixa de frequência usada pela tecnologia BLE, que opera na faixa de microondas (2,4 GHz), sendo portanto susceptível a fenômenos que degradam o sinal, tais como interferência, difração e reflexão e outras influências do meio de propagação, foram utilizados algoritmos de aprendizagem de máquina para estabelecer uma relação mais linear entre o nível de sinal de RSSI recebido e a distância do receptor ao veículo. Dada as limitações de *hardware*, optou-se por duas técnicas de aprendizagem supervisionada: K-NN (*K-Nearest Neighbor*) e Árvore de Decisão.

O algoritmo K-NN é uma abordagem para classificação de dados que estima a probabilidade de um determinado dado ser membro de um grupo de dados ou de outro, dependendo do ponto do dado do grupo mais próximo a ele. Para avaliar o agrupamento entre esses pontos, que no sistema proposto são equivalentes aos valores de RSSI e aceleração (eixos x, y e z), foi utilizada a distância euclidiana. Assim, a partir dos valores recebidos, foram atribuídas cinco classes de distância: 5m, 10m, 20m, 30m e 40m - considerando o banco de dados previamente levantado em testes de campo. Em seguida, as classes 5m e 10m foram associadas à mensagem "ônibus chegou" enquanto as classes 20m, 30m e 40m foram associadas à mensagem "ônibus está chegando".

Como segunda técnica para classificar os valores de RSSI e aceleração em relação a distância, foi escolhido o algoritmo C4.5 - também chamado de Árvore de Decisão [14]. Tal escolha se deu pela simplicidade desta técnica, onde a

classificação é feita a partir de estruturas de dados divididas em um conjunto de nós, distribuídos hierarquicamente em função da entropia, calculada previamente a partir dos dados de treinamento.

3.2.5 Avaliação de desempenho

Para avaliar a eficácia dos algoritmos de aprendizagem de máquina utilizados para inferir a distância do ônibus ao usuário final - algo fundamental para viabilizar o envio das mensagens de áudio por parte do aplicativo de suporte ao embarque, foi seguida uma avaliação descrita na literatura como "Análise de cena". A mesma se refere a coleta dos dados em campo e em tempo-real e os compara com um conjunto de dados coletados previamente e classificados pelos algoritmos escolhidos (K-NN e C4.5). Para validação do sistema proposto, foi utilizado um cenário real, com um o apoio de uma das empresas rodoviárias que opera linhas regulares na Região Metropolitana do Recife. Durante os testes, um dos ônibus foi equipado com o protótipo do dispositivo descrito na Seção 3.2 e foram simuladas aproximações em locais de embarque e desembarque.

Para tal, foi utilizado o programa de mineração de dados WEKA [15] que suporta tanto o algoritmo K-NN quanto o C4.5. Para a técnica K-NN foi usada a distância Euclidiana como critério, e o valor de K foi variado entre 1, 3, 5 e 7. No algoritmo de árvore de decisão (C4.5) foi utilizado o critério de divisão pela entropia como critério de seleção. Em ambas as técnicas, foram separadas 66% dos dados coletados para a base de treinamento e os 34% dos dados restantes para a base de teste. Para definir a eficiência de cada um, foi utilizada a acurácia para cada um dos classificadores avaliados.

Primeiramente, avaliou-se a classificação da distância a cada metro em cada um dos algoritmos, e verificou-se a acurácia, em seguida as distâncias foram convertidas para apenas duas classes, com valores entre 5m e 10m equivalentes à classe "ônibus chegou" e os valores entre 20m e 40m equivalentes à classe "ônibus está chegando". A definição dessas classes considerou o comprimento máximo de um ônibus padrão, utilizado no transporte coletivo do Recife, que é de 9,6m.

Na Tabela 1 a acurácia é apresentada, considerando as classes "ônibus chegando" - cujo objetivo é sinalizar a aproximação para que o usuário solicite a parada do veículo, e "ônibus chegou", para que o usuário embarque de forma segura no veículo. É possível verificar que o algoritmo C.45 apresentou a taxa de acerto de 91.5%.

4. CONCLUSÕES

A partir dos artefatos produzidos e dos resultados obtidos nos testes de campo, onde foi obtido um índice de acerto de 91,5% na identificação da proximidade e parada do ônibus pelo aplicativo BlindMobi, foi comprovada a viabilidade de ambas as tecnologias assistivas. Assim, tais produtos são bastante promissores para a garantia do direito de livre circulação de pessoas com deficiência visual, pois além de um baixo custo de implantação no meio urbano, por não necessitar de adaptações de infraestrutura, são também bastante acessíveis aos usuários, pois não exigem a necessidade de conexão com a internet para seu funcionamento.

Como proposta de trabalho futuro, indica-se a avaliação de outras técnicas de aprendizado de máquina, para melhorar a classificação de distância de aproximação, bem como o desenvolvimento de novas funcionalidades para os artefatos.

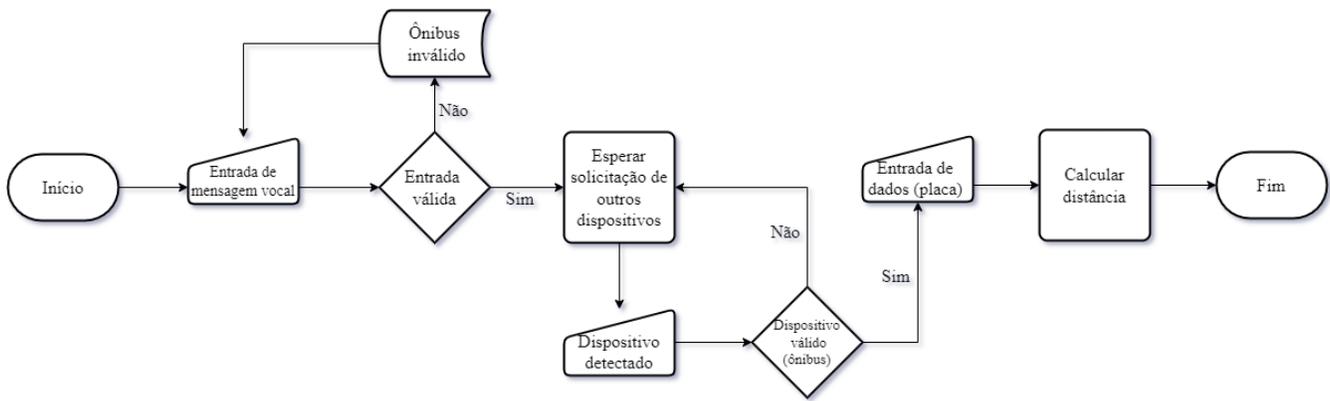


Figure 13: Diagrama do estágio inicial do aplicativo

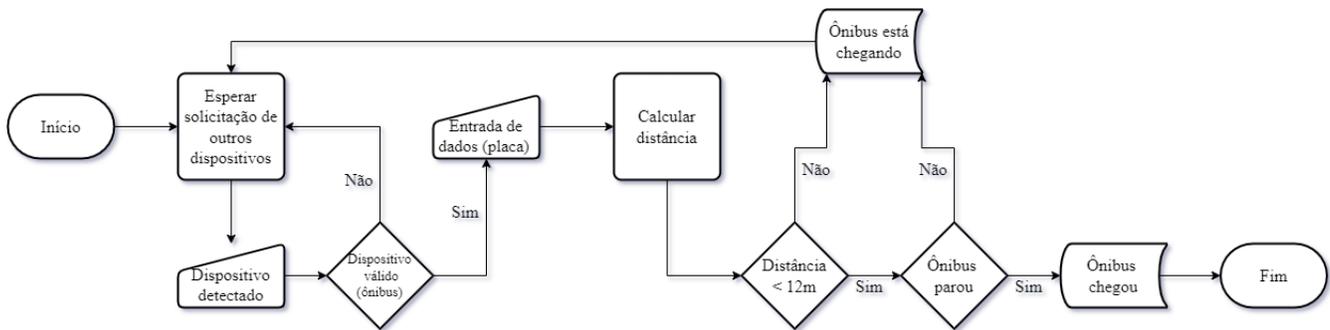


Figure 14: Diagrama do estágio final do aplicativo

Table 1: Acurácia dos diferentes classificadores

Classificador	Taxa média de acerto
KNN com K=1	83,3%
KNN com K=3	86,6%
KNN com K=5	89,0%
KNN com K=7	89,4%
C4.5	91,5%

5. AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa foi apoiada pelo Programa Institucional para Concessão de Bolsas de Extensão (PIBEX) e pelo Programa de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), do IFPE.

6. REFERENCES

- [1] Donatella Pascolini and Silvio Paolo Mariotti. Global estimates of visual impairment: 2010. *British Journal of Ophthalmology*, 96(5):614–618, 2012.
- [2] Volkmer Costa, R., S. M., Souza, and F. Lima. Desenvolvimento de uma bengala automatizada utilizando arduino para deficientes visuais. *Revista Eletrônica De Iniciação Científica Em Computação*, 18, 2020.
- [3] A. E. Pereira Jr, J. Dias, and D. A. Santos. Desenvolvimento de uma bengala eletrônica para deficientes visuais. In *Anais da MNR 2016*.
- [4] Luiz Carlos de Souza Barbosa. Bengala inteligente: um modelo para apoio à navegação de deficientes visuais baseado em reconhecimento de cores, dissertação (mestrado em computação aplicada) - núcleo de desenvolvimento amazônico em engenharia, universidade federal do pará, tucuruí, 2019.
- [5] Jerry Tai Fook Lim, Goh Han Leong, and Tan Kok Kiong. Accessible bus system: A bluetooth application. In *Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People*, pages 363–384. Springer London, 2008.
- [6] Jalila Al Kalbani, Rajaa Bait Suwailam, Arwa Al Yafai, Dawood Al Abri, and Medhat Awadalla. Bus detection system for blind people using RFID. In *2015 IEEE 8th GCC Conference & Exhibition*. IEEE, feb 2015.
- [7] Raida Al Alawi. RSSI based location estimation in wireless sensors networks. In *2011 17th IEEE International Conference on Networks*. IEEE, dec 2011.
- [8] Aida A. Ferreira, Gilmar Brito, Lydia Nascimento da Silva, João Victor Mouzinho, Ryan Morais, and Jonathan Romualdo Pereira. Synesthesia vision integration with recife's public transport. In *Proceedings of the 16th International Web for All Conference*. ACM, May 2019.
- [9] Hilson de Andrade, David Borges, Leandro Bernardes, João de Albuquerque, and Abel da Silva-Filho. Blindmobi: A system for bus identification, based on bluetooth low energy, for people with visual impairment. In *Anais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 391–402, Porto Alegre, RS, Brasil, 2019. SBC.
- [10] Luigi Atzori, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15):2787–2805, oct 2010.
- [11] Kang Eun Jeon, James She, Perm Soonsawad, and Pai Chet Ng. BLE beacons for internet of things applications: Survey, challenges, and opportunities. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(2):811–828, apr 2018.
- [12] Li Zhang, Xiao Liu, Jie Song, C. Gurrin, and Zhiliang Zhu. A comprehensive study of bluetooth fingerprinting-based algorithms for localization. In *2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*. IEEE, mar 2013.
- [13] S. Bertuletti, A. Cereatti, U. Della, M. Caldara, and M. Galizzi. Indoor distance estimated from bluetooth low energy signal strength: Comparison of regression models. In *2016 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*. IEEE, apr 2016.
- [14] Zhu Xiaoliang, Yan Hongcan, Wang Jian, and Wu Shangzhuo. Research and application of the improved algorithm c4.5 on decision tree. In *2009 International Conference on Test and Measurement*. IEEE, dec 2009.
- [15] Mark Hall, Eibe Frank, Geoffrey Holmes, Bernhard Pfahringer, Peter Reutemann, and Ian H. Witten. The WEKA data mining software. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 11(1):10, nov 2009.