57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

Dispositivo Assistivo com Comunicação BLE para Pessoas com Deficiência Visual

Aida Araújo Ferreira
Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)
Av. Prof. Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-545
aidaferreira@recife.ifpe.edu.br

Thiago Ewerton Barros Pereira
Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)
Av. Prof. Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-545
tebp@discente.ifpe.edu.br

Luiz Henrique Ferreira Pavão
Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)
Av. Prof. Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-545
lhfp1@discente.ifpe.edu.br

Breno do Nascimento Santos
Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)
Av. Prof. Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-545
bns6@discente.ifpe.edu.br

Gilmar Gonçalves de Brito
Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)
Av. Prof. Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-545
gilmarbrito@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um dispositivo assistivo voltado para pessoas com deficiência visual, denominado Synesthesia Vision. O dispositivo utiliza comunicação *Bluetooth Low Energy* (BLE) para se conectar a um aplicativo complementar, ampliando suas funcionalidades de navegação e interação com o ambiente. O projeto busca promover maior autonomia e segurança por meio de um sistema sensorial que detecta obstáculos e transmite informações por meio de *feedback* tátil e sonoro. A solução proposta combina hardware de baixo custo, sensores embarcados e uma interface acessível via *smartphone*, priorizando usabilidade e portabilidade. A pesquisa está em fase de prototipagem, com testes preliminares que indicam potencial para aplicação em contextos urbanos. Este trabalho reforça a importância das tecnologias assistivas como ferramentas de inclusão social e autonomia para pessoas com deficiência visual.

PALAVRAS CHAVE. óculos assistivo; deficiência visual; tecnologia assistiva; inclusão social.

Tópicos 1. OA – Outras Aplicações em PO 2. SA – PO na Área de Saúde

ABSTRACT

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212136
https://proceedings.science/p/212136?lang=pt-br

This paper presents the development of an assistive device for people with visual impairments, called Synesthesia Vision. The device uses Bluetooth Low Energy (BLE) communication to connect to a complementary application, expanding its navigation and interaction functionalities with the environment. The project aims to promote greater autonomy and safety through a sensory system that detects obstacles and transmits information through tactile and audio feedback. The proposed solution combines low-cost hardware, embedded sensors, and an interface accessible via smartphone, prioritizing usability and portability. The research is in the prototyping phase, with preliminary tests that indicate potential for application in urban contexts. This work reinforces the importance of assistive technologies as tools for social inclusion and autonomy for people with visual impairments.

KEYWORDS. assistive glasses; visual impairment; assistive technology; social inclusion.

Paper topics 1. OA – Other Applications in OP 2. HE – OP in the Health Sector

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212136
https://proceedings.science/p/212136?lang=pt-br

1. Introdução

A inclusão de pessoas com deficiência visual na sociedade é uma questão fundamental para garantir a equidade social e a melhoria na qualidade de vida desses indivíduos. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [2022], aproximadamente 3% da população brasileira relatou dificuldades para enxergar, mesmo com o uso de óculos ou lentes de contato, o que destaca a necessidade urgente de soluções que ampliem a acessibilidade para esses cidadãos.

Dada essa situação, destacam-se estudos como o de Almeida e Santos [2021], que expõem como a integração de tecnologias assistivas no cotidiano de pessoas com deficiência visual pode reduzir significativamente as barreiras sociais e promover a inclusão em diversos âmbitos, como educação, trabalho e lazer. No entanto, para que essas tecnologias sejam verdadeiramente eficazes e acessíveis, é ideal que funcionem dentro de um ecossistema colaborativo, no qual diferentes sistemas e atores (tecnologia, usuários, desenvolvedores e instituições) atuem de forma integrada para alcançar um objetivo comum.

Nesse sentido, o projeto Synesthesia Vision surge como uma proposta inovadora, não apenas pelo desenvolvimento de um dispositivo sensorial, mas também pela criação de um sistema colaborativo que integra hardware, software e serviços externos. O dispositivo, acoplado aos óculos, utiliza sensores *LiDAR* para detectar obstáculos e converte essas informações em *feedback* tátil e auditivo, possibilitando uma resposta imediata ao ambiente.

Dando continuidade a essa proposta de acessibilidade integrada, foi desenvolvido um aplicativo complementar conectado ao dispositivo principal por meio da tecnologia *Bluetooth Low Energy* (BLE). Essa conexão tem como objetivo ampliar as funcionalidades do sistema, oferecendo recursos adicionais que promovem ainda mais autonomia e segurança para os usuários com deficiência visual. Por meio dessa aplicação, o usuário pode personalizar configurações do dispositivo, além de acessar informações contextuais em tempo real e serviços externos, como localização de pontos de ônibus.

Nesse contexto, o presente artigo explora o desenvolvimento do aplicativo móvel, com ênfase na escolha do protocolo de comunicação com o dispositivo principal, considerando requisitos como eficiência energética, confiabilidade na transmissão de dados e qualidade da experiência de uso para pessoas com deficiência visual.

2. Problema

Atualmente, existem algumas soluções de mobilidade, como a bengala branca e os cães guia, que auxiliam na orientação espacial de pessoas com deficiência visual. No entanto, esses dispositivos apresentam funcionalidades limitadas. A bengala, por exemplo, exige manuseio constante e não é eficaz na detecção de obstáculos elevados, como galhos de árvores ou fiações, que podem representar risco de lesões ou acidentes. Já os cães-guia dependem de treinamento especializado e da colaboração do animal, o que pode ser um fator limitante em algumas situações, como dias chuvosos, doenças do animal e o alto custo de aquisição e manutenção, especialmente para pessoas de baixa renda. Além disso, outras tecnologias de navegação assistiva, como aplicativos para dispositivo celular, frequentemente enfrentam desafios relacionados à precisão, usabilidade e acessibilidade. Além de estarem, muitas vezes, desconectadas de um sistema integrativo, o que dificulta seu uso.

Essa realidade evidencia a necessidade de soluções mais práticas, eficientes e acessíveis, capazes de superar as limitações dos dispositivos tradicionais e oferecer uma experiência mais completa e segura para pessoas com deficiência visual. O desenvolvi- mento de tecnologias sensoriais inovadoras, como dispositivos equipados com sensores integrados a um aplicativo que fornece informações sobre obstáculos em tempo real, surge como uma solução promissora.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212136
https://proceedings.science/p/212136?lang=pt-br

3. Revisão de Literatura

3.1. Tecnologias Assistivas e Deficiência Visual

As tecnologias assistivas compreendem recursos, metodologias, estratégias e serviços que têm como objetivo promover a funcionalidade de pessoas com deficiência, proporcionando-lhes maior independência e inclusão social. No contexto da deficiência visual, esses recursos incluem bengalas inteligentes, leitores de tela, sistemas de navegação e dispositivos sensoriais que ampliam a percepção do ambiente.

Segundo os pesquisadores Khalili et al. [2018], o desenvolvimento de tecnologias assistivas deve ir além da simples acessibilidade, incorporando a percepção de autonomia dos usuários como elemento central. Essa abordagem fortalece a participação ativa na sociedade e responde à crescente demanda por soluções que combinem praticidade, baixo custo e eficácia.

3.2. Dispositivos Sensoriais para Navegação

Dispositivos sensoriais voltados a pessoas com deficiência visual têm evoluído graças à incorporação de tecnologias como sensores de proximidade, ultrassônicos, infravermelhos e câmeras. Esses sistemas identificam obstáculos em tempo real e transmitem alertas ao usuário por meio de sinais vibratórios, sonoros ou táteis.

Estudos como o de Lima e Silva [2018] destacam que a resposta multissensorial, combinando diferentes tipos de estímulos, favorece a adaptação e a compreensão espacial, mesmo em ambientes complexos. No mercado, diversos dispositivos sensoriais vêm sendo desenvolvidos com propostas semelhantes, evidenciando o interesse crescente por soluções assistivas tecnológicas.

3.3. Conectividade e Aplicativos Complementares

A integração entre dispositivos físicos e aplicativos móveis é uma abordagem cada vez mais adotada no desenvolvimento de dispositivos vestíveis, pois permite que as funções básicas sejam expandidas por meio de recursos interativos e personalizáveis. No caso de dispositivos sensoriais para pessoas com deficiência visual, essa conexão permite que outros dados coletados para auxiliar na sua locomoção sejam processados, interpretados e apresentados ao usuário de forma acessível, seja por comandos sonoros, vibrações ou alertas em tempo real.

Para tornar essa comunicação eficiente, a tecnologia *Bluetooth Low Energy* (BLE) destaca-se como uma solução ideal. Desenvolvido como parte da especificação *Bluetooth* 4.0, o BLE foi projetado especificamente para aplicações que exigem baixo consumo de energia, permitindo conexões estáveis e contínuas sem comprometer significativamente a autonomia da bateria dos dispositivos conectados. Segundo Gómez et al. [2012], o BLE pode operar por meses ou até anos com uma única célula de bateria, dependendo do perfil de uso, taxa de transmissão e tempo de atividade, o que o torna extremamente viável para soluções vestíveis e dispositivos portáteis.

Além disso, o BLE apresenta vantagens como baixo custo de implementação, alta interoperabilidade entre plataformas móveis e capacidade de manter conexões em segundo plano com consumo mínimo. Isso possibilita que o dispositivo assistivo permaneça constantemente sincronizado com o aplicativo móvel sem exigir recargas frequentes, o que é essencial para garantir autonomia e confiabilidade ao usuário.

Complementarmente, os aplicativos acessíveis podem ser programados para oferecer funcionalidades como roteamento por GPS, detecção de pontos de interesse, leitura de mensagens contextuais e personalização de alertas sensoriais, ampliando significativamente a utilidade do sistema integrado.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212136
https://proceedings.science/p/212136?lang=pt-br

3.4. Usabilidade e Design Acessível

A eficácia de uma tecnologia assistiva está intrinsecamente ligada à sua usabilidade, ou seja, à facilidade com que os usuários conseguem interagir com o sistema para atingir seus objetivos com eficiência, eficácia e satisfação. Segundo Nielsen [1994], a experiência do usuário deve priorizar clareza, simplicidade e eficiência, evitando sobrecarga cognitiva e interfaces desnecessariamente complexas.

Seguindo princípios de acessibilidade universal, o design deve garantir que todos os elementos essenciais da interação sejam percebidos por canais não visuais, como o auditivo e o tátil, especialmente quando o público-alvo inclui pessoas com deficiência visual. A adoção de *feedbacks* vibratórios, respostas sonoras e comandos por voz, por exemplo, é fundamental para compensar a ausência da visão e promover a autonomia do usuário [Assis e Barbosa [2020]].

No projeto, esses princípios foram implementados de forma prática. O dispositivo utiliza respostas vibratórias localizadas na cabeça do usuário para indicar a presença e a proximidade de obstáculos, além de sinais sonoros personalizados para reforçar alertas ou fornecer instruções especificas pelo aplicativo.

4. Metodologia

O desenvolvimento do projeto Synesthesia Vision seguiu uma abordagem metodológica iterativa estruturada em três etapas principais: concepção da arquitetura do sistema, implementação do protótipo (hardware e software) e testes preliminares de funcionalidade, mantendo o foco na criação de um sistema acessível e portátil que combinasse sensores embarcados com um aplicativo complementar conectado via *Bluetooth Low Energy* .

4.1. Arquitetura do Hardware do dispositivo

Durante a primeira fase da concepção do atual dispositivo, foi feita pela equipe uma pesquisa bibliográfica em documentos técnicos para definir quais seriam os sensores utilizados para a captação dos obstáculos. A equipe optou por usar o modelo de sensor infravermelho VL53L0X, pois além de ser menor e mais leve que outros sensores, o componente oferece uma precisão satisfatória e é adequado ao projeto. De acordo com seu *datasheet*, disponibilizado pela STMicroelectronics, o VL53L0X é um sensor de tempo de voo (ToF) que utiliza tecnologia laser para medir distâncias com alta precisão, possuindo um alcance máximo de até 2 metros, com resolução de até 1 mm e um tempo de resposta em torno de 30 ms. Além disso, o sensor consome baixa energia e possui um tamanho compacto de aproximadamente 4,4 mm $\times$ 2,4 mm $\times$ 1 mm, facilitando sua integração no dispositivo.

Após a escolha dos sensores, o projeto passou a projetar o conceito da sua estrutura física. A proposta é que o dispositivo fosse um aparelho pudesse ser utilizado por qualquer pessoa com qualquer tipo de deficiência visual. Sendo assim, surgiu a ideia de replicar o funcionamento de um *clipon*, de modo que o dispositivo fosse acoplado facilmente em uma armação já existente, de tal forma que qualquer pessoa, independentemente do grau de deficiência visual ou do tipo de correção óptica que utiliza, possa ter acesso à tecnologia sem a necessidade de adquirir um novo par de óculos especifico. Dessa forma, o dispositivo cumpriria o objetivo de ser ajustado e flexível, atendendo as diferentes necessidades visuais.

Em seguida, o projeto avançou para a etapa de elaboração do esquema eletrônico que seria implementado no dispositivo. O desenho foi desenvolvido utilizando o software EasyEDA, com base no diagrama apresentado na Figura 1. No esquema, e possível visualizar a integração dos novos sensores de escaneamento(1), do sensor de luminosidade(4), do microcontrolador(6), dos botoes de controle(5) e dos dispositivos de saída(2 e 3), que compõem a estrutura funcional do sistema.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212136
https://proceedings.science/p/212136?lang=pt-br

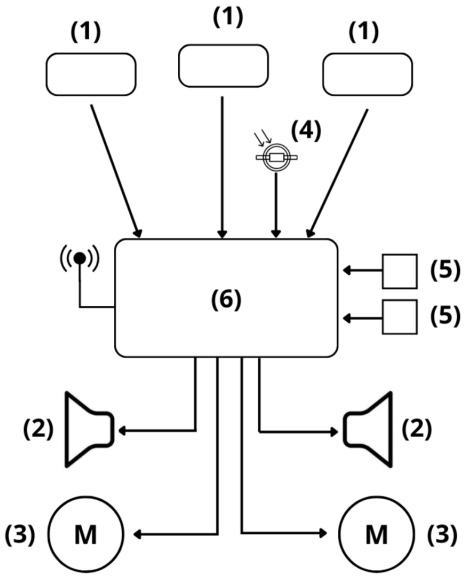

Figura 1: Diagrama esquemático do dispositivo sensorial

A partir disto, a construção do primeiro protótipo do dispositivo Synesthesia Vision seguiu baseada na utilização de um óculos de proteção individual como estrutura principal, somada por um diadema de arco que serviria de suporte para os componentes eletrônicos, três sensores VL53L0X, posicionados em uma distância de 30° graus cada, dois piezoelétricos para emissão dos sons de resposta e dois motores para emissão do estimulo tátil, assim como demonstrado na Figura 2.

Figura 2: Protótipo do dispositivo sensorial acoplado em par de óculos

4.2. Arquitetura do Aplicativo

Com o objetivo de ampliar a segurança e a funcionalidade do dispositivo, o projeto propôs a integração e o desenvolvimento de um aplicativo complementar (Figura 4), que oferece uma variedade de recursos auxiliares, como consulta ao clima, informações sobre paradas e linhas de trans-

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212136
https://proceedings.science/p/212136?lang=pt-br

porte público, entre outros. Um dos destaques do sistema é a possibilidade de interagir com o aplicativo por meio de atalhos acionados pelos dois botões laterais do dispositivo sensorial, o que proporciona uma operação intuitiva e discreta, sem a necessidade de retirar o celular do bolso.

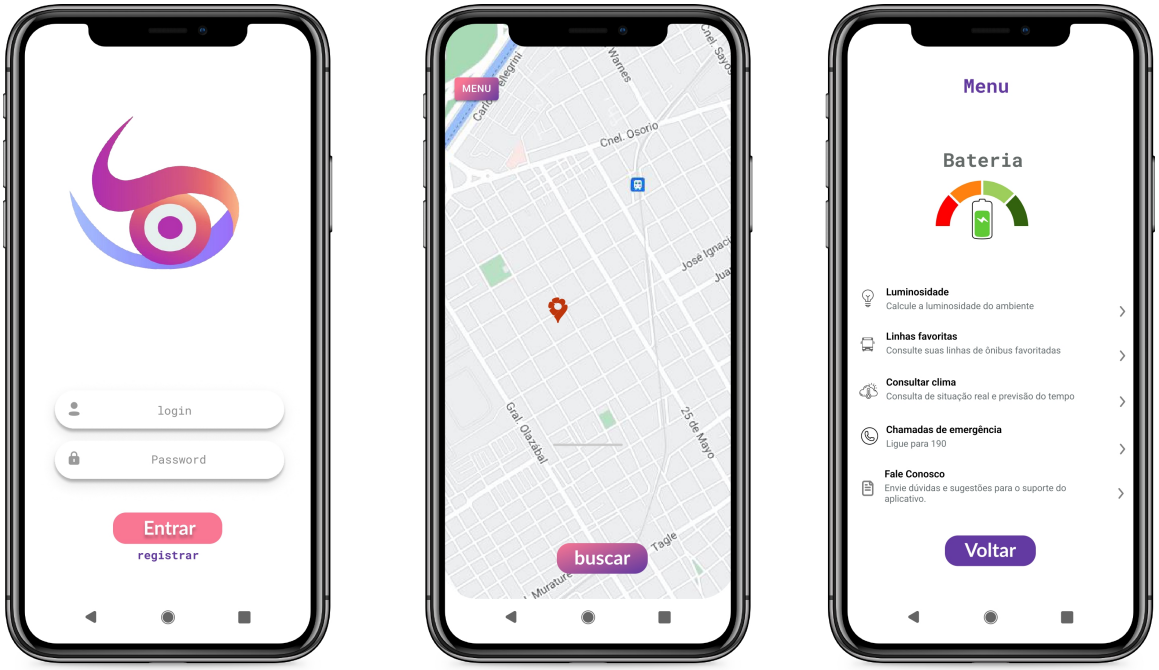

Figura 3: Telas do aplicativo Synesthesia Vision

A conexão entre o dispositivo e o aplicativo é estabelecida via BLE, permitindo uma comunicação prática e sem fio. Na Figura 4 é possível visualizar o diagrama de conexões entre o dispositivo, aplicativo e os serviços ofertados, sendo eles acessados pelo aplicativo através de rede Wi-Fi.

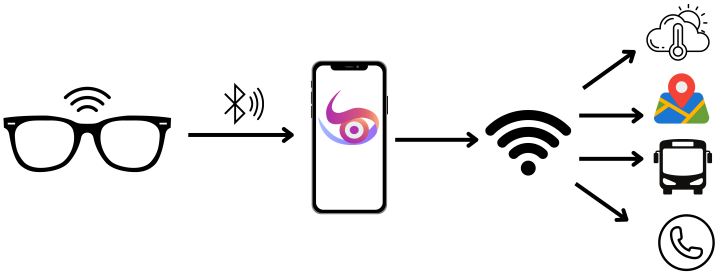

Figura 4: Diagrama de conexão entre dispositivo e aplicativo

4.3. Processo de desenvolvimento

Após o levantamento dos requisitos do sistema por meio de pesquisa realizada, deu-se início ao processo de desenvolvimento da aplicação. Esse processo foi conduzido de forma linear, com o objetivo de promover uma evolução contínua e estruturada do sistema. Onde seguiu-se da seguinte forma:

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212136
https://proceedings.science/p/212136?lang=pt-br

4.3.1. Tecnologias utilizadas

Na etapa inicial de desenvolvimento, após a definição de requisitos, analisamos as tecnologias que seriam utilizadas durante o processo de desenvolvimento da aplicação, onde, para fins de desenvolvimento da aplicação, utilizamos o *framework* de JavaScript, React Native, por oferecer uma facilidade em relação à acesso de informações sobre ela, além da versatilidade de utilização da mesma, visto que o mesmo algoritmo pode ser utilizado para aplicações Android e iOS. Em conjunto, utilizamos o Expo, que se trata de uma aplicação com o intuito de prover maior facilidade de testes durante o desenvolvimento da aplicação, por não haver necessidade de utilizar emuladores para visualizar mudanças no aplicativo e utilizar algumas bibliotecas disponíveis durante o desenvolvimento.

4.3.2. Consulta meteorológica

Indivíduos com deficiência visual enfrentam desafios significativos ao antecipar condições meteorológicas, como a ocorrência de chuva, o que influencia diretamente decisões cotidianas, como a escolha de vestimentas adequadas ou a realização de atividades externas, como se deve sair com o cão-guia, essencial para muitos deficientes visuais. Para mitigar essa dificuldade, propõe-se uma funcionalidade que permite ao usuário acessar informações meteorológicas em tempo real. Por meio da integração com um aplicativo dedicado, o dispositivo fornece dados precisos sobre temperatura, probabilidade de precipitação e outras variáveis climáticas relevantes. Essa solução visa auxiliar na tomada de decisões mais informadas, promovendo maior conforto, segurança e autonomia durante deslocamentos e atividades diárias. Com o intuito de solucionar ou, minimamente, amenizar esta problemática, integramos a aplicação à *Application Programming Interface*(API), que se trata de uma forma prática de consumir dados em uma aplicação, OpenWeather, para receber os dados relacionados a condições climáticas como: temperatura média, céu limpo e probabilidade de chuvas.

4.3.3. Verificação de Luminosidade

Um dos desafios apresentados pelos participantes da pesquisa foi o fato de não haver uma forma de identificar se o ambiente em que eles se encontram está claro ou escuro. Desta forma, para atender a este requisito, utilizamos a biblioteca Expo-device, uma das vantagens de também estarmos utilizando o Expo. Esta biblioteca possibilita a utilização de diversos componentes dos *smartphones*, neste caso, utilizamos o sensores de luminosidade presentes em grande parte dos celulares atuais. Escolhemos utilizar este método pela maior praticidade, já que não precisamos usar bibliotecas externas para acessar esses dados.

4.3.4. Auxílio para Transportes Públicos

Por meio de uma parceria com a operadora de transportes públicos, o aplicativo será capaz de comunicar ao usuário, de forma acessível, informações que permitam que ele realize a viagem de ônibus com maior autonomia. O sistema informará o itinerário, o número da parada, o horário de chegada do veículo e eventuais alterações no trajeto, como desvios ou cancelamentos. Além disso, o aplicativo poderá notificar o usuário quando ele estiver próximo ao seu ponto de destino, garantindo que ele desembarque no local correto. Neste ponto, nossos planos eram de utilizar, como auxílio, a API de uma aplicação já existente, porém por algumas dificuldades, não conseguimos acesso à mesma e fizemos um mapeamento de aproximadamente 8000 paradas da região metropolitana de Recife para, ao menos momentaneamente, os usuários possuírem liberdade para visualizar as paradas próximas à localização do *smartphone*. Para visualizar na aplicação durante o mapeamento, registramos a latitude e longitude das paradas, assim como seu endereço, armazenamos em um banco de dados PostGis, um tipo de banco de dados baseado em Postgres que armazena dados geométricos, e integramos à aplicação e representamos utilizando uma biblioteca nativa do React Native para apresentar um mapa com pontos personalizados, no caso, os pontos de ônibus.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212136
https://proceedings.science/p/212136?lang=pt-br

4.3.5. Suporte para chamadas de emergência

A partir dos princípios do Art. 192 da Lei Geral das Telecomunicações, Brasil [1997], que visa assegurar que todos os cidadãos, independentemente de suas condições físicas, tenham condições de solicitar ajuda através dos números de emergência, como o 190 (Polícia) e o 192 (SAMU), o dispositivo propõe-se a facilitar o acesso dos usuários a esses serviços. Em situações críticas, como acidentes domésticos, crises de saúde ou ocorrências de violência, a agilidade no acionamento dos serviços de emergência pode ser determinante para salvar vidas. Para isso, o dispositivo permite que os usuários acionem rapidamente os serviços de emergência com uma simples combinação de toques, garantindo maior praticidade e eficiência em momentos de risco.

4.4. Integração ao óculos

Quanto à principal função do aplicativo, ou seja, a integração ao dispositivo sensorial, optamos pela utilização do Bluetooth Low Energy(BLE). Esta ferramenta foi escolhida porque os óculos necessitam de uma bateria para funcionar, então, para garantir uma comunicação sem demasiados gastos de bateria, ou seja, obter mais autonomia durante o uso do módulo sensorial.

Estas características foram comprovadas em pesquisas como a de Garcia-Espinosa et al. [2018] em que os resultados mostram que, em comparação a outras tecnologias de envio e recepção de dados sem fio, o BLE utiliza uma quantidade significativamente menor de energia durante todo o procedimento da operação. Também verificamos o método de comunicação do *Bluetooth Low Energy* que se baseia em uma comunicação cliente-servidor utilizando um protocolo GATT(*Generic Attribute Profile*) que consiste em um protocolo construído com base no protocolo ATT(*Attribute Protocol*) tendo como função servir como mediador para identificar o tipo de dispositivo, sendo organizado em três pontos, sendo eles: *Services*, *Characteristics* e *Descriptors*. Os *services* funcionam de forma a apontar para o cliente (dispositivo que se conecta ao servidor) qual a principal função do dispositivo conectado, as *Characteristics* servem para expor o que está sendo disponibilizado pelo dispositivo que está funcionando como servidor. Já os *Descriptors* servem para apontar mais esclarecimentos sobre as *Characteristics*, como o tipo de dado, se quando este dado for recebido gerará uma notificação de algum tipo e diversas outras funcionalidades. Durante a comunicação entre o cliente (dispositivo que inicia a conexão) e o servidor (dispositivo que fornece os dados), as interações são mediadas com base em métodos definidos pelo protocolo GATT, principalmente os métodos de leitura e escrita (*read/write*) e de envio assíncrono de dados (*notifications/indications*) onde os protocolos de leitura e escrita são utilizados para transferência e leitura de dados e o de *notifications* e *indications* os mediam para serem enviados sem necessidade do cliente ou servidor fazer uma requisição, ou seja, são enviados de forma constante.

Graças a estas e diversas outras vantagens, optamos pela utilização desta tecnologia como método de comunicação entre o módulo sensorial e a aplicação.

5. Resultados

Conforme apresentado, o projeto Synesthesia Vision representa uma inovação significativa no campo da acessibilidade e inclusão social para pessoas com deficiência visual. Ao integrar tecnologias assistivas avançadas, como o sensoriamento LiDAR e um aplicativo complementar conectado via Bluetooth, o projeto promove a criação de um ecossistema colaborativo que amplia a autonomia e a segurança dos usuários.

Além disso, o projeto contribui para a construção de sistemas colaborativos ao demonstrar como soluções de baixo custo e acessíveis podem ser desenvolvidas para atender a demandas sociais urgentes. Ao priorizar a inclusão digital e a usabilidade, o Synesthesia Vision serve como um modelo para futuras iniciativas que buscam unir tecnologia e acessibilidade, promovendo a equidade e a participação ativa de pessoas com deficiência visual na sociedade.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212136
https://proceedings.science/p/212136?lang=pt-br

Essa integração entre hardware e software, propõe que diferentes tecnologias — como sensores, aplicativos móveis e comunicação sem fio — possam trabalhar juntas de forma eficiente e intuitiva. O Synesthesia Vision, portanto, não apenas oferece uma solução tecnológica, mas também inspira a criação de ambientes colaborativos que valorizam a diversidade e a inclusão.

Referências

Almeida, R. M. e Santos, L. C. (2021). Tecnologias assistivas e inclusão social: desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Educação Especial*, 27:45–60. Disponível em: https://doi.org/10.3895/rbee.v27.2021.

Assis, J. P. e Barbosa, R. T. (2020). Tecnologias assistivas para pessoas com deficiência visual: uma revisão sobre acessibilidade e usabilidade. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 16(41):1–15. DOI: https://doi.org/10.3895/rts.v16n41.10771.

Brasil (1997). Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997. dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações. Technical report, Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9472.htm.

Garcia-Espinosa, E., Longoria-Gandara, O., Pegueros-Lepe, I., e Veloz-Guerrero, A. (2018). Power consumption analysis of bluetooth low energy commercial products and their implications for iot applications. *Electronics*, 7(12):386. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics7120386.

Gómez, C., Oller, J., e Paradells, J. (2012). Overview and evaluation of bluetooth low energy: an emerging low-power wireless technology. *Sensors*, 12(9):11734–11753. DOI: https://doi.org/10.3390/s120911734.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022). Pesquisa nacional por amostra de domicílios contínua (pnadc) 2022: módulo de pessoas com deficiência. Technical report, IBGE, Rio de Janeiro. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102013.

Khalili, M., Van der Loos, H. F. M., e Borisoff, J. (2018). Towards an autonomy-based approach to design and develop mobility assistive technologies for spinal cord injury populations. In *Proceedings of the RESNA Annual Conference*, Arlington. Disponível em: https://www.resna.org/sites/default/files/conference/2018/wheelchair_seating/Khalili.html.

Lima, J. S. d. e Silva, L. C. d. (2018). Navegação de deficientes visuais em ambientes urbanos: uma abordagem multissensorial. *Revista Brasileira de Educação Especial*, 24(3):335–352. DOI: 10.1590/S1413-65382418000300007.

Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Academic Press, Boston.

STMicroelectronics. Vl53l0x: World's smallest time-of-flight ranging and gesture detection sensor [datasheet]. Disponível em: https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212136
https://proceedings.science/p/212136?lang=pt-br