

Óculos ultrassônico com *feedback* háptico: protótipo de *hardware* e código abertos para impressão 3D

Martins, Hygor Vinícius Pereira^{*1}; da Silva, Henrique Ferreira²;
Scalassara, Paulo Rogério³; Krueger, Eddy⁴

1 – Laboratório de Processamento de Sinais e Aplicações, UTFPR, hvpmar@gmail.com

2 – Acadêmico de medicina, UEL, henrique.ferreira1@uel.br

3 – Laboratório de Processamento de Sinais e Aplicações, UTFPR, prscalassara@utfpr.edu.br

4 – Departamento de Anatomia/Laboratório de Engenharia Neural e de Reabilitação, UEL, ekrueger@uel.br

* - Correspondência: Rodovia Celso Garcia Cid, PR 445, Campus Universitário, Londrina, Paraná, Brasil, 86057-970.

DOI 10.52050/9788579177156-08

RESUMO

Pessoas com deficiência visual enfrentam diariamente dificuldades para se locomover em ambientes desconhecidos e dinâmicos, e muitas sentem medo em relação à própria segurança. Este estudo apresenta um protótipo de óculos com sensores de ultrassom e *feedback* háptico, desenvolvido para evitar colisões na cabeça. Construído como plataforma de *hardware* e código aberto, o dispositivo foi testado com materiais de diferentes densidades, regularidades e vazamentos. Os testes iniciais foram satisfatórios em ambientes controlados e externos, mas materiais porosos como TNT podem não ser detectáveis. A proposta oferece uma solução acessível e complementar aos recursos de navegação existentes.

Palavras-chave: acessibilidade, mobilidade, retorno tátil.

ABSTRACT

People with visual impairments face daily challenges in navigating unfamiliar and dynamic environments, and many experience insecurity regarding their own safety. This study presents a prototype of glasses with ultrasound sensors and haptic feedback, designed to prevent head collisions. Built as an open-source hardware and software platform, the device was tested with materials of varying densities, regularities, and shapes. The preliminary tests were successful in both controlled and outdoor environments, but porous materials such as TNT may not

be detectable. The proposal offers an accessible solution that complements existing assistive navigation resources.

Keywords: *accessibility, mobility, tactile feedback.*

1. INTRODUÇÃO

Deficiências visuais parciais e completas são condições que afetam mais de 338 milhões de pessoas ao redor do mundo, e sua prevalência é maior em pessoas de idades avançadas (≥ 50 anos), estudos estimam que esse número dobre até 2050 (RAHMATI, M. *et al.*, 2025; GBD, VLEG., 2021a; GBD, VLEG., 2021b). Essa condição está associada à risco aumentado de quedas, deficiência cognitiva, demência, socialização limitada (que leva à isolamento e depressão), e mortalidade (KLEINBERG, D. *et al.*, 2023), mas outros fatores contribuem para minar a autoestima dessa população, como a limitação funcional e dependência de terceiros em suas atividades de vida diárias (AVDs) (RAHMATI, M. *et al.*, 2025). Um fator substancial é a perda de mobilidade desses indivíduos, o que resulta em uma diminuição do bem-estar. Pessoas com deficiência visual enfrentam diariamente dificuldades para se locomover em ambientes desconhecidos e dinâmicos. Além disso, muitas sentem medo em relação à própria segurança (TACHIQUIN, R. *et al.*).

Diante dessa problemática, as tecnologias assistivas (TAs) voltadas à mobilidade tem como objetivo fornecer ferramentas que podem auxiliar as pessoas com deficiência visual a se locomoverem com mais segurança e independência nos diversos tipos de ambientes, sejam eles estáticos ou dinâmicos, familiares ou desconhecidos (OKOLO, G. I.; ALTHOBAITI, T.; RAMZAN, N., 2024). As abordagens para este tipo de TA são variadas, sendo as mais comuns as bengalas longas, utilizadas para a navegação no nível inferior do corpo, e os óculos, que atuam no nível da cabeça.

As tecnologias de código aberto desempenham um papel fundamental na democratização do desenvolvimento de soluções assistivas, pois permitem que projetos sejam adaptados e replicados de forma independente por diversos agentes, como iniciativas de extensão universitária, *start-ups* ou mesmo por pesquisadores e *makers*. Essa abertura favorece a colaboração, o compartilhamento de conhecimento e o aprimoramento contínuo das soluções, especialmente quando adaptadas a necessidades específicas enfrentadas em diferentes contextos sociais, econômicos e culturais.

Embora existam alternativas dessa TA em código aberto disponíveis na *internet*, observa-se que é comum o ponto focal estar na resolução direta do problema, resultando em artefatos que, apesar de funcionais em testes, podem não ser adequados para o uso cotidiano, como no caso de dispositivos com

fios e componentes expostos ou estruturas não pensadas para considerar o fator psicossocial envolvido no *design*, que influencia diretamente a percepção que o usuário tem de si mesmo ao utilizar o dispositivo, mesmo diante da deficiência visual. Por outro lado, projetos mais compactos tendem a simplificar excessivamente a funcionalidade, reduzindo a quantidade de sensores e alimentação do sistema. Essas limitações justificam o desenvolvimento de uma TA em código aberto que una funcionalidade e facilidade de reprodução, com foco em um *design* compacto e integrado, evitando a exposição de componentes e cabos que possam ser vetores de potenciais riscos.

Este relato descreve o desenvolvimento de um dispositivo de tecnologia assistiva em código aberto (FOSS¹ e FOSH²) no formato de óculos, equipado com sensores de ultrassom e atuadores táteis, projetado para auxiliar a navegação de pessoas com deficiência visual por meio de *feedback* háptico, especialmente em ambientes com muitos ruídos auditivos. A proposta tem como foco o alerta de aproximação do sensor localizado na região dos olhos (óculos), evitando lesões na cabeça, região muitas vezes fora do alcance da bengala tradicional. O presente estudo busca demonstrar a proposta desse protótipo de tecnologia assistiva e seus potenciais benefícios como complemento aos recursos já utilizados na mobilidade.

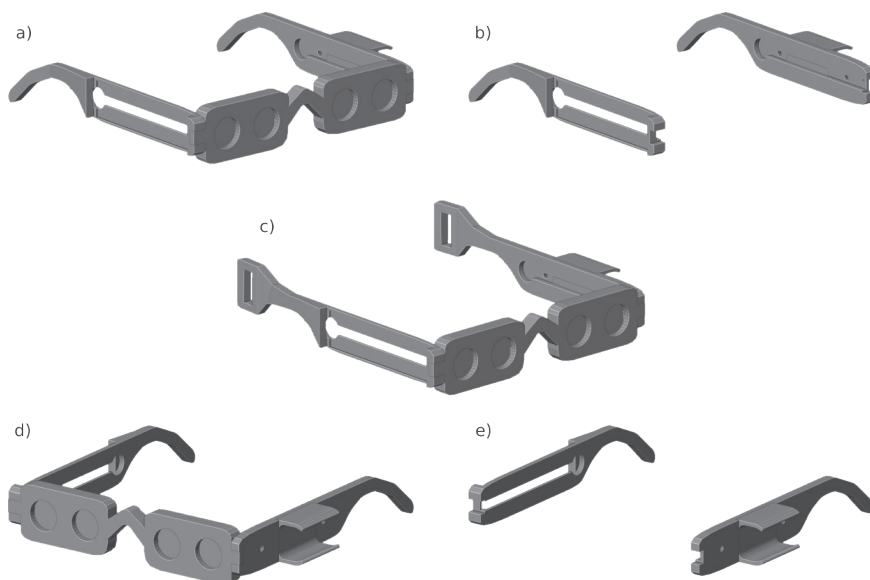
2. DESENVOLVIMENTO

A armação dos óculos foi desenvolvida no *software* livre Blender. O projeto foi baseado em dimensões médias de armações para adultos, considerando tanto ergonomia quanto viabilidade de fabricação, e durante a modelagem, foram definidos compartimentos internos para acomodar os componentes eletrônicos. A armação foi desenhada com duas opções intercambiáveis de ponteiras. A primeira (Figura 1.a e 1.b) segue o formato tradicional, com apoio sobre as orelhas; a segunda (Figura 1.c) conta com aberturas laterais que permitem o uso de elásticos para fixação na cabeça, oferecendo maior estabilidade em situações de movimentação intensa ou uso prolongado. Tal alternativa visa atender diferentes perfis de usuários e contextos de uso.

1 Do inglês *Free and Open Source Software*.

2 Do inglês *Free and Open Source Hardware*.

Figura 01 - (a) projeção ortogonal completa do óculos, lado direito em evidência; (b) projeção ortogonal das hastes, lado direito em evidência; (c) projeção ortogonal do óculos com as ponteiros alternativos, lado direito em evidência; (d) projeção completa do óculos, lado esquerdo em evidência; (e) projeção ortogonal das hastes, lado esquerdo em evidência.



Os componentes eletrônicos externos do lado direito (Figura 1.a e 1.b) são o Arduino Nano e o *Battery Management System* (BMS), concentrados em um compartimento dedicado que facilita a manutenção do dispositivo, adicionalmente, na junção superior entre o arco e a haste direita, foi integrado um interruptor (*switch*) para acionamento geral do sistema. O lado esquerdo da armação (Figura 1.d e 1.e) abriga uma bateria de lítio recarregável 18650. Por fim, no interior (Figura 1.b e 1.e) de cada haste, há um atuador de vibração (*vibracall*), responsável por fornecer *feedback* háptico ao usuário.

Já na região das lentes, foram realizados vazamentos para encaixe de dois sensores de ultrassom HC-SR04, voltados para a frente e alinhados de forma a maximizar a detecção de obstáculos no campo visual do usuário, uma tampa mantém o circuito e os fios embutidos nas ranhuras da armação. A estrutura foi impressa utilizando o material PLA (ácido polilático), escolhido por suas propriedades favoráveis à impressão 3D, como boa adesão entre camadas e baixa tendência à deformação térmica (*warping*).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estado da arte realizado por Mashiata et al. (2022), aponta que a escolha e a integração eficaz dos tipos de atuadores são fatores críticos para o desempenho e a aceitação das tecnologias assistivas modernas, revelando uma tendência crescente na utilização de *feedbacks* multissensoriais, combinando estímulos táteis e auditivos, a fim de contornar limitações contextuais. Essa abordagem auxilia na detecção de obstáculos e oferece um *feedback* multimodal, essencial para ambientes urbanos complexos. No entanto, as estratégias baseadas em estímulos sonoros geralmente apresentam limitações de desempenho quando há excesso de poluição sonora, especialmente em ambientes com grande concentração de pessoas. Isso compromete a eficácia do sistema e pode gerar frustração no usuário (KLEINBERG, D. et al., 2023).

No presente estudo, com os sensores ultrassônicos HC-SR04, o microcontrolador Arduino Nano controlou a emissão de pulsos sonoros com frequência de 40 kHz e duração mínima de 10 μ s, acionados pelo pino *trigger*. Esse valor foi adotado por representar o tempo mínimo necessário para ativar corretamente o emissor do sensor. Após a emissão, o pino *echo* é colocado em nível lógico alto, indicando o início da contagem do tempo necessário para que a onda sonora percorra a distância até um obstáculo e retorne. Com base nesse intervalo de tempo () e na velocidade do som no ar (aproximadamente 0,0343 cm/ μ s), e considerando a divisão por dois como o percurso de ida e volta da onda, a distância () até o objeto foi calculada utilizando a fórmula :

Sempre que um obstáculo era detectado a menos de 2 m de distância, os módulos *vibracalls* posicionados nas hastes do protótipo eram ativados por 50 ms. A exposição contínua a vibrações pode desencadear uma ilusão sensorial, resultando na percepção equivocada de estímulos vibratórios mesmo na ausência deles (KLEINBERG, D. et al., 2023). Para evitar essa ilusão sensorial, o presente estudo utilizou intervalos de espera entre os trens de pulsos de vibrações variáveis de acordo com a proximidade do objeto, fornecendo ao usuário uma percepção tátil por meio da intensidade e frequência dos sinais emitidos. Dessa forma, o tempo de espera em nível lógico baixo dos *vibracalls* () foi definido a partir da fórmula :

Onde a constante 3 foi escolhida através de testes empíricos até alcançar um tempo de intervalo satisfatório entre as vibrações. Assim, a partir de dois metros, quanto mais próximo o obstáculo dos sensores, menor eram os intervalos entre as vibrações de 50 ms.

O sistema foi programado para vibrar individualmente à esquerda ou à direita, conforme a posição do obstáculo. Quando o objeto se encontrava diretamente à frente, ambos os vibradores eram ativados simultaneamente. Nos

casos de transição, quando o obstáculo se encontrava em uma posição diagonal, o lado mais próximo vibrava com maior intensidade que o lado mais distante. Dessa forma, o usuário poderia discernir a trajetória de um movimento à sua frente. Por exemplo, se uma mão fosse movida da esquerda para a direita em frente ao seu rosto, ele seria capaz de identificar tanto a origem quanto o destino do movimento.

Testes preliminares foram realizados para verificar o desempenho da tecnologia proposta, estes foram registrados em vídeos³. Objetos com diferentes propriedades físicas foram testados no ambiente controlado do laboratório, iniciando por materiais mais densos e progredindo até materiais mais leves e porosos, além de estruturas com diferentes graus de regularidade e vazamento: (i) vidro, (ii) tecido não tecido (TNT), (iii) grades metálicas e (iv) galhos de árvore. Apenas o material TNT apresentou falha de detecção, foram testados de uma a quatro camadas do tecido, acredita-se que isso é resultado da porosidade do material, pois este tipo de material é capaz de absorver as ondas a depender de alguns fatores, como a frequência de onda emitida. Fora do ambiente laboratorial, o dispositivo também se mostrou eficaz: foi possível detectar obstáculos como postes e árvores, identificando com precisão sua localização direcional.

Quanto às limitações: (i) durante a fase de prototipação, foi observado um comportamento discrepante entre os dois sensores ultrassônicos utilizados. Inicialmente, levantou-se a hipótese de interferência mútua entre os sensores. No entanto, essa possibilidade foi descartada, uma vez que o código já incluía um *delay* entre as ativações dos pinos *trigger* e *echo*, e testes realizados com os sensores operando de forma isolada mostraram que, mesmo sem a interferência de outro sensor, as medições continuavam discrepantes, apresentando o mesmo desvio observado quando ambos os sensores estavam em funcionamento. A solução temporária encontrada para esse problema consistiu no ajuste da constante de percurso (anteriormente fixada em 2) de um dos sensores, até que as leituras se tornassem coerentes em relação ao outro, no entanto, este é um ajuste pontual, e não definitivo. Isso pode ser atribuído a variações de *hardware*, comuns mesmo entre dispositivos adquiridos de um mesmo fornecedor; (ii) foi observado que as charneiras do óculos precisam ser articuladas para portabilidade e para não cederem facilmente no uso diário; (iii) adição de plaquetas próximas a ponte como em modelos tradicionais de óculos, pois o contato direto com a ponte mostrou-se desconfortável durante os testes; (iv) na

3 <https://www.youtube.com/watch?v=1oxuielr99g> e <https://www.youtube.com/watch?v=l8hWE8pJ1jk>.

frequência de 40 kHz, materiais porosos como o TNT podem apresentar falha de detecção, pois absorvem parte ou toda a onda emitida.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo se propôs a desenvolver um protótipo de óculos ultrassônico com retorno háptico, concebido como uma tecnologia assistiva em código aberto projetada para alertar sobre a aproximação de obstáculos ao nível dos olhos, podendo prevenir lesões na cabeça. A iniciativa partiu da premissa de que a perda de mobilidade impacta substancialmente o bem-estar e a autonomia desses indivíduos, e buscou oferecer uma ferramenta como alternativa acessível para complementar os recursos de navegação existentes. O projeto encontrar-se-á disponível no GitHub⁴.

Para estudos futuros, pretende-se submeter um projeto para a plataforma Brasil para a realização de testes mais assertivos, protocolados, com a população-alvo, bem como a análise da curva de aprendizagem, e a coleta e implementação de *feedback* relacionado à experiência do usuário e à ergonomia no ciclo de *design*. Considera-se também para a próxima versão, a integração com o dispositivo MyEye (OrCam®), para suprir as necessidades qualitativas de objetos e pessoas que apenas o *feedback* háptico não pode fornecer, possibilitando uma experiência mais rica ao usuário em diferentes ambientes e contextos de uso.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Ademais, os autores também gostariam de agradecer à Fundação Araucária pelo fomento ao aluno Henrique Ferreira da Silva.

REFERÊNCIAS

GBD; VLEG. Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet Global Health*, Londres, v. 9, n. 2, p. e130–e143, fev. 2021a.

GBD; VLEG. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet Global Health*, Londres, v. 9, n. 2, p. e144–e160, fev. 2021b.

4 <https://github.com/LENer-UEL>.

KLEINBERG, D. *et al.* A Haptic Feedback System for Spatial Orientation in the Visually Impaired: A Comprehensive Approach. *IEEE Sensors Letters*, New York, v. PP. aug. 2023.

MASHIATA, Maisha *et al.* Towards assisting visually impaired individuals: a review on current status and future prospects. *Biosensors and Bioelectronics: X*, v. 12, p. 100265, dec. 2022.

OKOLO, G. I.; ALTHOBAITI, T.; RAMZAN, N. Assistive Systems for Visually Impaired Persons: Challenges and Opportunities for Navigation Assistance. *Sensors*, v. 24, n. 11, 2024.

RAHMATI, M. *et al.* Vision impairment and associated daily activity limitation: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, San Francisco, v. 20, p. 1–29, jan. 2025.

TACHIQUIN, R. *et al.* Wearable Urban Mobility Assistive Device for Visually Impaired Pedestrians Using a Smartphone and a Tactile-Foot Interface. *Sensors*, v. 21, n. 16, 2021.