

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO HÁPTICO PARA AUXILIAR A LOCOMOÇÃO DE DEFICIENTES VISUAIS

Kiyoko Marina Tukozaki (IC) e Antonio Newton Licciardi Junior (Orientador)

Apoio: PIVIT Mackenzie

Resumo

O comprometimento do sentido da visão afeta milhões de brasileiros. A maior dificuldade enfrentada por este grupo é a locomoção em quaisquer ambientes, seja domiciliar ou em áreas externas. Os recursos para atender as necessidades destes no país são escassos e não facilitam a mobilidade dos deficientes visuais. As ruas ou mesmo ambientes não são em sua maior parte adaptáveis, afetando desde o momento de atravessar a rua e andar nas calçadas. Os deficientes visuais utilizam no Brasil, podem fazer uso de bengalas e/ou cães guias, porém tais objetos ou animais não são capazes de detectarem objetos acima da linha da cintura. No presente trabalho desenvolve-se estudos de um dispositivo háptico para auxiliar deficientes visuais na mobilidade, através de um colete que detecta obstáculos e avisa ao usuário através de vibração. Este recurso é capaz de substituir a falta de precisão apresentada em bengalas e é prototipado para possuir custo acessível. Os dispositivos hápticos são um avanço tecnológico que pode possuir recursos e confiabilidade para facilitar as necessidades dos deficientes visuais. O dispositivo háptico proposto é composto por sensores Ultrassom e laser, microcontrolador e bateria para viabilizar a detecção de obstáculos. Além disto, através de motor é capaz de alertar com vibrações o usuário. Este conjunto é inserido em um colete para uso no peitoral, para assim os sensores identificarem obstáculos que estejam apenas na frente do usuário.

Palavras-Chave: Dispositivo háptico, mobilidade, deficientes visuais.

Abstract

The impairment of vision sense affects millions of Brazilians. The greatest difficulty faced by this group is mobility in any environment, even if at home or outside. The resources to meet their needs in the country are scarce and do not facilitate the mobility of the visually impaired. The streets and environments are not adapted at most part, affecting from the moment of crossing the street and walking on the sidewalks. Visually impaired in Brazil can make usage of walking sticks and / or guide dogs, however, such objects or animals are not able to detect objects above waistline. In the present work, studies of a haptic device are developed to assist the visually impaired in mobility, through a vest that detects obstacles and warns the user through vibration. This feature can replace the lack of precision presented on canes and is prototyped to have an affordable cost. Haptic devices are a technological advance and may have features and reliability to facilitate the needs of the affected population. The proposed haptic device is composed of ultrasound and laser sensors, microcontroller, and battery to enable obstacle detection. In addition, micromotors can alert the user with vibrations. This set is inserted in a vest for use on the chest, so that the sensors identify obstacles that are mainly in front of the user.

Keywords: haptic device, mobility, visually impaired.

Introdução

Dentro do grupo de deficientes visuais, incluem-se pessoas que nasceram com a dificuldade visual ou aqueles que adquiriram tal perda ao longo da vida. Do subgrupo, os casos em que a falta de visão ocorreu no nascimento são classificados como Cegueira Congênita. A justificativa para tal problema não é específica, podendo ser o mesmo hereditário ou ocasionado por infecção durante a gestação. O outro subgrupo refere-se às pessoas que nasceram com visão, porém durante a vida ocorreu algo que provocou a perda parcial ou total do sentido da visão. Estes casos são indicados como um “desafio do ponto de vista de treino cerebral”, pois há uma dificuldade maior de adaptação (SALVIN, 2019). Conforme levantamentos de dados pelo pesquisador Roberto Manduchi (2011), cerca de 58,3% possuem perda total da visão e 41,7% apresentam perda parcial da visão.

Esta adaptação que os deficientes visuais têm que enfrentar inclui a necessidade de se locomoverem de um local para o outro. A simples ação de andar, tornou-se um desafio devido aos obstáculos não visualizados. Portanto, são utilizados recursos de apoio, como bengalas, cães guias e dependência de terceiros. A psicóloga Elizabet Dias de Sá (2019) elaborou uma pesquisa que apontou que entre os entrevistados, 62% utilizam bengalas, 25% dependem de auxílio de um terceiro e 5% utilizam cães-guia para se locomover. Mesmo com bengala, as pessoas com dificuldade alta na visão dependem de outros humanos, como atravessar uma rua (MANDUCHI, 2011). Há também uma barreira social enfrentada por tais portadores de deficiência, como a falta de aceitação em determinados ambientes e situações, incluindo os gastos para suprir à falta de visão enfrentada, que podem chegar a R\$ 100.000,00 por ano (SULLIVAN, 2019).

Em relação ao uso de bengalas, este recurso possui limitações para o usuário. Primeiramente, o item permite apenas acesso a identificação de obstáculos abaixo da cintura, ficando o restante do corpo vulnerável a acidentes. Outra questão levantada, é que tal recurso possui alcance de até 1,5 metros (TAKIZAWA, 2012), aumentando a possibilidade do usuário não perceber uma determinada barreira e no mínimo se machucar.

Por outro lado, os cães guias são uma alternativa de bons resultados na ajuda a deficientes visuais. Porém, é um animal com preço alto, custando em torno de R\$60.000,00. Este custo elevado é consequência da dificuldade de adestrar e da falta de cães treinados em centros de treinamento. Em média apenas 45% dos animais nas escolas de adestramento se formam, o que leva cerca de 2 anos (OLIVEIRA, 2019). Ou seja, nem todas as classes sociais têm acesso a tal método.

Perante tais desafios, a aplicação de dispositivos hápticos está sendo vista como um recurso tecnológico inovador e cujo preço pode ser acessível a diversas classes sociais (PINHO et al., 2019). Tal ferramenta viabiliza sensações táteis, para que o usuário perceba quaisquer obstáculos ao redor (PAWLUK, 2015).

Os dispositivos hápticos desenvolvidos e aplicados para auxiliar os deficientes visuais tem como objetivo facilitar o deslocamento de deficientes visuais. Estes dispositivos hápticos incorporam tecnologias que aliadas a elementos de interface tátil e até sonora viabilizam atividades cotidianas. Esta ferramenta aguça a percepção externa ao redor com interação tátil (RODRIGUES, 2006).

Dentro deste cenário de pesquisa apresentado, propõem-se desenvolver e testar um protótipo de dispositivo com sensores de distância e movimento de baixo custo acoplado a um colete. Os dados dos sensores são transformados, através de um sistema microcontrolador, em sinais hápticos de vibração, relativizando a distância e a posição de obstáculos. Estes dispositivos são instalados em uma espécie de pequeno colete ou babador que pode ser usado discretamente por debaixo da camisa de um indivíduo deficiente.

Referencial Teórico

A questão da mobilidade dos deficientes visuais é um assunto discutido por diversos pesquisadores que procuram alternativas para solucionar esta dificuldade. Devido a aplicação de recursos como tradicionais bengalas ou cães guias não ser suficiente para suprir a falta de visão, nos últimos 30 anos iniciaram-se projetos de dispositivos eletrônicos como um meio inovador de aprimorar a assistência a locomoção de deficientes visuais (NIETO et al., 2014).

São pesquisadas a implementação de diversas interfaces hápticas nos projetos estudados como referencial teórico neste trabalho. As mais comuns utilizam dispositivos acústicos, aproveitando o sentido da audição do usuário, através de instruções verbais para que o usuário desvie de obstáculos. Outro tipo de interface também aproveitada é a de motor vibrador, usado para alertar os deficientes visuais das barreiras ao redor (FLORES, 2015). Desenvolvem-se também o aprimoramento de sensores que tornam possível a análise do ambiente em que o usuário se encontra, para identificar os obstáculos a frente (PINHO et al., 2019). Um exemplo da aplicação do tipo tátil foi aprimorado pelo pesquisador Charles Lenay (2014), em seu trabalho *Remote tactile interaction* (Interação Tátil Remota). Esta consiste em utilizar os micromotores presentes em smartphones, como estimulador tátil, facilitando o uso de tais aparelhos por deficientes visuais.

Os hápticos tem sido desenvolvidos por outros pesquisadores, como Álvaro Cassinelli, Carson Reynolds e Masatoshi Ishikawa da Universidade de Tóquio (2006), em que aprofundaram seus estudos em Haptic Radar:

“Foi desenvolvido um dispositivo utilizado como uma faixa na cabeça. Tal dispositivo háptico possui sensores de proximidade e motores de vibração para identificar obstáculos ao redor e emitir tais informações por estímulo ao usuário. Em seguida realizou-se experimentos que receberam 30 participantes. Estes tinham os olhos vendados e lhes eram solicitados a execução de duas tarefas, sendo que em um teste o dispositivo Radar háptico estava ligado e em outro teste o mesmo desligado. Os resultados apontaram 26 dos 30 participantes dos testes tiveram sucesso a resposta dos estímulos da ferramenta. O estudo mostrou resultados eficientes na implementação dos dispositivos hápticos e apontou que o usuário não precisa de treinamento para utilizar o aparelho, o que pode ser considerado uma vantagem.”

Outros estudos também foram realizados, comprovando a eficiência dos dispositivos hápticos. Um projeto relevante é o desenvolvido por diversos pesquisadores das Universidades de Nihon Pharmaceutical, Tsukuba Univ. of Tech e Kanagawa Inst. of Tech (MURAI, 2006). A pesquisa refere-se a um simulador de *Indoor-Walk-Guide* (guia de trajeto dentro de localidades) usando uma interface háptica. Trata-se de um simulador de caminhada, em que se utiliza uma interface háptica omnidirecional e um computador. Este exibe um layout da sala em 2D e com o dispositivo háptico simula sensações no corpo, como se se estivesse tocando objetos criados pelo computador. O objetivo é criar um guia do local para os cegos, para que eles possam se orientar corretamente sobre a localização de edifícios e salas no local. O recurso foi testado com alunos que levaram 10 minutos para andar na sala. A conclusão é de que o dispositivo auxilia consideravelmente o deficiente visual a se locomover, após passar pela simulação (MURAI, 2006).

Os modelos tecnológicos reportados foram testados com pessoas vendadas, senão com baixo nível de visão. Os resultados obtidos apontam a eficiência dos dispositivos para assistência a pessoas com baixa ou perda total de visão. Tais estudos tem como foco dar aos deficientes visuais condições melhores de adaptação, inclusão social e independência ao realizar tarefas do cotidiano, como andar na rua sem sofrer algum tipo de dano.

Com tal aspecto em mente, descrevem-se e são referenciados os potenciais componentes candidatos a serem elaborados e testados, no colete háptico.

Componentes

Sensor Ultrassônico HC-SR04

O sensor Ultrassônico HC-SR04, demonstrado na Figura 1, é um circuito pronto que mede a distância entre 2 a 400 cm dentro da abertura angular de 15° graus. Neste campo de atuação do sensor, o componente inicia com um pulso de 10µs e depois oito pulsos de 40 KHz, que refletem no obstáculo e retornam ao sensor, como pode ser observado na Figura 2 (THOMSEN, 2019). A partir desta dinâmica, calcula-se a distância em função do tempo que o sinal levou para ir e retornar, conforme a equação:

$$\text{Distancia} = \frac{(\text{Tempo echo em nível alto}) \times (\text{Velocidade do som})}{2} \quad (1)$$

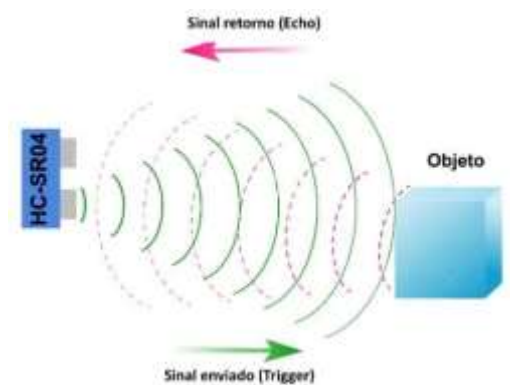
sendo a velocidade do som de 343 m/s (a 20 °C)

Figura 1 – Sensor ultrassônico



Fonte: (THOMSEN, 2019)

Figura 2 – ilustração do princípio de funcionamento do sensor ultrassônico



Fonte: (THOMSEN, 2019)

Sensor laser de distância VL53L0X

A Figura 3 contém o sensor VL53L0X. Este utiliza luz com comprimento de onda de 940 nm, capaz de detectar objetos entre 30 milímetros até 2 metros de distância com alta precisão e com ângulo de abertura de aproximadamente 1,25 graus (SHOPEE, 2021). Este sensor emite um pulso de laser, que ao atingir o obstáculo, retorna ao sensor do componente. O intervalo de tempo, entre emissão e recebimento de cada feixe, é tomado para o cálculo da distância do objeto à frente do sensor, utilizando uma equação que relaciona velocidade da luz em relação ao espaço e tempo, ou seja:

$$\text{Distancia} = \frac{(\text{Tempo ida e volta do foton}) \times (\text{Velocidade da Luz})}{2} \quad (2)$$

Figura 3 – Sensor laser de distância



Fonte: (SHOPEE, 2021)

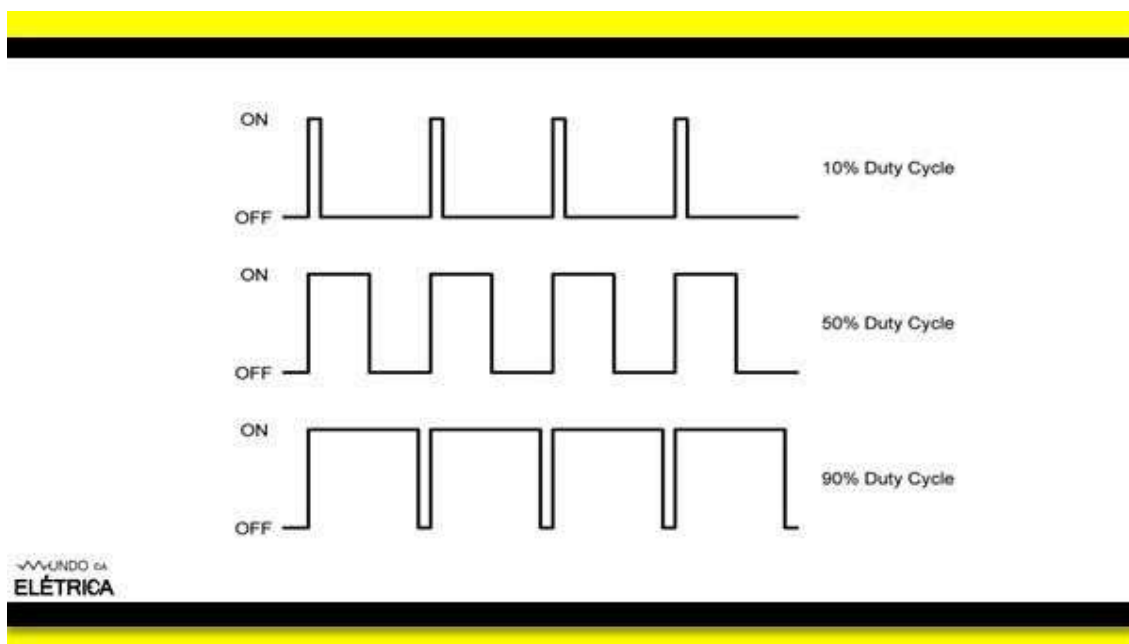
Micro motor vibracall

O motor do tipo *vibracall* emite vibrações, é um motor de tamanho reduzido que opera com tensão de 3 V, usado em smartphones e celulares (FILIPEFLOP, 2021).

Micro Servo Motor SG90

O servo motor SG90 também funciona como um vibrador por um meio rotacional. Entretanto, ele diferencia-se dos outros motores, pois destaca-se pela capacidade de utilizar diretamente a funcionalidade *Pulse-Width Modulation* (PWM) de microcontroladores como o Arduino. A função PWM regula a largura de pulso da entrada de potência do Arduino, através de sinal digital. A Figura 4 contém exemplos de ondas em PWM em diversas situações de ciclo de trabalho (*duty cycle*) (FILIPEFLOP, 2021).

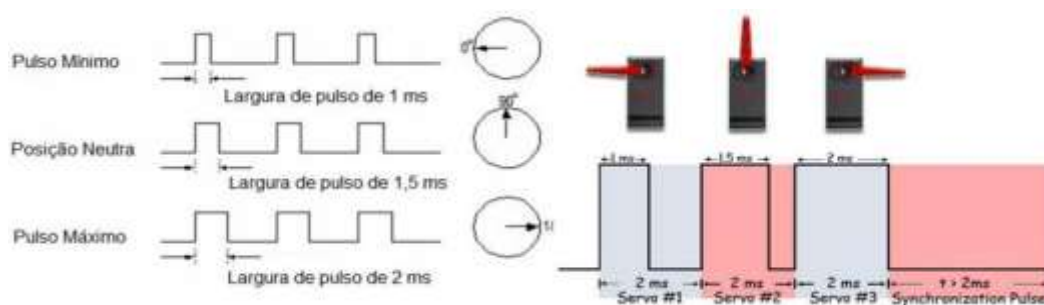
Figura 4 – Ciclo de trabalho de um trem de pulsos PWM



Fonte: (FILIPEFLOP, 2021)

O sinal PWM recebida pelo motor PWM varia entre 0 V a 5V, com intervalo de tempo de 20 ms, controlando o ângulo de rotação do motor. Assim, com variação de 1 ms na largura de pulso é deslocado 0°, enquanto com 1,5 ms obtêm-se 90° de deslocamento e, enfim, com 2 ms é rotacionado em 180°. Conforme desenho contido na Figura 5.

Figura 5 – Servo



Fonte: (FILIPEFLOP, 2021)

Metodologia

As seguintes etapas metodológicas são obedecidas no corrente trabalho:

(1) Estudos sobre dispositivos para deficientes visuais

O objetivo desta etapa é o de estudar os principais trabalhos sobre dispositivos atualmente existentes e os promissores para auxiliar atividades cotidianas dos

deficientes visuais. A partir destes estudos pretende-se confirmar o grau de interesse em se utilizar dispositivos hápticos no corrente trabalho.

(2) Seleção dos Componentes sensores/atuadores a serem utilizados

O objetivo desta etapa é pesquisar e compreender o funcionamento dos principais sensores e atuadores (motores vibradores) que podem ser utilizados em uma implementação do dispositivo háptico com baixo custo e eficiente.

(3) Testes dos componentes em laboratório

Nesta etapa, cada componente é integrado a um microcontrolador Arduino e as bibliotecas e códigos de teste gerados em laboratório físico. O interesse é verificar o padrão de funcionamento dos referidos e a utilidade deles para composição do protótipo final.

(4) Integração do Protótipo

Com esta etapa, pretende-se a partir dos diversos testes realizados de validação, realizar a integração de hardware e software dos componentes no dispositivo final que será elaborado fisicamente na forma de um babador para os testes finais de viabilidade e eficiência. Busca-se um protótipo de baixo peso, com componentes de custo acessível e que permitam a utilização eficiente por pessoas com deficiência.

Resultados e Discussão

(1) Sensores de presença e de distância

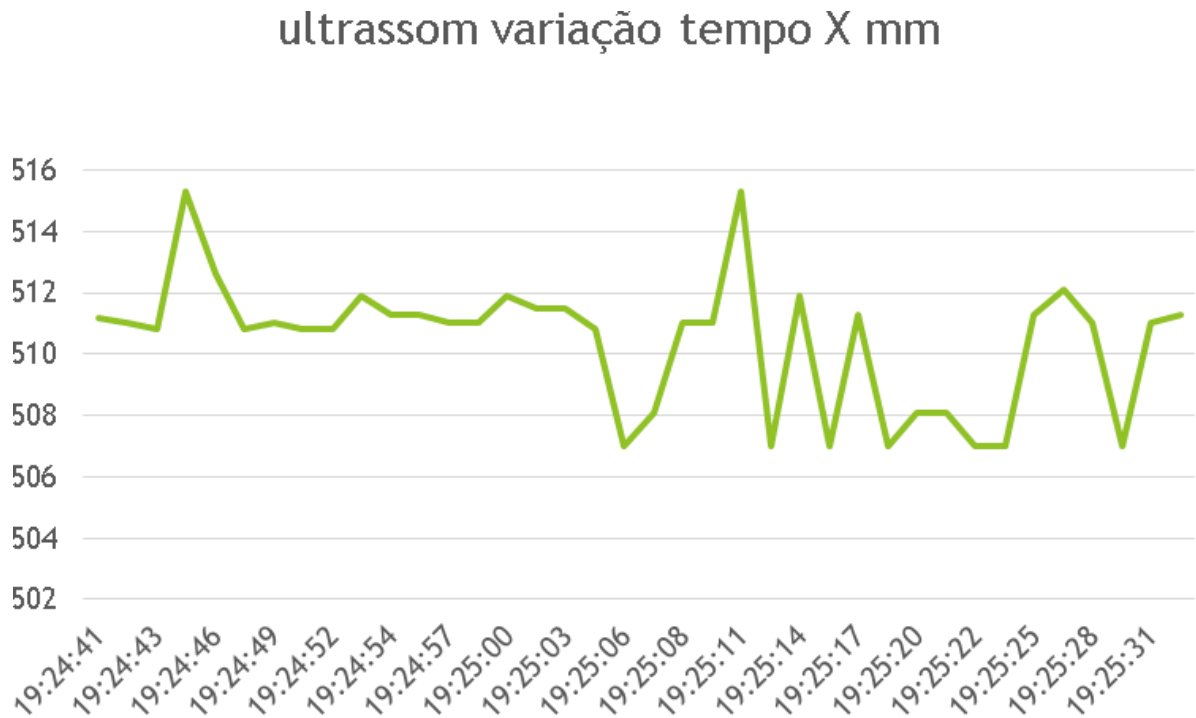
O critério de escolha básico que se elaborou para os sensores que indiquem presença e distância de obstáculos foi inicialmente baseado no alcance. Cabe comentar que se espera que a alcance dos sensores que são utilizados seja maior que a passada média de uma pessoa com deficiência visual ao caminhar, para que seja viável a detecção pelo sensor e o alerta ao usuário.

(1.1) Sensor Ultrassônico HC-SR04

O componente é utilizado no projeto para medir a distância de cada obstáculo, sendo que a implementação possibilita realizar leituras teóricas de objetos que estão entre 2 cm a 4 m de distância.

Em laboratório inicialmente integrado o sensor a um dispositivo Arduino. Considerou-se uma distância de um obstáculo de 0,5 m. O resultado da medição típica apresentada pelo sensor é possível de ser observado no gráfico da Figura 6. Os resultados apontam medições com precisão para anteparos sólidos colocados a 90 graus do feixe ultrassônico e com um desvio padrão médio de 2,1 mm. O tempo de processamento típico da rotina para apresentação de resultado é de 2 segundos, devido ao feixe de 40KHz que é emitido por certo tempo pelo sensor.

Figura 6 - Gráfico de medição típica apresentada pelo sensor ultrassônico

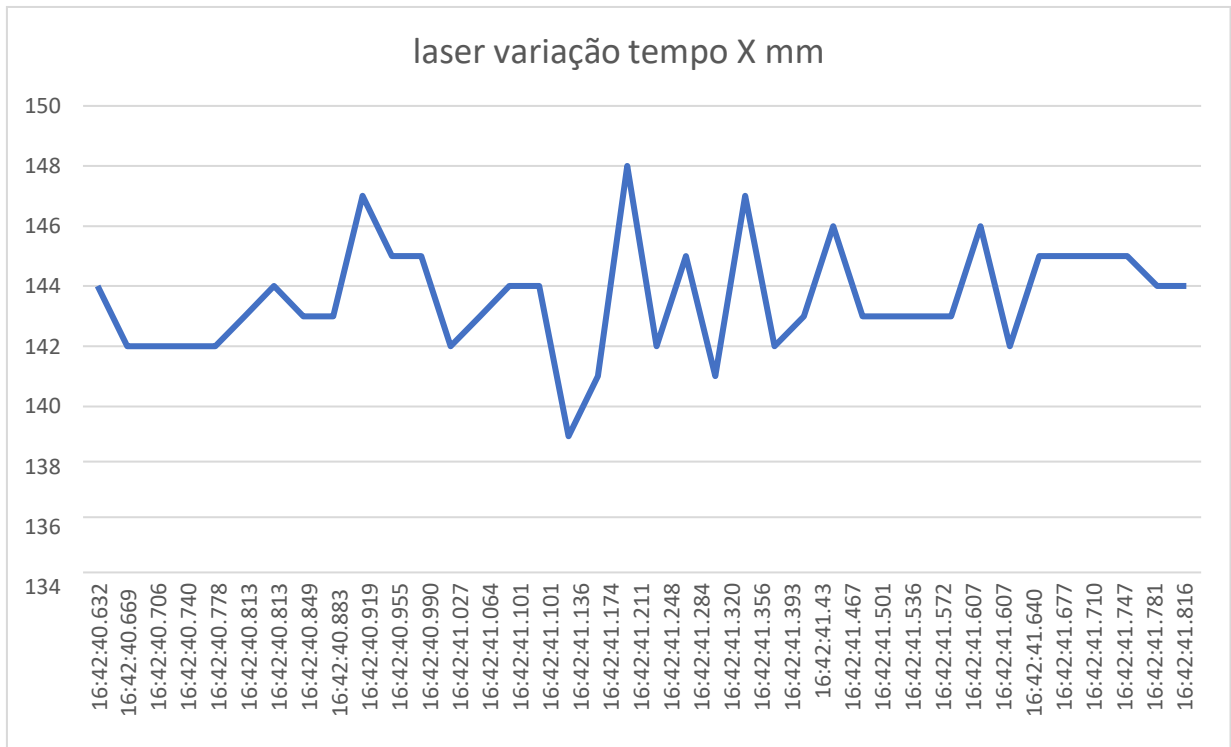


Fonte: o autor

(1.2) Sensor de distância laser VL53l0x

Em sequência ao sensor ultrassônico foi elaborado o teste do sensor laser de medição de distância. É possível observar na Figura 7 o gráfico típico de medições, em que se observa um desvio padrão de 1,8 mm de um obstáculo colocado a 14,3 cm de distância para os ensaios. Observa-se que o programa é capaz de responder em tempos que variam de 35 a 74 ms.

Figura 7 – gráfico típico de resposta de medição pelo sensor laser



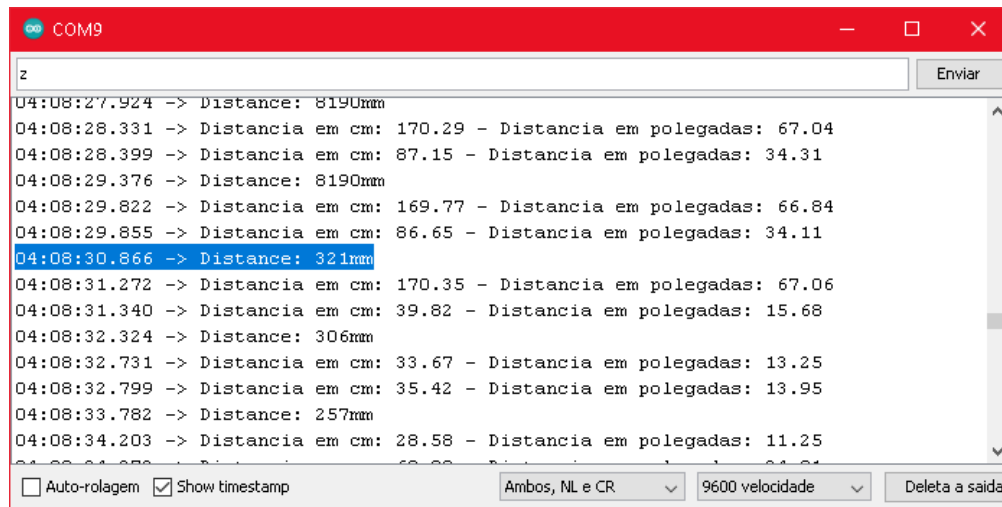
Fonte: o autor

(1.3) Combinação dos sensores

Baseados nos itens 1.1 e 1.2, da Seção de Resultados e Discussão, a ideia é de trabalhar com os dois sensores em conjunto. O primeiro sendo o VI53IOx para aproveitar seu tempo de resposta rápido e sua boa precisão, o que viabiliza alertar o usuário em casos de obstáculos mais próximos. O segundo sendo o HC-SR04, útil para alertar obstáculos de longas distâncias (até 4 metros) para compensar o curto alcance do VI53IOx que é de até 2 metros. Para verificar esta combinação é realizado um teste com os dois sensores ligados a um Arduino e apontando para o mesmo obstáculo.

O circuito Arduino com sensores é apoiado em cima de uma mesa e ligado diretamente ao computador para a leitura das medidas no Monitor Serial, existente na interface de programação (IDE) do Arduino. É colocada uma barreira com cerca de 30 cm, no campo de visão/funcionamento dos sensores, e em movimento, aproximando-se do circuito. Verifica-se que o obstáculo é identificado inicialmente somente pelo sensor ultrassônico. Porém, quando este se aproxima do circuito, a uma distância menor que 2m, observa-se que o sensor laser VI53IOx detecta primeiro o obstáculo do que o sensor HC-SR04, conforme listagem da saída serial com temporizações apresentada na Figura 8.

Figura 8 – Teste dos sensores HC-SR04 com VÍ5310X



Fonte: o autor

Tal aspecto de responsividade permite inferir que pode ser uma boa combinação dispor de sensor ultrassônico e a laser no protótipo. O primeiro pela distância máxima que é capaz de detectar um obstáculo (4 m). O segundo pela velocidade de resposta ao usuário quando os obstáculos já estão mais próximos (a até 2 m).

(2) Motor de Vibração

No projeto, o motor é utilizado como um dispositivo de alerta. O componente integrado com o sensor Ultrassom e laser VÍ5310x, deve vibrar ao detectar um obstáculo, alertando o usuário dos objetos a frente. São testados dois motores para alertar quando detectado obstáculos à frente do usuário: micromotor de *vibracall* de 3V, micro Servo Motor SG-90. A Tabela 1 contém resultados da comparação do peso de cada componente acrescentado com o módulo de driver do motor L293D, para adequar tensões do microcontrolador com o motor.

O micromotor *vibracall* é testado em laboratório, sendo observado que sua velocidade varia conforme a tensão aplicada em PWM, funcionalidade precisa ser interfaceada pelo driver L293D para compatibilizar a tensão e potência do motor com o microcontrolador Arduino. O peso do motor junto com o módulo totalizou 25 g.

Já o micro servo SG-90 pode ser ligado diretamente a um Arduino, apresenta a mesma intensidade de vibração para uma certa tensão que o *vibracall*, sendo mais leve que este último, 9 g.

Tabela 1 – Comparação dos micromotores

Motor	Necessidade do Motor Shield L293D Driver Ponte H	Peso Total (g)	Demonstrou variação de intensidade?
Motor Vibracall	Sim	25	Sim
Micro Servo Motor SG90	Não	9	Sim

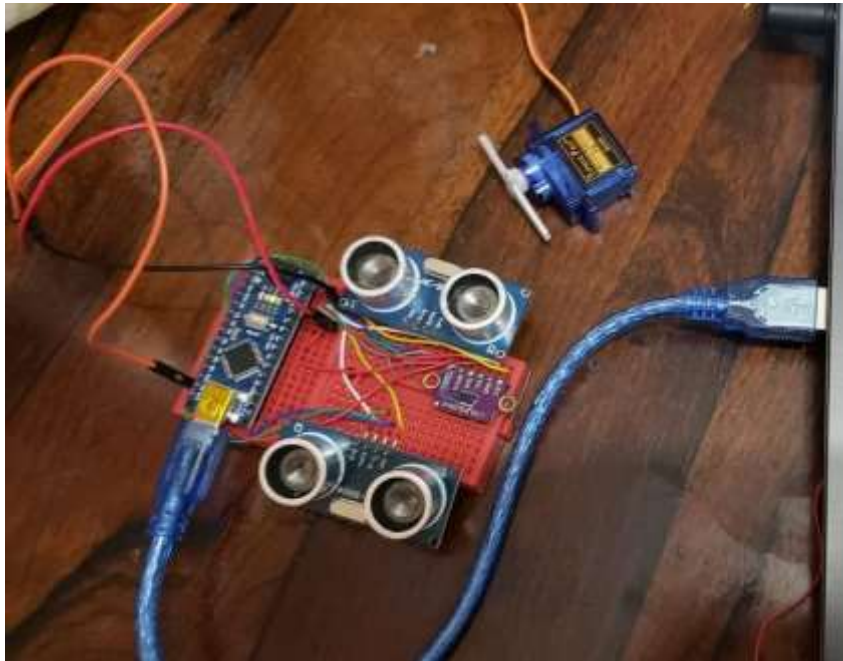
Fonte: o autor

O micromotor *vibracall* e o SG-90 são considerados como alternativas para o alerta tátil ao usuário de obstáculos e distância. A distância pode ser relativizada ao usuário pela utilização simples do recurso de alterar o ciclo de trabalho de *PWM* ao motor aumentando ou diminuindo a intensidade da vibração, de acordo se a distância é maior ou menor do usuário ao obstáculo. O critério de escolha do motor envolve o seu peso no colete e capacidade de gerar vibrações compreensíveis, além do aspecto de precisar ou não de driver adicional. Nestes três quesitos, o SG-90 mostra ser mais eficiente e apropriado para o protótipo

(3) Montagem do Hardware

Após a realização de testes iniciais de laboratório, elaborou-se a montagem do protótipo de hardware e software do dispositivo. Para tal, optou-se pelo modelo Leonardo dos Arduinos, pelo peso e tamanho reduzido que possuem. No protótipo utilizam-se dois sensores ultrassônicos, um sensor laser e um micromotor SG-90. A montagem é apresentada em foto na Figura 9.

Figura 9 – Protótipo de hardware do babador conectado ainda diretamente a um computador



Fonte: o autor

O conjunto é prototipado para alertar obstáculos até 4 metros de distância. A uma distância entre 1m a 2 m é emitido uma vibração maior do motor com oscilações/rotações do SG-90 de 180°. Opta-se entre 2 m a 3 m por um alerta de vibração que é menor em intensidade, conseguido com rotação de 90° do SG-90. Igualmente, acima de 3m de distância opta-se pela vibração de menor intensidade que corresponde a oscilações de 45° de rotação. No colete, para uma melhor cobertura de área, decidiu-se utilizar dois conjuntos como o da Figura 9, alimentados por bateria de 9V. Um é disposto abaixo do outro.

Para a programar de software do protótipo do circuito, foi utilizado o software IDE Arduino 1.8.13. No software é importante destacar que são utilizadas as bibliotecas *Ultrasonic.h* para o sensor HC-SR04, *VL53LOX.h* e *Wire.h* para o sensor VL53L0x (GUIMARÃES, 2020) e *Servo.h* para o Motor SG90 (FILIPEFLOP, 2021).

(4) Ensaios com o protótipo integrado

Os passos de um certo indivíduo podem variar, de acordo com sua altura e a forma de andar que depende da capacidade muscular e de alongamento de pernas. Para poder ter uma base para o uso do protótipo integrado, realizam-se 20 medições de passos de voluntários com 3 de estaturas diferentes. A Tabela 1 contém os resultados das medições e a última coluna, 30% de margem foi acrescida a uma passada média.

Tabela 1 – Média do passo de cada pessoa

	Altura (m)	Medida variação de um passo (cm)	Média de um passo (cm)	Média de um passo com acrécimo de 30% (cm)
Pessoa 1	1,53	51,3 – 63,4	57,3	74,4
Pessoa 2	1,75	62,4 – 68,2	65,3	85
Pessoa 3	1,81	71,5 – 73,8	72,65	94,5

Fonte: o autor

Diante de tais resultados, é confirmado que para pessoas consideradas altas no Brasil, é desejável um alcance mínimo de 1 m para que seja realizado um alerta com baixo *delay* ao usuário do protótipo.

O teste do circuito com os sensores acoplados ao colete é realizado em ambiente domiciliar, em que diversos voluntários caminham ao longo da casa. Vários obstáculos são apresentados a eles de forma aleatória. Verifica-se que o protótipo teve sucesso na detecção de objetos que estavam na mesma altura do peitoral, aproximadamente onde localizava-se os sensores. Alguns dos objetos apresentados aleatoriamente ao usuário do protótipo estão listados na Tabela 3. Nos testes, é experimentado mudar a posição de angulação dos sensores ultrassons para aumentar a área de visão, porém se percebe que esta mudança pouca influência o resultado obtido.

Tabela 3 – Teste do protótipo no reconhecimento de objetos em uma residência

Local	Obstáculos	Foi detectado?
Sala de Estar	Parede	SIM
	Rack com TV	SIM
	Sofá	NÃO
	Vaso no chão	NÃO
	Vassoura	SIM
Cozinha	Geladeira	SIM
	Fogão com a tampa fechada	NÃO
	Cadeira	SIM
	Fogão com a tampa aberta	SIM
	Parede	SIM
	Lixeira	NÃO
Quarto	Cama	NÃO
	Armário	SIM
	Parede	SIM

Fonte: Própria Autoria

Os custos do protótipo elaborado encontram-se disponíveis na Tabela 4.

Tabela 4 – Custos realizados para construção do protótipo

Componente	Custo (R\$)
Sensor Ultrassônico (4)	120,00
Sensor Laser (2)	128,00
Micro Servo SG 90 (2)	12,00
Protoboard (2)	24,00
Arduino Leonardo (2)	46,00
Diversos (fios, bateria, babador)	50,00
Total	380,00

Fonte: o autor

Pode-se observar dos testes com voluntários, cujo resumo é apresentado na Tabela 3, e os custos envolvidos, Tabela 4, que com um baixo investimento, seria possível melhorar a mobilidade de uma pessoa com dificuldades de visão em suas atividades cotidianas. Particularmente, como apresentado na Tabela 3, os objetos detectáveis ocorrem da cintura para cima, área em que o babador/colete está localizado. Além de complementar a atividade que ainda pode ser promovida por uma bengala, o babador poderia ainda evitar machucados na cabeça do deficiente.

Considerações Finais

O protótipo alcançou o resultado desejado no desenvolvimento de um dispositivo háptico para deficientes visuais. Os resultados apresentados demonstram a eficiência dos sensores de distância e de vibração com os voluntários, praticidade de uso e mais precisão para detectar e alertar sobre objetos localizados acima da cintura.

Pode-se dizer que o aparelho é eficiente para detectar obstáculos, entretanto parece ser necessário que um deficiente ainda utilize uma bengala como auxílio para detectar obstáculos abaixo da cintura. Para trabalhos futuros, sugere-se o estudo e desenvolvimento de um háptico que que possa complementar a percepção de objetos abaixo da cintura.

Referências Bibliográficas

CASSINELLI, Alvaro; REYNOLDS, Carson; ISHIKAWA, Masatoshi. Augmenting spatial awareness with haptic radar. **10th IEEE International Symposium on Wearable Computers**. IEEE, 2006. p. 61-64.

FILIFELOP. **O Maior portal da Eletrônica**. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/>. Acesso: dez/2020

FLORES, German et al. Vibrotactile guidance for wayfinding of blind walkers. **IEEE transactions on haptics**, v. 8, n. 3, p. 306-317, 2015.

GUIMARÃES, Fábio. **Sensor de distância a laser – VL53L0x**. Disponível em: <http://mundoprojetado.com.br/sensor-de-distancia-a-laser-vl53l0x/>. Acesso: jun/2020

LENAY, Charles et al. [D87] Remote tactile interaction. In: 2014 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS). IEEE, 2014. p. 1-1.

MANDUCHI, Roberto; KURNIAWAN, Sri. Mobility-related accidents experienced by people with visual impairment. **AER Journal: Research and Practice in Visual Impairment and Blindness**, v. 4, n. 2, p. 44-54, 2011

MURAI, Yasuyuki et al. An indoor-walk-guide simulator using a haptic interface. **World Automation Congress. IEEE, 2006**. p. 1-6.

NIETO, Luis; PADILLA, Carlos; BARRIOS, Mauricio. Design and implementation of electronic aid to blind's cane. **III international congress of engineering mechatronics and automation (CIIMA)**. IEEE, 2014. p. 1-4.

OLIVEIRA JR, Eudes Quintino de. **O portador de deficiência visual e o cão-guia**. JusBrasil, 2016. Disponível em: <https://eudesquintino.jusbrasil.com.br/artigos/332707039/o-portador-de-deficiencia-visual-e-o-cao-guia>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2019.

PAWLUK, Dianne TV; ADAMS, Richard J.; KITADA, Ryo. Designing haptic assistive technology for individuals who are blind or visually impaired. **IEEE transactions on haptics**, v. 8, n. 3, p. 258-278, 2015.

PINHO, José Mário Veras de; SOUZA, Amanda da Silva; OLIVEIRA, Denia Elice Matias de; COSTA, Evaldo Sávio Silva; FILHO, Oscar Machado da Cunha; SOUSA, Roniere da Silva; ARAÚJO, Francisco Marcelino **Almeida de. Prototipagem de dispositivo de auxílio a deficientes visuais com hardware livre**. Disponível em: <http://www.sistemaolimpico.org/midias/uploads/c1cb591d95fc50f7c934992cb7928cae.pdf>. Acesso: 17 de janeiro de 2019.

RODRIGUES, C. **Um dispositivo háptico de auxílio à navegação para deficientes visuais**. Trabalho de Graduação. Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

SÁ, Elizabet Dias de. **Acessibilidade: as pessoas cegas no itinerário da cidadania**. Disponível em: <<http://www.bancodeescola.com/acessibilidade.htm>>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2019.

SALVIN, Jonathan H. **Visual Impairment. TeensHealth**. Disponível em: <<https://kidshealth.org/en/teens/visual-impairment.html>>. Acesso em: 15 de março de 2019.

SHOPEE. **Sensor Laser**. Disponível em: <https://shopee.com.br/M%C3%B3dulo-GY-VL53L0XV2-do-sensor-de-dist%C3%A2ncia-do-tempo-de-v%C3%B4-VL53L0X-da-VERWONG-para-Arduino-i.191703144.4804886177>. Acesso em: jan 2021.

SULLIVAN, Paul. **Com custo de até R\$ 138 mil, treinar cães-guia é desafio para ONGs nos EUA**. Disponível em: <https://ultimosegundo.ig.com.br/mundo/nyt/2013-11-10/com-custo-de-ate-r-138-mil-treinar-caes-guia-e-desafio-para-ongs-nos-eua.html>. Acesso: 18 de março de 2019.

TAKIZAWA, Hotaka et al. Kinect cane: An assistive system for the visually impaired based on three-dimensional object recognition. **IEEE/SICE international symposium on system integration (SII)**. IEEE, 2012. p. 740-745.

THOMSEN. Adilson. **Como Conectar o Sensor Ultrassônico HC-SR04 ao Arduino**. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/sensor-ultrassonico-hc-sr04-ao-arduino/>. Acesso: jun/2019.

Contato: mtukozaki@gmail.com e newton.licciardijr@gmail.com