

Sistema Ciber-Físico no Auxílio a Deficientes Visuais

Elisângela Dubiel dos Santos¹, Rodolfo Francisco de Oliveira², Renato Silva dos Santos³

¹Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo(IFSP) – Campus Hortolândia – SP – Brasil

²Área de Informática – Campus Hortolândia – Instituto Federal de São Paulo (IFSP)

³Analista Desenvolvedor – Campinas – Synchro Sistemas de Informação

lili.dubiel@gmail.com, rodolfo_foliveira@hotmail.com,
renatos.dosantos@gmail.com

Abstract. *The purpose of this article is to show the development of a prototype that helps visually impaired people navigate in urban environments safely. The prototype is intended to alert the user that an above ground obstacle is close, which a common walking stick would not detect, through an enhanced system combined with the walking stick normally used by the visually impaired. This prototype uses the concept of Cyber-Physical Systems, which is interconnected with electronic components, such as an ultrasonic sensor and a vibracall motor, and a computational core, called the Wemos-D1/R2 microcontroller.*

Resumo. *Este artigo tem como objetivo mostrar o desenvolvimento de um protótipo que auxilia deficientes visuais a se locomoverem em ambientes urbanos de maneira segura. Seu intuito é alertar o usuário quando um obstáculo que se encontra acima do solo estiver próximo, o qual a bengala comum não detecta, através de um sistema acoplado a própria bengala já utilizada pelo deficiente visual. Este protótipo utiliza o conceito de Sistemas Ciber-Físicos, onde há a interligação de componentes eletrônicos, tais como um sensor ultrassônico e um motor vibracall, a um núcleo computacional, sendo este o microcontrolador Wemos-D1/R2.*

1. Introdução

No Brasil cerca de 48,1% da população possui alguma deficiência visual [IBGE 2002]. Além disto, 6,6% das pessoas que a possuem, fazem uso de métodos para auxiliar na locomoção em determinado ambiente que frequentam[PNS 2015], tais como cão guia e a bengala que tem como função identificar desníveis, degraus e buracos no solo[PNS 2015]. O aumento das limitações para deficientes visuais, se deve aos obstáculos encontrado pelos mesmos no dia a dia, que os impede de realizar atividades habituais, como caminhar na calçada, por exemplo. Segundo Paulo Toledo Piza[Piza 2012], deficientes reclamam de buracos e degraus nas calçadas, além de obstáculos altos, que a bengala não identifica, como orelhões e placas, podendo causar acidentes graves ao esbarrar em algum destes.

Diante dessa problemática o objetivo deste trabalho é apresentar um protótipo de uma bengala para detecção de objetos localizados acima do solo, bem como um algoritmo para detecção de obstáculos e alerta ao usuário, baseado na distância do objeto em questão. A ferramenta em foco identificará obstáculos os quais a bengala comum não detecta, tais como

uma árvore, uma placa de rua, ou até mesmo um muro, com menor nível de intrusividade ao usuário, utilizando-se do conceito de Sistemas Ciber-Físicos (*Cyber-Physical Systems – CPS*). CPS é um conceito que está se tornando frequente na área da Tecnologia da Informação atualmente; a mesma tem como objetivo interligar componentes eletrônicos a uma rede de informações utilizando-se de sensores para ler grandezas do meio ambiente, como temperatura, pressão atmosférica, umidade e a distância em relação a obstáculos[Shi et al. 2011].

Em conjunto com o CPS, a proposta em questão também lida com o conceito de sistema embarcado, onde o computador de baixo poder computacional é anexado ao sistema que o mesmo controla, realizando tarefas já predefinidas, interagindo constantemente com o ambiente ao seu redor por meio de sensores e atuadores[Leusin et al. 2011], focando em um objetivo, que no caso deste trabalho, será a locomoção segura do usuário. O algoritmo desenvolvido é responsável pela detecção dos objetos e criação de alertas ao usuário através de motores do tipo *vibracall*, acoplados na bengala do usuário, que ao se aproximar de algum objeto, emite vibrações como forma de alertar que o obstáculo está próximo. Estas vibrações são baseadas na distância do objeto em questão (quanto mais o usuário se aproxima, maior será a frequência da vibração).

Outros protótipos desenvolvidos até o momento, utilizam sensores e outros equipamentos acoplados ao corpo do usuário, restringindo seus movimentos e podendo causar incômodo ao mesmo. A proposta apresentada neste trabalho tem como objetivo fornecer uma interação menos intrusiva entre o deficiente visual e os objetos ao redor dele, concentrando todos os equipamentos necessários no corpo da bengala.

O trabalho em questão contém a seguinte estrutura: na seção 2 é apresentado o conceito sobre Sistemas Ciber-Físicos, desde o seu surgimento e as aplicações do mesmo, além de dissertar sobre Saúde Inteligente e Tecnologia Assistiva. Na seção 3 são apresentados trabalhos correlacionados. Na seção 4 relata a proposta da arquitetura do sistema, o desenvolvimento apresentando o diagrama de componentes do sistema, o fluxograma e o pseudocódigo. Na seção 5 é apresentado os materiais e métodos utilizados para desenvolvimento deste, além dos componentes, a plataforma de prototipagem e a IDE utilizada para o desenvolvimento. Na seção 6 são apresentados os testes e as funcionalidades do protótipo, bem como os resultados finais. A conclusão é apresentada na seção 7, além de sugestões e perspectivas para trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

Nesta seção, serão apresentados alguns conceitos essenciais que foram utilizados no desenvolvimento deste trabalho: Sistemas Ciber-Físico, Saúde Inteligente e Tecnologia Assistiva.

2.1 Sistemas Ciber-Físicos

O termo surgiu primeiramente pelo professor Raj Rajkumar da Universidade de *Carnegie Mellon*, em um seminário patrocinado pela Fundação Nacional da Ciência (*National Science*

Foundation - NSF)[Rawung and Putrada 2014], que desde 2006 está dedicando grandes investimentos para pesquisas relacionadas a Sistemas Ciber- Físico (CPS)[Shi et al. 2011].

Este conceito visa trabalhar com a integração dos componentes físicos a um núcleo computacional, utilizando-se de atuadores (tais como motores, luzes, etc.), e sensores (como por exemplo de temperatura, umidade, distância, etc.), que coletam os dados em tempo real , e comunicam a um centro computacional, o qual tem como objetivo fazer a análise destes dados e retornar com as tomadas de decisões[Lin et al. 2017]. Este requer uma tecnologia de rede com ou sem fio, pois trabalha com uma grande quantidade de processamento de dados, e para isto, precisa ter um bom gerenciamento, além da confiabilidade necessária para a transferência dos dados[Leusin et al. 2011]. A Figura 1 ilustra o conceito de Sistemas Ciber-Físicos, exibindo o centro computacional que pode ser desde um computador ou um telefone celular interligado com os sensores e atuadores, e a troca de dados entre eles.

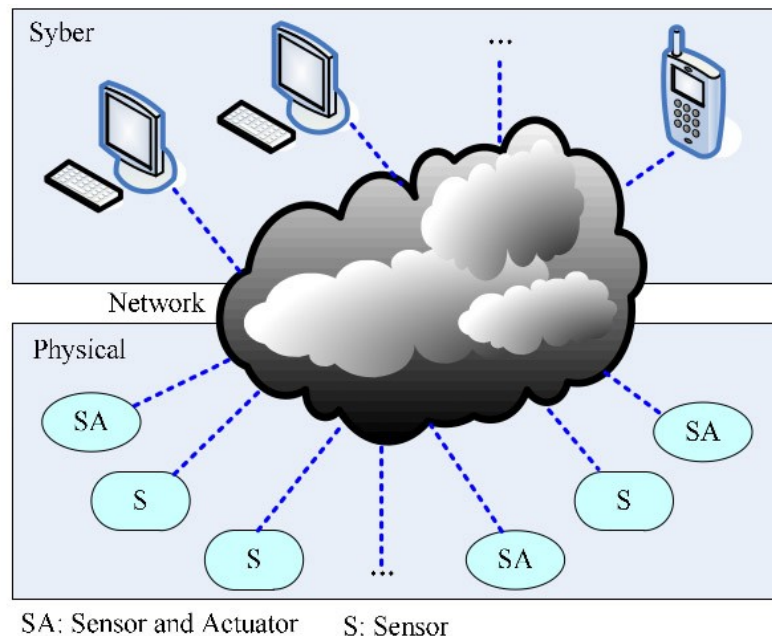


Figura 1. Ilustração de um Sistema Ciber-Físico[Shi et al. 2011]

Desde 2007 o Governo Americano vem considerando o CPS como uma nova estratégia de desenvolvimento, e com isso vem-se discutindo os desafios que são necessários serem considerados para se evoluir este conceito[Shi et al. 2011]. Os tópicos mais considerados pelos pesquisadores são a segurança no controle de dados, o controle de energia, a transmissão e a gestão destes dados[Shi et al. 2011]. Mas com a evolução da tecnologia, que vem permitindo uma maior capacidade de tratamento dos dados, além de sensores mais eficientes e de menor custo, faz com que cada vez mais o estudo sobre CPS seja aperfeiçoado.

Por si só, Sistemas Ciber-Físicos são um conceito, assim como Sistema Embarcado e Internet das Coisas (*Internet of Thing – IoT*), cujas operações são monitoradas e coordenadas por um sistema computacional, sendo com processamento de dados, tal como CPS e IoT, ou apenas para controle de alguma ação, como o Sistema Embarcado[Leusin et al. 2011]. A diferença crucial entre eles, é a complexibilidade que os envolve. CPS e IoT possuem mais inteligência e poder de processamento de informações, diferente de Sistema Embarcado. A diferença entre IoT e CPS, é que a primeira envolve o uso de conexões de redes

(*Interconnection Network*), diferente do CPS que envolve apenas uma rede de comunicação entre os objetos e o sistema computacional[Lin et al. 2017]. Um conceito não exclui o outro, podendo trabalhar em conjunto e possibilitando assim melhoria na tecnologia e estudos nessa área.

Desde 2010 há um *workshop* conhecido como Conferência Internacional em Sistemas Ciber-Físicos (*Conference on Cyber-Physical Systems – ICCPS*), onde se é discutido as áreas de atuação do CPS, além das áreas de pesquisas e desenvolvimento[Rawung and Putrada 2014]. A seguir será apresentada algumas das principais áreas de atuação, tais como:

- Sensores de Rede no CPS (*Network Sensors in CPS*): Área que tem por objetivo coletar dados a partir de sensores, priorizando a dinâmica do mundo físico com sistemas computacionais. Pode ser aplicado em aviões e carros, entre outros cenários;
- Saúde – Dispositivos Médicos (*Health - Medical Devices*): Visa a sofisticação de dispositivos médicos, levando em consideração reduzir os erros causados por seres humanos;
- Energia (*Energy*): Área que visa a economia de energia, através da estratégia de controle de *data centers*, melhorando o gerenciamento de energia fornecida atualmente;
- Transporte (*Transportation*): Esta área visa a locomoção de veículos sem a necessidade de um motorista, apenas considerando sensores acoplados ao mesmo para reconhecer o ambiente a sua volta.

O trabalho em questão é voltado a área da “Saúde”, mais especificamente sobre acessibilidade, utilizando sensores para reconhecer o ambiente a volta do usuário, mantendo-o seguro e melhorando assim a qualidade de vida.

2.2 Tecnologia na Área da Saúde

A Tecnologia tem buscado melhorar a medicina tradicional. Por exemplo, a empresa *Microsoft* possui uma área especializada em inovar ambientes hospitalares utilizando o conceito de Internet das Coisas[Microsoft [S.d.]], onde o usuário pode observar atendimento de pacientes em hospitais e até mesmo monitorar a frequência cardíaca dos mesmos, que precisam estar apenas conectados a diversos tipos de sensores.

A Saúde Inteligente também pode ser utilizada para melhorar a qualidade de vida de pessoas com algum grau de deficiência física. A utilização de métodos para desenvolver serviços ou estratégias que visam diminuir os problemas encontrados por tais indivíduos, é chamado de Tecnologia Assistiva[Cook e Hussey 1995]. O objetivo principal é melhorar a qualidade de vida, incluindo assim qualquer técnica ou solução que deixe o usuário mais independente em atividades que o mesmo realizaria com dificuldade, como por exemplo fixadores de talheres, para aqueles que têm dificuldade em segurá-los; pranchas de comunicação que contém simbologia gráfica, para expressar vontades, voltado para aqueles que têm dificuldade na fala, entre outras.

A Tecnologia Assistiva é dividida em categorias de acordo com os objetivos funcionais ao qual são fabricados[Bersch 2017]. Abaixo segue as categorias para esse tipo de tecnologia:

- Auxílios para a vida diária e vida prática: Materiais que facilitam tarefas rotineiras, como por exemplo, se alimentar, cozinhar, etc;
- CAA (Comunicação Aumentativa e Alternativa): Atende usuários sem fala ou que tem dificuldade na escrita e na compreensão;
- Recursos de acessibilidade ao computador: Hardware ou software destinados a deixar o computador mais acessível para pessoas com privações visuais, auditivas, intelectuais e motoras;
- Mobilidade em veículos: Itens que auxiliarão o usuário a embarcar e a dirigir um automóvel;
- Auxílios para melhorar a função auditiva e recursos utilizados para traduzir os conteúdos em áudio em imagens, texto e língua de sinais: Já utilizados atualmente, como os aparelhos de surdez, aplicativos que transformam em linguagem de sinais determinadas palavras, etc;
- Auxílios para ampliação da função visual e recursos que traduzem conteúdos visuais em áudio ou informações tátil: Utilizados atualmente, como mapas e gráficos táteis;
- Auxílios de Mobilidade: Melhorar a mobilidade do usuário que tem alguma dificuldade, sendo por bengala, muletas, andadores, etc;
- Adequação Postural: São recursos que garantem uma postura mais alinhada e confortável para o usuário;
- Órteses e Próteses: Estas servem de auxílio para movimentação, até mesmo para correção de postura;
- Projetos Arquitetônicos para acessibilidade: Garantem um acesso adequado independente da condição física da pessoa;
- Sistemas de Controle de Ambiente: Através de casas inteligentes, pessoas com pouca mobilidade podem apagar ou acender a luz utilizando sensores ou até mesmo controles remoto.

O Projeto em questão se enquadra na categoria “Auxílios de Mobilidade” em Tecnologia Assistiva, visando a melhor locomoção dos usuários.

3. Trabalhos Correlatos

Nas pesquisas realizadas, foram identificados três trabalhos correlatos: o projeto Argos, um óculos sonar e um óculos com microcontrolador nas lentes. A seguir, será apresentada uma breve descrição sobre os mesmos.

O projeto Argos [Filho 2011] visa o auxílio de deficientes visuais a partir de uma pulseira que contém um sensor ultrasônico, um microcontrolador e um motor (atuador) de vibração. Os equipamentos têm a intenção de trabalhar em conjunto com a bengala, com o intuito da pulseira emitir um sinal que irá captar a distância do usuário de algum objeto à sua frente. Com a distância coletada, o programa executado no microcontrolador analisará se o usuário receberá algum tipo de alerta. A pulseira irá captar obstáculos altos, em que a bengala não conseguiria identificar. A versão final é ilustrada na Figura 2, porém os projetistas têm o objetivo de fazer com que o dispositivo alcance o tamanho de um relógio de pulso. Em termos de custo, o valor final do protótipo foi orçado em R\$163,75.

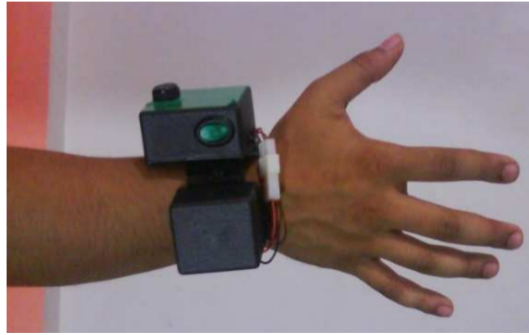


Figura 2. Visão final do dispositivo Argos[Filho 2011]

Outro projeto relacionado é os óculos Sonar [Konigame et al. 2009], que contém um microcontrolador e um sensor ultrassônico. Ele é acoplado ao óculos, que capta a distância até um determinado objeto e repassa a informação para o microcontrolador, responsável por analisar e verificar se o alerta deve ser emitido ao usuário através de um alto-falante, localizado em uma pequena caixa presa na cintura(Figura 3). Conforme a distância entre o usuário e o objeto diminui, maior será a frequência do sinal sonoro. O valor do protótipo foi avaliado em R\$120,00.

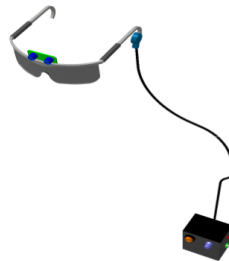


Figura 3. Ilustração do Óculos Sonar[Konigame et al. 2009]

Estudantes universitários de Recife fizeram também um óculos que contém um microcontrolador nas lentes, trabalhando em conjunto com um sensor ultrassônico. O projeto identifica obstáculos com até três metros de distância e emite um sinal de alerta a partir de um motor de vibração localizado na haste do óculos(Figura 4). O protótipo foi criado com o intuito de ser complemento da bengala, já utilizada pelo deficiente visual. O valor deste protótipo foi avaliado em R\$45,00[Globo 2015].



Figura 4. Visão Final do Óculos com Sensor[Globo 2015]

4. Desenvolvimento

Nesta Seção será abordada a proposta do protótipo e a lógica utilizada para o desenvolvimento.

4.1 Arquitetura da Proposta

O principal objetivo do sistema é auxiliar a locomoção de deficientes visuais de forma segura, utilizando a bengala, pois ela facilita a locomoção em ambientes irregulares podendo evitar que o usuário tropece em alguma elevação ou caia em algum buraco. O protótipo tem como objetivo identificar obstáculos que estão acima do solo tendo em base a distância até os objetos em questão onde o usuário não encontraria com a bengala tradicional. O usuário é informado a respeito da distância através de um motor *vibracall*, conforme ilustra a Figura 5.

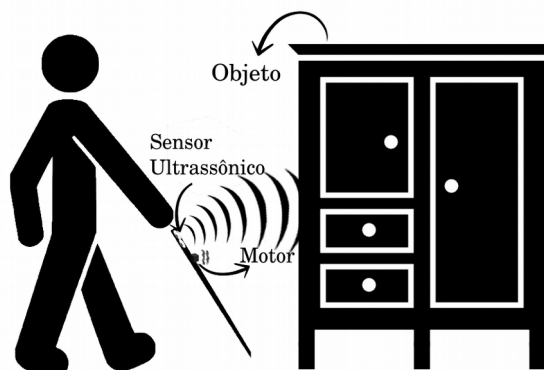


Figura 5. Ideia do protótipo

O diagrama de componentes demonstra a relação de dependência dos componentes utilizados (Figura 6), sendo o motor *vibracall* e o sensor ultrassom totalmente dependentes do micro-controlador, pois para que as tomadas de decisões sejam realizadas, é necessário o acionamento feito pelo algoritmo programado no próprio micro-controlador.

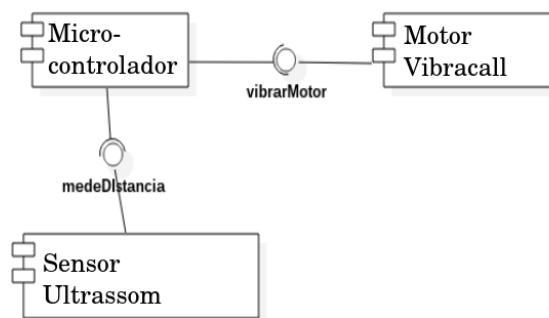


Figura 6. Diagrama de Componentes

4.2 Lógica da Proposta

Para desenvolver a lógica da proposta do projeto, foi considerado as distâncias preestabelecidas na Tabela 1. Ao todo foram definidos três níveis de frequência de vibração, tendo como base a distância, que foram decididas a partir do tamanho de uma bengala tradicional comercializada que é de 138cm[Ortoponto [S.d.]], e com isso levou-se em consideração o tempo de resposta seguro para o usuário, considerando que o mesmo está fazendo uma caminhada leve, na velocidade de 3km/h . O protótipo fará a análise da distância

entre o objeto e o usuário, caso a distância se adeque a alguma das condições estabelecidas, é então realizada a tomada de decisão, e o motor *vibracall* é acionado e de acordo com a distância encontrada os pulsos gerados são de baixa, média ou alta intensidade. O Fluxograma do sistema (Figura 7) ilustra de forma mais informativa como funciona a lógica desenvolvida.

Tabela 1. Distâncias a serem consideradas para ativação do *vibracall*

Distância	Tempo de Vibração
Maior 150cm	Nenhuma Vibração
Menor 150cm e maior que 100cm	Vibrações a cada 2 segundos
Menor que 100cm e maior que 50cm	Vibrações a cada 1 segundo
Menor que 50cm	Vibrações a cada 300 milissegundos

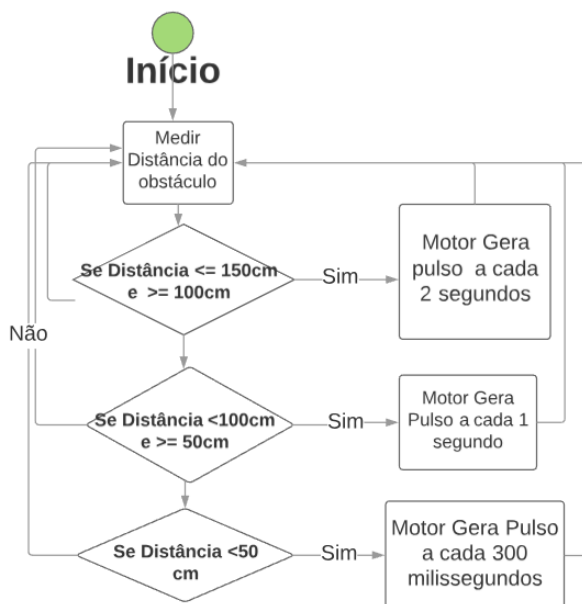


Figura 7. Fluxograma do Sistema

Para calcular a distância do usuário ao objeto o sensor ultrassônico utilizado envia 8 pulsos de 40KHz. Quando os pulsos atingem um obstáculo, irá retornar ao sensor. A partir do tempo em que o sinal demorou para atingir o objeto, é possível calcular a distância entre o sensor ultrassônico e o obstáculo. Através da equação abaixo que se obtém a distância em que o protótipo se encontra do objeto:

$$Distância = (tempo \times 340m/s)/2.$$

O valor de 340m/s é o valor da velocidade de propagação das ondas sonoras [Thomsen 2015]. E se divide por dois, pois se leva em consideração o tempo de ir e voltar do sinal emitido.

Para melhor demonstração do desenvolvimento, a Figura 8 apresenta o algoritmo implementado no microcontrolador.


```

01: funcao medeDistancia(){
02:     Inteiro tempo = acionarSensorUltrassonico();
03:     Inteiro distancia = (tempo*340)/2;
04:     retornar distancia;
05: }

06: funcao vibrarMotor() {
07:     Inteiro tempoAtual = segundos();
08:     SE((estadoMotor == Ligado) E
        (tempoAtual - tempoPrevio >= motorLigado)){
09:         estadoMotor = Desligado;
10:         tempoPrevio = tempoAtual;
11:         acao_vibrar(estadoMotor);
12:     } CASO CONTRARIO SE ((estadoMotor == Desligado) E
        (tempoAtual - tempoPrevio >= motorDesligado)){
13:         estadoMotor= Ligado;
14:         tempoPrevio = tempoAtual;
15:         acao_vibrar(estadoMotor);}}

16: funcao principal() {
17:     Inteiro distancia = medeDistancia();
18:     SE ((distancia <= 150) E ( distancia >= 100)){
19:         motorLigado = 1000;
20:         motorDesligado = 2000;
21:         vibrarMotor();}
22:     CASO CONTRARIO SE ((distancia < 100) E (distance >= 50)){
23:         motorLigado = 1000;
24:         motorDesligado= 1000;}
25:         vibrarMotor();
26:     CASO CONTRARIO SE (distancia < 50) {
27:         motorLigado = 1000;
28:         motorDesligado= 300;
29:         vibrarMotor(); }
30:     CASO CONTRARIO SE (distance > 150) {
31:         desligar_motor(); }}

```

Figura 8. Pseudocódigo do Protótipo

Inicialmente na função principal (linha 16), é declarado uma variável que receberá a distância que será calculada a partir da função “medeDistancia()” (linha 01). Após identificar esta distância, a mesma será analisada a partir das condições estabelecidas (linha 18, 22, 26). As variáveis “motorLigado” e “motorDesligado” armazenam quanto tempo (em milissegundos) o motor *vibracall* ficará ligado ou desligado. Caso a distância encontrada for maior do que 150 centímetros (linha 30) o motor será desligado através da função `desligar_motor()` (implementada no microcontrolador em questão).

O número de medidas realizadas pelo sensor ultrassom por segundo acarretará diretamente na eficiência e resposta do protótipo. Quanto maior for o número de medidas, maior será a precisão do mesmo. Sendo assim, a frequência (*clock*) do microcontrolador terá um relacionamento direto com o desempenho do protótipo, pois quanto maior o mesmo, mais medidas poderão ser realizadas.

Durante a fase de desenvolvimento, foi considerado a utilização de funções de atraso (*delay*, *sleep*, etc.) para controlar o ligamento e o desligamento do motor *vibracall*. Tal abordagem mostrou-se ineficaz, já que, durante a execução de tais funções, o microcontrolador (ou processador) não executa nenhuma tarefa, deixando o aparelho sem reação caso o usuário se aproxime rapidamente de algum obstáculo.

Para contornar tal deficiência (e executar duas tarefas – medir distância e vibrar motor – em tempo humano real), foi desenvolvido um algoritmo que não utiliza funções nativas da IDE utilizada, tal como o *delay*, para ligar ou desligar os atuadores. Foi possível conseguir tal objetivo monitorando o tempo de execução através da função “vibrarMotor()” (linha 06), esta leva em consideração o momento em que uma ação é designada ao motor (ligar ou desligar), através da variável “tempoPrevio” e a subtrai pela variável “tempoAtual”, que é o tempo atualizado em segundos, a partir do valor encontrado é que se identifica o tempo em que o *vibracall* está ligado ou desligado. Considerando as condições preestabelecidas na função Principal (linha 18, 22, 26), caso seja necessário, o mesmo é reativado ou desativado.

5. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento do protótipo, foram escolhidos equipamentos eletrônicos de baixo custo e *open hardware*, permitindo a possibilidade de implementação de novas funcionalidades para o projeto futuro, além de garantir que o mesmo seja acessível a qualquer perfil de usuário.

Para implementar o microcontrolador, a placa de prototipação escolhida foi a Wemos D1/R2, baseado no módulo ESP-8266, principalmente por ter um *clock* maior do que outras alternativas (por exemplo, o Arduino). Para medir a distância em que o usuário se encontra do objeto é utilizado o sensor ultrassom HC-SR04, que mede a distância a partir de sinais ultrassônicos. Para alertar o usuário, foi utilizado um motor tipo *vibracall* comumente encontrado em *smartphones*. A Figura 9 ilustra o esquema de interconexão dos componentes.

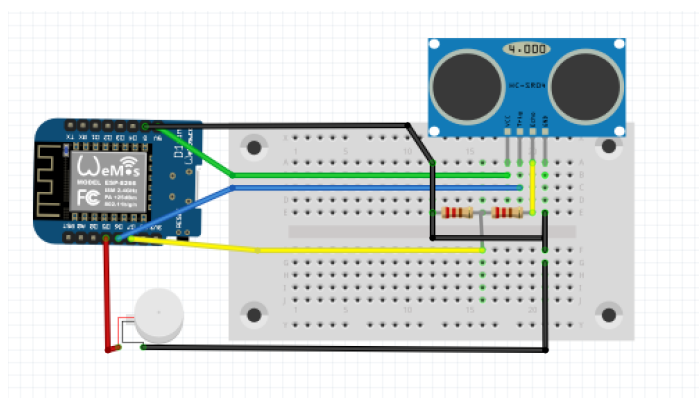


Figura 9. Interligação dos Componentes Eletrônicos

Nos próximos tópicos, serão apresentados de maneira mais específica cada componente, além da especificação do ambiente de desenvolvimento (IDE) onde foi programado o algoritmo.

5.1 Wemos D1/R2

A plataforma de prototipagem Wemos D1/R2(Figura 10) vem com o módulo ESP8266 que permite conexão com a internet, utilizando-se do padrão *Wi-fi*, o que faz que a mesma se torne uma plataforma apropriada para o desenvolvimento de aplicações relacionadas a Internet das Coisas, permitindo a interconexão da mesma com outros sistemas ou objetos a partir da rede.

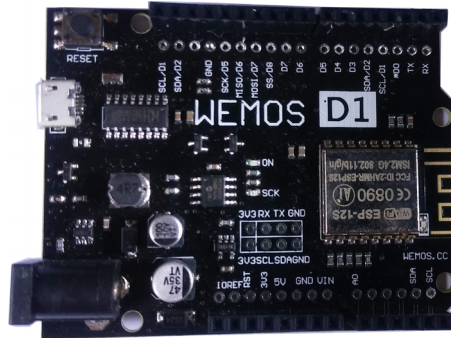


Figura 10. Wemos D1R2

A placa possui 11 pinos de I/O digitais e 1 entrada analógica com tensão lógica de 3,3V. Contém memória *flash* integrada, sendo que as bibliotecas do Arduino são compatíveis com a mesma[Masterwalker [S.d.]]. Pode se programar o algoritmo utilizando-se do Arduino IDE, além da linguagem LUA.

O principal motivo para a escolha desta placa, foi o fato da mesma ser *open* hardware, permitindo assim que o desenvolvedor faça as modificações necessárias sem que tenha que pagar alguma taxa de licença, acrescentando assim mais uma vantagem, que é a redução de custos.

5.2 Sensor Ultrassom HC-SR04

Para que o sistema possa medir a distância de um objeto do usuário e alertá-lo antes que o mesmo o atinja, é utilizado o sensor ultrassônico HC-SR04 (Figura 11). Este emite sinais ultrassônicos de 40KHz, conseguindo medir distâncias até 4 metros. A distância é calculada a partir de equação demonstrada na seção 4.



Figura 11. Sensor Ultrassônico HC-SR04

Fonte:<http://buildbot.com.br/blog/como-utilizar-o-sensor-ultrasonico-hc-sr04/>

Ao conectar o sensor ultrassônico na placa de prototipação Wemos D1/R2 através de uma *proto-board*, é necessário diminuir as tensões através de resistores, pois o sensor trabalha com tensões de 5V, já a placa trabalha com tensões de 3,3V.

5.3 Vibracall

Para alertar o usuário da proximidade de um objeto, é utilizado o *vibracall*(Figura 12). Este modelo é o mesmo utilizado por *smartphones* e outros eletrônicos. Sua principal vantagem é a compatibilidade com placas de prototipagem (como o Arduino e o próprio Wemos), sendo o modelo ideal para projetos como o desenvolvido até o momento.



Figura 12. Sensor *Vibracall*

Fonte:https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-734641592-micro-vibrador-motor-3v-automaco-arduino-vibracall-_JM

Este funciona com uma tensão lógica de 3,3V. Seu tamanho é pequeno, sendo o comprimento total de 4 cm, tornando-o ideal para o protótipo final, pois permite que o projeto seja compacto e além do mais, as vibrações emitidas pelo mesmo são sentidas pelo usuário, sem causar incômodo.

5.4 Arduino IDE

Para a implementação do algoritmo, foi utilizado o Arduino IDE(*Integrated Development Environment*)(Figura 13).

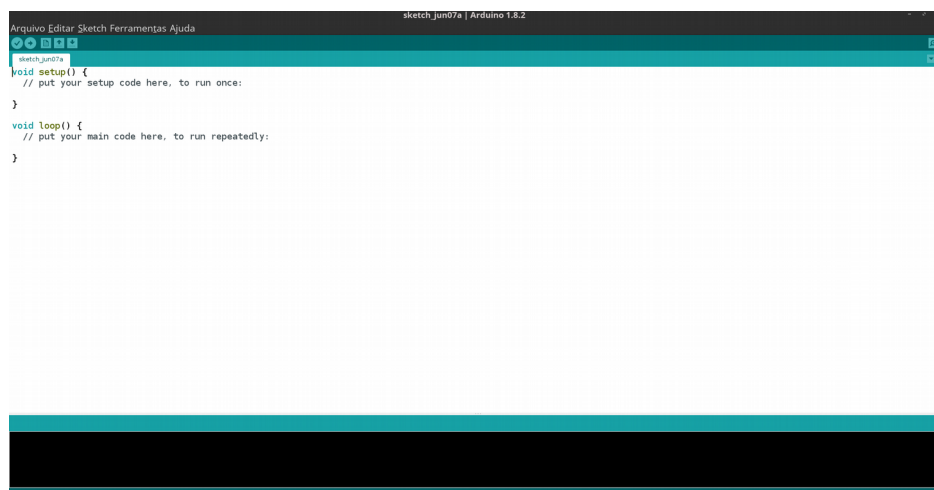


Figura 13. Tela Inicial Arduino IDE, versão 1.8.2.

As placas de prototipação, geralmente utilizam linguagens baseadas em C/C++. A principal vantagem do Arduino IDE, consiste no fato de ser *open source* e multiplataforma, e a partir disto, o usuário pode criar vários projetos, não só para a placa de prototipagem Arduino, mas para a utilizada nesse projeto, Wemos, e até mesmo outros modelos como a NodeMCU, etc. Esta IDE permite a importação das bibliotecas da placa escolhida para o projeto do usuário, melhorando assim a composição do código.

Por ser um software livre, as bibliotecas podem ser encontradas em sites de busca na internet e instaladas na própria IDE para uso. Como por exemplo, o sensor ultrassônico citado anteriormente, para bom funcionamento é preciso instalar sua biblioteca, “<Ultrasonic.h>”.

6. Testes e Resultados

Nesta seção serão apresentados os testes e os resultados referentes a funcionalidade do protótipo, bem como sua interação com o ambiente ao redor, considerando sua capacidade de coletar os dados e alertar o usuário. Os testes se baseiam em aproximar o protótipo de objetos e visualizar a reação do mesmo (erro ou acerto). Não houve testes envolvendo seres humanos ou animais. Ao final desta seção, encontra-se o modelo final do protótipo.

6.1 Teste de Aproximação

Neste teste inicial é montado um ambiente onde o protótipo é posicionado a 200 centímetros do obstáculo, pois a partir desta distância o *vibracall* encontra-se desligado, e então é aproximado do mesmo a uma velocidade de 3km/h. Quando a distância do protótipo estiver a 150 centímetros do obstáculo, o mesmo deve entrar na condição mostrada na Tabela 1 e o *vibracall* deve ser acionado como forma de alerta. A Figura 14 ilustra como foi formado o ambiente deste teste.

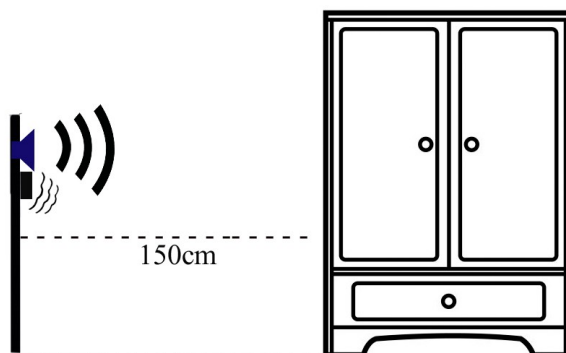


Figura 14. Ilustração do Ambiente de Teste de Aproximação

A reação do protótipo para cada intervalo de vibração foi analisado, atentando-se principalmente aos níveis de aproximação designados, distanciando e aproximando o protótipo 100 vezes consecutivas.

Foi possível constatar que o protótipo funcionou 100% das vezes, alertando corretamente nos três intervalos de frequência estabelecido, emitindo o alerta *vibracall* a uma distância possível para haver desvio do caminho.

6.2 Teste De Desvio

Para analisar a capacidade do protótipo em identificar um desvio (mudança de um obstáculo para uma visão livre), o mesmo foi posicionado a uma distância de 50 cm de um obstáculo, esperando-se que a reação do mesmo seja emitir vibrações a cada 300 milissegundos, como estabelecido na Tabela 1. O protótipo é então desviado a um ângulo de 90° para um caminho onde não há nenhuma forma de obstáculo para que o *vibracall* seja acionado, portanto é esperado que a reação do protótipo seja parar imediatamente de vibrar. A Figura 15 ilustra como foi formado o ambiente para este teste.

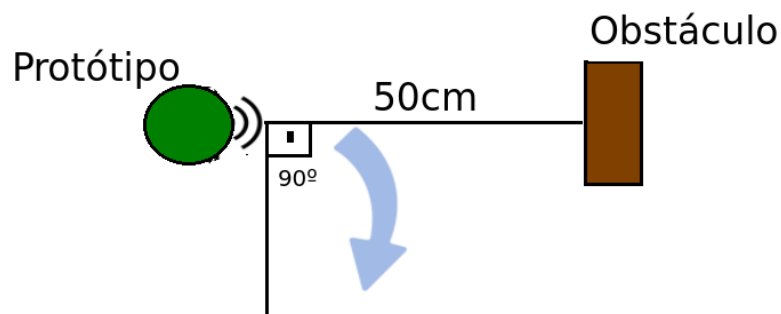


Figura 15. Ilustração do Ambiente de Teste de Desvio

Para este teste, atentou-se principalmente a reação do protótipo ao ser desviado rapidamente do obstáculo em questão. Este cenário de testes foi repetido 100 vezes consecutivas.

Foi possível constatar que o protótipo funcionou 100% das vezes, alertando corretamente quando o mesmo se posiciona a 50 cm do obstáculo, e parando imediatamente as vibrações quando o mesmo é desviado para um ambiente onde não há empecilho.

6.3 Teste de Percurso

Para este teste o protótipo foi inserido em um ambiente com 4 tipos de obstáculos diferentes, cada qual separado a uma distância também diferenciada, as distâncias foram determinadas a partir dos níveis designados na Tabela 1, com o intuito de simular o mesmo em funcionamento em um ambiente de movimento e desvio imediato. Os objetos utilizados para o teste foram: parede, barril de metal, escada e carro. O protótipo era então aproximado aos objetos a uma velocidade de 3km/h e então desviado para ir em direção ao próximo objeto. A Figura 16 ilustra como foi montado este ambiente de teste.

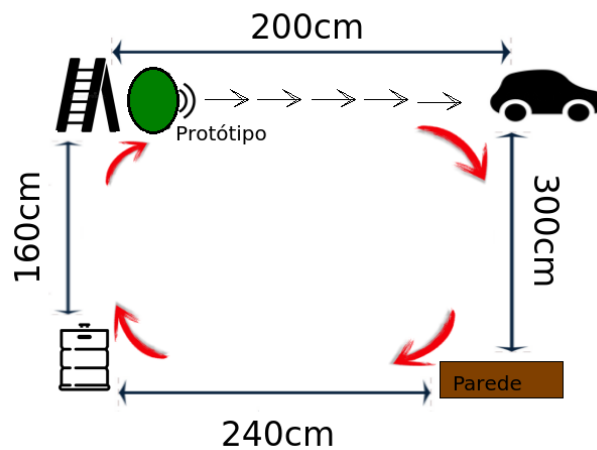


Figura 16. Ilustração do Ambiente de Teste de Percurso

Para este ambiente, atentou-se a reação do protótipo a diferentes níveis de distâncias e sua reação ao desviar de um obstáculo para um próximo, esperando uma reação imediata do mesmo, realizando este percurso 100 vezes consecutivas.

Após a realização do teste, foi possível constatar que o protótipo realizou as atividades esperadas com sucesso 75% das vezes, pois quando o mesmo se aproxima do barril de metal utilizado, ocorre oscilações na distância, e em algumas tentativas o *vibracall* não era acionado no momento que deveria. Considerando que o barril de metal era o menor dos obstáculos, estando um pouco abaixo da altura do sensor ultrassom utilizado, o mesmo não captou a distância com a veracidade esperada, havendo alguns desvios no padrão.

6.4 Resultados

Após a realização dos testes, conclui-se que o protótipo tem um desempenho de 91,6% de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Média de Desempenho do Protótipo

Testes	Desempenho
Teste de Aproximação	100%
Teste de Desvio	100%
Teste de Percurso	75%
Média de Desempenho	91,6%

Os equipamentos eletrônicos utilizados para o circuito foram: 5 unidades de cabos *jumper* para a ligação elétrica, um resistor de 330 ohms, uma mini *protoboard*, a placa de prototipação Wemos D1/R2, um motor *vibracall* e o sensor ultrassônico HC-SR04. O protótipo mostrou-se viável para comercialização, em termos de custos, sendo considerado a lista citada anteriormente, foi orçada em um valor de R\$89,74. Apresentando-se e cumprindo com o objetivo, que é a locomoção segura do usuário em centros urbanos e com obstáculos acima do solo. A Figura 17 demonstra a visão final deste projeto.

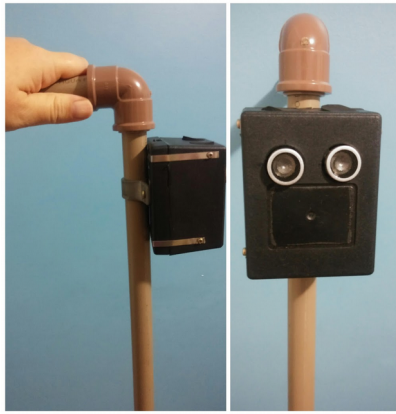


Figura 17. Visão final do protótipo

7. Conclusão

Tendo em vista a evolução da tecnologia, e como a mesma vem sendo cada vez mais presente no dia a dia, o foco principal deste trabalho foi apresentar o protótipo em que o há a união de um método já utilizado por deficientes visuais que é a bengala, interligada com componentes eletrônicos e utilizando o conceito de Sistemas Ciber-Físicos.

Com os conhecimentos adquiridos durante o curso, foi possível o desenvolvimento deste protótipo, integrando a área de análise e desenvolvimento de sistemas, tais como algoritmo de programação para o desenvolvimento do pseudocódigo; engenharia de *software* para a criação dos diagramas e fluxogramas; linguagem de programação, para desenvolvimento do algoritmo como um todo e; arquitetura de computadores para a interligação dos componentes e a troca de informações entre os mesmos. Além disso, foram adquiridos novos conhecimentos, tais como, o conceito de Sistemas Ciber-Físicos e computação física para o desenvolvimento do protótipo considerando o microcontrolador Wemos D1/R2.

Para trabalhos futuros, pode-se interligar o protótipo a uma rede de internet utilizando o conceito de Internet das Coisas, aperfeiçoando seu desempenho, possibilitando uma interface em que o próprio usuário escolha a distância que deseja que o *vibracall* seja ativado, ou até mesmo a frequência em que o mesmo vibre. Além disso, como sugestão é possível gerenciar a localização atual do usuário, entre outras opções que utilizem o conceito de Internet das Coisas. Para um aperfeiçoamento da performance do protótipo, deve-se levar em consideração o teste com pessoas em um ambiente real, bem como uma pesquisa de aceitação das mesmas.

Referências Bibliográficas

Bersch, R. (2017). Introdução à tecnologia assistiva.

Cook, Albert M.; Hussey, S. M. (1995). *Assistive Technologies: Principles and Practice*. Missouri, EUA: .

Filho, J. (2011). ARGOS – Auxílio à locomoção de deficientes visuais a partir de pulseira microcontrolada. v. 1, p. 89–98.

Globo (2015). ONU premia brasileiros por criação de óculos com sensor para cegos. <http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2015/07/onu-premia-brasileiros-por-criacao-de-oculos-com-sensor-para-cegos.html>, [accessed on Mar 3].

IBGE (2002). Censo Demográfico - 2000 -Tabulação Avançada - Resultados Preliminares da Amostra. <https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/08052002tabulacao.shtm>, [accessed on Jul 21].

Konigame, E. M., Unip, U. P., Dutra, R. P., Sul, P. and José, S. (2009). Óculos Sonar Para Deficientes Visuais. p. 1–4.

Leusin, M. E., Maldonado, M. U. and Frazzon, E. M. (2011). Mapeamento da produção científica sobre os sistemas ciber- físicos (cps) com foco na troca de dados. *Simpoi 2017*, n. August, p. 1–16.

Lin, J., Yu, W., Zhang, N., et al. (2017). A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 4, n. 5, p. 1125–1142.

Microsoft ([S.d.]). IoT para a Saúde. <https://www.microsoft.com/pt-br/internet-of-things/healthcare>, [accessed on Apr 20].

Ortoponto ([S.d.]). Bengala para Deficiente Visual Dobrável Alo. <https://www.ortoponto.com.br/produto/bengala-para-deficiente-visual-dobravel-alo-968>.

Piza, P. T. (2012). Cegos e cadeirantes enfrentam “maratona de obstáculos” em SP. <http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2012/03/cegos-e-cadeirantes-enfrentam-maratona-de-obstaculos-em-sp.html>, [accessed on Jun 18].

PNS (2015). *Pesquisa nacional de saúde 2013: Ciclos de vida*.

Rawung, R. H. and Putrada, A. G. (2014). Cyber physical system: Paper survey. *Proceedings - 2014 International Conference on ICT for Smart Society: “Smart System Platform Development for City and Society, GoeSmart 2014”, ICISS 2014*, p. 273–278.

Shi, J., Wan, J., Yan, H. and Suo, H. (2011). A survey of Cyber-Physical Systems. *2011 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, WCSP 2011*, n. March.

Shop, M. E. ([S.d.]). Wemos D1 WiFi ESP8266 ESP-12E. <https://www.masterwalkershop.com.br/wemos-d1-wifi-esp8266-esp-12e>, [accessed on May 23].

Thomsen, A. (2015). Como utilizar o sensor ultrasônico HC-SR04. <http://buildbot.com.br/blog/como-utilizar-o-sensor-ultrasonico-hc-sr04/>, [accessed on May 24].